

MANTENIMIENTO PROACTIVO BASADO EN ANÁLISIS DE ACEITE PARA LA  
FLOTA DE TRACTOCAMIONES DE LA EMPRESA MULTISERVICIOS SAN  
MARTIN S.A.S.

JORGE ANDRÉS QUINTERO MANZANO

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

2017

MANTENIMIENTO PROACTIVO BASADO EN ANÁLISIS DE ACEITE PARA LA  
FLOTA DE TRACTOCAMIONES DE LA EMPRESA MULTISERVICIOS SAN  
MARTIN S.A.S.

JORGE ANDRÉS QUINTERO MANZANO

Monografía de grado presentado como requisito para optar el título de  
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director  
CARLOS BORRÁS PINILLA  
Ph. D. Ingeniero Mecánico

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

2017

## DEDICATORIA

*Dedicarle este nuevo logro a mis padres Jorge Quintero Ballesteros & Solides Manzano Montejo por su apoyo y consejos los cuales me han motivado para seguir adelante. Agradecerles por siempre tener confianza total en mí y por sus sacrificios.*

*A mis abuelos, Genoveva, Anayibe y Ramón Antonio por darme ese afecto y cuidados desde niño, por recibirme siempre con los brazos abiertos y con una sonrisa. No se imaginan el gusto que me da, que ustedes me vean alcanzar mis sueños y el placer que me da poderlos tener aún en mi vida.*

*A mis tíos en general, por siempre estar para apoyarme y siempre querer lo mejor para mí. Saber que siempre pueden contar conmigo incondicionalmente.*

*A mis hermanos Jesly y Jenner por ser mis compañeros en este viaje, en esta vida que vamos conquistando cada vez más. Recordar que todo es posible en la medida que deseen y luchen por las cosas.*

*Y por supuesto a Ninfa, la mujer que me alienta a cumplir mis metas, y que siempre encuentra las palabras adecuadas para cada ocasión.*

*Gracias totales amor mío.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Industrial de Santander y nuestros profesores, por formarnos como especialistas.

Al ingeniero Weimar Cabrera y Miguel Fajardo por ese apoyo técnico en la realización de este proyecto.

Al ingeniero Carlos Borrás, por su ayuda y guía en la monografía.

A la empresa Multiservicios San Martín S.A.S. y su talento humano por la disposición tanto económico como locativa para la ejecución de este proyecto el cual será un gran aporte para su desarrollo.

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	30
2. OBJETIVOS.....	32
2.1 OBJETIVO GENERAL .....	32
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	32
3. JUSTIFICACIÓN.....	33
4. MARCO CONTEXTUAL .....	35
4.1 MULTISERVICIOS SAN MARTÍN S.A.S.....	35
4.1.1 Presentación general de la empresa .....	35
4.1.2 Política integral .....	35
4.1.3 Misión.....	36
4.1.4 Visión .....	37
5. MARCO TEÓRICO .....	38
5.1 TIPOS DE MANTENIMIENTO .....	38
5.1.1 Mantenimiento correctivo .....	38
5.1.2 Mantenimiento preventivo .....	38
5.1.3 Mantenimiento predictivo .....	39
5.1.4 Mantenimiento basado en condición.....	39
5.1.5 Mantenimiento proactivo .....	41
5.2 MOTOR CUMMINS ISX.....	42
5.2.1 Partes principales del motor.....	43
5.2.2 Sistema de lubricación .....	47

5.3 LUBRICANTE .....	51
5.3.1 Tipos de lubricantes .....	53
5.3.2 Propiedades de los lubricantes .....	54
5.3.3 Lubricante uno forza 15w-40.....	57
5.4 ANÁLISIS DE ACEITE .....	58
5.4.1 tipos de análisis .....	58
6. MARCO LEGAL .....	70
7. METODOLOGÍA .....	72
7.1 ETAPAS DE LA METODOLOGÍA.....	72
7.1.1 Primera etapa: diagnóstico .....	72
7.1.2. Segunda etapa: planeación .....	73
7.1.3 Tercera etapa: ejecución.....	73
7.2 MÉTODOS.....	75
8. DIAGNÓSTICO INICIAL .....	79
9. MUESTREO.....	81
9.1 INFORMACIÓN RELEVANTE PARA BUENAS PRÁCTICAS .....	81
9.2 ESTRATEGIA DE FRECUENCIA DE MUESTREO.....	82
9.3 LÍMITES CONDENATORIOS DE ACEITES LUBRICANTES .....	82
9.4 TIPOS DE MUESTREO .....	84
9.4.1 Muestreo en fondo .....	84
9.4.2 Muestreo en zona viva.....	84
9.4.3 Muestreo por manguera y bomba de vacío.....	84
9.5 TOMA DE MUESTRAS.....	84
10. ANÁLISIS DE DATOS .....	90

11. COSTOS.....	106
12. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO PROACTIVO .....	110
12.1 PROGRAMA PARA ANÁLISIS DE ACEITE .....	110
12.2 ESTRATEGIA DE CONTROL .....	113
12.2.1 Orden de trabajo .....	113
12.2.2 Tabla de mantenimiento en base al kilometraje.....	115
12.2.3 Control proactivo – preventivo .....	123
13. CONCLUSIONES .....	125
14. RECOMENDACIONES.....	127
BIBLIOGRAFÍA.....	129

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Tractocamion Kenworth. ....	30
Figura 2. Diagrama descriptivo del monitoreo basado en condición. ....	40
Figura 3. Motor cummins ISX. ....	42
Figura 4. Lado de admisión. ....	44
Figura 5. Lado del escape. ....	45
Figura 6. Lado frontal. ....	46
Figura 7. Diagrama del flujo de aceite lubricante 1. ....	48
Figura 8. Diagrama del flujo de aceite lubricante 2. ....	49
Figura 9. Diagrama del flujo de aceite lubricante 3. ....	50
Figura 10. Código de contaminación sólida. ....	61
Figura 11. Viscosímetro capilar. ....	62
Figura 12. Elementos de desgaste, contaminación y aditivos. ....	65
Figura 13. Etapas de la metodología. ....	73
Figura 14. Frascos de muestreo. ....	85
Figura 15. Bomba de vacío. ....	85
Figura 16. Inserción de manguera. ....	86
Figura 17. Enroscar frasco en la bomba de vacío. ....	87
Figura 18. Bombeo manual. ....	87
Figura 19. Retirada del frasco de muestreo. ....	88
Figura 20. Rotulado del frasco. ....	88
Figura 21. Muestras realizadas. ....	89
Figura 22. Perdida de viscosidad. ....	91
Figura 23. Desgaste del aditivo calcio. ....	93
Figura 24. Desgaste del aditivo magnesio. ....	94
Figura 25. Desgaste del aditivo Zinc. ....	94

Figura 26. Desgaste del aditivo fósforo.....	95
Figura 27. Desgaste del aditivo molibdeno. ....	95
Figura 28. Desgaste del aditivo boro. ....	96
Figura 29. Contaminante de silicio.....	96
Figura 30. Contaminante de sodio. ....	98
Figura 31. Contaminante de hierro. ....	99
Figura 32. Tendencia de las propiedades físico químico del lubricante.....	101
Figura 33. Comparación de propuestas.....	109
Figura 34. Programa para análisis de aceite. ....	111
Figura 35. Punto de muestreo.....	111
Figura 36. Orden de servicio.....	114
Figura 37. Mantenimiento tipo A. ....	116
Figura 38. Mantenimiento tipo B. ....	117
Figura 39. Mantenimiento tipo C.....	118
Figura 40. Mantenimiento tipo D.....	119
Figura 41. Mantenimiento tipo E. ....	120
Figura 42. Mantenimiento tráiler. ....	121
Figura 43. Control proactivo y preventivo. ....	123

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Características del motor Cummins ISX. ....	43
Tabla 2. Propiedades del lubricante.....	54
Tabla 3. Propiedades del lubricante UNO 15W40. ....	58
Tabla 4. Beneficios de las categorías del análisis de aceite. ....	60
Tabla 5. Elementos y posibles fuentes. ....	68
Tabla 6. Prueba a realizar para el motor Cummins ISX.....	69
Tabla 7. Etapas de la metodología. ....	74
Tabla 8. Relación número de muestra y kilometraje recorrido.....	77
Tabla 9. Diagnóstico de la empresa Multiservicios San Martin S.A.S.....	79
Tabla 10. Límites condenatorios para metales de desgaste.....	82
Tabla 11. Límite condenatorio para la viscosidad.....	83
Tabla 12. Límites condenatorios de las propiedades físico químico. ....	83
Tabla 13. Resultados obtenidos.....	90
Tabla 14. . Límites en kilometraje basado en el sodio. ....	98
Tabla 15. Límites de kilometraje basado en el hierro.....	100
Tabla 16. . Límites de kilometraje basado en el hollín y nitración.....	102
Tabla 17. . Rangos de drenado de aceite según fabricante con poco uso. ....	103
Tabla 18. Rangos de drenado de aceite según fabricante con rangos de uso. ...	104
Tabla 19. Información operativa y costos de mantenimiento. ....	106
Tabla 20. Propuesta económica en condiciones actuales. ....	107
Tabla 21. Propuesta económica en condiciones futuras e ideales. ....	108
Tabla 22. Tipos de mantenimiento a aplicar según kilometraje. ....	115

## **LISTA DE ANEXOS**

**(Ver anexos adjuntos en el CD, el cual puede consultar en la Base de Datos de la Biblioteca de la Universidad Industrial de Santander)**

Anexo A. Análisis de aceite.

Anexo B. Propuesta de mantenimiento proactivo.

Anexo C. Análisis de resultados y costos.

## GLOSARIO

**ABRASIÓN:** desgaste de la superficie, producido por rayado continuo, usualmente debido a la presencia de material extraño como tierra, o partículas metálicas en el lubricante. Esto puede también causar la rotura o resquebrajamiento del material (como en las superficies de los dientes de los engranes). Falta de una adecuada lubricación puede dar como resultado la abrasión.

**ACEITE:** un líquido grasoso, untuoso de origen animal, vegetal, mineral o sintético.

**ACEITES NEGROS:** lubricantes conteniendo minerales asfálticos, que les imparten extra adhesividad. Fueron utilizados en la lubricación de engranes descubiertos y en cables (actualmente prohibidos).

**ÁCIDO:** en un sentido restringido, cualquier sustancia que contiene hidrógeno en combinación con un no metal o radical no metálico y capaz de producir iones de hidrógeno en solución.

**ADHESIÓN:** la propiedad de un lubricante que ocasiona que se ancle o adhiera a una superficie sólida.

**ADITIVO:** un compuesto que mejora algunas propiedades o que imparte algunas propiedades nuevas al fluido básico. En algunas formulaciones de fluidos hidráulicos, el volumen de aditivos puede constituir hasta un 20% de su composición final. Los tipos más importantes de aditivos incluyen anti-oxidantes, aditivos anti-desgaste, inhibidores de corrosión, mejoradores del índice de viscosidad y anti espumantes.

**AEREACIÓN:** el estado de aire en suspensión en un líquido como un lubricante o un fluido.

**AGENTE ANTIESPUMANTE:** uno o dos aditivos utilizados para reducir la espumación en productos del petróleo: aceite de silicona para romper las burbujas grandes y varias clases de polímeros para decrecer la cantidad de burbujas pequeñas en el aceite.

**AGLOMERACIÓN:** el potencial del sistema para la atracción o adhesión de partículas.

**ANTIOXIDANTES:** prolongan el periodo de inducción del aceite básico en la presencia de condiciones oxidantes y metales catalizadores a elevadas temperaturas. El aditivo es consumido y los productos de degradación se incrementan no solo en condiciones de temperaturas elevadas y sostenidas, sino también con el incremento de condiciones de agitación mecánica o turbulencia y contaminación aire, agua, partículas metálicas y polvo.

**ÁRBOL DE LEVAS:** eje excéntrico utilizado en los motores de combustión interna para accionar las válvulas.

**BALANCINES:** en un motor sirve para abrir las válvulas. Bloque de cilindro: El bloque del motor está forjado en una sola pieza. La cámara de aire de carga está conformada en el bloque del motor, así como el colector del agua de refrigeración. Las tapas del colector de aceite (cárter), cierran herméticamente contra el bloque del motor por medio de juntas de goma.

**BANCADA:** es el órgano que constituye la parte inferior del motor, sirve de soporte para las piezas rotantes y como pared de contención para el aceite lubricante. Debe tener la resistencia para soportar los esfuerzos internos

provenientes del sistema biela-manivela, la cupla de reacción y en el caso de los motores navales, el empuje de la hélice.

**BASE:** un material que neutraliza los ácidos. Un aditivo del aceite que contiene carbonatos metálicos coloidalmente dispersos, utilizados para reducir el desgaste.

**BIELA:** las bielas están forjadas por estampación. El extremo mayor está seccionado y las superficies de acoplamiento están estriadas. Los cojinetes de biela son bimetálicos o trimetálicos y son intercambiables, es decir que están contruidos con aleaciones de cobre, plomo y/o aluminio.

**BITUMEN:** también llamado asfalto, es el residuo negro viscoso que proviene de la destilación al vacío del petróleo. Consiste de hidrocarburos de alto peso molecular y cantidades pequeñas de compuestos de azufre y nitrógeno.

**BOMBA:** un dispositivo que convierte fuerza mecánica en potencia hidráulica.

**BOMBA DE ENGRANES:** es un tipo de bomba hidráulica que consta de dos engranajes encerrados en un alojamiento muy ceñido.<sup>1</sup> Transforma la energía cinética en forma de par motor, generada por un motor, en energía hidráulica a través del caudal de aceite generado por la bomba.

**CABEZAL DE FILTRO:** dispositivo para fijar el recipiente del filtro que contiene uno o más puertos.

**CAMISA:** las camisas de los cilindros, están diseñadas con una corona alta, taladrada para la refrigeración. Las camisas están provistas de un aro anti pulido en la parte superior del hueco para reducir el riesgo de desgaste.

**CAPACIDAD:** la cantidad de contaminantes que un filtro puede contener antes de que se presente una caída de presión excesiva. Muchos filtros tienen válvulas de alivio que se abren cuando se alcanza su capacidad.

**CENIZAS:** la medida de la cantidad de material inorgánico en el aceite lubricante. Determinado mediante el quemado del aceite y pesado del residuo. Los resultados se expresan en porcentaje en peso.

**CENTIPOISES (cP):** unidad absoluta de viscosidad. 1 centipoise = 0.01 poise.

**CENTISTOKE (cSt):** unidad de viscosidad cinemática. 1 centistoke = 0.01 Stoke.

**CIGÜEÑAL:** el cigüeñal está forjado en una sola pieza de acero y equilibrado por contrapesos. Es un árbol con porciones excéntricas de las cuales se sujeta a la cabeza de la biela.

**CILINDRO:** un dispositivo que convierte la potencia fluida en una fuerza mecánica lineal y movimiento.

**CILINDROS:** es el recinto por donde se desplaza un pistón. La superficie interna de los cilindros se construye lo más lisa posible para evitar rozamientos, muchos de ellos son labrados directamente en el bloque del motor.

**COJINETE:** un tipo de cojinete deslizante teniendo movimiento ya sea oscilatorio o rotatorio en conjunto con el muñón con el que opera. En el tipo de camisa completa, la superficie de la chumacera es de 360° de extensión. En una chumacera parcial, la superficie del cojinete es menos de 360°, ej. 150°, 120°, etc.

**COJINETES:** los cojinetes principales son bimetálicos o trimetálicos. Están diseñados para soportar grandes cargas y altas temperaturas.

**COMPRESIBILIDAD:** el cambio de volumen de una unidad de volumen de un fluido cuando es sujeto a una unidad de carga de presión.

**COMPRESOR:** un dispositivo que convierte la fuerza mecánica y movimiento en un fluido de potencia neumática.

**COMPUESTO:** químicamente hablando, una sustancia distinta formada de la combinación de dos o más elementos en proporciones definidas por peso y con propiedades físicas y químicas diferentes de aquellas de los elementos combinantes. En productos de petróleo, generalmente se aplica a aceites grasos o materiales similares agregados a los lubricantes para impartirles propiedades especiales.

**CONTAMINANTE:** cualquier material extraño o sustancia no deseada que puede tener un efecto negativo en un sistema en operación, su vida o confiabilidad.

**CONTAMINANTE AMBIENTAL:** todo material y energía presente en y alrededor de los sistemas en operación, tales como polvo, humedad de aire, químicos y energía térmica.

**CONTAMINANTE GENERADO:** causado por el deterioro de superficies críticas y materiales o por la falla del fluido.

**CONTAMINANTES INGRESADOS:** contaminantes del ambiente que ingresan debido a la acción del sistema o la maquinaria.

**CONTROL DE CONTAMINACIÓN:** sistema de planeación, organización, administración e implementación de todas las actividades requeridas para determinar, alcanzar y mantener un determinado nivel de contaminación.

**CORROSIÓN POR ROZAMIENTO:** tiene lugar cuando dos metales son mantenidos en contacto y sujetos a una repetición de deslizamientos cortos con movimientos relativos. Otros nombres para este tipo de desgaste incluyen desgaste por oxidación y oxidación por fricción.

**CULATA:** es la pieza que sella los cilindros y se fabrica en hierro fundido. Esta debe ser lo suficientemente fuerte y rígida para distribuir la fuerza de los gases que actúan de la manera más uniforme posible a través del bloque. El diseño de la culata es de doble pared y el agua de refrigeración es forzada desde la periferia hacia el centro, proporcionando una eficiente refrigeración en áreas importantes.

**DEGRADACIÓN:** la falla progresiva de un lubricante o una máquina.

**DEMULSIBILIDAD:** la habilidad de un fluido que es insoluble en agua, para separarse del agua con la que ha sido mezclado en forma de emulsión.

**DENSIDAD:** la masa de una unidad de volumen de una sustancia. Es un valor numérico que varía de acuerdo con las unidades usadas.

**DENSIDAD DE PARTÍCULAS:** un parámetro importante para establecer el potencial de partículas atrapadas que inciden en las superficies de control y causan erosión.

**DESGASTE:** la pérdida de material de la superficie como resultado de una acción mecánica.

**DESGASTE ABRASIVO:** se presenta cuando asperezas duras o partículas duras que han sido embebidas en una superficie suave y generan surcos en una superficie dura (ej. Un eje).

**DESGASTE ADHESIVO:** también conocido como desgarrado, rasguñado, escoriado, muescas, o aferramiento. Ocurre cuando las superficies deslizantes tienen contacto unas con otras, causando que algunos fragmentos sean arrancados de una superficie para adherirse a la otra.

**DESGASTE POR FATIGA DE LA SUPERFICIE:** la formación de grietas en la superficie o sub superficie y propagación de las grietas, como resultado de carga cíclica a la superficie.

**DESHIDRATADOR:** un separador que remueve el agua de un sistema fluido.

**DETERGENTE:** en lubricación, tanto un aditivo o compuesto lubricante que tiene la propiedad de mantener material insoluble en suspensión, para prevenir su depósito en lugares que podría ser peligroso. Un detergente puede también re-dispersar depósitos que ya se hayan formado.

**DISPERSANTE:** en lubricación, un término usualmente empleado intercambiable con detergente. Un aditivo, usualmente no metálico ("sin cenizas") que mantiene las partículas finas de materiales insolubles en una solución homogénea. Por lo tanto, las partículas no pueden asentarse y acumularse.

**EFICIENCIA DE FILTRO:** método para expresar la habilidad del filtro de atrapar y retener contaminantes de un tamaño dado.

**EMULSIBILIDAD:** la habilidad de un fluido no soluble al agua de formar una emulsión con agua.

**EMULSIFICANTE:** aditivo que promueve la formación de una mezcla estable, o emulsión, de aceite y agua.

**EMULSIÓN:** mezcla íntima de aceite y agua, generalmente de una apariencia lechosa o nebulosa. Las emulsiones pueden ser de dos tipos: aceite en agua (donde el agua es la fase continua) y agua en aceite (donde el agua es la fase discontinua).

**ENFRIADOR DE ACEITE:** los enfriadores de aceite especiales sirven para enfriar permanentemente el aceite lubricante. Esto se efectúa, por un lado, a través de las aletas de refrigeración mediante el aire del exterior o el viento de marcha, y por otro mediante el agua refrigerante que fluye alrededor del enfriador de aceite.

**ENGRANES LOCOS:** en un engrane simple de un par de ruedas dentadas, el eje impulsor que se llama eje motor tiene un sentido de giro contrario al que tiene el eje conducido. Esto muchas veces en las máquinas no es conveniente que sea así, porque es necesario que los dos ejes giren en el mismo sentido. Para conseguir este objetivo se intercalan entre los dos engranajes un tercer engranaje que gira libre en un eje, y que lo único que hace es invertir el sentido de giro del eje conducido, porque la relación de transmisión no se altera en absoluto. Esta rueda intermedia hace las veces de motora y conducida y por lo tanto no altera la relación de transmisión. Un ejemplo de rueda o piñón intermedio lo constituye el mecanismo de marcha atrás de los vehículos impulsados por motores de combustión interna, también montan engranajes locos los trenes de laminación de acero. Los piñones planetarios de los mecanismos diferenciales también actúan como engranajes locos intermedios.

**EROSIÓN:** la remoción progresiva de la superficie de la maquinaria por cavitación, o por el efecto de las partículas a altas velocidades.

**ESTABILIDAD QUÍMICA:** la tendencia de una sustancia o mezcla a resistir el cambio químico.

**FILTRACIÓN:** el proceso físico o mecánico de separar materiales insolubles de un fluido, tal como aire o líquido, mediante la circulación del fluido a través de una media filtrante que no permite a las partículas pasar por ella.

**FILTRO:** un dispositivo o sustancia porosa utilizado como un colador para la limpieza de fluidos mediante la remoción de material en suspensión.

**FLUIDO:** una clasificación general incluyendo líquidos y gases.

**FRICCIÓN:** la fuerza de resistencia encontrada en los límites de dos cuerpos cuando bajo la acción de una fuerza externa, un cuerpo se mueve o tiende a moverse con relación a la superficie del otro.

**GRADO DE VISCOSIDAD:** cualquier número de los sistemas, que caracterizan a los lubricantes de acuerdo a su viscosidad para una aplicación en particular, como industrial, motor, engranes, engranes automotrices y aceites de motores de aviones.

**GRADO DE VISCOSIDAD ISO:** un número indicando la viscosidad nominal de un fluido lubricante industrial a 40°C (104°F) como se define en ASTM D-2422 para el Sistema Estándar de Viscosidad para Fluidos Lubricantes Industriales. Esencialmente igual al estándar ISO 3448.

**GRAVEDAD API:** una escala de gravedad establecida por el American Petroleum Institute y usada generalmente en la industria del petróleo. La unidad se llama Grado API. Esta unidad se define en términos de la densidad relativa como sigue:  
Gravedad API =  $141.5 / \text{Densidad relativa (gravedad específica) @60°F/60°}$

**GRAVEDAD ESPECÍFICA - DENSIDAD RELATIVA:** la relación del peso de un volumen dado de material con respecto del peso de un volumen igual de agua.

**HIDRÓMETRO:** un instrumento para determinar ya sea la gravedad específica o la gravedad API de un líquido.

**INHIBIDOR:** cualquier sustancia que reduce o previene las reacciones químicas de corrosión o de oxidación.

**LODO:** material insoluble formado como resultado de reacciones de deterioro en el aceite y contaminación del aceite o ambas.

**LUBRICANTE:** cualquier sustancia que se interpone entre dos superficies en movimiento relativo con el propósito de reducir la fricción y el desgaste entre ellas.

**LUBRICANTE SINTÉTICO:** un lubricante producido por síntesis química mas que por extracción o refinamiento del petróleo para producir compuestos con propiedades planeadas y predecibles.

**LUBRICIDAD:** capacidad de un aceite o grasa para lubricar; también se le llama resistencia de película.

**MISCIBLE:** capaz de ser mezclado en cualquier concentración sin separar las fases; por ejemplo, el agua y el etil alcohol son miscibles.

**MOTOR:** un dispositivo que convierte la potencia del fluido en una fuerza mecánica y movimiento. Usualmente proporciona movimiento mecánico giratorio.

**MÚLTIPLE:** un ensamble de filtros que contiene puertos múltiples y componentes integrales relacionados que dan servicio a más de un circuito de fluido.

**NAFTANATO DE PLOMO:** un jabón de plomo de ácidos nafténicos que ocurre naturalmente en el petróleo.

**NAFTÉNICO:** un tipo de fluido de petróleo derivado del petróleo nafténico, conteniendo una proporción alta de grupos metilenos de anillos cerrados.

**NITRACIÓN:** los productos de nitración, son formados durante el proceso de combustión en motores de combustión interna. La mayoría de los productos de nitración se forman cuando hay un exceso de oxígeno presente. Estos productos son altamente ácidos, forman depósitos en las áreas de combustión y aceleran rápidamente la oxidación.

**OXIDACIÓN:** ocurre cuando el oxígeno ataca los fluidos minerales. El proceso es acelerado por calor, luz, catalizadores metálicos y la presencia de agua, ácidos o contaminantes sólidos. Esto lleva a un incremento en la viscosidad y formación de depósitos.

**ÓXIDOS METÁLICOS:** partículas oxidadas ferrosas que son muy viejas o que han sido recientemente producidas por condiciones de lubricación inadecuada. La tendencia es importante.

**PARAFÍNICO:** un tipo de fluido mineral, derivado del petróleo parafínico y que contiene una alta proporción de hidrocarburos de cadena lineal, saturados. Generalmente son susceptibles a problemas de flujo a bajas temperaturas.

**PERMEABILIDAD:** la relación del flujo por la unidad de área con la presión diferencial a través de una media filtrante.

**PISTONES:** los pistones se fabrican de fundición gris. Su función consiste tanto en sellar el cilindro como en transmitir la presión generada por la combustión de los gases al cigüeñal a través de la biela. Las ranuras para los aros superiores están templadas. El aceite refrigerante se introduce en la cámara de refrigeración a

través de la biela. Los anillos están conformados por tres anillos de compresión cromo-plateados y un aro rascador también cromado y cargado por resorte

**PRESIÓN:** fuerza por unidad de área, generalmente expresada en libras por pulgada cuadrada (psi).

**PUNTO DE FLUIDEZ:** la temperatura más baja a la que un aceite o un combustible pueden fluir, cuando son enfriados bajo condiciones establecidas por el método de prueba (ASTM D 97). El punto de fluidez es de 3°C (5°F) arriba de la temperatura a la que el aceite en un matraz de prueba no muestra movimiento cuando el contenedor es mantenido horizontalmente por 5 segundos.

**PUNTO DE INFLAMACIÓN:** la temperatura a la que un líquido combustible debe ser calentado para emitir suficientes vapores, para formar momentáneamente una mezcla flamable con el aire cuando una pequeña flama es aplicada bajo condiciones especificadas (ASTMD92).

**RESIDUO DE CARBÓN:** material carbonizado que es el resultado de la combustión del aceite bajo condiciones controladas.

**RODAMIENTO:** un elemento antifricción que contiene elementos rodantes en la forma de bolas o rodillos, un soporte o guía en la que un eje es posicionado, con respecto a las otras partes de un mecanismo.

**SEDIMENTOS:** partículas contaminantes de un tamaño de 5 micrones o menos.

**STOKE (St):** medida cinemática de la resistencia de un líquido a fluir definida por la relación de la viscosidad dinámica del fluido con su densidad.

**SURFACTANTE:** agente de superficie activa que reduce la tensión interfacial de un líquido. Un surfactante usado en el petróleo puede incrementar la afinidad del aceite por los metales y otros materiales.

**TURBOCARGADOR:** los turbocargadores están situados normalmente en el extremo libre del motor. En un motor en V hay dos turbocargadores, uno para cada línea de cilindros. Es usual el turbocargador en los Motores Diesel. La turbina accionada por los gases de escape da lugar a una expansión más completa de los gases de la combustión que la que se obtiene en los cilindros del motor.

**VÁLVULA DE ADMISIÓN:** están recubiertas de estellite (aleación con cobalto) y los vástagos cromados. Los aros de asiento de las válvulas son de una aleación de hierro fundido.

**VÁLVULAS DE ESCAPE:** tiene asientos recubiertos de estellite y vástagos cromados, cierran contra los anillos de asiento directamente refrigerados.

**VISCOSIDAD:** medida de la resistencia de un líquido a fluir. La medida común métrica de la viscosidad absoluta es el Poise, que es definido como la fuerza necesaria para mover un centímetro cuadrado de área sobre una superficie paralela a la velocidad de 1 cm por segundo, con las superficies separadas por una película lubricante de 1 cm de espesor. Además, de la viscosidad cinemática, hay otros métodos para la determinación de la viscosidad, incluyendo la viscosidad Saybolt, Furol, Engler y Redwood. Dado que la viscosidad varía inversamente proporcional con la temperatura, su valor no tiene utilidad si no se relaciona con la temperatura a la que el resultado es reportado.

**VISCOSIDAD CINEMÁTICA:** la viscosidad absoluta, dividida por la densidad del fluido. Se expresa en centistokes. El tiempo requerido para que una cantidad fija de un aceite fluya a través de un tubo capilar bajo la fuerza de la gravedad. La

unidad de la viscosidad cinemática es el stoke o Centistoke (1/100 de un stoke). La viscosidad cinemática puede ser definida como el cociente de la viscosidad absoluta en centistokes, dividida por la gravedad específica de un fluido, ambos a la misma temperatura. Centipoises/Gravedad Específica = Centistokes

## RESUMEN

**TÍTULO:** MANTENIMIENTO PROACTIVO BASADO EN ANÁLISIS DE ACEITE PARA LA FLOTA DE TRACTOCAMIONES DE LA EMPRESA MULTISERVICIOS SAN MARTIN S.A.S.<sup>1</sup>

**AUTOR:** JORGE ANDRÉS QUINTERO MANZANO.<sup>2</sup>

**PALABRAS CLAVES:** MANTENIMIENTO, MANTENIMIENTO PROACTIVO, ANÁLISIS DE ACEITE, TRIBOLOGÍA, TRACTOCAMIONES.

### **DESCRIPCIÓN O CONTENIDO:**

El presente documento se basa en la mejora del proceso de mantenimiento con herramientas proactivas y de buenas prácticas de mantenimiento para de la flota de tractocamiones de la empresa Multiservicios San Martin SAS ya que su estado no era el idóneo para el crecimiento y reconocimiento de la compañía, debido a la falta de programación y organización de los mantenimientos preventivos y la falta de uso de herramientas tecnológicas como lo es el análisis de aceite.

La intención principal de este ensayo es la de mejorar los costos de mantenimiento y garantizar un cambio oportuno del lubricante en los tractocamiones. Para llegar a esto se realizó una evaluación de mantenimiento actual de la compañía y se determinó que se debía estructurar una programación o matriz de mantenimiento proactivo y preventivo que faciliten el monitoreo del mantenimiento. Se ejecuta un proceso completo, desde la selección de un vehículo representativo o muestra, hasta la realización de los análisis de aceite en forma periódica según kilometraje recorrido, de acuerdo a la normatividad que rige este tipo de análisis. Donde se sacaron unos costos actuales y costos en base a los resultados, para comparación y evidenciar la variación e impacto que este tiene en los costos de mantenimiento. También se plantean y describen todos los procesos que se realizaron en la toma de muestras y de donde se obtuvieron los resultados mostrados. La Composición teórica de la monografía inicia con una breve investigación de los antecedentes los análisis de aceite, los procesos realizados, los resultados obtenidos las conclusiones y recomendaciones del análisis de aceite como mantenimiento proactivo en la empresa.

---

<sup>1</sup> Monografía.

<sup>2</sup> Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Carlos Borrás Pinilla, PhD. Ingeniero Mecánico.

## SUMMARY

**TITLE:** PROACTIVE MAINTENANCE BASED ON ANALYSIS OF OIL, FOR THE FLEET OF TRUCKS OF THE COMPANY MULTISERVICIOS SAN MARTIN S.A.S.<sup>3</sup>

**AUTHOR:** JORGE ANDRÉS QUINTERO MANZANO.<sup>4</sup>

**KEYWORDS:** MAINTENANCE, PROACTIVE MAINTENANCE, OIL ANALYSIS, TRIBOLOGY, TRUCKS.

### **DESCRIPTION OR CONTENTS:**

This document is based on the improvement of the maintenance process with proactive tools and good maintenance practices for the fleet of tractor trucks of the company Multiservicios San Martin SAS since its state was not the ideal one for the growth and recognition of the company, due to the lack of programming and organization of preventive maintenance and the lack of use of technological tools such as oil analysis.

The main thrust of this test is to improve maintenance costs and ensure timely change of lubricant in trucks. To achieve this, a current maintenance evaluation of the company was carried out and it was determined that a proactive and preventive maintenance schedule or matrix should be structured to facilitate the maintenance monitoring. A complete process is executed, from the selection of a representative vehicle or sample, to the performance of the oil analysis periodically according to mileage traveled, according to the regulations that govern this type of analysis. Where current costs and costs based on the results were obtained, for comparison and to show the variation and impact that this one has on maintenance costs. We also discuss and describe all the processes that were performed in the sampling and from which the results were obtained. The theoretical composition of the monograph begins with a brief investigation of the background oil analysis, the processes performed, the results obtained the conclusions and recommendations of the oil analysis as a proactive maintenance in the company

---

<sup>3</sup> Monograph.

<sup>4</sup> Faculty of Engineering Physics and Mechanics. Mechanical Engineering School. Specialization in Maintenance Management. Director: Carlos Borrás Pinilla, PhD. Mechanical Engineer.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Es bien sabido que el análisis de aceite es una de las prácticas utilizadas a nivel de mantenimiento proactivo en las compañías o empresas del sector transporte, ya que el aceite es un fluido de vital importancia para los motores de combustión interna, y si no se trata o se hace el correspondiente cambio a tiempo, podría repercutir en daños graves dentro del motor, ocasionando una parada del activo, lo cual equivale a pérdidas de económicas.

La empresa Multiservicios San Martín S.A.S. (MSS), es una empresa de transporte de carga seca y líquida, servicio especial y maquinaria amarilla, donde el fuerte es el transporte hidrocarburo que comprende su operación en la ruta desde el pozo Acordeonero, situado en San Martín, Cesar, hasta puerto bahía en Cartagena. La empresa cuenta con 13 tractocamiones marca Kenworth, con tráiler de 3 ejes, con capacidad promedio de 260 barriles. (Véase figura 1).

Figura 1. Tractocamion Kenworth.



La compañía Multiservicios San Martín S.A.S, en el tiempo que lleva trabajando en el sector de transporte no ha realizado un análisis técnico del aceite usado, sino que ha venido haciendo el cambio del lubricante en la flota de tractocamiones cada 12.000 kilómetros, valor estimado tentativamente y del cual no se tiene la plena seguridad del aprovechamiento total de las propiedades del aceite ya que carece de un monitoreo preciso que permita demostrar que ese cambio de aceite se está haciendo al kilometraje adecuado.

Por otra parte, se presenta pérdida económica intangible, puesto que no se cuenta con personal técnico calificado para realizar el cambio de aceite en los activos, (el cambio de aceite es tercerizado en talleres locales).

De acuerdo a lo anterior se precisa que la empresa no tiene establecido técnicamente el kilometraje de cambio de aceite con lo cual se tienen dos situaciones a considerar:

Al realizar el cambio de aceite prematuramente no se está aprovechando en su totalidad las propiedades del lubricante, adicionalmente se generan sobrecostos lo cual está afectando la economía de la empresa Multiservicios San Martín S.A.S

Si se realiza el cambio de aceite luego de que este haya perdido sus propiedades se afecta directamente la vida útil del motor y para este caso particular en el que la operación se centra específicamente en el transporte a la costa caribe colombiana (zona de altas temperaturas y partículas de salinas en el ambiente) esta condición puede generar ciertos porcentajes de sílice y partículas por millón elevados, lo cual es altamente abrasivo y corrosivo.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Proponer un plan mantenimiento proactivo basado en un análisis de aceite para la flota de tractocamiones de la empresa Multiservicios San Martín S.A.S.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diagnosticar el estado actual de la gestión de mantenimiento en la empresa Multiservicios San Martín S.A.S, para establecer fallas en el sistema de mantenimiento actual.
- Determinar las propiedades del aceite de acuerdo al método de análisis de aceite con la finalidad de establecer la variación de las propiedades del aceite a medida que aumente el kilometraje recorrido por el vehículo.
- Analizar los resultados obtenidos para evaluar técnicamente alternativas a implementar.
- Establecer el kilometraje óptimo al cual se deberá hacer el cambio de aceite en los tractocamiones de la empresa Multiservicios San Martín S.A.S para hacer recomendaciones de uso y mantenimiento.
- Plantear una programación para el control del mantenimiento proactivo, aplicable a la empresa Multiservicios San Martín S.A.S basado en los resultados establecidos.

### 3. JUSTIFICACIÓN

De acuerdo con Pedro Albarracín “La correcta lubricación de los mecanismos de un equipo permite que estos alcancen su vida de diseño y que garanticen permanentemente la disponibilidad del equipo, reduciendo al máximo los costos de lubricación, de mantenimiento y las pérdidas por lucro cesante”.

Por otra parte, de acuerdo con Carolina Altman La filosofía del mantenimiento Proactivo conduce a detectar y eliminar las causas que originan fallas en la maquinaria.

El análisis de aceite permite conocer tanto la salud del lubricante, como el estado de contaminación y desgaste del sistema, así como también, reconocer las causas que provocan las fallas, para poder eliminarlas, aumentando de esta forma, la confiabilidad.

Citado lo anterior y tomando como punto de partida que la empresa de transporte Multiservicios San Martín S.A.S. No cuenta con un diagnóstico técnico que permita tener certeza de que se realizan los cambios de aceite a tiempo y de forma adecuada, se establece la necesidad de implementar un mantenimiento de tipo proactivo basado en el análisis de aceite para las flotas de la compañía.

Ahora bien, de acuerdo con Pedro R. Albarracín Aguillon “Es muy importante que las compañías vinculadas con el sector productivo del país y que estén interesadas verdaderamente en reducir sus costos de mantenimiento, se involucren de una manera seria, decidida y con un alto nivel técnico en los programas de monitoreo de los aceites lubricantes; al principio surgirán dificultades como en todos aquellos programas que requieren tiempo, estudio y

dedicación, pero estas fácilmente se podrán resolver con paciencia y mucho entusiasmo.”

Se estima que implementando un tipo de mantenimiento proactivo la empresa podría beneficiarse minimizando costos y tiempo en cambios de aceite innecesarios, así mismo aumentar expectativas de vida de los vehículos, tener una mayor rentabilidad operacional lo cual permite mejorar la competitividad de la empresa, por otra parte los resultados técnicos obtenidos con la implementación de este mantenimiento pueden apoyar los procesos de certificación empresarial en los que la empresa se encuentra actualmente, se logrará también establecer un equilibrio entre la seguridad de los vehículos y la economía de la empresa y lo más importante se propone un mantenimiento efectivo y altamente confiable.

## 4. MARCO CONTEXTUAL

### 4.1 MULTISERVICIOS SAN MARTÍN S.A.S.

**4.1.1 Presentación general de la empresa.** Multiservicios San Martin S.A.S es una empresa de transporte de carga seca y liquida, servicio especial y maquinaria amarilla, situado en San Martin, Cesar lugar donde se realizan las actividades relacionadas con el mantenimiento (en lo que se refiere a cambios de aceite) a los tractocamiones.

Actualmente la empresa cuenta con todos sus procesos certificados por parte de ICONTEC el cual audito el sistema integrado de gestión basados en la serie de Normas ISO 9001, OHSAS 18001, ISO 14001 NORSOK S006.

**4.1.2 Política integral.** Multiservicios San Martin S.A.S. manifiesta un firme compromiso con la seguridad y salud en el trabajo, cuidado del ambiente y la calidad en sus procesos buscando lograr la satisfacción de sus clientes, para tal fin enmarca el desarrollo de sus actividades de transporte y alquiler de maquinaria y ambulancias en los siguientes principios:

- Enfocar todos sus esfuerzos a la prevención de accidentes de trabajo, enfermedades laborales, el daño a la propiedad, el impacto socio ambiental, la prevención de la contaminación, buscando asegurar un ambiente de trabajo apropiado para sus empleados, contratistas y demás partes interesadas.

- Identificar los peligros, evaluar y valorar los riesgos generados en la operación de la empresa, con el fin de establecer actividades para controlarlos, haciendo énfasis en los que se determinen como prioritarios.
- Asegurar la disponibilidad de los recursos suficientes para mantener el sistema integrado de gestión, cumplir con los requisitos de los clientes, legales, reglamentarios en seguridad y salud en el trabajo, ambientales y otros que apliquen.
- Proponer, implementar y generar el mejoramiento continuo del sistema integrado de gestión de la organización.

**4.1.3 Misión.** Proporcionar soluciones logísticas de Transporte de Carga Líquida, Transporte de Carga Seca, Transporte especial, Alquiler de Maquinaria y Servicios de Ambulancia, desarrolladas a través de uso de tecnología conceptual y detalle, para empresas del sector petrolero e industrial tanto público como privado, orientado al logro de la excelencia a través del cumplimiento de estándares internacionales de calidad, ofreciendo servicios con actitud amable, oportuna, eficiente y honesta dentro de un estilo gerencial abierto que permita incrementar las ventajas competitivas y funcionales de nuestros clientes.

**4.1.4 Visión.** Ser reconocidos en el medio como una empresa líder que desarrollará y suplirá las necesidades de las compañías contratantes en el área del transporte de carga seca y líquida, el alquiler de maquinaria amarilla, Transporte especial y el Servicio de Ambulancia, para obtener así, un mejor posicionamiento de nuestros servicios. Convirtiéndonos en el aliado estratégico de nuestros usuarios, poniendo a su disposición una logística integral, orientada a la satisfacción de nuestros clientes, inversionistas, empleados, proveedores y operadores con reconocido prestigio y compromiso a nivel regional y nacional.

## 5. MARCO TEÓRICO

### 5.1 TIPOS DE MANTENIMIENTO

Antes de realizar cualquier tipo de clasificación o definición del mantenimiento, es de vital importancia conocer que el objetivo del mantenimiento es sostener la funcionalidad de un equipo. En la clasificación de los mantenimientos más influyentes en las industrias, se encuentra mantenimiento correctivo, preventivo, predictivo, proactivo y basado en condición.

**5.1.1 Mantenimiento correctivo.** Consiste en permitir que un equipo funcione hasta el punto en que no puede desempeñar normalmente su función. Se somete a reparación hasta corregir el defecto y se desatiende hasta que vuelva a tener una falla y así sucesivamente.

Este tipo de mantenimiento es el más común y conocido por los encargados, jefes e ingenieros de mantenimiento. Por lo general obliga a un riguroso conocimiento del equipo y de las partes susceptibles a falla, a un diagnóstico acertado y rápido de las causas.

**5.1.2 Mantenimiento preventivo.** Acciones de mantenimiento desarrolladas sobre la base de un calendario o programa fijo que involucran reparaciones de rutina y reemplazo de componentes y partes de la maquinaria.

Hoy en día es el mantenimiento más utilizado en las empresas, y su principal aliado es la ficha técnica de los fabricantes, por lo general se tiene claridad y orden a la hora de realizar el mantenimiento que se encuentra programado.

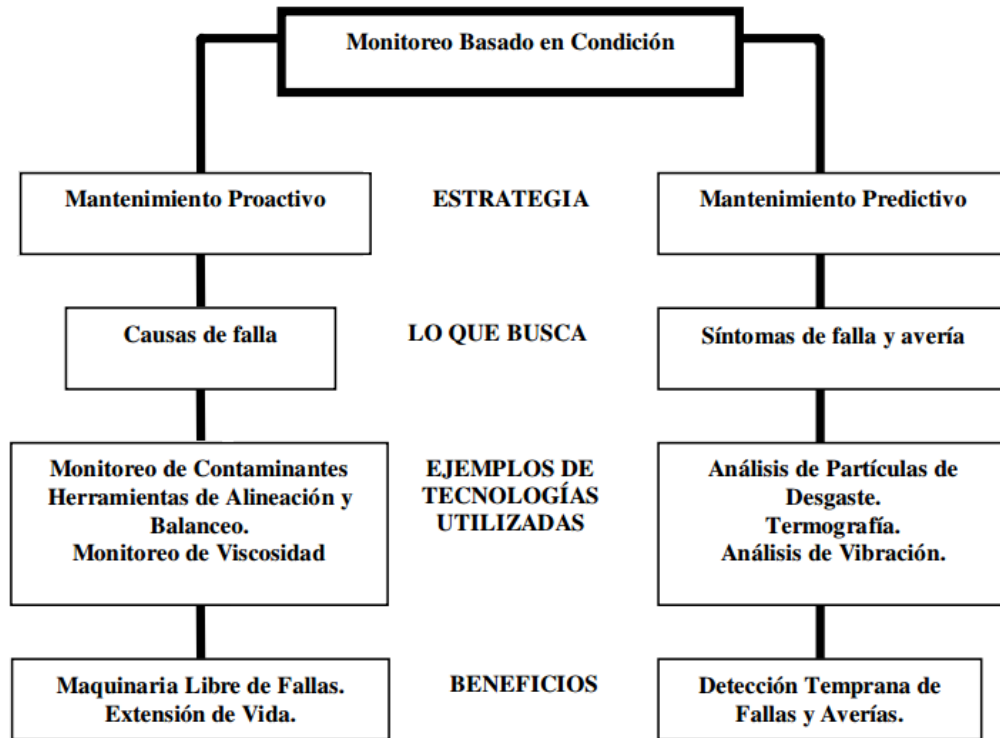
**5.1.3 Mantenimiento predictivo.** Es un tipo de mantenimiento basado en condición, que enfatiza la detección temprana de una falla, utilizando técnicas de análisis no destructivas, como análisis de vibración, termografía y análisis de partículas de desgaste.

Este tipo de mantenimiento utilizado fuertemente en industrias aéreas, navales y fábricas automatizadas. Su nivel de monitoreo constante la hace uno de los mantenimientos más costosos y efectivo.

**5.1.4 Mantenimiento basado en condición.** Como se mencionó anteriormente tanto el mantenimiento predictivo como el proactivo son un tipo de mantenimiento basado en condición. Este mantenimiento nos permite diagnosticar el comportamiento futuro en tiempo real de la posible aparición de fallas o situaciones fuera de las condiciones estándares, con el fin de evitarlas a toda costa y alargar los períodos de funcionalidad del equipo y por ende la vida útil total de los componentes.

Mientras que los beneficios de la detección de desgaste anormal o envejecimiento del lubricante son importantes, éstos deberían ser considerados de pequeña importancia comparados con el objetivo mucho más gratificante el cual es evitar las fallas.

Figura 2. Diagrama descriptivo del monitoreo basado en condición.



Fuente: TROYER, Drew y FITCH, Jim. Oil analysis. Tulsa, USA: Noria Corporation, 2004. 148 p.

Cuando los beneficios de extensión de vida del mantenimiento proactivo son acompañados por los beneficios de detección temprana del mantenimiento predictivo, se tiene como resultado un comprensivo programa de mantenimiento basado en condición. Mientras que el mantenimiento proactivo se dirige al control de las causas de falla, el mantenimiento predictivo se dirige a la detección de fallas incipientes de las propiedades del fluido y de los componentes de la máquina, como rodamientos y engranes. La detección temprana de fallas de la máquina y el desgaste anormal, es a lo que frecuentemente se refiere como el dominio exclusivo del análisis de aceite en el campo del mantenimiento.

**5.1.5 Mantenimiento proactivo.** Por definición, involucra el control y monitoreo continuo de las causas de falla en la maquinaria. Es un tipo de mantenimiento basado en condición que enfatiza la rutina de la detección y corrección de las condiciones de causas de falla que de otra manera podrían convertirse en una falla. Dichas causas de falla como alta contaminación de lubricante, alineación y balanceo son tal vez las más críticas.

La filosofía del mantenimiento proactivo de establecer objetivos y administrar las condiciones del lubricante. Una premisa estratégica de las alarmas proactivas es que estas deben establecerse en niveles que generen mejoras con respecto al desempeño anterior, o que aseguren el mantenimiento de niveles en los que el desempeño haya sido optimizado con anterioridad en relación con los objetivos de la organización.

Siempre que se aplique una estrategia de mantenimiento proactivo, son necesarios tres pasos para asegurar que los beneficios se logran.<sup>5</sup>

- El primer paso es fijar un objetivo o estándar, asociado con cada causa de falla. En el análisis de aceite, las causas de falla de mayor importancia, se relacionan con la contaminación del fluido (partículas, humedad, calor, refrigerante, etc.) y la degradación de aditivos.
- El segundo paso incluye una auditoría de las causas por las que el fluido se contamina y entonces eliminar sistemáticamente esos puntos de entrada. Frecuentemente se requiere mejorar las filtraciones, para no deteriorar el lubricante.
- El tercer paso es la acción vital de crear un círculo de retroalimentación que proporciona un programa de análisis de aceite. Cuando ocurre alguna excepción, por ejemplo, resultados anormales por arriba de los objetivos),

---

<sup>5</sup> TROYER, Drew y FITCH, Jim. Oil analysis. Tulsa, USA: Noria Corporation, 2004. 148 p.

se pueden implementar inmediatamente acciones correctivas. Utilizando el mantenimiento proactivo como estrategia, el control de contaminación se convierte en una actividad disciplinada de monitoreo y de altos niveles de control de limpieza.

En conclusión, el mantenimiento Proactivo está basado en tres principios:

- Mejorar los Procedimientos antes de que causan fallas.
- Evitar Paradas del equipo para mantenimiento correctivo.
- Aumentar el Intervalo entre intervalos para mantenimiento preventivo.

## 5.2 MOTOR CUMMINS ISX

Cada elemento de este motor ha sido diseñado y fabricado para optimizar el rendimiento, la fiabilidad y la durabilidad, también ofrece los costes operativos más bajos entre el motor de su clase. Este motor a pesar que su primer diseño salió a la luz en 1998, hasta el día de hoy ha pasado por muchos procesos de mejora continua. (Véase figura 3).

Figura 3. Motor cummins ISX.



Según el fabricante, este motor tiene las siguientes características:

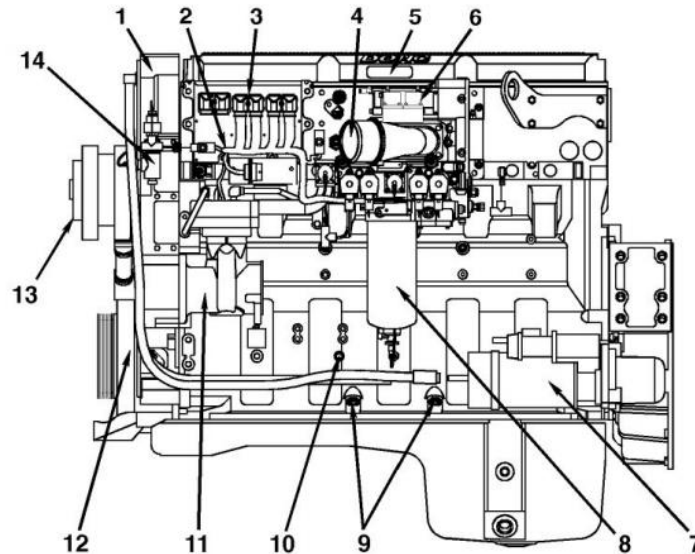
Tabla 1. Características del motor Cummins ISX.

<b>Características</b>	<b>Motor cummins ISX</b>
<b>Potencia @1800rpm</b>	400 a 450 hp
<b>Potencia @2000rpm</b>	500 a 600 hp
<b>Velocidad gobernada</b>	1800 a 2000 rpm
<b>Torque</b>	1450 a 1850 lb/in
<b>Numero de cilindros</b>	6
<b>Carter</b>	12 gal incluido Carter y filtros
<b>Peso</b>	1255 kg
<b>Presión de aceite en ralentí</b>	93°C(200°F) @ 103 kpa (15 psi)
<b>Presión de aceite en gobernada</b>	93°C @ 241 a 276 kpa (35 a 40 psi)

Fuente: CUMMINS ENGINE COMPANY. Manual de operación y mantenimiento motores signature e ISX. Indiana, USA: La compañía, 2000.

**5.2.1 Partes principales del motor.** A continuación, se mostrará el diagrama del motor, las partes principales, y su correspondiente posicionamiento, para observar el lado de admisión (véase Figura 4), para observar el lado del escape (véase Figura 5), para observar el lado frontal (véase Figura 6).

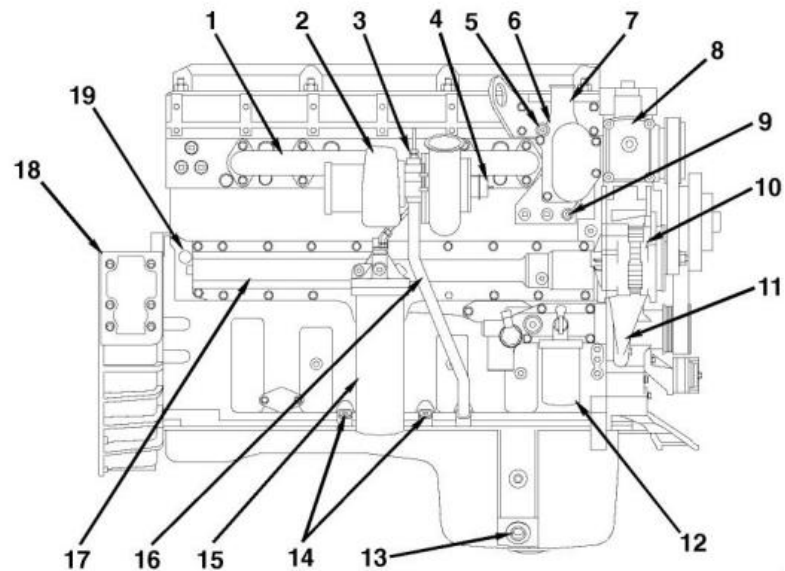
Figura 4. Lado de admisión.



Fuente: CUMMINS ENGINE COMPANY. Manual de operación y mantenimiento motores signature e ISX. Indiana, USA: La compañía, 2000.

1. Carcasa de engranes
2. Arnés del motor
3. Módulo de control electrónico (ECM)
4. Admisión de aire
5. Placa de datos del motor
6. Control de la compuerta de descarga
7. Motor de arranque
8. Filtro de combustible
9. Receptáculo de la bayoneta
10. Puerto del perno de sincronización del cigüeñal
11. Compresor de aire
12. Amortiguador del motor
13. Cubo del ventilador
14. Gobernador de aire inteligente

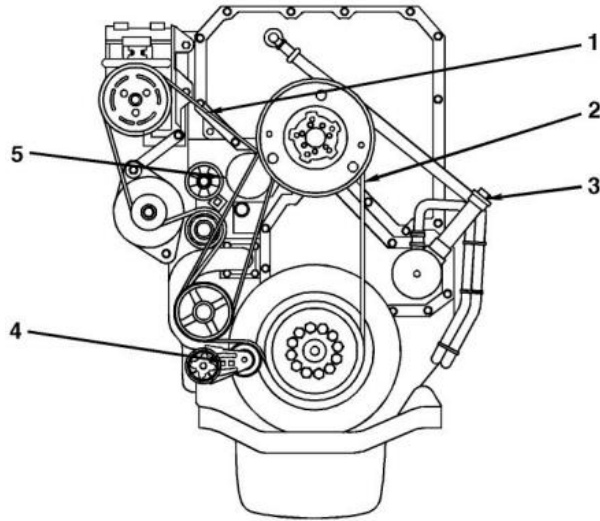
Figura 5. Lado del escape.



Fuente: CUMMINS ENGINE COMPANY. Manual de operación y mantenimiento motores signature e ISX. Indiana, USA: La compañía, 2000.

- |   |   |
|---|---|
| 1. Múltiple de escape                       | 10. Alternador                                  |
| 2. Turbo cargador                           | 11. Bomba de agua                               |
| 3. Entrada de aceite al turbocargador       | 12. Filtro de refrigerante                      |
| 4. Actuator de compuerta de descarga        | 13. Drenado de aceite                           |
| 5. Ventilación de la carcasa del termostato | 14. Receptáculo de la bayoneta                  |
| 6. Carcasa del termostato                   | 15. Filtro de aceite del turbocargador          |
| 7. Salida de refrigerante del motor         | 16. Drenado de aceite del turbocargador         |
| 8. Compresor de freón                       | 17. Ensamble del enfriador de aceite lubricante |
| 9. Sensor de temperatura de refrigerante    | 18. Cubierta del volante                        |
|   | 19. Número de serie del motor                   |

Figura 6. Lado frontal.



Fuente: CUMMINS ENGINE COMPANY. Manual de operación y mantenimiento motores signature e ISX. Indiana, USA: La compañía, 2000.

1. Banda del mando de accesorios.
2. Bomba del agua/banda impulsora del ventilador.
3. Llenado de aceite.
4. Bomba del agua/tensor de la banda impulsora del ventilador.
5. Tensor de la banda del mando de accesorio.

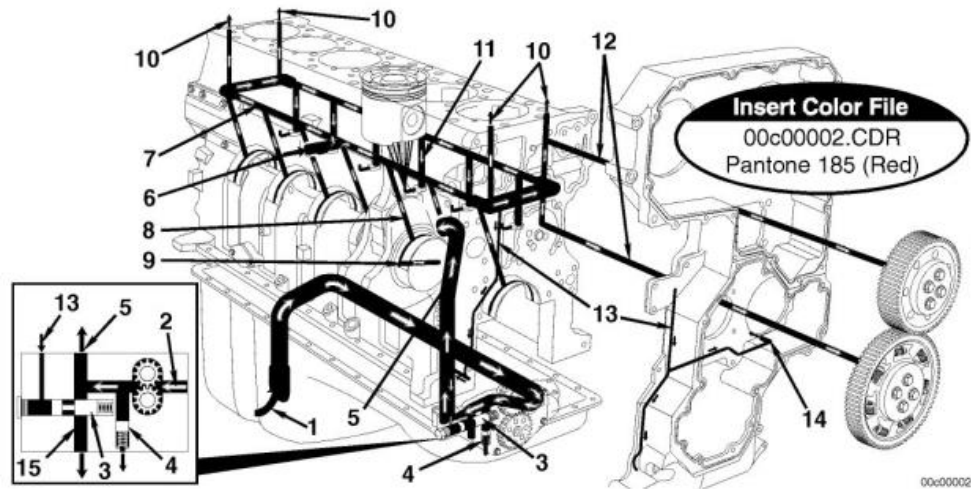
Ahora bien, de acuerdo con Pedro Albarracin Aguilon “El motor es el componente más importante de su vehículo y tiene una serie de elementos sometidos a fricción que incentivan el desgaste, el cual si no se controla puede dar lugar rápidamente a que el motor no funcione correctamente, sea costosa su operación y conlleve a su reparación antes de tiempo, implicando con esto el desembolso de grandes sumas de dinero, además de que no se puede disponer del vehículo”

Ya una vez visto y conocido las partes más importantes del motor, se puede focalizar en el sistema de lubricación, y todo el recorrido que este tiene dentro del motor.

**5.2.2 Sistema de lubricación.** De acuerdo con Pedro Albarracín Aguillón “La lubricación se define como la interposición entre dos superficies que se encuentran en movimiento relativo la una con respecto a la otra de una sustancia cualquiera conocida con el nombre de lubricante. Un buen lubricante debe disminuir al máximo el desgaste de las superficies lubricadas, el calor generado por fricción, el consumo de energía, el ruido, y el impacto negativo sobre el ambiente cuando finalmente se deseche, como resultado de su proceso de oxidación normal”.

De este modo vamos a analizar la dirección del flujo y conocer las partes más importantes que son lubricadas por el aceite, el primer lugar observaremos el flujo general que existe desde el Carter (lugar de almacenamiento del aceite), hasta el bloque donde se encuentran los pistones, bancada, los engranes locos, el compresor, cigüeñal. (Véase Figura 7), para observar el flujo de aceite por los balancines, cojinetes, inyectoros, válvulas de admisión y escape (véase Figura 8), para observar el flujo de aceite a través del enfriador de aceite, turbocargador, y filtro de aceite (véase Figura 9).

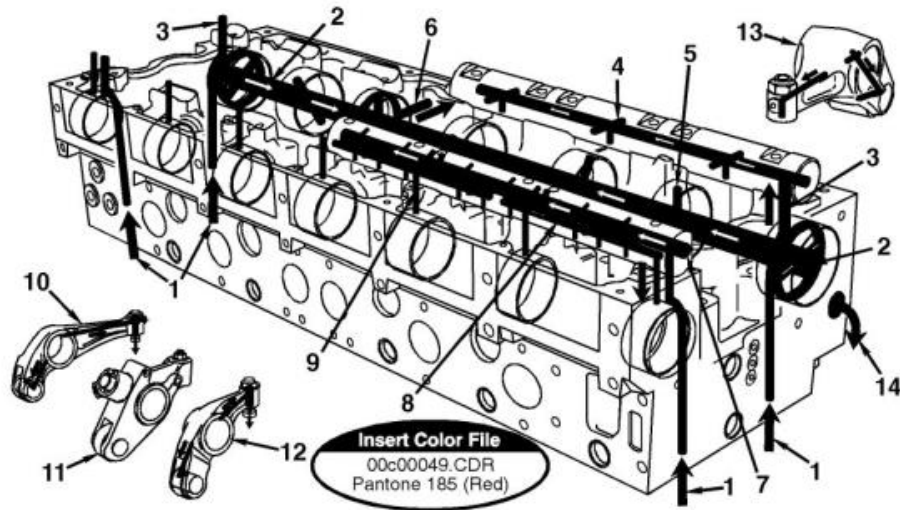
Figura 7. Diagrama del flujo de aceite lubricante 1.



Fuente: CUMMINS ENGINE COMPANY. Manual de operación y mantenimiento motores signature e ISX. Indiana, USA: La compañía, 2000.

1. Flujo de aceite lubricante del cárter de aceite a través del tubo de succión
2. Flujo del tubo de succión a la bomba de aceite
3. Regulador de presión
4. Válvula de alivio de alta presión
5. Flujo de la bomba de aceite del enfriador de aceite/carcasa del cabezal del filtro
6. Retorno de aceite del enfriador de aceite/carcasa del cabezal del filtro a la galería principal de aceite.
7. Galería principal de aceite
8. Flujo a la bancada
9. Flujo de la bancada a cigüeñal
10. Flujo de la cabeza de cilindro
11. Flujo a la boquilla de enfriamiento del pistón
12. Flujo a los engranes locos
13. Transferencia de aceite de la galería principal de aceite
14. Flujo al compresor de aire.

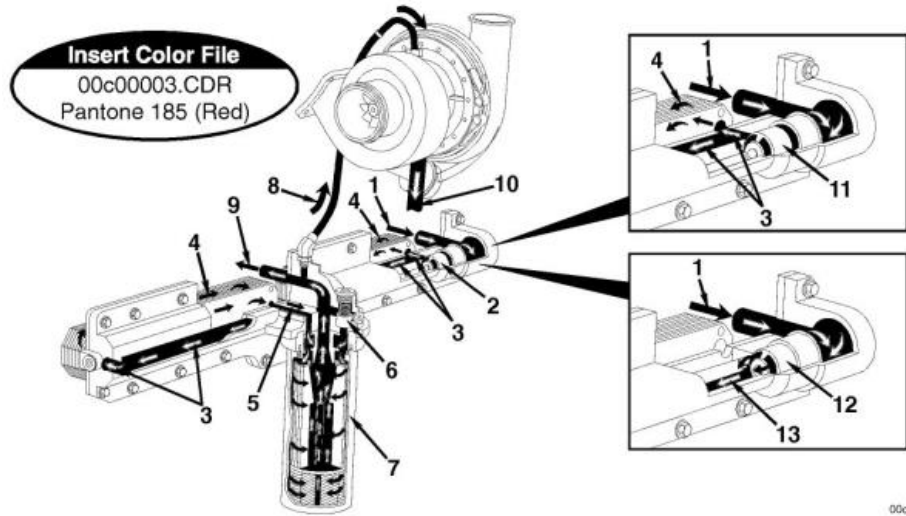
Figura 8. Diagrama del flujo de aceite lubricante 2.



Fuente: CUMMINS ENGINE COMPANY. Manual de operación y mantenimiento motores signature e ISX. Indiana, USA: La compañía, 2000.

1. Flujo de aceite lubricante del block de cilindros a la cabeza de cilindros
2. Flujo alrededor de la cabeza ranurada al árbol de levas taladrado y ejes de balancín
3. Flujo a los ejes de balancín del inyector
4. Flujo a los balancines del inyector
5. Flujo a los cojinetes de muñón de árbol de levas
6. Flujo a la bomba de combustible
7. Flujo al eje de balancín de válvula
8. Flujo a los balancines de válvula
9. Flujo a los cojinetes de muñón de árbol de levas de válvulas
10. Balancín de la válvula de admisión
11. Balancín del freno del motor
12. Balancín de la válvula de escape
13. Balancín del inyector
14. Drenado de aceite de la parte superior

Figura 9. Diagrama del flujo de aceite lubricante 3.



Fuente: CUMMINS ENGINE COMPANY. Manual de operación y mantenimiento motores signature e ISX. Indiana, USA: La compañía, 2000.

1. Flujo de aceite lubricante de la bomba de aceite
2. Termostato
3. Flujo de derivación del enfriador de aceite
4. Flujo a través de los enfriadores de aceite
5. Retorno de flujo al cabezal del filtro
6. Válvula de derivación del filtro
7. Filtro de aceite
8. Flujo al turbocargador
9. Flujo a la galería principal de aceite
10. Drenado de aceite del turbocargador
11. Termostato abierto – el aceite fluye a través de enfriadores de aceite
12. Termostato cerrado – el aceite fluye directamente al filtro de aceite
13. Flujo al filtro de aceite

Con este análisis se sabe cuáles elementos están expuestos a un deterioro o falla por contaminación del aceite lubricante son:

- Bomba de engranes
- Enfriador de aceite
- Cigüeñal
- Cilindros
- Pistones
- Engranes locos
- Compresor
- Bancada
- Válvulas de escape y admisión
- Arbor de levas
- Balancines
- Cojinetes del árbol de levas
- Filtro de aceite
- Turbocargador

Determinando la causa de falla por medio de un análisis de aceite se puede mitigar el deterioro de estos. Entonces, lo que se quiere lograr con este estudio es alargar la vida útil de estos componentes y por consiguiente la vida útil del motor.

### **5.3 LUBRICANTE**

Los lubricantes aparecen de diferentes maneras, en forma de fluido, grasa o sólida, dependiendo de los requerimientos de la aplicación. Los lubricantes pueden proporcionar algunos o todos los siguientes beneficios:

- Reducción de fricción y desgaste: Los lubricantes reducen fricción por medio de la separación de las superficies en movimiento con una película de fluido que transporta la carga.
- Control de contaminación: Los lubricantes sirven para aislar los componentes de las máquinas del medio ambiente, deteniendo o haciendo más lento el ingreso de contaminantes como partículas, agua y químicos. De igual manera, los lubricantes fluidos recogen los contaminantes y los transportan al tanque o depósito, en donde pueden asentarse por gravedad o los conducen a un filtro o separador en donde son removidos.
- Control de temperatura: Los lubricantes fluidos absorben el calor en el punto en que este se genera de tal forma que pueda disiparse naturalmente, o ser removido por un intercambiador de calor u otro sistema de enfriamiento.
- Prevenir ataque químico: Al formar una capa protectora sobre la superficie de los componentes, los lubricantes proporcionan protección contra la corrosión.
- Transmitir energía: En sistemas hidráulicos, el fluido es el medio por el cual la energía se transmite para hacer actuar los cilindros, válvulas, motores, etc.

**5.3.1 Tipos de lubricantes.** El fluido o lubricante ideal deberá ser lo suficientemente viscoso para mantener las superficies apartadas, permanecer estable bajo los cambios de temperatura, mantener limpias las superficies lubricadas, no permitir la formación de residuos gomosos, no permitir la formación de lodos y no deberá ser corrosivo.

Los aceites lubricantes están constituidos por una base lubricante la cual provee las características lubricantes primarias. La base lubricante puede ser base lubricante mineral (proveniente del petróleo crudo), base lubricante sintético o aceite base lubricante vegetal y animal según la aplicación que se le va a dar al aceite.<sup>6</sup>

- Aceite vegetal: Estos aceites se adhieren a las superficies por lubricar un poco mejor que los aceites minerales, pero desgraciadamente ocurren cambios químicos cuando existe un sobrecalentamiento, se queman y generan una goma semejante al barniz, siendo por lo tanto inaceptables para lubricación de motores.
- Aceite mineral: El aceite mineral es una mezcla de cientos de hidrocarburos diferentes, teniendo cada uno de ellos propiedades individuales. Únicamente ciertos hidrocarburos son aceptables como constituyentes de los aceites lubricantes. Después de un refinamiento adecuado para eliminar constituyentes indeseables, el lubricante puede ser clasificado generalmente como nafténico o parafínico. Cada clase tiene sus ventajas individuales y por lo tanto una es más aceptada que la otra para ciertas condiciones de funcionamiento. Los lubricantes de bases nafténicas se evaporan en una forma muy limpia de las paredes del cilindro y del área de los anillos después de haber lubricado el motor, dejan solamente una

---

<sup>6</sup> TEXACO INC. Operación de motores diesel de dos combustibles y de gas. Edición, New York, USA: La compañía, 1960. p. 32.

pequeña cantidad de carbón, evitándose de este modo el atascamiento de los anillos. Los lubricantes de base parafínica no se espesan tanto como los otros a bajas temperaturas si se han refinado apropiadamente, siendo más aceptables para motores que tienen que efectuar el arranque en tiempo frío.

- **Aceite sintético:** Las bases lubricantes sintéticas son fabricadas por procesos especiales (distintos a la refinación) para realizar funciones específicas, lo cual les otorga una mayor uniformidad en sus propiedades. Estos aceites son la solución para trabajos en condiciones extremas (temperaturas muy altas o muy bajas). Las principales ventajas del uso de bases sintéticas comparadas con las bases minerales son: amplio rango de temperaturas de operación, mayor resistencia a la oxidación, ahorro de energía, mantenimiento con menor frecuencia, menor uso de aditivos y más fácil degradación.

**5.3.2 Propiedades de los lubricantes.** Los lubricantes varían de manera significativa de un producto a otro. Algunas de las pruebas usadas comúnmente para describir las propiedades de los aceites básicos (véase Figura 10). Las propiedades del aceite básico de un lubricante, determinan por mucho el desempeño operacional del fluido o grasa lubricante resultante.

Tabla 2. Propiedades del lubricante.

Propiedades	Porque es importante	Como se determina	ASTM No.
Viscosidad	Define el grado de viscosidad del aceite	Viscosímetro de flujo capilar por gravedad	D445
Índice de Viscosidad	Define la relación entre la temperatura y la	Variación indexada de la viscosidad entre 40°C y	D2270

	viscosidad	100°C	
Densidad relativa	Define la densidad del aceite con relación al agua	Hidrómetro	D1298
Punto de inflamación	Define propiedades de volatilidad a altas temperaturas	Probador de punto de flama, temperatura a la que se obtiene una chispa de llama en la superficie	D92/D93
Punto de fluidez	Define el comportamiento del aceite a bajas temperaturas	Flujo por gravedad en un contenedor de prueba, temperatura a la que se alcanzan 22000 cSt aprox.	D97/IP15

Fuente: TROYER, Drew y FITCH, Jim. Oil analysis. Tulsa, USA: Noria Corporation, 2004. 148 p.

Uno de los motivos por lo que los lubricantes cumplen tan bien sus tareas son por el uso de los aditivos. Estos son químicos que se añaden al aceite básico para alterar una o más de las propiedades de desempeño. En general, se puede decir que los aditivos son usados para:

- Mejorar las propiedades existentes del aceite básico.
- Suprimir propiedades indeseables del aceite básico.
- Impartir nuevas propiedades al aceite básico.

A continuación, revisamos los aditivos más comunes y sus funciones.

**Antioxidantes/inhibidores de oxidación:** Los aceites lubricantes reaccionan con el oxígeno, especialmente en altas temperaturas, formando hidroperóxidos,

radicales libres, acetonas, aldehídos y ácidos orgánicos. La velocidad con la que ocurre este proceso llamado oxidación, estas reacciones cambian las propiedades físico químicas del aceite como; Incremento de viscosidad, Incremento de acidez, Incremento de densidad relativa, Oscurecimiento, Barniz en las superficies de los componentes, Acumulación de lodos. Y esto depende de los siguientes factores:

- Aereación: Afecta la cantidad de oxígeno disponible para reaccionar con las moléculas de aceite
- Temperatura: La tasa de oxidación es aproximadamente el doble cada vez que la temperatura se incrementa en 10°C
- Agua: Provoca hidrólisis y promueve la oxidación
- Catalizadores metálicos: Cobre, plomo, hierro y otros metales químicamente activos promueven la oxidación del aceite.

**Inhibidores de corrosión:** El agua afecta adversamente tanto al aceite como a la superficie de la máquina. Los aditivos forman una película de protección que repele al agua de las superficies de hierro o acero. Al separar el agua de la superficie del componente se inhibe el proceso de herrumbre. Los siguientes son aditivos inhibidores de corrosión comunes:

- Sulfonatos
- Fosfatos
- Ácidos orgánicos

**Dispersantes y Detergentes:** Los dispersantes son moléculas polares que envuelven el lodo y partículas de hollín para inhibir su aglomeración y evitar que se depositen en la superficie del componente, especialmente en las zonas más frías de los motores (cárter, cubierta de cabezas, etc.). Los detergentes ayudan a mantener limpias las superficies de alta temperatura (pistones, anillos, válvulas, etc.) de depósitos que se forman por subproductos de la combustión. Los compuestos comunes de aditivos dispersantes y detergentes incluyen:

- Succiniamidas
- Sulfonatos de bario y calcio
- Fenatos
- Detergentes poliméricos
- Compuestos de aminas

**Aditivos Anti-desgaste y Extrema Presión:** Los aditivos anti desgaste y extrema presión protegen a los componentes lubricados. También son conocidos como aditivos anti rayado. Bajo condiciones de alta presión, estos aditivos químicamente activos reaccionan con la superficie de los componentes formando una película suave, parecida a un jabón metálico que ofrece mejor lubricidad en contacto límite entre las superficies. Los aditivos Anti desgaste y Extrema Presión más comunes incluyen:

- Dialquil dtiofosfato de Zinc (Anti-desgaste)
- Tricresil fosfato (Anti-desgaste)
- Azufre-fósforo (Extrema Presión)

**5.3.3 Lubricante uno forza 15w-40.** El aceite lubricante que se utiliza en los tractocamiones de la empresa Multiservicios San Martín S.A.S, es el aceite UNO FORZA 15W-40 API CI-4. El cual cumple con las especificaciones técnicas que requiere el motor cummins ISX.

Es un aceite lubricante de alta calidad para motores diesel fabricado exclusivamente con aceites básicos parafínicos grupo II importados y un paquete balanceado de aditivos de gran estabilidad química. Fórmula diseñada para proporcionar un alto nivel de desempeño.

Este aceite cuenta con las siguientes propiedades, cabe resaltar que las características típicas son valores promedios, son normales algunas variaciones, pero éstas no afectan la calidad y el desempeño del producto (véase Tabla 3).

Tabla 3. Propiedades del lubricante UNO 15W40.

<b>Grado de viscosidad SAE</b>	<b>15W40</b>	
<b>Apariencia visual</b>	Claro y brillante	
<b>Viscosidad a 100°C, cSt</b>	ASTM D-445	15
<b>Viscosidad a 40°C, cSt</b>	ASTM D-445	113
<b>Índice de viscosidad</b>	ASTM D-2270	138
<b>TBN, mg KOH/g</b>	ASTM D-2896	10
<b>Cenizas sulfatadas, % peso</b>	ASTM D-874	1,0
<b>Punto de inflamación, °C</b>	ASTM D-92	240
<b>Punto de fluidez, °C</b>	ASTM D-97	-35
<b>Color visual</b>	Rojo	

## 5.4 ANÁLISIS DE ACEITE

**5.4.1 tipos de análisis.** El análisis de aceite es una estrategia del mantenimiento proactivo y predictivo ampliamente utilizada y de grandes beneficios económicos, en él se evalúan las propiedades físicas, químicas o de lubricación, para el control de calidad, y clasificación de desempeño de productos. Nos permite ver la contaminación o partículas de desgaste. Esta práctica requiere la disponibilidad de una cantidad suficiente de información específica de la máquina y la aplicación para obtener esas valiosas conclusiones.

De esta manera el análisis de aceite proporciona avisos muy tempranos de estos acontecimientos y amplía el tiempo de planeación y el número de opciones con las cuales corregir el problema. Y si éste es solucionado facilitar la justificación financiera de proyectos, al identificar la tendencia del desempeño para reconocer las mejoras en la productividad resultantes de la administración efectiva de lubricación y/o análisis de aceite. Normalmente se realizan regularmente un pequeño número de pruebas para soportar decisiones importantes acerca de la máquina y del lubricante.

Existen tres categorías importantes del análisis de aceite:

- Análisis de las propiedades de los fluidos (la salud del lubricante): Esta categoría del análisis de aceite trata de la evaluación de las propiedades físicas, químicas y de los aditivos del aceite.
- Análisis de contaminación (la contaminación del lubricante): Los contaminantes son materia externa que se introduce al sistema desde el medio ambiente o es generada internamente. La contaminación compromete la confiabilidad de la máquina y promueve la falla del lubricante. El análisis de aceite asegura que las acciones encaminadas al cumplimiento de la meta de control de contaminación se mantengan
- Análisis de partículas de desgaste (el desgaste de la maquinaria): Cuando los componentes se desgastan, generan partículas. El monitoreo y análisis de las partículas generadas permite a los técnicos detectar y evaluar condiciones anormales para que se puedan hacer e implementar decisiones de mantenimiento efectivas para controlar el desgaste.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> CAMPO, Oscar; ORDOSGOITIA, Jorge y PROTTO, Ermenson. Sistema de gestión de mantenimiento proactivo para tren de potencia en equipos mineros de Cerromatoso S.A. [En línea]. Monografía Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga:

Las pruebas de análisis de aceite más comunes y los beneficios relacionados con sus tres categorías. (Véase Tabla 4).

Tabla 4. Beneficios de las categorías del análisis de aceite.

	Lo que se analiza		
	Propiedades del fluido	Contaminación	Partículas de desgaste
<b>Pruebas posibles</b>	Propiedades Físicas y químicas del aceite usado (proceso de envejecimiento).	Contaminantes destructivos de la máquina y el lubricante.	Presencia e identificación de partículas de desgaste.
Conteo de partículas			
Análisis de humedad			
Análisis de viscosidad			
Densidad ferrosa			
Ferrografía analítica			
TAN/TBN			
Infrarrojo (FTIR)			
Prueba de membrana			
Punto de inflamación			
Análisis de elementos			
Tipo de mantenimiento	Mantto proactivo	Mantto proactivo	Mantto predictivo
Tipo de beneficio	Máximo beneficio	Mínimo beneficio	No hay beneficio

Fuente: TROYER, Drew y FITCH, Jim. Oil analysis. Tulsa, USA: Noria Corporation, 2004. 148 p.

---

Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento, 2009. p. 51. [Consultado el: 11 de mayo de 2017]. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2009/129422.pdf>

- **Conteo de partículas:** el método de conteo de partículas proporciona la cantidad de partículas que hay en el aceite en un rango específico de tamaños por volumen de fluido (usualmente por ml o 100 ml). La concentración de partículas y sus datos de distribución deben expresarse en términos de Códigos de niveles de contaminación sólida ISO 4406 (véase Figura 10).

Figura 10. Código de contaminación sólida.

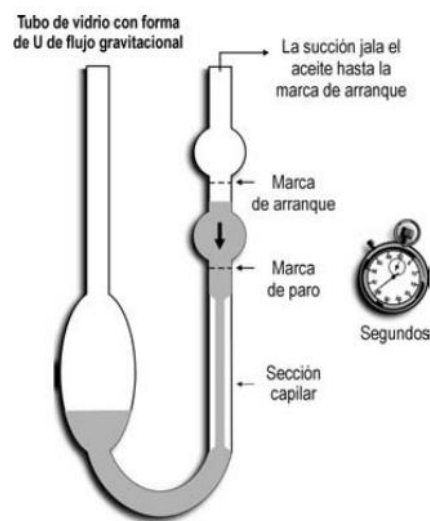
Número de partículas por ml		Número de Rango (R)
Mayores que	Hasta e inclusive	
80,000	160,000	24
40,000	80,000	23
20,000	40,000	22
10,000	20,000	21
5,000	10,000	20
2,500	5,000	19
1,300	2,500	18
640	1,300	17
320	640	16
160	320	15
80	160	14
40	80	13
20	40	12
10	20	11
5	10	10
2.5	5	9
1.3	2.5	8
0.64	1.3	7
0.32	0.64	6
0.16	0.32	5
0.08	0.16	4
0.04	0.08	3
0.02	0.04	2
0.01	0.02	1

Fuente: Norma ISO 4406:99

- **Viscosidad:** La viscosidad cinemática es la medida de la resistencia de un fluido a fluir bajo fuerzas gravitacionales. Se determina midiendo el tiempo en segundos, que requiere un nivel determinado de fluido para fluir una distancia conocida, bajo gravedad a través de un capilar de un viscosímetro calibrado, bajo una presión y temperatura controlada estrechamente (véase Figura 11).

La viscosidad afecta la operación del equipo, pérdidas por fricción y el espesor de la película de aceite en los cojinetes. Y es bien sabido que los cambios más modestos en la viscosidad pueden afectar adversamente el desempeño y estabilidad del lubricante causando posiblemente contacto metal-metal y desgaste.

Figura 11. Viscosímetro capilar.



Fuente: Norma ASTM D445-97

- Numero acido (AN): Aplicado a aceites industriales (no de motor), el número ácido es la medida de la concentración de ácidos del aceite. El resultado de la prueba de AN se expresa como el volumen (miligramos) de hidróxido de potasio (KOH) requerido para neutralizar todos los componentes ácidos en un gramo de muestra de aceite. La unidad reportada es mg. KOH/gr de aceite. Con el tiempo, este valor puede disminuir ligeramente según se agoten los aditivos. Según se oxida y envejece el aceite, se forman pequeñas cantidades de subproductos ácidos

en el aceite, provocando un incremento en el AN. El grado en que aumenta el AN por encima o por debajo de la línea de base del aceite nuevo es indicativo de hasta qué punto se ha degradado el aceite. Un AN alto comúnmente indica que la vida útil del aceite se ha agotado y la necesidad de cambiarlo. El AN por encima de 4.0 es considerado altamente corrosivo, atacando materiales de los cojinetes y otras superficies metálicas. Este riesgo aumenta en presencia de contaminación por agua reforzando el potencial corrosivo de los ácidos.

- Número Básico (BN): Aplicado principalmente a aceites de motor, el BN mide la reserva alcalina de un aceite. Los aceites de motor están equipados con aditivos que proporcionan reserva alcalina para neutralizar los ácidos generados durante la combustión. Una vez que esta reserva se agota, el aceite se puede tornar altamente corrosivo. En el caso de BN el aceite alcalino se neutraliza con ácido clorhídrico o ácido perclórico. Los resultados se reportan en mg KOH/gr de aceite.<sup>8</sup>
- Espectroscopía Infrarroja por Transformadas de Fourier (FTIR): Es un método que proporciona un medio rápido para monitorear múltiples parámetros del aceite simultáneamente. Para realizar esta prueba, se hace pasar una cantidad de espesor fijo de aceite al instrumento FTIR y se transmite energía infrarroja a través de la muestra de aceite. La energía infrarroja es absorbida en diferentes frecuencias por diferentes propiedades del aceite, sus aditivos y contaminantes. Se aplica una Transformada Rápida de Fourier (TRF) para crear un espectro de frecuencia de energía infrarroja atenuada, o energía infrarroja transmitida (método preferido).

---

<sup>8</sup> TROYER, Drew y FITCH, Jim. Oil analysis. Tulsa, USA: Noria Corporation, 2004. 148 p.

El espectro del aceite en uso se compara con la línea de base de un aceite nuevo idéntico para analizar los contaminantes como hollín, agua, glicol, combustible, solventes químicos, aditivos inhibidores de oxidación y anti desgaste, y degradación causada por nitración, oxidación y sulfatación. La espectroscopía infrarroja es única porque evalúa los componentes que constituyen la muestra de aceite a nivel molecular. Esta información es muy útil cuando se desea identificar la existencia de compuestos como aditivos y productos derivados de la oxidación. La contaminación por agua, hollín, glicol, aceites de relleno incorrectos y solventes químicos puede monitorearse usando FTIR. Por varias razones, muchos laboratorios no consideran los resultados de FTIR suficientemente concluyentes por sí mismos. Sin embargo, cuando se combina con muchas otras pruebas de rutina, el FTIR puede ofrecer invaluable información de apoyo relacionada con las propiedades de los fluidos y su contaminación.

- **Espectroscopía de Elementos:** Cuantifica la presencia de materiales inorgánicos disueltos y no disueltos por elemento. La mayoría de los espectrómetros usados en la actualidad para análisis de aceite son del tipo de emisión atómica. Esos instrumentos trabajan por la exposición de la muestra a temperaturas extremas generadas por un electrodo de alto voltaje o por plasma inductiva. El calor extremo volatiliza los átomos provocando que estos emitan energía en forma de luz. Cada elemento atómico emite luz a una frecuencia específica. El espectrómetro cuantifica la cantidad de luz generada a cada frecuencia y calcula la concentración de cada elemento (hierro, plomo, estaño, etc.) en partes por millón (ppm).

La mayoría de los espectrómetros reportan la concentración de 15 o más elementos. Los elementos reportados pueden proporcionar un indicador de incremento en la generación de desgaste, ingreso de contaminación o agotamiento de ciertos elementos aditivos (véase Figura 11). El aumento o

disminución en la concentración de elementos puede indicar un cambio en la generación de partículas de desgaste, el ingreso de contaminantes y la adición o agotamiento de aditivos.

Figura 12. Elementos de desgaste, contaminación y aditivos.

Elemento	Desgaste	Contaminación	Aditivo
Hierro (Fe)	X	X	
Cobre (Cu)	X	X	X
Cromo (Cr)	X		
Estaño (Sn)	X		
Aluminio (Al)	X	X	
Plomo (pb)	X		
Silicio (Si)		X	X
Sodio (Na)		X	X
Boro (Bo)		X	X
Calcio (Ca)		X	X
Magnesio (Mg)		X	X
Zinc (Zn)	X		X
Fósforo (P)		X	X
Molibdeno (Mo)			X
Potasio (K)		X	

Fuente: Norma ASTM D4951

Un aumento en la concentración de silicio, sodio, boro, calcio y magnesio señalan el ingreso de contaminación. Un aumento constante en silicio y aluminio comúnmente sugiere ingreso de tierra. Un aumento en la concentración de elementos tales como hierro, cobre, cromo, estaño, aluminio y plomo sugiere que está ocurriendo desgaste anormal. El calcio y magnesio con frecuencia están presentes cuando se ingiere agua dura debido a aspersión o fugas en los sistemas de enfriamiento. el zinc y el fósforo son aditivos anti-desgaste comunes; el azufre el fósforo y el molibdeno son componentes comunes de los aditivos de extrema presión; y

el calcio, el boro y el magnesio frecuentemente son componentes de detergentes básicos de aceites de motor.

- **Densidad Ferrosa:** Un incremento en la población de partículas ferrosas grandes ósea mayores a 5 micrones, sugiere la presencia de condiciones de desgaste anormal y debe servir como una advertencia de falla inminente. La gravedad de la condición de desgaste generalmente es proporcional al aumento en la tasa de generación de partículas grandes.
- **Ferrografía Analítica:** una prueba de diagnóstico por excepción. La ferrografía analítica implica el análisis de partículas de desgaste depositadas en un portaobjetos para hacer un ferrograma o en una membrana para analizar el filtrograma. El análisis de la morfología de la partícula, color, tamaño, capacidad de reflexión, apariencia de la superficie, detalle de los bordes, angulosidad, contenido de elementos y concentración relativa proporcionan al analista pistas acerca de la naturaleza, gravedad y causa raíz del problema de desgaste. El analista de desgaste reporta comúnmente la presencia de numerosas partículas de desgaste, polímeros de fricción, tierra y arena, fibras y otros sólidos contaminantes.
- **Contenido de Agua por Karl Fischer:** Karl Fischer reporta el contenido de agua como concentración en porcentaje o en partes por millón (ppm) del agua total en la muestra de aceite. En la prueba, el aceite es titulado con un reactivo Fischer estándar que contiene yodo a un punto final electrométrico. La exactitud de la prueba se ve afectada por la presencia de aditivos que contienen azufre como los agentes antidesgaste, inhibidores de corrosión y agentes anti rayado. El agua corroe el hierro y superficies de acero, acelera la corrosión, agota y degrada los aditivos, promueve la oxidación del aceite básico y reduce la efectividad del lubricante. Grandes cantidades de agua forman emulsiones persistentes que al unirse con productos de oxidación

insolubles forman lodo y pueden dañar de manera significativa la confiabilidad de la máquina. Además, el agua libre puede causar la formación de depósitos duros quebradizos en las superficies de los cojinetes y promover el desarrollo de bacterias.

- Prueba del Punto de Flama: El punto de flama identifica la presencia de moléculas volátiles del combustible y otros contaminantes inflamables. La prueba se realiza colocando el aceite en una copa colocada bajo una flama abierta. El aceite en la copa abierta se calienta gradualmente y se mide su temperatura. La temperatura a la que el fluido emite suficiente vapor mezclado con aire para producir una chispa en la superficie del aceite marca el final de la prueba. Muchos laboratorios simplemente realizan la prueba hasta una temperatura específica y reportan la información como pasa o no pasa. La dilución de combustible o química daña gravemente la efectividad del lubricante y puede causar fuego o riesgo de explosión.

En las siguientes tablas se mostrarán los componentes y su posible origen para saber cómo está el elemento de análisis (véase Tabla 5).

Tabla 5. Elementos y posibles fuentes.

	ELEMENTO	FUENTE
COMPONENTES MAQUINARIA	Aluminio (Al)	Pistones, Cojinetes, Bloques, Cáster, Bujes, Ventiladores, Cojinetes de empuje
	Cadmio (Cd)	Cojinetes de apoyo
	Cromo (Cr)	Segmentos, Cojinetes de rodillos/rodillos cónicos, Camisas, Válvulas de escape
	Cobre (Cu)	Bujes de bulón, Cojinetes, Bujes de leva, Enfriador de aceite, Bujes de tren de válvulas, Arandelas de empuje, Regulador, Bomba de aceite
	Hierro (Fe)	Cilindros, Bloque, Engranajes, Cigüeñal, Bulones, Segmentos, Árbol de levas, Tren de válvulas, Forros de bomba de aceite, Óxido
	Plomo (Pb)	Cojinetes
	Plata (Ag)	Cojinetes, Buje de bulón (EMD)
	Estaño (Sn)	Pistones, Revestimiento de cojinetes, Bujes
ELEMENTOS CONTAMINANTES	Boro (Br)	Refrigerante, Posible aditivo del aceite
	Cloro (Cl)	Contaminante del biogás
	Potasio (K)	Refrigerante
	Sodio (Na)	Refrigerante, Sal de la carretera, Aditivo
	Silicio (Si)	Suciedad, Polvo, Sellador, Aditivo, Desespumante de silicona Siloxano de gas combustible
PROBLEMAS EN EL LUBRICANTE	Vanadio (V)	Contaminación residual del combustible
	Bario (Ba)	Antidesgaste, Corrosión, Inhibidor, Detergente
	Calcio (Ca)	Antidesgaste, Corrosión, Inhibidor, Detergente, Dispersante, Inhibidor de la herrumbre, Antioxidante
	Magnesio (Mg)	Antidesgaste, Corrosión, Inhibidor, Detergente, Dispersante, Inhibidor de la herrumbre
	Molibdeno (Mo)	Antidesgaste, Antifricción
	Fósforo (P)	Antidesgaste, Corrosión, Inhibidor, Detergente, Extrema presión
COMPONENTES MAQUINARIA	Zinc (Zn)	Antioxidante, Antidesgaste, Inhibidor de la corrosión
	Aluminio (Al)	Bombas, Embrague, Arandelas de empuje, Bujes, Impulsor del convertidor de par
	Cromo (Cr)	Cojinetes de rodillos/rodillos cónicos
	Cobre (Cu)	Embragues, Discos de dirección, Bujes, Arandelas de empuje, Enfriador de aceite
	Hierro (Fe)	Engranajes, Discos, Carcasas, Cojinetes, Bandas de freno, Carretes del cambio, Bombas, Tomas de fuerza
	Plata (Ag)	Cojinetes
ELEMENTOS CONTAMINANTES	Boro (Br)	Refrigerante, Posible aditivo del aceite
	Cloro (Cl)	Contaminante del biogás
	Potasio (K)	Refrigerante
	Sodio (Na)	Refrigerante, Sal de la carretera, Aditivo
	Silicio (Si)	Suciedad, Polvo, Sellador, Aditivo, Desespumante de silicona Siloxano de gas combustible
PROBLEMAS	Vanadio (V)	Contaminación residual del combustible
	Bario (Ba)	Antidesgaste, Corrosión, Inhibidor, Detergente
	Calcio (Ca)	Antidesgaste, Corrosión, Inhibidor, Detergente, Dispersante, Inhibidor de la herrumbre, Antioxidante
	Magnesio (Mg)	Antidesgaste, Corrosión, Inhibidor, Detergente, Dispersante, Inhibidor de la herrumbre
	Molibdeno (Mo)	Antidesgaste, Antifricción
	Fósforo (P)	Antidesgaste, Corrosión, Inhibidor, Detergente, Extrema presión
Zinc (Zn)	Antioxidante, Antidesgaste, Inhibidor de la corrosión	

Fuente: EXXON MOBIL CORPORATION. Análisis Signum de aceite. Bélgica: La Compañía, 2008. 20 p.

La selección de pruebas que se realizaran a el motor cummins ISX son las siguientes (véase Tabla 6):

Tabla 6. Prueba a realizar para el motor Cummins ISX.

<b>Prueba o procedimiento</b>
<b>Conteo de partículas</b>
<b>Viscosidad a 100°C</b>
<b>TBN o BN</b>
<b>FTIR</b>
<b>Punto de flama</b>
<b>Prueba ASTM – Glicol</b>
<b>Densidad ferrosa</b>
<b>Ferrografia analítica</b>
<b>Contenido de agua</b>
<b>Análisis de elementos</b>

La determinación de residuos en aceite usado es un método de diagnóstico clave practicado en programas de monitoreo de condición de máquina. La presencia o aumento de la concentración de metales específicos de desgaste puede ser indicativa de las primeras etapas de desgaste si hay datos de concentración basal para comparación. Un aumento marcado en los elementos contaminantes puede ser indicativo de materiales extraños en los lubricantes, tales como anticongelante o arena, que pueden conducir al desgaste o la degradación del lubricante. El método de ensayo identifica los metales y su concentración de manera que se pueden establecer tendencias relativas al tiempo o la distancia y se pueden tomar medidas correctivas antes de un fallo más grave o catastrófico.

## 6. MARCO LEGAL

**ASTM D-7279 Viscosidad:** Este método de ensayo cubre la medición de la viscosidad cinemática de los líquidos transparentes y opacos; Tales como aceites de base, aceites formulados, aceite diesel, biodiesel, mezclas de biodiesel, fuelóleos residuales, combustibles marinos y aceites lubricantes usados usando un viscosímetro Houillon en modo automatizado.

**ASTM D-6595 Espectrometría:** Este método de ensayo cubre la determinación de metales de desgaste y contaminantes en aceites lubricantes usados y fluidos hidráulicos utilizados mediante la rotación de electrodo de disco espectroscopia de emisión atómica. Este método de ensayo proporciona una indicación rápida de desgaste anormal y la presencia de contaminación en lubricantes nuevos o usados y fluidos hidráulicos.

**ASTM D-95 Determinación de contenido de agua:** La presencia de agua Puede indicar problemas vinculados al agua de refrigeración, condensación, etc.

**ASTM E-2412 FTIR:** Práctica estándar para el monitoreo de la condición de lubricantes usados por análisis de tendencias usando espectrometría infrarroja por transformación de Fourier (FTIR) la cual abarca el monitoreo del agotamiento de aditivos, la acumulación de contaminantes y la degradación del stock base en lubricantes de maquinaria, fluidos hidráulicos y otros fluidos utilizados en el funcionamiento normal de la maquinaria. Los contaminantes monitoreados incluyen agua, hollín, etilenglicol, combustibles y aceite incorrecto. La oxidación, nitración y sulfonación de las reservas de base se controlan como evidencia de degradación. El objetivo de esta actividad de monitoreo es diagnosticar la condición operativa de la máquina en base a las condiciones de falla observadas en el aceite.

**ASTM D-5185 Análisis Espectrométrico:** El análisis Espectrométrico nos da un informe cuantitativo de los elementos presentes en el aceite. Los elementos se pueden dividir en tres categorías; metales de desgaste, contaminantes y aditivos. El ICP permite al analista determinar cuando existe presencia de contaminantes ambientales y del proceso o cuando se ha producido un relleno de aceite incorrecto. Tiene la limitación del tamaño de partículas <5-8 micras

**ASTM D-2896 Determinación del TBN:** Mide la capacidad residual de aditivos básicos del lubricante que protegen al equipo de la corrosión.

**ASTM D-664 Índice de Acidez:** El índice de acidez (TAN) mide la presencia de los productos ácidos presentes en el aceite. El nivel de acidez tolerable antes de que ocurra el fallo varía según el aceite y la aplicación. Un TAN alto se corresponde con un aumento del desgaste y puede ser señal de un proceso de oxidación o degradación térmica.

**ASTM D-1121 Reserva Alcalina:** La reserva alcalina se utiliza en los aceites hidráulicos resistentes al fuego y es el complemento al TAN. Se trata de determinar a través de una titración, la reserva de aditivos alcalinos que conserva los fluidos de base agua-glicol

## 7. METODOLOGÍA

La propuesta planteada está enfocada en la implementación de una metodología basada en el mantenimiento proactivo, con lo cual se pretende disminuir los costos del mantenimiento y aumentar la productividad prolongando la vida útil de la flota de la empresa.

Esta metodología se desarrolla a partir de una serie de procesos que permita determinar cuáles son las consideraciones de mantenimiento a tener en cuenta para que los equipos mantengan su funcionalidad en operación.

### 7.1 ETAPAS DE LA METODOLOGÍA

La metodología está basada en forma general por tres etapas fundamentales que integran acciones para desarrollar y analizar la funcionalidad de operación de los equipos.

**7.1.1 Primera etapa: diagnóstico.** La primera etapa es el diagnóstico el cual consiste inicialmente en Indagar cómo se realiza la ejecución y análisis del mantenimiento en la empresa, este fue realizado como etapa inicial del proyecto, determinando las ventajas a fortalecer en cuanto a la confiabilidad de operación y las desventajas de operación y costos a superar.

**7.1.2. Segunda etapa: planeación.** La segunda etapa consecutiva corresponde a la planeación la cual consiste seleccionar una muestra de vehículos objeto de estudio, establecer las actividades y métodos a realizar e implementar para mejorar las condiciones del mantenimiento de la empresa de forma organizada y efectiva, de tal manera que se pueda implementar de manera confiable en todas las flotas de la empresa.

**7.1.3 Tercera etapa: ejecución.** La tercera etapa hace referencia a la ejecución de la metodología propuesta, la cual consiste en la aplicación del aceite al tractocamión que represente la flota de acuerdo a sus características (muestra), seguidamente se realiza el seguimiento al aceite el cual consiste en la toma y análisis de muestras a un determinado kilometraje y finalmente se realiza un análisis de resultados obtenidos que permitirán evaluar las acciones ejecutadas y así determinar un proceso o programa de mantenimiento organizado y eficiente aplicable a la empresa.

Figura 13. Etapas de la metodología.

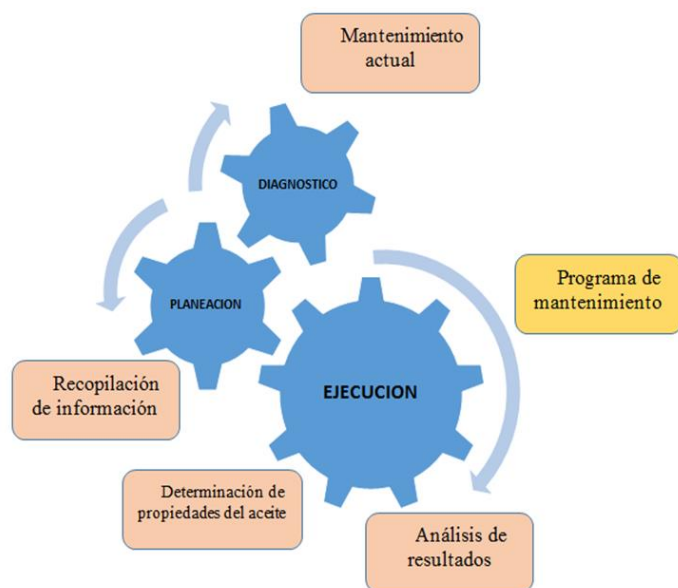


Tabla 7. Etapas de la metodología.

ETAPAS		DIAGNOSTICO	ACTIVIDADES	
PLANEAION		EJECUCION		
Recopilar la informacion de la empresa Multiservicios San Martin S.A.S y su forma de operacion.	recopilar la informacion del tipo de lubricante usado en los tractocamiones de la empresa Multiservicios San Martin S.A.S	Elaborar el diagnóstico del estado actual del mantenimiento empleado por la empresa Multiservicios San Martin S.A.S		
Evaluar las alternativas a emplear para la evaluación del aceite en relación con el kilometraje recorrido en base al diagnóstico establecido sobre el mantenimiento usado actualmente en la empresa Multiservicios San Martin S.A.S	Determinar un vehículo (tractocamion) como muestra para realizar los análisis de aceite.	Diseñar la estrategia de mantenimiento a emplear para lograr el desarrollo exitoso del proyecto.		
realizar la toma de muestras del aceite del vehículo (tractocamion) de acuerdo con el kilometraje establecido(3.000KM)	determinar las propiedades del aceite tomado de acuerdo al kilometraje recorrido mediante análisis de laboratorio	Procesar y analizar los resultados obtenidos en los diferentes ensayos de laboratorio realizados para determinar el kilometraje óptimo de cambio de aceite.	Documentar la información referente a los vehículos de la empresa Multiservicios San Martin S.A.S para la creación de matrices.	Proponer un programa de mantenimiento proactivo basado en análisis de aceite mediante el uso de matrices aplicable a la empresa Multiservicios San Martin S.A.S

## 7.2 MÉTODOS

El mantenimiento a emplear en las flotas de la empresa Multiservicios San Martín S.A.S es el mantenimiento proactivo, el cual consiste en realizar la toma de un tractocamión como muestra para realizar los análisis de aceite, basándose en el cálculo de la muestra.

El cálculo del tamaño de la muestra es uno de los aspectos a concretar en las fases previas de la investigación y determina el grado de credibilidad que concederemos a los resultados obtenidos.

Una fórmula muy extendida que orienta sobre el cálculo del tamaño de la muestra para datos globales es la siguiente:

$$n = \frac{k^2 * p * q * N}{e^2 * (N - 1) + k^2 * p * q}$$

**N:** es el tamaño de la población.

**k:** es una constante que depende del nivel de confianza que asignemos. El nivel de confianza indica la probabilidad de que los resultados de nuestra investigación sean ciertos: un 95,5 % de confianza es lo mismo que decir que nos podemos equivocar con una probabilidad del 4,5%. Los valores k más utilizados y sus niveles de confianza son:

Para un k de 1,15 su nivel de confianza es 75%

Para un k de 1,28 su nivel de confianza es 80%

Para un k de 1,44 su nivel de confianza es 85%

Para un k de 1,65 su nivel de confianza es 90%

Para un k de 1,96 su nivel de confianza es 95%

Para un k de 2 su nivel de confianza es 95.5%

Para un k de 2,58 su nivel de confianza es 99%

**e**: es el error muestral deseado. El error muestral es la diferencia que puede haber entre el resultado que obtenemos preguntando a una muestra de la población y el que obtendríamos si preguntáramos al total de ella.

**p**: probabilidad a favor, es la proporción de individuos que poseen en la población la característica de estudio.

**q**: probabilidad en contra, es decir, 1-p.

**n**: es el tamaño de la muestra.

$$n = \frac{1,28^2 * 0,9 * 0,1 * 13}{0,3^2 * (13 - 1) + 1,28^2 * 0,9 * 0,1}$$

$$n = 1,5 \approx 1$$

Se realizarán la toma de muestras es decir de un tractocamión de tal manera que se pueda monitorear el estado de las propiedades del aceite a media que el kilometraje aumenta, se realizarán los análisis de aceite como se registra en la tabla 8, (relación número de muestra y kilometraje recorrido).

Tabla 8. Relación número de muestra y kilometraje recorrido.

NUMERO DE MUESTRA	KILOMETRAJE RECORRIDO
N°1	0
N°2	3.000
N°3	6.000
N°4	9.000
N°5	12.000
N°6	15.000
N°7	18.000

Se estima realizar el análisis de 7 muestras de aceite cada 3000 kilómetros recorridos por el método del aceite que incluye pruebas de:

- Espectroscopia de Metales: Hierro, Cobre, Plomo, Aluminio, Cromo, Estaño, Calcio, Sodio y Silicio.
- Medida de contenido de hollín
- Medida de Viscosidad cinemática (ASTM D-7279)
- Contenido de Agua (ASTM D-95)
- Medición del TBN (ASTM D-2896)

- Dilución por combustible
- Dilución por Glicol

De acuerdo a los resultados obtenidos mediante la ejecución de estas pruebas se evaluará mediante la realización e interpretación de graficas las variaciones de las propiedades del aceite con relación al kilometraje recorrido por el vehículo.

Una vez analizados los resultados obtenidos se determinará el kilometraje óptimo para realizar el cambio de aceite antes de que ocurra la falla en el motor y finalmente se realizará una propuesta de programa de mantenimiento aplicada a la empresa Multiservicios San Martin S.A.S, con el fin de mejorar las condiciones actuales del mantenimiento empleado y brindar a la empresa una herramienta confiable que disminuya los costos de operación.

## 8. DIAGNÓSTICO INICIAL

La empresa multiservicios cuenta con un sistema de mantenimiento no muy estructurado en cuanto al seguimiento del mantenimiento preventivo como lo es el cambio de aceite de su flota de tractocamiones, ya que realizan los cambios de aceites con una periodicidad dependiente del kilometraje recorrido que es de 12.000 Km, dicha estimación de kilometraje para cambio de aceite se realiza en forma estimada, y no con criterio propio que puede dar una herramienta tecnológica como lo es el análisis de aceite y poder concluir datos reales y no asumidos.

Adicionalmente no se cuenta con una organización o programación para realizar los cambios de aceite con lo cual se puede presentar variaciones en el kilometraje estimado para cambio “oportuno” del lubricante.

A continuación, se realiza una evaluación general de mantenimiento a la empresa Multiservicios San Martin S.A.S

Tabla 9. Diagnóstico de la empresa Multiservicios San Martin S.A.S.

ACTIVIDAD	DESCRIPCION	CUMPLIMIENTO	
		SI	NO
programa de mantenimiento	La empresa Multiservicios San Martin S.A.S cuenta con un programa de mantenimiento preventivo y correctivo de los vehículos	X	
Gestión y Estrategia del Mantenimiento	La empresa Multiservicios San Martin S.A.S gestiona planes de mantenimiento preventivos (cambios de aceite) técnicos y efectivos como procesos de mejora		X

Desarrollo de planes y ejecución del Mantenimiento y Monitoreo de Condiciones.	La empresa Multiservicios San Martin S.A.S ejecuta planes de mantenimiento en base al programa establecido y realiza monitoreo basado en las condiciones.		<b>X</b>
seguimiento del mantenimiento	La empresa Multiservicios San Martin S.A.S tiene bitácoras de mantenimiento, como lo es el historial de los mantenimiento correctivos y preventivos	<b>X</b>	
inspecciones	La empresa Multiservicios San Martin S.A.S realiza inspecciones pre operacionales y mensuales en temas mecánicos del vehículo	<b>X</b>	
Fichas técnicas de vehículos	La empresa Multiservicios San Martin S.A.S cuenta con las fichas técnicas que describen los componentes de los equipos y manuales de operación.	<b>X</b>	
Inventario de repuesto	La empresa Multiservicios San Martin S.A.S tiene inventario de repuestos organizado e identificado para uso del mantenimiento correctivo y preventivos de los vehículos.	<b>X</b>	
Control de rendimiento de combustible	La empresa Multiservicios San Martin S.A.S registra y evalúa el rendimiento del combustible en kilómetros por galón.	<b>X</b>	
Recursos Humanos involucrados en el Mantenimiento, (cambios de aceite).	La empresa Multiservicios San Martin S.A.S tiene a su disposición personal técnicamente calificado para realizar procesos de mantenimiento preventivo (cambios de aceite)		<b>X</b>
Tecnologías utilizadas en el Mantenimiento Predictivo. Para uso proactivo	La empresa Multiservicios San Martin S.A.S incorpora herramientas tecnológicas en los procesos de mantenimientos como lo son análisis de aceite, vibraciones, termografía, etc.		<b>X</b>

## **9. MUESTREO**

El éxito del análisis de aceite comienza con un muestro apropiado, por ello es que una buena práctica de muestreo tiene tres objetivos que son; maximizar la densidad de la información, minimizar la distorsión de la información, y frecuencia correcta. Para esto es importante tener en cuenta unas consideraciones del muestreo tales como; localización del puerto de muestreo, procedimiento del muestro, equipo para tomar la muestra, y la botella de muestra.

### **9.1 INFORMACIÓN RELEVANTE PARA BUENAS PRÁCTICAS**

Una buena práctica de mantenimiento proactivo se basa en tener información certera que pueda suministrar el encargado de mantenimiento y el operador del vehículo.

- Uso consistente de procedimientos documentados que incluyan mejores prácticas de toma de muestra y aplicación.
- Muestreo en zona viva y en operación.
- Frecuencias de muestreo apropiadas.
- Registrando las horas del aceite, otras inspecciones y detalles importantes de operación.
- Reportando el volumen de fluido de relleno si lo hubo
- Enviado inmediato de las muestras al laboratorio

## 9.2 ESTRATEGIA DE FRECUENCIA DE MUESTREO

- Basado en recorrido: intervalos de kilometraje, consumo de combustible y de cada cambio de aceite.
- Basado en condición: durante o después de una falla y tendencia de contaminación, por ejemplo, un bloqueo prematuro del filtro.
- Pero ciertamente la mejor estrategia es esperar que ocurra primero, ya que, si sucede primero el intervalo de kilometraje, se puede analizar la muestra y mirar los contaminantes y desgaste del lubricante. Y en caso tal que suceda primero alguna falla temprana, con el análisis del aceite se puede llegar a la posible causa.

## 9.3 LÍMITES CONDENATORIOS DE ACEITES LUBRICANTES

Son los rangos aceptables o inaceptables para los metales de desgaste, viscosidad y propiedades físico químicas del lubricante, los cuales determinan la condición en la que se encuentra el aceite.

Tabla 10. Límites condenatorios para metales de desgaste.

LÍMITES CONDENATORIOS DE DESGASTES (P.P.M.) ASTM D-6595			
ELEMENTO	NORMAL	PRECAUCION	CRÍTICO SGS
Hierro (Fe)	0-40	71-100	100 +
Cobre (Cu)	0-15	26-45	45 +
Plomo (Pb)	0-15	26-40	40 +
Aluminio (Al)	0-6	16-20	20 +
Cromo (Cr)	0-5	11-15	15 +
Estaño (Sn)	0-10	16-20	20 +

Zinc (Zn)	0	0	0 +
Sodio (Na)	0-5	16-30	30 +
Silicio (Si)	0-5	11-15	15 +

Fuente: EXXON MOBIL CORPORATION. Análisis Signum de aceite. Bélgica: La Compañía, 2008. 20 p.

Tabla 11. Límite condenatorio para la viscosidad.

Método ASTM D-7279	Min	Max
Viscosidad SAE 15W-40 a 100 °C	12,5 cSt	16,3 cSt

Fuente: EXXON MOBIL CORPORATION. Análisis Signum de aceite. Bélgica: La Compañía, 2008. 20 p.

Tabla 12. Límites condenatorios de las propiedades físico químico.

PRUEBA	METODO	Max
Contenido de Agua, % Vol	ASTM D-95	0,2
Combustible, % Vol	FTIR	3
Oxidación, Ab/0,1 mm	FTIR	3
Hollín, % peso	FTIR	3
Nitración, Ab/0,1 mm	FTIR	2

Fuente: EXXON MOBIL CORPORATION. Análisis Signum de aceite. Bélgica: La Compañía, 2008. 20 p.

## **9.4 TIPOS DE MUESTREO**

**9.4.1 Muestreo en fondo.** El muestro del fondo de los tanques o del cárter, mezcla la condición actual con la histórica, lo mejor es evitarlo, excepto para la inspección de sedimentos y agua en el fondo, de lo contrario para análisis de rutina evite muestrear en zonas donde el fluido este estancado.

**9.4.2 Muestreo en zona viva.** Se trata de realizar un muestreo en puntos de flujo, donde el aceite circula constantemente, pueden ser puntos donde hay codos los cuales forman un flujo turbulento, rodamientos, bombas, engranes, cilindros, actuadores, entre otros.

**9.4.3 Muestreo por manguera y bomba de vacío.** Este método de muestreo se trata de insertar la manguera por el puerto de llenado o el tubo de inspección de nivel, aunque existen ciertos riesgos que pueden comprometer la muestra, como por ejemplo que la manguera raspe las paredes del tubo y pueden introducir partículas, es difícil muestrear mientras la maquina está en operación debido a que hay partes en movimiento en el interior, entre otras.

## **9.5 TOMA DE MUESTRAS**

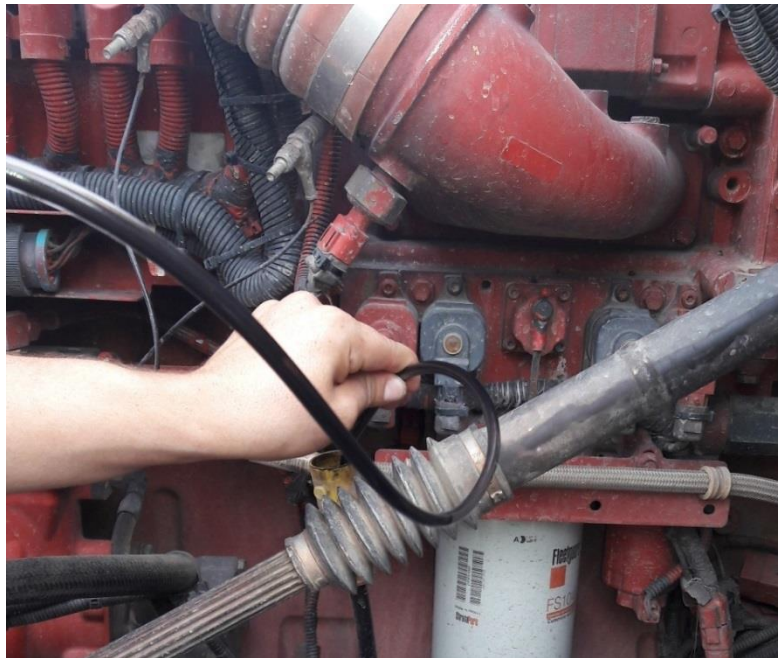
Las muestras se toman aproximadamente cada tres mil kilómetros (3000km) para tener poder llevar una secuencia de desgaste más acertada. Las muestras serán recolectadas en frascos suministrados por el laboratorio (véase figura 14)



La bomba consta de tres partes uno es el embolo, el cual es el encargado de crea un vacío que permita la succión del fluido. También consta de un cabeza que es donde se conecta el embolo y una manguera.

Para la toma de las muestras lo primero que se hace es unir las tres partes que forman una bomba de vacío (véase figura 12). Seguidamente destapar el agujero donde va la lámina que mide el nivel de aceite, será allí donde se introducirá la manguera para poder llegar al aceite (véase figura 16).

Figura 16. Inserción de manguera.



Después de introducida la manguera, se procede a colocar frasco por debajo de la bomba y enroscarla para poder completar la tarea de la bomba la cual es crear vacío para succionar el fluido (véase figura 17).

Figura 17. Enroscar frasco en la bomba de vacío.



Una vez hecho se empieza a bombear para sacar la muestra de aceite (véase figura 18) en esta se aprecia como comienza a desplazarse el fluido hacia el frasco.

Figura 18. Bombeo manual.



Una vez llenado el frasco se retira y se tapa (véase figura 19).

Figura 19. Retirada del frasco de muestreo.



Finalmente, las muestras se rotulan, en este se colocan los datos del equipo, datos del lubricante y componentes. (Véase figura 20).

Figura 20. Rotulado del frasco.

CONDICIÓN DE MONITOREO DEL EQUIPO	
CUENTE: <i>Multiservicio</i>	LUBRICANTE: <i>15W40</i>
<i>Don Martín S.A.S</i>	<i>Uno</i>
REFERENCIA: <i>03</i>	FECHA MUESTREO: <i>24 Mayo 2017</i>
UBICACIÓN: <i>San Carlos</i>	RELLENO: <i>9.198</i>
EQUIPO: <i>Tractor Camión</i>	Km. DEL ACEITE: <i>9.198</i>
MARCA: <i>Kenworth</i>	Hrs. DEL ACEITE: _____
MODELO/SERIE: <i>2012</i>	RESP. MUESTREO: _____
Km. DEL EQUIPO: <i>385597</i>	OBSERVACIONES: _____
Hrs. DEL EQUIPO: _____	Después de tomar la muestra:
CAPACIDAD SIST.: <i>12 gal</i>	<input type="checkbox"/> Cambio de Aceite <input type="checkbox"/> Cambio de Filtros

**UNO LUBRICANTES** CO19100

COMPONENTE

<input checked="" type="checkbox"/> Carter	<input type="checkbox"/> Eje Delantero
<input type="checkbox"/> Sist. Hidráulico	<input type="checkbox"/> Eje Posterior
<input type="checkbox"/> Transmisión	<input type="checkbox"/> Dirección
<input type="checkbox"/> C.J. Engranaje	<input type="checkbox"/> Compresor
<input type="checkbox"/> Mando Final Der.	<input type="checkbox"/> Bomba
<input type="checkbox"/> Mando Final Izq.	<input type="checkbox"/> TK Combust.
<input type="checkbox"/> Eje Delantero	<input type="checkbox"/> Eje Posterior
<input type="checkbox"/> Otros	

**SGS**

NATIONAL PRINT INT. 51 675 919-5 TEL. 261 1609

Av. Cricián Luque No. 44B - 26, B. El Bosque Cartagena - PBX: (57-5) 969 0910 - 662 2423 - 662 1941

TOME LA MUESTRA CON EL ACEITE EN CALIENTE

El último cambio de aceite del vehículo se realizó a los 376399 kilómetros. Y el muestreo se inició cuando el tractocamión tenía 379909 kilómetros totales recorridos en su vida, donde la muestra número uno fue tomada a 3510 kilómetros recorrido del tractocamión, la segunda muestra fue tomada a 6000 kilómetros, la tercera muestra a 9198 kilómetros, la cuarta muestra a 12121 kilómetros, la quinta muestra a 15537 kilómetros, y finalmente la sexta muestra fue tomada a los 18101 kilómetros, donde el Tractocamion termino con 394500 kilómetros totales recorridos en su vida.

Figura 21. Muestras realizadas.



## 10. ANÁLISIS DE DATOS

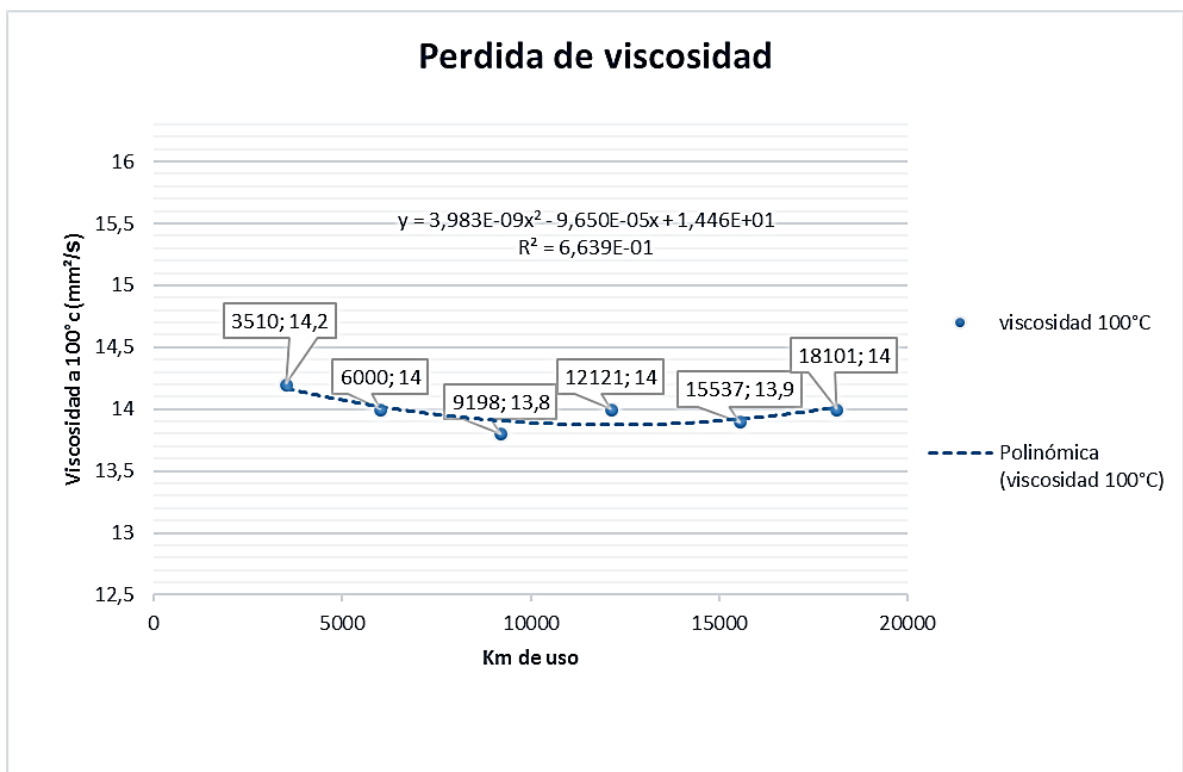
Los resultados obtenidos se pueden resumir en la siguiente tabla:

Tabla 13. Resultados obtenidos.

		muestra 1 (km)	muestra 2 (km)	muestra 3 (km)	muestra 4 (km)	muestra 5 (km)	muestra 6 (km)	
<b>Propiedades del aceite</b>		<b>3510</b>	<b>6000</b>	<b>9198</b>	<b>12121</b>	<b>15537</b>	<b>18101</b>	<b>NOTAS</b>
ASTM D7279	viscosidad 100°C	14,2	14	13,8	14	13,9	14	
<b>Espectrometría ASTM D6595</b>	calcio (Ca) ppm	2586	2743	2902	2942	2928	2709	aditivo
	magnesio (Mg) ppm	38	35	36	35	35	33	aditivo
	molibdeno (Mo) ppm	7	7	8	7	7	7	aditivo
	fosforo (P) ppm	1283	1193	1163	1056	1095	1185	aditivo
	zinc (Zn) ppm	1171	1160	1186	1186	1146	1140	aditivo
	boro (B) ppm	3	2	3	2	2	2	aditivo
	silicio (Si) ppm	4	3	4	5	7	4	contami nante
	sodio (Na) ppm	3	3	4	5	6	6	contami nante
	aluminio (Al) ppm	2	2	3	3	3	3	desgaste
	chromo (Cr) ppm	0	0	0	1	1	1	desgaste
	cobre (Cu) ppm	0	1	1	1	1	1	desgaste
	hierro (Fe)	7	7	12	13	17	19	desgaste
	plomo (Pb) ppm	0	0	0	0	0	0	desgaste
	manganeso (Mn) ppm	1	1	0	1	1	1	no tiene
	níquel (Ni) ppm	0	0	0	0	0	0	no tiene
	plata (Ag) ppm	0	0	0	0	0	0	no tiene
	estaño (Sn) ppm	0	0	0	0	0	0	no tiene
	Titanio (Ti) ppm	0	0	0	0	0	0	no tiene
	vanadio (V) ppm	1	1	0	0	1	1	no tiene
	Bario (Ba) ppm	0	0	0	0	0	0	no tiene
<b>FTIR (ASTM E3412)</b>	Oxidacion A/0.1mm	0	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	
	Nitracion A/0.1mm	0,03	0,05	0,06	0,08	0,08	0,08	
	Agua %	0	0	0	0	0	0	
	Hollin A/0.1mm	0,18	0,23	0,33	0,44	0,53	0,55	
	Glicol %	0	0	0	0	0	0	

Como se puede ver, hasta los 18.101 Kms no se presentan de manera significativa Cobre, Plomo, Manganeso, Plata, Niquel, Estaño, Titanio, Vanadio ni Bario, de acuerdo a la espectrometría realizada. Adicionalmente la prueba FTIR indica que no existe aún presencia de agua, glicol o de volátiles que puedan afectar las propiedades del lubricante. Al analizar por partes, iniciamos por estudiar el comportamiento de la viscosidad en el fluido:

Figura 22. Perdida de viscosidad.



Se observa una tendencia típica cuadrática, aunque el modelamiento muestra un R cuadrado algo bajo, su valor de correlación r es 0,8148, adecuado para una aproximación con un error estándar de aproximación de  $s_r = 0,0297$ , lo que a su vez nos da para los 6 datos en regresión polinomial cuadrática un error  $s_{y/x}$  de 0,0996. Al buscar el límite máximo condensorio para la viscosidad tenemos:

$$V = 3,983 * 10^{-9}x^2 - 9,650 * 10^{-5}x + 14,46 = 16,3 [cSt]$$

$$3,983 * 10^{-9}x^2 - 9,650 * 10^{-5}x + 14,46 - 16,3 = 0$$

$$3,983 * 10^{-9}x^2 - 9,650 * 10^{-5}x - 1,84 = 0$$

Al resolver la ecuación cuadrática se obtienen dos posibles resultados, descartando el negativo por sentido físico se tendría un límite de kilometraje como:

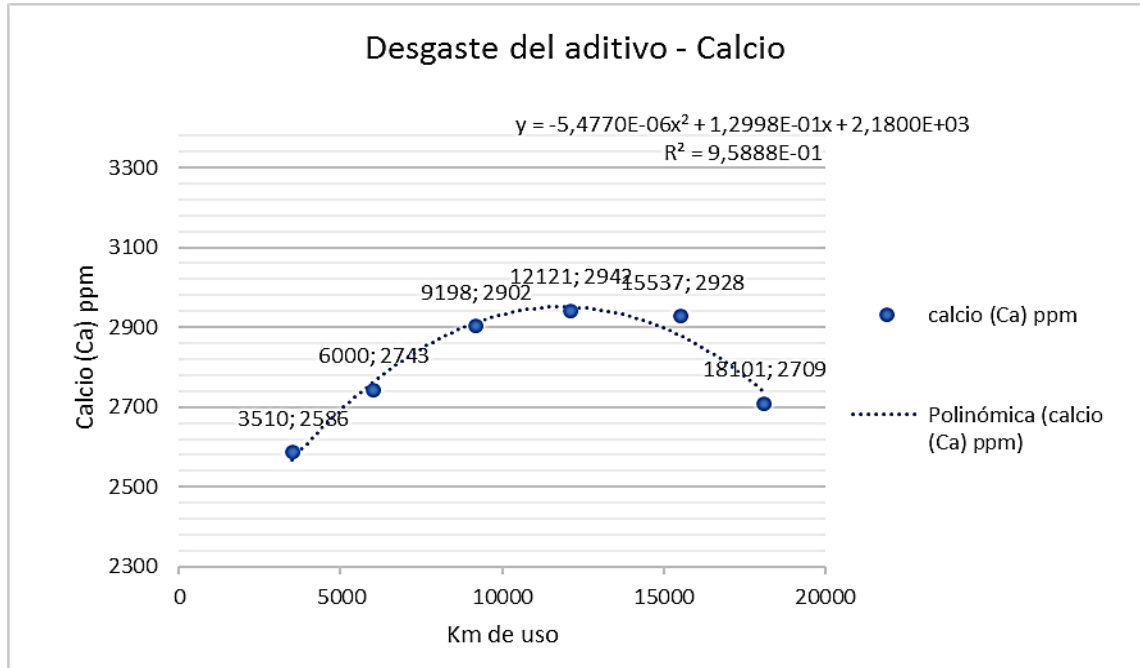
$$\text{para } V = 16,3 [cSt] \text{ se tiene un } x = 36.786 \text{ kms}$$

Teniendo en cuenta límites de confianza, al asumir un comportamiento normal de los datos alrededor de cada punto, se tienen dos posibles valores como límites, se toma el inferior de un rango de confianza del 95% ( $z=1,96$ ) para mantener un factor de seguridad confiable:

$$\text{para } V = 16,3 - 1,96 * 0,0996 = 16,1 [cSt] \text{ se tiene un } x = 35.747 \text{ kms}$$

El ultimo calculo contempla el error estándar  $s_y/x$  en una confianza del 95%, lo que asegura un nivel muy óptimo con la correlación obtenida de que a dicho kilometraje aún no se tendrá el límite condenatorio por viscosidad. Se debe tener en cuenta que un límite de más de 35.747 kms es casi el doble al último kilometraje revisado en las pruebas (18.101 kms) y la afectación por parámetros como impurezas o desgaste puede aseverar efectos negativos en el lubricante, incluso en propiedades como la viscosidad. Además de lo anterior, para establecer un máximo de kilometraje se debe incorporar el análisis de los demás parámetros. Al evaluar el desgaste del aditivo de calcio.

Figura 23. Desgaste del aditivo calcio.



Se obtiene una ecuación con un error cuadrado muy ajustado, y un error de correlación no cuadrado de 0,9792, lo cual es más que indicativo de un gran ajuste, su sr es de 4287,20 que genera un error  $sy/x$  de solo 37,80. Se observan igualmente buenos ajustes con los demás aditivos, aunque algunos presentan datos insuficientes para hablar de una tendencia clara, y son valores bajos, como se ve en la revisión de su desgaste:

Figura 24. Desgaste del aditivo magnesio.

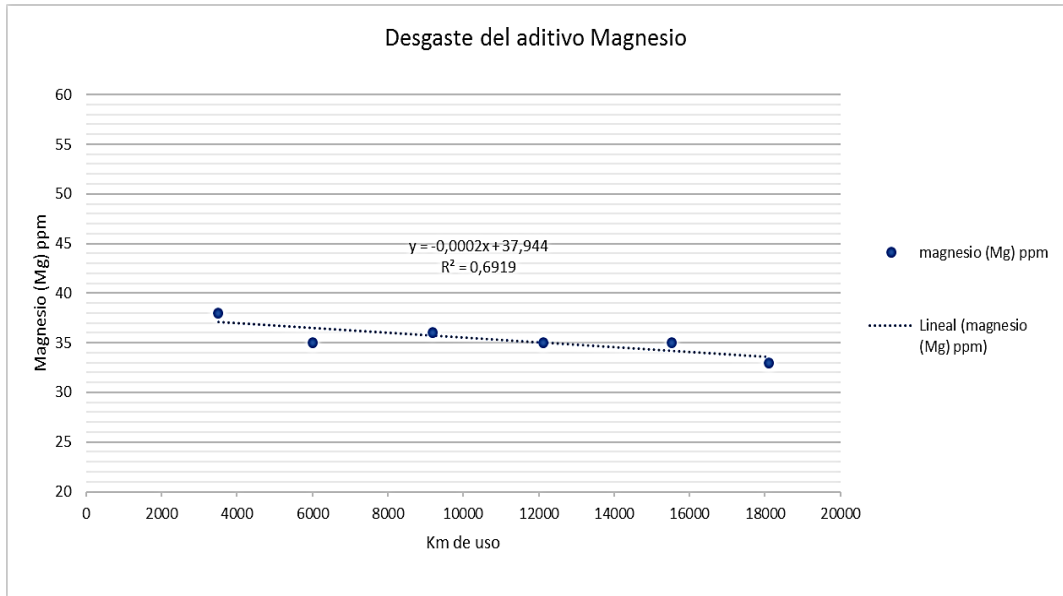


Figura 25. Desgaste del aditivo Zinc.

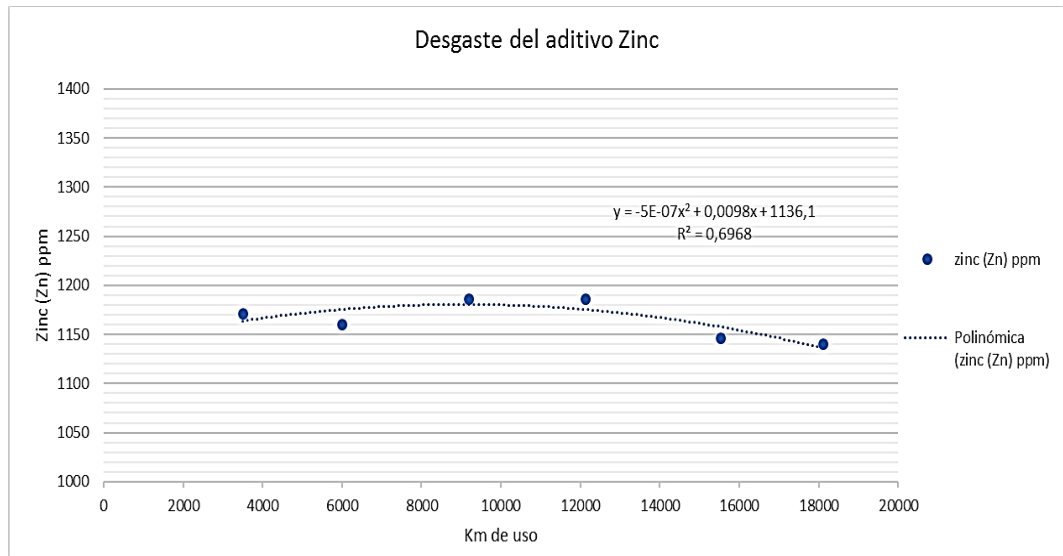


Figura 26. Desgaste del aditivo fósforo.

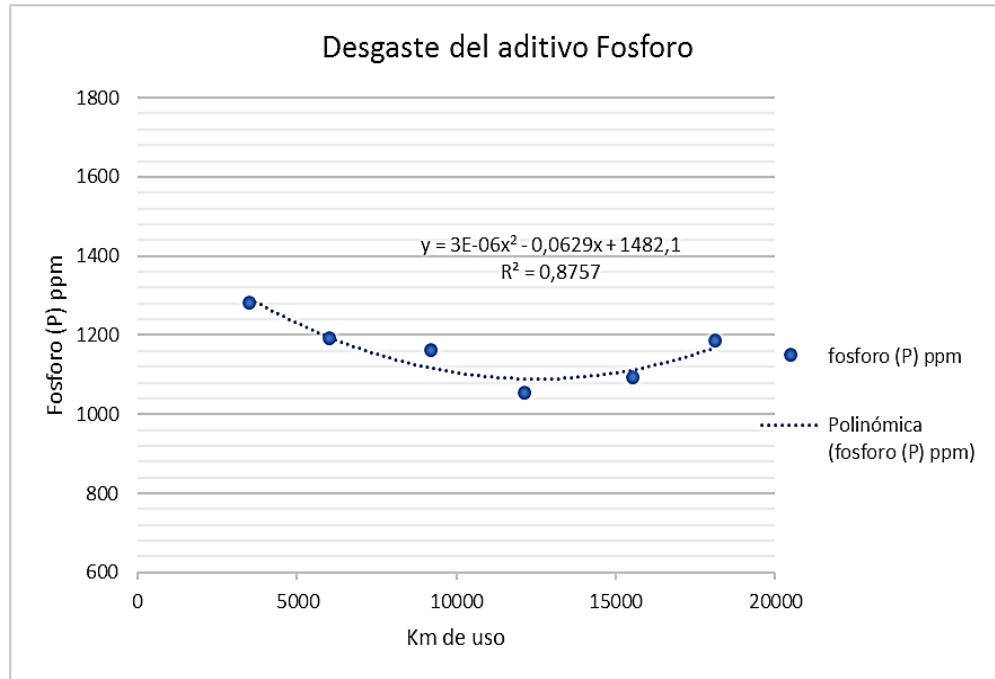


Figura 27. Desgaste del aditivo molibdeno.

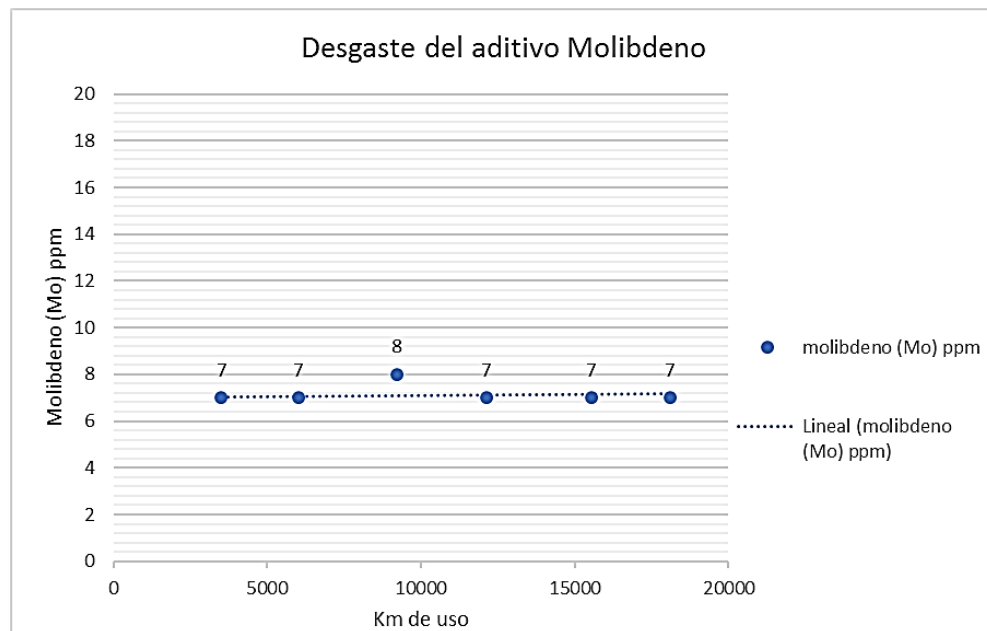
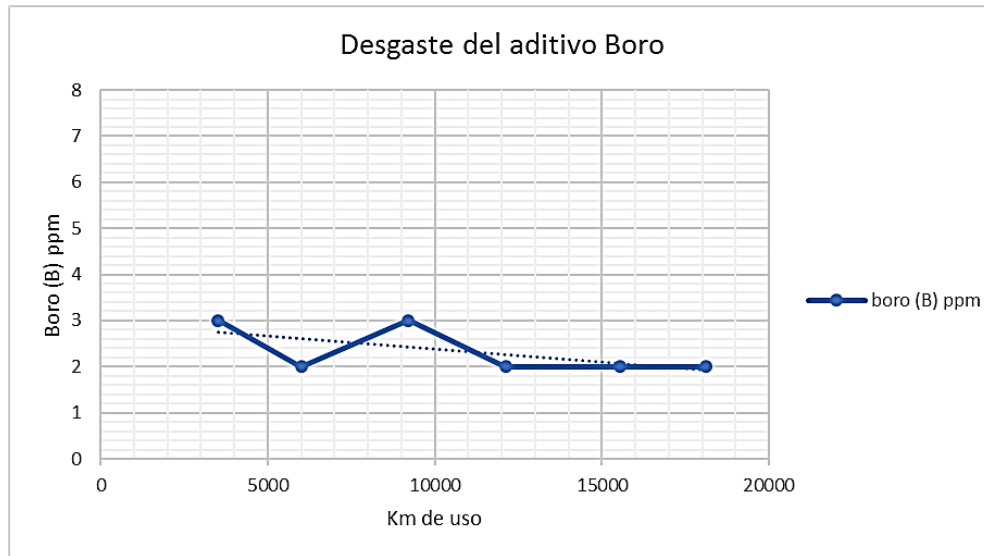
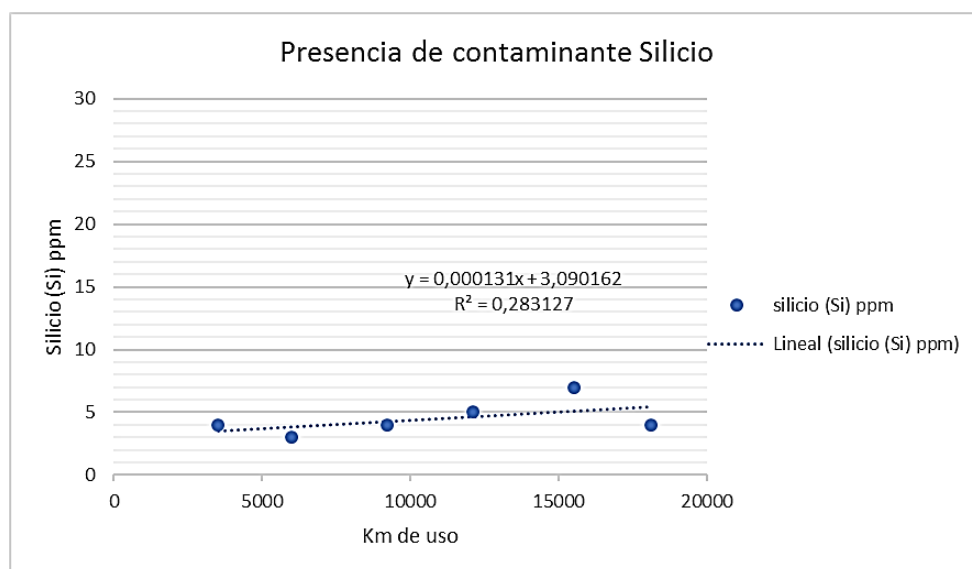


Figura 28. Desgaste del aditivo boro.



El límite de uso del lubricante se podría considerar de acuerdo a los límites condinatorios de sus elementos contaminantes, por lo cual se analizan los mismos:

Figura 29. Contaminante de silicio.



La tendencia esperada en este contaminante es creciente, como se observa pese a la dispersión de datos alrededor del punto medio, el R cuadrado es considerablemente bajo indicando una alta dispersión de los datos alrededor de la tendencia, el R es de 0,53, a penas aceptable que se considere una tendencia lineal creciente, pero se hace difícil estimar realmente el kilometraje al que se obtendría exactamente el límite condinatorio del silicio o el límite de precaución. Se contempla además que el error S de la regresión lineal es de 1,64 en este caso, por lo que siendo el límite crítico 15, y considerando un comportamiento más o menos normal, se podría tomar el valor límite menos 1,96 desviaciones estándar con un valor máximo de trabajo adecuado para una estimación:

$$S = 15 - 1,96 * 1,64 = 11,79$$

Igualando la ecuación:

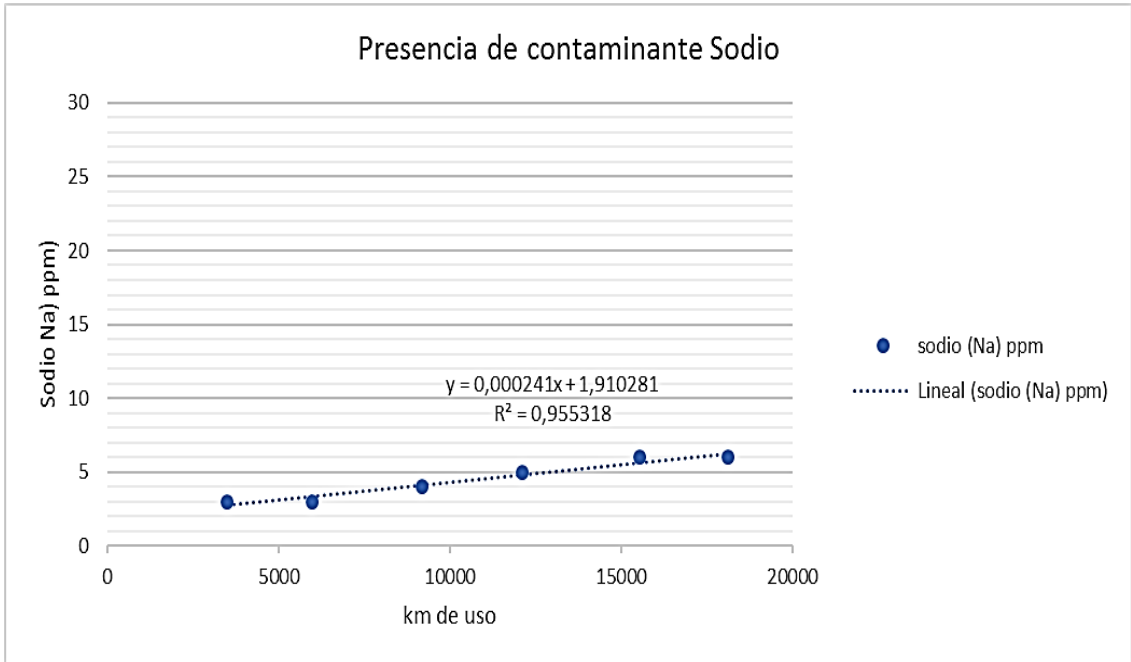
$$S = 0,000131 * x + 3,090162 = 11,79$$

$$x = \frac{11,79 - 3,090162}{0,000131} = 66410 \text{ kms}$$

Un límite altamente elevado, lo cual deja con seguridad que no se alcanzará la cantidad de partículas si consideramos una tendencia lineal aproximada aún con los errores por dispersión de los valores alrededor de la tendencia central. Por lo cual seguiría siendo limitante el valor de la viscosidad antes que el del silicio.

Al analizar ahora la presencia de sodio:

Figura 30. Contaminante de sodio.



Vemos que su correlación lineal presenta a diferencia del silicio, una mayor claridad, menor dispersión de la tendencia central y un menor ajuste con un R de 0,9774. La desviación de la regresión es de 0,3256, bastante buena, y su límite crítico es de 30, entrando a precaución a partir de los 16. Considerando los valores dados y como valor de consideración 1,96 veces desviación antes del valor central:

$$x = \frac{Na [ppm] - 1,910281}{0,000241} kms$$

Tabla 14. . Límites en kilometraje basado en el sodio.

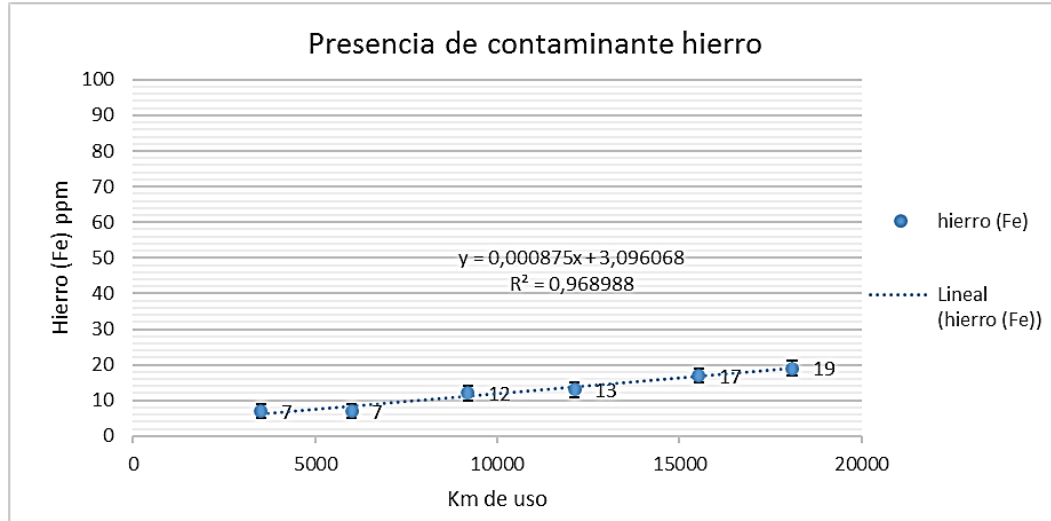
Ppm	Límite en Kms
Na= 30	116554,851
Na= 30-1.96*0.3256=29,4	114069,473

Na= 16	58463,5643
Na= 16-1.96*0.3256=15,4	55978,1867

Como se puede ver, no se alcanzarían ni los límites de precaución antes de requerirse el cambio de aceite por el parámetro de viscosidad.

No es menester, debido a los resultados observados en la tabla, analizar los contaminantes de aluminio, cromo y cobre, dado que su presencia es aún muy baja para intentar observar alguna tendencia significativa o considerar su contaminación como efectiva en las propiedades del lubricante evaluado en cada test. Por otro lado, si se puede considerar el análisis del contaminante hierro:

Figura 31. Contaminante de hierro.



Como se puede ver, las barras de error son pequeñas ya que no hay gran dispersión alrededor de la tendencia central, se obtiene un R cuadrado de 0,969 que es más que excelente y un valor de correlación R de 0,9844 que indica una

ajustada tendencia lineal. Su error estándar de aproximación es de 0,9785 con el cual, asumiendo la tendencia normal, se puede evaluar el punto de precaución y punto crítico de la misma forma que con el sodio.

Desviación antes del valor central:

$$x = \frac{Fe [ppm] - 3,096068}{0,000875} kms$$

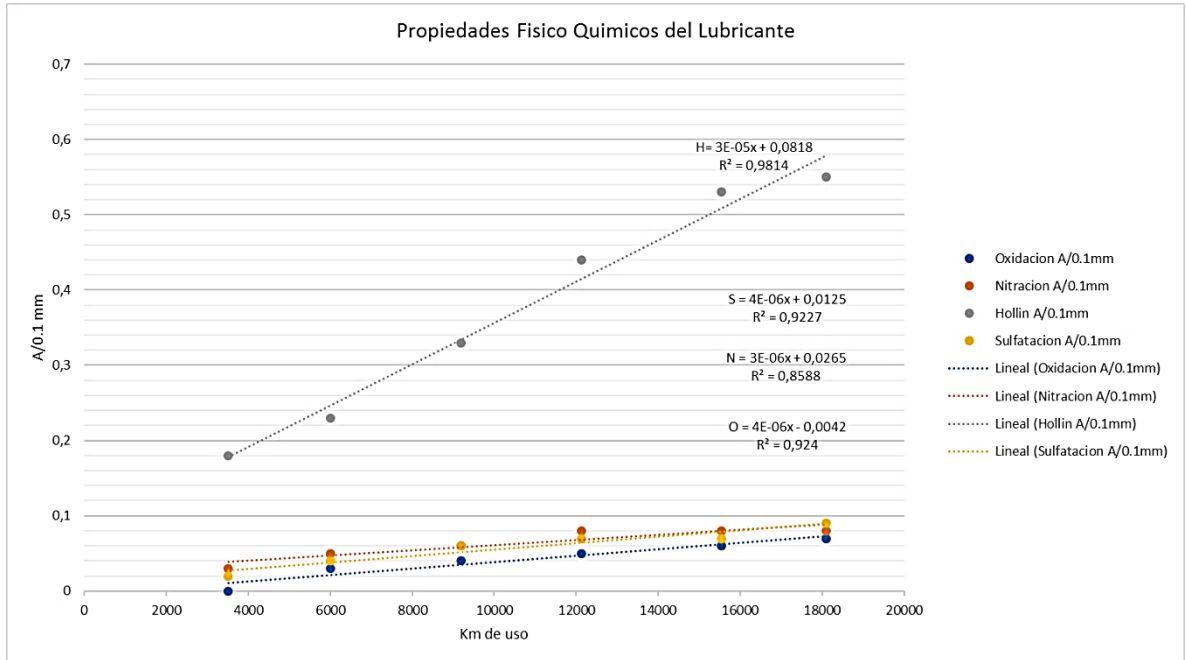
Tabla 15. Límites de kilometraje basado en el hierro.

Ppm	Límite en Kms
Fe= 100	110747,351
Fe= 100-1.96*0,9785 =98,08	108555,511
Fe= 71	77604,4937
Fe= 71-1.96*0,9785 =69,08	75412,6537

Como se puede observar, nuevamente los límites son elevados a comparación del establecido como máximo por criterio de viscosidad, por lo cual, se continúa con el límite de esta.

Finalmente se evalúan las propiedades físico-químicas de acuerdo a las pruebas realizadas. Como era de esperarse, la tendencia es creciente en todos los casos, siendo más crítico el crecimiento del % peso del hollín por lo cual, entre los límites máximos permitidos por la norma ASTM D-95 sería, de acuerdo a los resultados, un limitante más significativo que los demás, sin embargo, como el límite de nitración es menor, 2%, por lo que se considerará también en el análisis.

Figura 32. Tendencia de las propiedades físico químico del lubricante.



Los valores R cuadrado muestran adecuados valores de ajustes, con un valor de error estándar para el hollín de 0,31696 y para el cálculo de nitración de 0,00868. Asumiendo el comportamiento normal (asunción común en regresiones lineales) se estima el kilometraje para los valores límites de 3 para el hollín y 2 para la nitración:

$$x_{\text{hollín}} = \frac{H [\text{ppm}] - 0,0818}{2,74481 * 10^{-5}} \text{ kms}$$

$$x_{\text{nitración}} = \frac{N [\text{ppm}] - 0,0265}{3,42458 * 10^{-6}} \text{ kms}$$

Tabla 16. . Límites de kilometraje basado en el hollín y nitración.

Ppm	Límite en Kms
H= 3	106317,01
$H = 3 - 1.96 * 0,31696 = 2,38$	83683,69
N= 2	576275,05
$N = 2 - 1.96 * 0,0868 = 1,98$	571307,20

Como se observan, con las tendencias actuales, todos los límites en kilómetros de uso, tanto en propiedades físicas como en presencia de contaminantes, son valores alto en comparación al obtenido por el modelo de viscosidad. Se podría decir que si las condiciones actuales observadas se mantuvieran el parámetro limitante sería principalmente la viscosidad a 100°C, pero se debe contemplar que el crecimiento de la contaminación, el desgaste y de propiedades como la nitración, cantidad de hollín, entre otros revisados pueden cobrar mayor importancia a un kilometraje mayor donde se vea con más claridad una tendencia general.

De acuerdo a la literatura se encuentran propuestas de límites de uso de lubricantes en valor de kilometraje de 32 mil kilómetros de uso aproximadamente para el lubricante según el fabricante y de acuerdo a las condiciones de uso. Habría que profundizar en un estudio más prolongado para obtener parámetros más precisos en valores que podrían ser cada 5000 kms (10 mil, 15 mil, 20 mil, 25 mil, 30 mil, y 35 mil) para ampliar el panorama.

Con la información actual es posible, además de las recomendaciones de un estudio más prolongado, evaluar el análisis económico de ampliar en el plan de mantenimientos el cambio de aceite lubricante de 12 mil kilómetros hasta 18.100 kilómetros como se ha probado en el estudio, y la alternativa de probar las

propiedades a límites mayores y evaluar el ahorro posible en términos económicos si se llevan a límites tan extremos como los que se pueden encontrar al estudiar las recomendaciones del fabricante (Cummins) que están alrededor de 34 mil kilómetros de acuerdo a las condiciones de uso actuales.

Según datos del fabricante en el manual de operación del motor cummins isx en la sección 2 – normas de mantenimiento. Se tiene intervalos para el cambio de aceite donde se pregunta:

¿Es su vehículo uno de los de abajo?

- Camión de transporte
- Autobús
- Equipo que acumula 8.000 millas o 12.874km al mes o más.

SI ES NO

Tabla 17. . Rangos de drenado de aceite según fabricante con poco uso.

Clasificación del Aceite	Kilómetros	Millas	Horas	Meses
CF-4	3000	2000	100	6
CG-4	6500	4000	200	6
CES 20,071 (equivalente a CH-4 y CES 20,072)	11,000	7000	300	6
CES 20,076	14,000	9000	400	6

Fuente: CUMMINS ENGINE COMPANY. Manual de operación y mantenimiento motores signature e ISX. Indiana, USA: La compañía, 2000.

En nuestro caso no aplica esta condición.

SI ES SÍ

Seleccione y siga cualquier intervalo de drenado de aceite severo, normal o ligero basado en como usa usted su motor. Vea los intervalos de drenado de aceite por severidad del servicio.

Tabla 18. Rangos de drenado de aceite según fabricante con rangos de uso.

Signature e ISX	Clasificación del Aceite	Servicio-Severo < 5.5 mpg > 80k GVW	Servicio Normal 5.5 a 6.5 mpg 70 a 80k GVW	Servicio Ligero > 6.5 mpg < 70k GVW
1999 Signature e ISX	CES 20,071 (CH-4)	24,000 km [15,000 mi]	56,000 km [35,000 mi]	72,000 km [45,000 mi]
1999 Signature e ISX	CES 20,076	32,000 km [20,000 mi]	64,000 km [40,000 mi]	80,000 km [50,000 mi]

Fuente: CUMMINS ENGINE COMPANY. Manual de operación y mantenimiento motores signature e ISX. Indiana, USA: La compañía, 2000.

Si bien es nuestro caso, ya que los tractocamiones de Multiservicios San Martín S.A.S., tienen un rendimiento de 8.5 kilómetros por galón lo cual son 5.28 millas por galón. Catalogándolo en el rango SEVERO, entonces según la tabla 13, el intervalo de cambio de aceite debería hacerse cada 32.000 kilómetros, para el tipo de aceite que tenga características CES 20076. Y el aceite usado por nuestra empresa es un aceite multigrado de viscosidad SAE 15W-40 que cumple con los niveles de calidad API CI-4, CH-4, CG-4 para los motores diesel y API SL para los motores a gasolina. También cumple las especificaciones de los fabricantes de motores diesel tales como ACEA E7-08, Mercedes Benz 228.3, Caterpillar ECF-1, Cummins 20078, 20077, 20076, 20072, 20071, Volvo VDS-3, VDS-2, MAN 3275, Mack EO-M Plus.

Podemos concluir que los cálculos presentados en este capítulo son aproximados a la realidad y las recomendaciones del fabricante, ya que, según los cálculos, la flota de Multiservicios San Martín puede llegar a extender el límite de kilometraje para el cambio de aceite hasta en 35.747 km, y el fabricante lo recomienda para este caso en 32.000km.

## 11. COSTOS

Resumiendo, la información del análisis económico a un año, teniendo un promedio de viaje de 8 viajes por mes para cada uno de los trece tractocamiones:

Tabla 19. Información operativa y costos de mantenimiento.

<b>Número de tracto mulas</b>	1	<b>Gal por cambio</b>	<b>12</b>
<b>Viajes por año por vehículo</b>	96	<b>Costos actuales</b>	
<b>Recorrido promedio por viaje, Kms</b>	1050	<b>Caneca x1gal</b>	\$45.000,00
		<b>Caneca x5gal</b>	\$209.500,00
<b>Kilómetros totales por mes:</b>	<b>100.800</b>	<b>Total x12 gal</b>	<b>\$509.000,00</b>

Se tienen dos propuestas, cambiar el llenado usando dos canecas de 1 gal de lubricante y dos canecas de 5 gal de lubricante por comprar timbos de 55 gal y llenar mediante trasiego con su debido procedimiento bajo altos estándares de seguridad y salud al trabajar. Cada caneca o tonel de 55 gal tiene un costo actual de 2.205.000 pesos COP, lo que da un costo por cambio de 12 gal de \$481.090,91 pesos COP, un ahorro del 5,5% por cambio.

La segunda propuesta es acorde a los objetivos del trabajo, extendiéndose al menos el límite de cambio del lubricante a al menos 18.101 Kms, con una propuesta de estudiar las propiedades hasta los 34 mil kilómetros para ver la posibilidad de un ahorro económico más amplió.

Tabla 20. Propuesta económica en condiciones actuales.

Propuesta probada	Kilómetros a los que se cambia el lubricante		Ahorro solo por cambio
	12000 km	18100 km	
Número de cambios por año:	8,40	5,57	2,83
Con las canecas actuales (2 de 5gal y 2 de galón)	\$4.275.600,00	\$2.834.651,93	\$1.440.948,07
Con un tonel de 55 gal	\$4.041.163,64	\$2.679.224,51	33,7%
Ahorro respecto al valor base	\$234.436,64	\$1.596.375,49	
Reducción del costo en %	5,5%	37,3%	

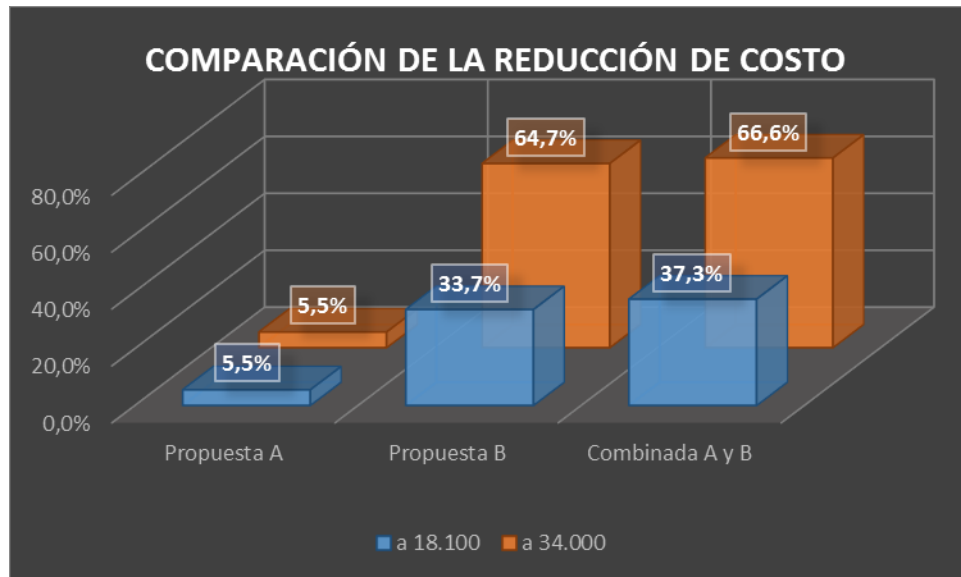
Sí solo se hiciera la propuesta de cambiar la presentación de compra, propuesta A, por el timbo de 55 galones solo se ahorraría un 5,5%, si solo se hiciera el cambio del plan de mantenimiento extendiendo el tiempo de reemplazo del aceite a cada 18.100 kilómetros (propuesta B) se lograría un ahorro de una tercera parte del costo actual, y combinando ambas se lograría hasta un 37,3% del ahorro del costo.

Tabla 21. Propuesta económica en condiciones futuras e ideales.

Propuesta recomendada para evaluar	Kilómetros a los que se cambia el lubricante		Ahorro solo por cambio
	12000 km	34000 km	
Número de cambios por año:	8,40	2,96	5,44
Con las canecas actuales	\$4.275.600,00	\$1.509.035,29	\$2.766.564,71
Con timbo de 55 gal	\$4.041.163,64	\$1.426.293,05	64,7%
Ahorro respecto al valor base	\$234.436,64	\$2.849.306,95	
Reducción del costo en %	5,5%	66,6%	

Esta extensión del tiempo de uso del lubricante tiene un potencial de extensión a un límite mayor, como se observó en el cálculo y el cual es coherente con las recomendaciones del fabricante. En este límite si se evalúa por ejemplo a 34 mil kilómetros se tiene un potencial de ahorro en costo de hasta dos terceras partes del costo actual si se combina con el cambio de presentación del aceite.

Figura 33. Comparación de propuestas.



Como se puede ver, se alcanza una reducción de más de una tercera parte del costo actual en el cambio de aceite lubricante, pero existe un potencial mucho mayor en el probar si es posible llevar los cambios de aceite a valores de cada 34 mil kilómetros sin sacrificar rendimiento y capacidad del equipo, se podría estar hablando de un ahorro combinado de hasta un 64,7% del costo actual anual.

## **12. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO PROACTIVO**

Si bien la empresa Multiservicios San Martín S.A.S., tiene la visión de posicionarse como una empresa líder en transporte a nivel nacional, esta tiene claro la importancia de mantener disponibles y confiable su flota de vehículos como una de las estrategias para la mejora continua, dicha disponibilidad y confiabilidad se logra cuando la compañía es organizada y proactiva con el mantenimiento de sus activos.

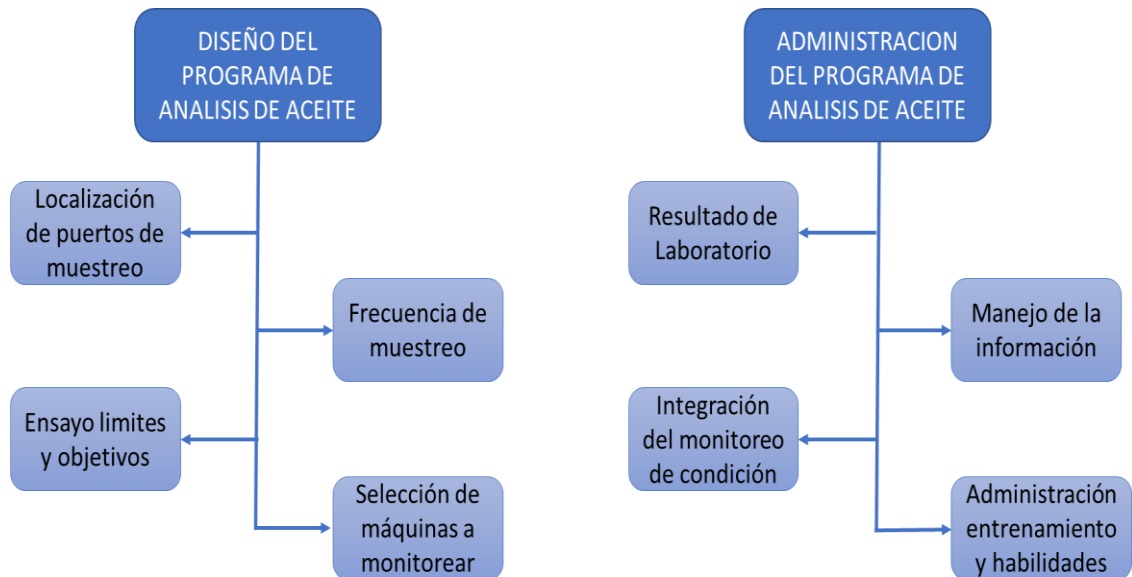
Gracias a los análisis realizados y los resultados obtenidos es posible estructurar el mantenimiento proactivo el cual va conjunto con el mantenimiento preventivo y basado en condición, es decir establecer como mantenimiento preventivo el kilometraje al cual se le realizara el cambio de aceite a los tractocamiones y con ayuda del manual de fabricante establecer rangos en kilometraje para mantenimientos preventivos oportunos.

De acuerdo a lo anterior se realiza una matriz de mantenimiento con los vehículos de la flota de la empresa Multiservicios San Martín S.A.S y de acuerdo a esta información se realizan los mantenimientos.

### **12.1 PROGRAMA PARA ANÁLISIS DE ACEITE**

Si bien en el capítulo 8 de este documento se describe el muestreo realizado, se propone un programa para el análisis de aceite del cual el pilar el muestreo.

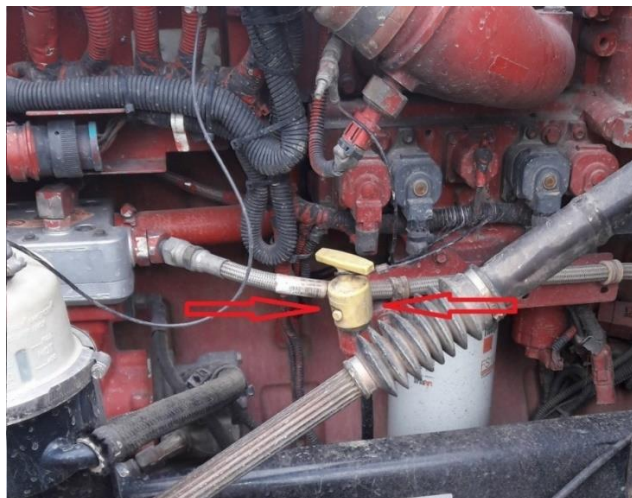
Figura 34. Programa para análisis de aceite.



- Localización de puertos de muestreo

El punto más relevante para la toma de muestras en un tractocamión es el tubo de inspección de nivel (véase figura 35).

Figura 35. Punto de muestreo.



- Frecuencia de muestreo

Según los datos obtenidos de los intervalos de kilometraje recopilados, las muestras pueden hacerse cada 6.000 kilómetros.

- Ensayo, límites y objetivos

Los ensayos deben realizarse responsablemente, respetar los límites definidos por los encargados de mantenimiento, y lo más importante es que el objetivo conjunto es que se con ayuda de los ensayos poder acercarse cada vez más a ese punto óptimo para realizar el cambio de aceite, sin incurrir en deterioro del motor ni pérdidas económicas de la compañía.

- Selección de máquinas a monitorear

La selección se realizará con un vehículo a la vez, debido a que toda la flota está sometida a las mismas condiciones tanto de operación, carga y ruta. De esta manera sucesivamente hasta que se le realice un análisis a cada uno y de esta manera reiniciar el ciclo.

- Resultado de Laboratorio

Lo más importante es que el laboratorio sea confiable, y los resultados sean recibidos por el personal de mantenimiento para su correspondiente análisis y determinación de conclusiones.

- Manejo de la información

Es el tema conjunto de la gerencia con las personas encargadas del mantenimiento, donde la información suministrada por el laboratorio sirva como mejora continua e impulse las decisiones asertivas para el progreso de la compañía.

- Integración del monitoreo de condición

Dar lugar a las inspecciones pre operacionales (nivel de aceite, estado mecánico, fugas, etc.) y chequeos periódicos de los vehículos.

- Administración entrenamiento y habilidades

Contar con el personal de mantenimiento debidamente capacitado y con conocimientos básicos de mecánica y tribología.

## **12.2 ESTRATEGIA DE CONTROL**

**12.2.1 Orden de trabajo.** Es un documento que controla todas las tareas de mantenimientos a realizar, lo cual significa que todo trabajo debe tener un previo diligenciamiento del formato y autorización del jefe de mantenimiento. Esta herramienta le da el control de todas las tareas ejecutables o próximas a ejecutar.



**12.2.2 Tabla de mantenimiento en base al kilometraje.** Esta tabla es basada en kilometraje (véase Tabla 8), con un incremento de cada 15.000 km con el fin de darle un seguimiento constante al vehículo, y a su vez poder crear un intervalo para determinar que tipo de mantenimiento seria el apropiado para el tractocamión, entre estos tenemos seis clases de mantenimiento para el cabezote A,B,C,D,E y uno para el tráiler, cabe mencionar el mantenimiento del tanque siempre se debe realizar sin importar que tipo de mantenimiento le corresponda al cabezote.

Tabla 22. Tipos de mantenimiento a aplicar según kilometraje.

		MANTENIMIENTO				CODIGO:	
		TABLA MANTENIMIENTO				FECHA:	
						VERSION:	
KM	TM	KM	TM	KM	TM	KM	TM
5000	INICIO	255000	A	510000	B	765000	A
15000	A	270000	B	525000	A	780000	B
30000	B	285000	A	540000	C	795000	A
45000	A	300000	B	555000	A	810000	B
60000	B	315000	A	570000	B	825000	A
75000	A	330000	B	585000	A	840000	B
90000	B	345000	A	600000	B	855000	A
105000	A	360000	C	615000	A	870000	B
120000	B	375000	A	630000	B	885000	A
135000	A	390000	B	645000	A	900000	C
150000	B	405000	A	660000	B	915000	A
165000	A	420000	B	675000	A	930000	B
180000	C	435000	A	690000	B	945000	A
195000	A	450000	B	705000	A	960000	D
210000	B	465000	A	720000	E	975000	A
225000	A	480000	D	735000	A	990000	B
240000	D	495000	A	750000	B	1005000	A

A modo de ejemplo en caso tal que un tractocamión tenga programación de cambio de aceite y su kilometraje de vida total que tiene sea 272.000km, podemos observar que el vehiculó esta entre un rango de 270.000 Km y 285.000 Km entonces en este caso se debe realizar el tipo de mantenimiento que más se le aproxime, ósea el de 270.000km que corresponde al mantenimiento tipo B. a continuación los formatos a implementar en caso tal serian:

Figura 37. Mantenimiento tipo A.


		<b>MANTENIMIENTO</b>				CODIGO:
		<b>MANTENIMIENTO PREVENTIVO TIPO A</b>				FECHA:
FECHA:	INGRESO	SALIDA				VERSION:
HORA:						
PLACA:		TRAILER:		TRACTOCAMION		
CONDUCTOR:		CELULAR:		CARGADO		
OBSERVACIÓN DEL CONDUCTOR:				VACIO		
				ORDEN DE TRABAJO NUMERO:		
TECNICO	OPERACIONES PREVENTIVAS	REALIZADO		REPUESTO UTILIZADOS	TIEMPO REAL UTILIZADO	
		SI	NO			
	Ajustar correas de motor					
	Ajustar soportes de motor					
	Cambiar aceite y filtros a motor ( aceite, combustble )					
	Mantenimiento de baterias					
	Limpiar y revisar funcionamiento respiradera(s) transmision(es)					
	Limpiar y revisar funcionamiento respiradera(s) diferencial(es)					
	Nivelar anticongelante ( revisar filtro y determinar cambio)					
	Purgar tanques de aire					
	Revisar llantas, profundidad, número y presión					
	Revisar aceite a rodamientos delanteros					
	Revisar esparragos					
	Revisar código de fallas de motor con herramienta electrónica					
	Revisar y engrasar crucetas					
	Revisar frenos					
	Revisar fugas de motor					
	Revisar funcionamiento fan clutch					
	Revisar juego de quinta rueda con herramienta					
	Revisar luces parqueo, direccionales, freno, altas bajas					
	Revisar marcadores de tablero					
	Revisar restricción de aire (Cambiar filtro despues de 15 IN H2 O)					
	Revisar sistema de ABS					
	Revisar terminales y juego de pernos					
	Revisar tornillos de campana y auto ajustable					
	Torquear abrazaderas de suspensión					
	Ajustar guías capot					
	Inspeccion rodamientos correa Fan - Verificar ultimo cambio					
	Inspeccionar funcionamiento compresor					
	Corregir fugas de aire					
RESPONSABLE DEL SEGUIMIENTO						
FECHA DE ENTREGA OT						
QUIEN ENTREGA OT						

Figura 38. Mantenimiento tipo B.


		MANTENIMIENTO		CODIGO:	
		MANTENIMIENTO PREVENTIVO TIPO B		FECHA:	
FECHA:	INGRESO	SALIDA	TRACTOCAMION		
HORA:			CARGADO		
			VACIO		
			ORDEN DE TRABAJO NUMERO:		
PLACA:	TRAILER:				
CONDUCTOR:	CELULAR:				
OBSERVACIÓN DEL CONDUCTOR:					
TECNICO	OPERACIONES PREVENTIVAS	REALIZADO		REPUESTO UTILIZADOS	TIEMPO REAL
		SI	NO		
	Ajustar correas de motor				
	Ajustar soportes de motor				
	Cambiar aceite y filtros a motor ( aceite, combustible )				
	Mantenimiento de baterias				
	Limpiar y revisar funcionamiento respiradera(s) transmision(es)				
	Limpiar y revisar funcionamiento respiradera(s) diferencial(es)				
	Nivelar anticongelante ( revisar filtro y determinar cambio)				
	Purgar tanques de aire				
	Revisar llantas, profundidad,número y presion				
	Revisar aceite a rodamientos delanteros				
	Revisar esparragos				
	Revisar codigo de fallas de motor con herramienta electronica				
	Revisar y engrasar crucetas				
	Revisar frenos				
	Revisar fugas de motor				
	Revisar funcionamiento fan clutch				
	Revisar juego de quinta rueda con herramienta				
	Revisar luces parqueo, direccionales,freno,altas bajas				
	Revisar marcadores de tablero				
	Revisar restriccion de aire (Cambiar filtro despues de 15 IN H2 O)				
	Revisar sistema de ABS				
	Revisar terminales y juego de pernos				
	Revisar tornillos de campana y auto ajustable				
	Torquear abrazaderas de suspension				
	Ajustar guias capot				
	Inspeccion rodamientos correa Fan - Verificar ultimo cambio				
	Inspeccionar funcionamiento compresor				
	Corregir fugas de aire				
	Ajustar guias de cofre				
	Ajustar soportes de cabina				
	Revisar bujes quinta rueda				
	Ajustar soportes de radiador				
	Ajustar tubos de escape				
	Alinear eje delantero				
	Alinear, balancear, rotar y encuatar tandem				
	Dar mantenimiento aire acondicionado				
	Mantenimiento Secador De Aire (Cambiar Elemento)				
	Nivelar aceite direccion hidraulica				
	Revisar Visualmente Los Arneses Del Motor				
	Revisar funcionamiento amortiguadores				
	Revisar tiempo de carga a compresor				
RESPONSABLE DEL SEGUIMIENTO _____					
FECHA DE ENTREGA OT _____					
QUIEN ENTREGA OT _____					

Figura 39. Mantenimiento tipo C.



		MANTENIMIENTO				CODIGO:
		MANTENIMIENTO PREVENTIVO TIPO C				FECHA:
						VERSION:
FECHA:	INGRESO:	SALIDA:				
HORA:						
PLACA:		TRAILER:		TRACTOCAMION		
CONDUCTOR:		CELULAR:		CARGADO		
OBSERVACIÓN DEL CONDUCTOR:				VACIO		
				ORDEN DE TRABAJO NUMERO:		
CMIC	OPERACIONES PREVENTIVAS		REALIZADO	REPUESTOS UTILIZADOS	TIEMPO REAL	
			SI NO			
	Ajustar correas de motor					
	Ajustar soportes de motor					
	Cambiar aceite y filtros a motor ( aceite, combustible )					
	Mantenimiento de baterias					
	Limpiar y revisar funcionamiento respiradera(s) transmision(es)					
	Limpiar y revisar funcionamiento respiradera(s) diferencial(es)					
	Nivelar anticongelante ( revisar filtro y determinar cambio)					
	Purgar tanques de aire					
	Revisar llantas, profundidad,número y presión					
	Revisar aceite a rodamientos delanteros					
	Revisar esparragos					
	Revisar codigo de fallas de motor con herramienta electronica					
	Revisar y engrasar crucetas					
	Revisar frenos					
	Revisar fugas de motor					
	Revisar funcionamiento fan clutch					
	Revisar juego de quinta rueda con herramienta					
	Revisar luces parqueo, direccionales,freno,altas bajas					
	Revisar marcadores de tablero					
	Revisar restriccion de aire (Cambiar filtro despues de 15 IN H2 O)					
	Revisar sistema de ABS					
	Revisar terminales y juego de pernos					
	Revisar tornillos de campana y auto ajustable					
	Torquear abrazaderas de suspension					
	Ajustar guias capot					
	Inspeccion rodamientos correa Fan - Verificar ultimo cambio					
	Inspeccionar funcionamiento compresor					
	Corregir fugas de aire					
	Ajustar guias de cofre					
	Ajustar soportes de cabina					
	Revisar bujes quinta rueda					
	Ajustar soportes de radiador					
	Ajustar tubos de escape					
	Alinear eje delantero					
	Alinear, balancear, rotar y encuatar tandem					
	Dar mantenimiento aire acondicionado					
	Mantenimiento Secador De Aire (Cambiar Elemento)					
	Nivelar aceite direccion hidraulica					
	Revisar Visualmente Los Arnese Del Motor					
	Revisar funcionamiento amortiguadores					
	Revisar tiempo de carga a compresor					
	Aplicar polis y cera con herramienta					
	Cambiar aceite y filtro direccion hidraulica					
	Limpiar y probar el postenfriador					
	Limpieza sistema enfriamiento (restore)					
	Revisar ajuste de rodamientos ruedas tanden					
	Revisar angulos de barras					
	Revisar rodamientos, splinder y ruedas delanteras					
	Revisar sistema dirección					
	Revisar sistema neumatico de transmision					
RESPONSABLE DEL SEGUIMIENTO						
FECHA DE ENTREGA OT _____						
QUIEN ENTREGA OT _____						

Figura 40. Mantenimiento tipo D.

		MANTENIMIENTO			CODIGO:
		MANTENIMIENTO PREVENTIVO TIPO D			FECHA:
					VERSION:
FECHA:	INGRESO	SALIDA	TRACTOCAMION		
HORA:			CARGADO		
			VACIO		
			ORDEN DE TRABAJO NUMERO:		
PLACA:	TRAILER:				
CONDUCTOR:		CELULAR:			
OBSERVACIÓN DEL CONDUCTOR:					
TECNICO	OPERACIONES PREVENTIVAS		REALIZADO	REPUESTOS UTILIZADOS	TIEMPO REAL
			SI NO		
	Ajustar correas de motor				
	Ajustar soportes de motor				
	Cambiar aceite y filtros a motor ( aceite, combustble )				
	Mantenimiento de baterias				
	Limpiar y revisar funcionamiento respiradera(s) transmision(es)				
	Limpiar y revisar funcionamiento respiradera(s) diferencial(es)				
	Nivelar anticongelante ( revisar filtro y determinar cambio)				
	Purgar tanques de aire				
	Revisar llantas, profundidad,número y presion				
	Revisar aceite a rodamientos delanteros				
	Revisar esparragos				
	Revisar codigo de fallas de motor con herramienta electronica				
	Revisar y engrasar crucetas				
	Revisar frenos				
	Revisar fugas de motor				
	Revisar funcionamiento fan clutch				
	Revisar juego de quinta rueda con herramienta				
	Revisar luces parqueo, direccionales,freno,altas bajas				
	Revisar marcadores de tablero				
	Revisar restriccion de aire (Cambiar filtro despues de 15 IN H2 O)				
	Revisar sistema de ABS				
	Revisar terminales y juego de pernos				
	Revisar tornillos de campana y auto ajustable				
	Torquear abrazaderas de suspension				
	Ajustar guias de cofre				
	Ajustar guias capot				
	Inspeccion rodamientos correa Fan - Verificar ultimo cambio				
	Inspeccionar funcionamiento compresor				
	Corregir fugas de aire				
	Ajustar soportes de cabina				
	Revisar bujes quinta rueda				
	Ajustar soportes de radiador				
	Ajustar tubos de escape				
	Alinear eje delantero				
	Alinear, balancear, rotar y encuatar tandem				
	Dar mantenimiento aire acondicionado				
	Mantenimiento Secador De Aire (Cambiar Elemento)				
	Nivelar aceite direccion hidraulica				
	Revisar Visualmente Los Arneses Del Motor				
	Revisar funcionamiento amortiguadores				
	Revisar tiempo de carga a compresor				
	Aplicar polis y cera con herramienta				
	Cambiar aceite y filtro direccion hidraulica				
	Limpiar y probar el postenfriador				
	Limpieza sistema enfriamiento (restore)				
	Revisar ajuste de rodamientos ruedas tanden				
	Revisar angulos de barras				
	Revisar rodamientos, splinder y ruedas delanteras				
	Revisar sistema dirección				
	Revisar sistema neumatico de transmision				
	Calibrar Motor (Valvulas Inyectores) y Freno De Motor				
	Lavar Motor				
	Revisar excentricidad del turbo				
	Revisar tensor automatico de bandas				
	Torquear tuercas de flechas laterales				
	Cambiar repuesto a spinner				
	Ajustar tacones de camarote - SOLO SI APLICA				
	Lavado y Engrasado de Tractor				


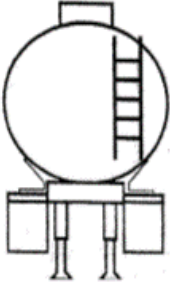
RESPONSABLE DEL SEGUIMIENTO \_\_\_\_\_

FECHA DE ENTREGA OT \_\_\_\_\_

QUIEN ENTREGA OT \_\_\_\_\_



Figura 42. Mantenimiento tráiler.

		MANTENIMIENTO		CODIGO:		
		MANTENIMIENTO PREVENTIVO TIPO C		FECHA:		
				VERSION:		
	INGRESO	SALIDA				
FECHA:						
HORA:						
			TRACTOCAMION			
			CARGADO			
			VACIO			
PLACA:		TRAILER:				
CONDUCTOR:		CELULAR:				
<b>OBSERVACIÓN DEL CONDUCTOR:</b>						
OPERACIONES BASADAS EN CONDICION Y PREVENTIVAS				B	M	OBSERVACIONES
1	KING PING					
2	TORNAMESA					
3	MANOS TRAILER					
4	CONECTOR SIETE VIA S					
5	SOPORTE TREN DE APOYO					
6	TABLERO DELANTERO					
7	LINEA DE VIDA					
8	TENSORES LINEA DE VIDA					
9	REVISAR LLANTAS MEDIDA NUMERO Y PRESION					
OPERACIONES BASADAS EN CONDICION Y PREVENTIVAS				B	M	
10	LINEA DE VIDA					
11	ESTRUCTURA Y POROS LADO IZQUIERDO					
12	AVISOS LADO IZQUIERDO					
13	GUARDABARRO DELANTERO L.I.					
14	BOLSA AIRE EJE 1					
15	BOLSA AIRE EJE 2					
16	BOLSA AIRE EJE 3					
17	FRENOS EJE DELANTERO Y/O RETEN L.D.					
18	FRENOS EJE CENTRAL Y/O RETEN L.D.					
19	FRENOS EJE TRASERO Y/O RETEN L.D.					
20	AMORTIGUADORES DEL LADO DERECHO					
21	SISTEMA NEUMATICO					
22	BRAZOS TENSORES LADO IZQUIERDO					
23	TORRES LADO IZQUIERDO					
24	BALANCINES LADO IZQUIERDO					
25	GUARDABARRO TRASERO LADO IZQU.					
26	ESTADO PINTURA LADO IZQUIERDO					
<b>VER AL RESPALDO</b>						



**12.2.3 Control proactivo – preventivo.** Este control es el seguimiento constante de la flota, la correcta forma de implementación es con el kilometraje actual el cual debe ser suministrado por el conductor día a día y teniendo una bitácora de mantenimiento actualizada, de esta manera esta matriz funcionara como semáforo cuando un mantenimiento este cerca de su intervención en la Figura 27 podremos observar el kilometraje límite de la intervención del mantenimiento, claro que a medida que se acerque a este límite este ira cambiando de color en señal de aviso, es responsabilidad del jefe de mantenimiento, garantizar que esto no repase el límite establecido por el fabricante o en su defecto limites puestos por la organización.

Figura 43. Control proactivo y preventivo.

PLACA	KM ACTUAL	CONDUCTOR	ULTIMO ENGRASE	RENDIMIENO ENGRASE 5000KM	ULTIMO CAMBIO DE ACEITE	RENDIMIENTO ACEITE 18000KM	ULTIMO CAMBIO ACEITE DIF 1	RENDIMIENTO ACEITE DIF 1 200.000KM	ULTIMO CAMBIO ACEITE DIF 2	RENDIMIENTO ACEITE DIF 2 200.000KM
				0		0		0		0
				0		0		0		0
				0		0		0		0
				0		0		0		0
				0		0		0		0

ULTIMO CAMBIO ACEITE TRANSMISION	RENDIMIENTO ACEITE TRANSMISION 220.000KM	TRANSMISION	MTTO 220.000 KM	MEDIA CAJA	MTTO 110.000 KM	EMBRAGUE CLUTCH	MTTO 120.000KM	ARRANQUES	MTTO 150.000 KM	ALTERNADORES	MTTO 80.000 KM
	0		0		0		0		0		0
	0		0		0		0		0		0
	0		0		0		0		0		0
	0		0		0		0		0		0
	0		0		0		0		0		0

BATERIAS	MTTO 17.000 KM	CALIBAR FRENO MOTOR Y VALVULAS	MTTO 136.000 KM	FAN CLUTCH	MTTO 270.000 KM	LATTER BOMBA DE AGUA	MTTO 240.000KM	REPARACION MOTOR	MTTO 540.000 KM
	0		0		0		0		0
	0		0		0		0		0
	0		0		0		0		0
	0		0		0		0		0
	0		0		0		0		0

REPARACION COMPRESOR	MTTO 300.000 KM	REPARACION INYECTORES	MTTO 220.000 KM	BOMBA FRENO Y RELAY	MTTO 160.000-220.000	FILTRO SECADOR Y EMPAQUETADURA	MTTO 180.000-240.000	GOBERNADOR	MTTO 180.000-240.000
	0		0		0		0		0
	0		0		0		0		0
	0		0		0		0		0
	0		0		0		0		0
	0		0		0		0		0

Esta herramienta tiene un impacto proactivo debido a que nos va indicando la diferencia entre el kilometraje actual y el kilometraje del último mantenimiento específico, así a su vez podremos programarnos para la toma de muestra del aceite lubricante del motor, y continuar con las tareas de mantenimiento proactivo para la mejora continua, que en final es lo que se busca, es ir acercándose más al punto idóneo del cambio de aceite y eliminar esos paradigmas y miedos respecto a ampliar los límites de cambio de aceite.

### 13. CONCLUSIONES

Se puede observar en el análisis de resultados que los límites encontrados para aditivos y contaminantes son elevados a comparación del establecido como máximo por criterio de viscosidad que es de 16,3 cSt, por lo cual, se establece como conclusión principal que según la tendencia el kilometraje óptimo sería de 35.747 kilómetros para el cambio de aceite con una confianza del 95%, lo que asegura un nivel muy óptimo con la correlación obtenida de que a dicho kilometraje aún no se tendrá el límite condenatorio por viscosidad. Se debe tener en cuenta que un límite de más de 35.747 kms es casi el doble al último kilometraje revisado en las pruebas 18.101 kms.

En base a los análisis de laboratorio se puede concluir con confianza que hasta el punto 18.101 kilómetros que se realizó esta prueba, la compañía puede empezar a realizar los cambios de aceite a los 18.100 kilómetros y tomarlo de partida para seguir extendiendo este rango, hasta llegar al encontrado por cálculos de tendencia que fue de 35.747 kilómetros, o en su defecto acercarse a los 32.000 kilómetros recomendado por el fabricante.

Según el análisis de costo del mantenimiento realizado, se plantean diferencias económicas tanto en la ampliación del rango de cambio de aceite y adquisición de aceite en diferentes presentaciones como lo es el tonel de 55 galones y no solo como se viene realizado que es con 2 canecas de 5 galones y 2 galones, si bien en condiciones actuales de la empresa realiza el mantenimiento del aceite del motor a 12.000 kilómetros con 2 canecas de 5 galones y 2 galones, cambiando de presentación el aceite a un tonel de 55 galones se llega a un ahorro del 5.8%. A 18100 kilómetros que es el límite al que se realizó la prueba, con la presentación

el aceite en tonel de 55 galones se llega a un ahorro significativo de 37.3%. y finalmente a 34.000 kilómetros que es un poco más de lo recomendado por el fabricante y un poco menos del resultado obtenido en el cálculo de tendencia en base a la viscosidad, con la presentación el aceite en tonel de 55 galones se llega a un ahorro más que satisfactorio e ideal de 66.6%. Como se puede ver, se alcanza una reducción de más de una tercera parte del costo actual en el cambio de aceite lubricante, pero existe un potencial mucho mayor en el probar si es posible llevar los cambios de aceite a valores de cada 34.000 kilómetros sin sacrificar o comprometer el rendimiento y capacidad del equipo.

## 14. RECOMENDACIONES

Dejar de realizar el cambio de aceite lubricante de 12.000 kilómetros y empezar a realizarlos a los 18.100 kilómetros como se ha probado en el estudio que el lubricante se encuentra óptimo para continuar en operación.

Realizar una profundización en un estudio más prolongado para obtener parámetros más precisos en valores que podrían ser cada 5000 kilómetros (10 mil, 15 mil, 20 mil, 25 mil, 30 mil, y 35 mil) para ampliar el panorama y llevar a límites tan extremos como los que se pueden encontrar al estudiar las recomendaciones del fabricante que están a 32.000 kilómetros de acuerdo a las condiciones de uso actuales.

Tener en cuenta los cálculos realizados en cuanto a ahorros que se generan al realizar la extensión del cambio de aceite y empezar a comprar el aceite en la presentación de tonel de 55 galones ya que el margen de ahorros es más significativo.

Se recomienda implementar los programas de mantenimiento proactivo el cual va de la mano con el mantenimiento preventivo y basado en condición propuestos, considerando que los programas de análisis de aceites deben mejorar la calidad de las decisiones de mantenimiento, incrementando la integridad de las máquinas y reduciendo los costos de mantenimiento, de lo contrario no serán eficientes desde ningún punto de vista.

Realizar la selección con un vehículo a la vez, pues es sabido que toda la flota está sometida a las mismas condiciones de operación, y así sucesivamente hasta que se le realice un análisis a cada uno y de esta manera reiniciar el ciclo. Y así comprobar que el estado y comportamiento del aceite lubricante sea él mismo en todos.

## BIBLIOGRAFÍA

ALBARRACÍN AGUILLÓN, Pedro Ramón. Tribología y Lubricación. Tomo I. Quinta Edición. Medellín: El Autor, 2015.

CAMPO, Oscar; ORDOSGOITIA, Jorge y PROTTO, Ermenson. Sistema de gestión de mantenimiento proactivo para tren de potencia en equipos mineros de Cerromatoso S.A. [En línea]. Monografía Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento, 2009. p. 51. [Consultado el: 11 de mayo de 2017]. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2009/129422.pdf>

CANO, Henry. Modelo gerencial de mantenimiento para la flota de tractocamiones de TRACTOCARGA LTDA. [En línea]. Monografía Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento, 2011. 234 p. [Consultado el: 08 de mayo de 2017]. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2011/140906.pdf>

CUMMINS ENGINE COMPANY. Manual de operación y mantenimiento motores signature e ISX. Indiana, USA: La compañía, 2000.

EXXON MOBIL CORPORATION. Análisis Signum de aceite. Bélgica: La Compañía, 2008. 20 p.

RODRÍGUEZ, Ofer. Modelo gerencial de mantenimiento para flotas de transporte de carga. [En línea]. Monografía Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento, 2006. 93 p. [Consultado el: 08 de abril de 2017]. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2006/121728.pdf>

TEXACO INC. Operación de motores diesel de dos combustibles y de gas. Edición, New York, USA: La compañía, 1960. p. 32.

TROYER, Drew y FITCH, Jim. Oil analysis. Tulsa, USA: Noria Corporation, 2004. 148 p.