

PROPUESTA METODOLÓGICA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO BAJO  
CONDICIÓN PARA OPTIMIZAR LA VIDA ÚTIL DE MOTORES CUMMINS ISX  
MEDIANTE EL ESTUDIO DE ANÁLISIS DE ACEITE

JOSE LUIS RODRIGUEZ HERNANDEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA  
2020

PROPUESTA METODOLÓGICA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO BAJO  
CONDICIÓN PARA OPTIMIZAR LA VIDA ÚTIL DE MOTORES CUMMINS ISX  
MEDIANTE EL ESTUDIO DE ANÁLISIS DE ACEITE

JOSE LUIS RODRIGUEZ HERNANDEZ

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN  
GERENCIA DE MANTENIMIENTO

DIRECTOR

FRANCISCO SALDIVIA

Ingeniero Mecánico

Magister en mantenimiento industrial

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA

2020

## CONTENIDO

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>16</b>
<b>1. CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA DE MANTENIMIENTO EN LA EMPRESA EDINSA POSTOBON</b>	<b>18</b>
1.1 DESCRIPCION DE LA EMPRESA EDINSA POSTOBON	18
1.1.1 Historia POSTOBON S.A	18
1.1.2 Historia UEN EDINSA POSTOBON	19
1.1.3 Procesos asociados a la gestión de mantenimiento	21
1.1.3.1 Estratégicos.	21
1.1.3.1.1 Políticas:	21
1.1.3.1.2 Planes:	22
1.1.3.1.3 Estrategias de contratación:	22
1.1.3.2 Tácticos.	22
1.1.3.2.1 Programación:	22
1.1.3.2.2 Calidad de proveedores:	23
1.1.3.2.3 Gerencia del conocimiento:	23
1.1.3.2.4 Adecuación de la tecnología:	24
1.1.3.3 Operativos	24
1.1.3.3.1 Ejecución:	24
1.1.3.3.2 Registro:	25
1.1.3.3.3 Almacenamiento:	25
1.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA FLOTA	25
1.2.1 Motor ISX	27
1.2.2 Especificaciones Generales	29
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	29
1.4 OBJETIVOS	30
1.4.1 Objetivo General	30
1.4.2 Objetivos Específicos	30
1.5 JUSTIFICACION DEL PROYECTO	30
1.6 MATRIZ DE NORMATIVIDAD DE MANTENIMIENTO	31
<b>2. MARCO TEORICO</b>	<b>32</b>
<b>3. MARCO CONCEPTUAL</b>	<b>36</b>
3.1 ACEITE LUBRICANTE	37
3.1.1 Aceite para motor diésel de alto desempeño Mobil Delvac™ MX ESP 15W-40	37

3.1.2 Composición aceites lubricantes	39
3.1.2.1 Bases lubricantes	39
3.1.3 Aditivos en los lubricantes	39
3.1.3.1 Tipos de Aditivos	40
3.2 CONDICIONES Y ELEMENTOS QUÍMICOS DE ORIGEN, DE LOS ACEITES LUBRICANTES	40
3.2.1 Condiciones en operación de los aceites lubricantes	42
3.2.1.1 Aumento de la Viscosidad	42
3.2.1.2 Humedad	43
3.2.1.3 Dilución por combustible	43
3.2.1.4 Disminución de la Viscosidad	43
3.2.1.5 Dilución con agua	44
3.2.1.6 Hollín	44
3.2.1.7 Anticongelante	44
3.2.1.8 Formación de espuma	45
3.3 PROCESO DE ANÁLISIS DE LUBRICANTES	46
3.3.1 Objetivos del muestreo	47
3.3.2 El laboratorio	48
3.3.3 Pruebas a realizarle al lubricante	48
3.3.3.1 Viscosidad	49
3.3.3.2 Índice de viscosidad	49
3.3.3.3 FTIR (Espectrometría Infrarrojo por transformada de Fourier ASTM E2412)	49
3.3.3.4 Grado de acidez o alcalinidad del aceite	50
3.4 MANTENIMIENTO PREDICTIVO	51
3.4.1 Virtudes del mantenimiento CBM	52
3.4.2 Dificultades de implementación del CBM	53
<b>4. METODOLOGIA</b>	<b>54</b>
4.1 Revisión de los equipos	55
4.2 Revisión de criticidad y confiabilidad	55
4.3 Selección del mantenimiento adecuado	55
4.4 Selección del método de medición	55
4.5 Recolección de información y análisis	56
4.6 Determinación de tareas de mantenimiento a aplicar y retroalimentación respectiva	57
4.7 Revisión	57
4.1 DELIMITACIÓN	60
<b>5. RECOPIACION Y ANALISIS DE INFORMACION</b>	<b>61</b>
5.1 HISTORIAL DE FALLAS	65
5.2 HOJA DE VIDA DEL ACTIVO	70
5.2.1 Taxonomía	70

<b>6. CÁLCULO Y ANÁLISIS INDICADORES MANTENIMIENTO</b>	<b>71</b>
6.1 CRITICIDAD	71
6.2 CONFIABILIDAD	78
6.2.1 Calculo MTBF y MTTR	79
6.2.2 Calculo de Confiabilidad “R”	79
6.2.3 Análisis de resultados	80
6.3 DISPONIBILIDAD	81
<b>7. DESARROLLO MODELO PROPUESTO</b>	<b>82</b>
7.1 DEFINICIÓN DE LA ESTRUCTURA DE DATOS	82
7.1.1 Proceso de obtención, análisis y tratamiento de datos recolectados	82
7.1.2 ¿Cómo se desarrollará el estudio en EDINSA POSTOBON?	82
7.1.3 Fuentes de información	83
7.1.3.1 Fuente primaria	83
7.1.3.2 Fuentes secundarias	83
7.1.4 Selección de variables	83
7.1.4.1 Variables de las características del aceite	83
7.1.5 Población y Muestra	84
7.1.5.1 Población	84
7.1.5.2 Muestra	84
7.1.6 Recolección de datos	84
7.1.6.1 Análisis de información	84
7.1.7 Parámetros fijos para el servicio de Análisis de Aceites	85
7.1.8 Plan de acción	85
<b>8. METODOLOGÍA MODELO PROPUESTO Y ESTÁNDARES DE DESEMPEÑO</b>	<b>88</b>
8.1 PRIORIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN Y REEVALUACION DE DATOS OBTENIDOS	89
8.2 TOMA DE DECISIONES	97
8.3 REGISTRO DE INFORMACION EJECUTADA	98
8.4 PUNTOS A CONSIDERAR	100
<b>9. RESULTADOS OBTENIDOS</b>	<b>102</b>
9.1 ANÁLISIS DE CASO 1	103
9.1.1 Comparativo Costos Mantenimiento Predictivo Vs Fallas Correctivas Caso 1	109
9.2 ANÁLISIS DE CASO 2	110
9.2.1 Comparativo Costos Mantenimiento Predictivo Vs Fallas Correctivas Caso 2	116
9.3 ANÁLISIS DE CASO 3	117
9.3.1 Comparativo Costos Mantenimiento Predictivo Vs Fallas Correctivas Caso 3	124
9.4 MEJORAS ENFOCADAS	125

<b>10. CONCLUSIONES</b>	<b>132</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>134</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>138</b>

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> Composicion Flota Tracto-Camiones UEN EDINSA - POSTOBON .	26
<b>Tabla 2.</b> Composicion tipos de Motores y tipos de Tranmisiones Tracto-Camiones UEN EDINSA - POSTOBON	26
<b>Tabla 3.</b> Parámetros limites análisis aceite motores Diésel Flota Coordinadora Mercantil S.A.	45
<b>Tabla 4.</b> Programa de actividades inspecciones periodicas EDINSA – POSTOBON.	61
<b>Tabla 5.</b> Matriz “Caza-Fallas” perdida potencia motor.	62
<b>Tabla 6.</b> Matriz “Caza-Fallas” recalentamiento motor.	62
<b>Tabla 7.</b> Matriz “Caza-Fallas” expulsion excesiva de combustion motor.	63
<b>Tabla 8.</b> Matriz “Caza-Fallas” consumo excesivo de combustible motor.	63
<b>Tabla 9.</b> Matriz “Caza-Fallas” consumo excesivo de aceite motor.	63
<b>Tabla 10.</b> Formato Rutina Plan de Mantenimiento basico para un motor Cummins ISX.	64
<b>Tabla 11.</b> Hoja de Excel, consolidado número de fallas y tiempo de reparación de fallas mensuales, año 2019 de EDINSA – POSTOBON.	66
<b>Tabla 12.</b> Hoja de Excel, consolidado número de fallas y tiempo de reparación de fallas mensuales, año de Enero a Abril de 2020 de EDINSA – POSTOBON.	66
<b>Tabla 13.</b> Hoja de Excel, consolidado Total Periodo evaluado, número de fallas y tiempo de reparación de fallas, años 2019 y parte 2020 de EDINSA – POSTOBON.	66
<b>Tabla 14.</b> Clasificación de nivel 1 taxonomia de activos.	70
<b>Tabla 15.</b> Clasificación de nivel 2 taxonomia de activos.	70
<b>Tabla 16.</b> Clasificación de nivel 3 y 4 taxonomia de activos.	70
<b>Tabla 17.</b> Tabla descripcion de factores Criticidad Toatal x Riesgos.	73

<b>Tabla 18.</b> Tabla consolidado de criticidad de sistemas evaluados.	<b>75</b>
<b>Tabla 19.</b> Hoja de Excel, consolidado Total Periodo evaluado, número de fallas y tiempo de reparación de fallas, años 2019 y parte 2020 de EDINSA – POSTOBON.	<b>78</b>
<b>Tabla 20.</b> Calculo MTBF.	<b>79</b>
<b>Tabla 21.</b> Calculo MTTR.	<b>79</b>
<b>Tabla 22.</b> Calculo Confiabilidad.	<b>80</b>
<b>Tabla 23.</b> Tabla Confiabilidad de Sistema Unidad Tractora.	<b>80</b>
<b>Tabla 24.</b> Tabla valor alarma cifras Confiabilidad.	<b>80</b>
<b>Tabla 25.</b> Tabla comparativo Confiabilidad de Sistema Unidad Tractora.	<b>80</b>
<b>Tabla 26.</b> Calculo Disponibilidad.	<b>81</b>
<b>Tabla 27.</b> Parámetros de límites máximos condicionales Muestra aceite motor.	<b>85</b>
<b>Tabla 28.</b> Parámetros de límites Normales, Precaución y Críticos condicionales aplicado a las muestra aceite motor ISX para la flota de Transporte Terrestre pesado T1, Regional Bogotá D.C.	<b>93</b>
<b>Tabla 29.</b> Costos Aproximados Fallas Correctivas Vs. Costos Aproximados Mantenimiento Predictivo SZX047.	<b>109</b>
<b>Tabla 30.</b> Costos Aproximados Fallas Correctivas Vs. Costos Aproximados Mantenimiento Predictivo TRI982.	<b>116</b>
<b>Tabla 31.</b> Costos Aproximados Fallas Correctivas Vs. Costos Aproximados Mantenimiento Predictivo TRI985.	<b>124</b>

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Logotipo Gasesosas Colombianas Centro, años 1900 en Bogota D.C.	18
<b>Figura 2.</b> Fotografía trailer POSTOBON con emblema de Cerveza Andina.	19
<b>Figura 3.</b> Fotografía Unidad Tractora y Trailer UEN EDINSA - POSTOBON .	20
<b>Figura 4.</b> Imagen piramide procesos asociados a la gestion de mantenimiento UEN EDINSA - POSTOBON .	21
<b>Figura 5.</b> Fotografía Unidad Tractora International Prostar 6X4 2020 UEN EDINSA - POSTOBON .	27
<b>Figura 6.</b> Fotografía Motor Cummins ISX UEN EDINSA - POSTOBON .	28
<b>Figura 7.</b> Imagen Motor Cummins ISX Standart.	29
<b>Figura 8.</b> Diagrama perdidas de energia por friccion de componentes.	36
<b>Figura 9.</b> Lista de propiedades, ventajas y beneficios Aceite MOBIL DELVAC MX 15W40 ESP	39
<b>Figura 10.</b> Imagen Guia Para la Interpretacion de Analisis de Aceite Usado en Motores Diesel.	41
<b>Figura 11.</b> Toma de Muestra de Aceite Mobil.	46
<b>Figura 12.</b> Diagrama de flujo de análisis de lubricantes.	47
<b>Figura 13.</b> Flujograma 7 pasos Mantenimiento Predictivo. Fuente: ISO 17359: 2011; Monitoreo de condición y diagnóstico de máquinas - Pautas generales.	59
<b>Figura 14.</b> Hoja de Excel, Base de Datos Muestras Aceite, Plataforma MOBILSERV, EDINSA – POSTOBON.	65
<b>Figura 15.</b> Hoja de Excel, esquema Básico Informe diario de Taller EDINSA – POSTOBON, registro inicial y respectiva falla.	68
<b>Figura 16.</b> Hoja de Excel, esquema Básico Informe diario de Taller EDINSA – POSTOBON, Indicadores y Clasificación Fallas.	68

<b>Figura 17.</b> Hoja de Excel, esquema Básico Informe diario de Taller EDINSA – POSTOBON, participación proveedores y técnicos.	<b>69</b>
<b>Figura 18.</b> Esquema Factores Criticidad Total por Riesgos.	<b>72</b>
<b>Figura 19.</b> Esquema Criterio de importancia Criticidad Total por Riesgos.	<b>73</b>
<b>Figura 20.</b> Grafico de barras Criticidad de sistema evaluados.	<b>76</b>
<b>Figura 21.</b> Matriz de Criticidad.	<b>77</b>
<b>Figura 22.</b> Gráficos de las propiedades y características de la muestra de aceite de aceite motor.	<b>86</b>
<b>Figura 23.</b> Datos específicos de cada una de las variables.	<b>87</b>
<b>Figura 24.</b> Seguimiento del análisis de aceites.	<b>89</b>
<b>Figura 25.</b> Informe común de Análisis de Aceite Motor ISX, generado por el Laboratorio MOBILSERV.	<b>90</b>
<b>Figura 26.</b> Información del Activo e información del aceite utilizado en el mismo.	<b>91</b>
<b>Figura 27.</b> Información de la Muestra de aceite, Información de fecha tomada, Kilometraje del Equipo y Kilometraje del aceite en uso, condición de cambio de aceite y filtración.	<b>91</b>
<b>Figura 28.</b> Valores en ppm de contaminantes y desgaste, en la muestra de aceite, de los elementos hallados por el laboratorio, en el lubricante.	<b>91</b>
<b>Figura 29.</b> Características del lubricante.	<b>92</b>
<b>Figura 30.</b> Graficas ilustrativas de los puntos anteriormente mencionados.	<b>92</b>
<b>Figura 31.</b> Hoja del Archivo Maestro de EXCEL, nombrada “ANALISIS RESULTADOS ENGINE”, formulada y limitada automaticamente para generar las alertas	<b>95</b>
<b>Figura 32.</b> Hoja del Archivo Maestro de EXCEL, nombrada “PREDICTIVO ENGINE”, formulada y limitada automaticamente para generar las alertas, en relacion de los componenetes a revisar, reparar o cambiar.	<b>96</b>
<b>Figura 33.</b> Imagen Muestras de Aceite placa SZX047, transcurso del año predictivo parte Izq.	<b>103</b>

<b>Figura 34.</b> Imagen Muestras de Aceite placa SZX047, transcurso del año predictivo parte Der.	<b>103</b>
<b>Figura 35.</b> Limites alerta Muestra aceite Unidad Tractora SZX047.	<b>104</b>
<b>Figura 36.</b> Tobera Inyector #5 fragmentado.	<b>105</b>
<b>Figura 37.</b> Alojamiento de Tobera Inyector #5 fragmentado.	<b>105</b>
<b>Figura 38.</b> Desgaste excesivo casquete inferior de biela cigüeñal del piston #5.	<b>105</b>
<b>Figura 39.</b> Desgaste excesivo casquete superior de biela cigüeñal del piston #5.	<b>105</b>
<b>Figura 40.</b> Desgaste excesivo muñon de biela cigüeñal del piston #5 vista posterior.	<b>106</b>
<b>Figura 41.</b> Desgaste excesivo muñon de biela cigüeñal del piston #5 vista lateral.	<b>106</b>
<b>Figura 42.</b> Informe Unidad Tractora SZX047 de Análisis de Aceite Motor ISX, generado por el Laboratorio MOBILSERV.	<b>108</b>
<b>Figura 43.</b> Imagen Muestras de Aceite placa TRI982, transcurso del año predictivo parte Izq.	<b>110</b>
<b>Figura 44.</b> Imagen Muestras de Aceite placa TRI982, transcurso del año predictivo parte Der.	<b>111</b>
<b>Figura 45.</b> Limites alerta Muestra aceite Unidad Tractora TRI982.	<b>111</b>
<b>Figura 46.</b> Destruccion de Piston #1.	<b>113</b>
<b>Figura 47.</b> Raspadura de Muñon de Bancada #1 de cigüeñal.	<b>113</b>
<b>Figura 48.</b> Deterioro grave casquete inferior de bancada cigüeñal del piston #1.	<b>113</b>
<b>Figura 49.</b> Deterioro grave casquete superior de bancada cigüeñal del piston #1.	<b>113</b>
<b>Figura 50.</b> Destruccion de alabes turbina contra alojamineto interno TurboCompressor, por desalineacion del eje del Turbo.	<b>114</b>
<b>Figura 51.</b> Informe Unidad Tractora TRI982 de Análisis de Aceite Motor ISX, generado por el Laboratorio MOBILSERV.	<b>115</b>
<b>Figura 52.</b> Imagen Muestras de Aceite placa TRI985, transcurso del año predictivo parte Izq.	<b>117</b>
<b>Figura 53.</b> Imagen Muestras de Aceite placa TRI985, transcurso del año predictivo parte Centro.	<b>118</b>

<b>Figura 54.</b> Imagen Muestras de Aceite placa TRI985, transcurso del año predictivo parte Der.	<b>118</b>
<b>Figura 55.</b> Limites alerta Muestra aceite Unidad Tractora TRI985.	<b>119</b>
<b>Figura 56.</b> Desgaste excesivo en las levas de los ejes de levas de admision y escape.	<b>121</b>
<b>Figura 57.</b> Presencia de aceite en las camaras de combustion.	<b>121</b>
<b>Figura 58.</b> Fisura significativa camara de combustion #5 culata motor.	<b>121</b>
<b>Figura 59.</b> Fisura significativa camara de combustion #5 culata motor, sector inyector.	<b>121</b>
<b>Figura 60.</b> Informe Unidad Tractora TRI985 de Análisis de Aceite Motor ISX, generado por el Laboratorio MOBILSERV.	<b>123</b>
<b>Figura 61.</b> Base Filtro Antiguo y deteriorado	<b>125</b>
<b>Figura 62.</b> Base Filtro Antiguo y deteriorado visto posterior	<b>125</b>
<b>Figura 63.</b> Base Filtro Nueva Tipo Freightliner	<b>126</b>
<b>Figura 64.</b> Base Filtro Nueva Tipo Freightliner vista posterior	<b>126</b>
<b>Figura 65.</b> Imagen Informacion base condiciones iniciales de prueba sin plantilla de Dosificacion.	<b>127</b>
<b>Figura 66.</b> Grafica Gasto en Pesos Vs Semanas de trabajo, consumo Combustible ACPM B10 Standart sin plantilla de Dosificacion.	<b>128</b>
<b>Figura 67.</b> Imagen descargada gasto en pesos programa SAP, por semana de combustible sin plantilla de Dosificacion.	<b>128</b>
<b>Figura 68.</b> Imagen Informacion base condiciones iniciales de prueba con plantilla de Dosificacion.	<b>129</b>
<b>Figura 69.</b> Grafica Gasto en Pesos Vs Semanas de trabajo, consumo Combustible ACPM B10 Standart con plantilla de Dosificacion.	<b>129</b>
<b>Figura 70.</b> Imagen descargada gasto en pesos programa SAP, por semana de combustible con plantilla de Dosificacion.	<b>130</b>
<b>Figura 71.</b> Comparativo grafica Gasto en Pesos Vs Semanas de trabajo, consumo Combustible ACPM B10 Standart, pruebas plantilla de Dosificacion.	<b>130</b>

## LISTA DE ANEXOS

**“Los anexos están adjuntos en el CD y puede visualizarlos en base de datos de la biblioteca UIS”**

**ANEXO A.** Archivo: Consolidado Muestras Aceite GENERAL EDINSA.xlsx

**ANEXO B.** INFORMES DIARIOS TALLER 2019 - 2020

**ANEXO C.** Archivo: Procedimiento Toma de Muestra.pdf

**ANEXO D.** Archivo: INSTRUCTIVO PARA INGRESAR MUESTRAS ACEITE PLATAFORMA MOBILSERV.pdf

**ANEXO E.** Archivo: INSTRUCTIVO PARA EXPORTAR ARCHIVO DE LA PLATAFORMA MOBILSERV.pdf

**ANEXO F.** Archivo: ORIGINAL Limites Análisis Aceite BOGOTA.xlsx

**ANEXO G.** Archivo: SZX047.PDF

**ANEXO H.** Archivo: TRI982.PDF

**ANEXO I.** Archivo: TRI985.PDF

**ANEXO J.** Archivo: 20200702.mp4

**ANEXO K.** Archivo: 20200704.mp4

**ANEXO L.** Archivo: Taxonomia Motor Cummins ISX.pdf

**ANEXO M.** Archivo: Especificaciones Generales del Motor ISX.PDF

**ANEXO N.** Archivo: MATRIZ DE NORMATIVIDAD DE MANTENIMIENTO.PDF

## RESUMEN

TITULO:

PROPUESTA METODOLÓGICA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO BAJO CONDICIÓN PARA OPTIMIZAR LA VIDA ÚTIL DE MOTORES CUMMINS ISX MEDIANTE EL ESTUDIO DE ANÁLISIS DE ACEITE\*

AUTOR:

JOSE LUIS RODRIGUEZ HERNANDEZ\*\*

PALABRAS CLAVE: MANTENIMIENTO PREDICTIVO, ANÁLISIS DE MUESTRA DE ACEITE, MOBIL DELVAC MX 15W40 ESP, MOTOR CUMMINS ISX.

CONTENIDO:

La presente monografía, desarrolla un modelo metodológico paso a paso, para la predicción de fallas mecánicas en los motores Cummins ISX de la UEN Edinsa – Postobon, basado en el programa de lubricación de la compañía, realizado con la necesidad de disminuir el Costo por Kilómetro de Mantenimiento, aumentar la Disponibilidad de la flota, aumentar el índice de Confiabilidad de los equipos, del mismo modo, mejorar la interpretación de los análisis de muestras de aceite, de tal forma que cualquier persona de mantenimiento, tenga bases y ayudas efectivas para verificar las condiciones tribológicas del aceite lubricante MOBIL DELVAC MX 15W40 ESP.

Así mismo, se implementan las bases de conservación de conocimiento técnico en: diseño de instructivos de procedimientos, categorización de datos base, priorización de información, taxonomía de cada parte del motor, archivos Excel formulados; de tal forma que quede plasmada la gestión del conocimiento y este a la orden de cualquier persona, que esté interesada en el “How” y “Know How”, de cada procedimiento de la metodología de mantenimiento propuesta.

---

\*Monografía de grado

\*\*Facultad de ingenierías Físico – Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: FRANCISCO SALDIVIA

## ABSTRACT

TITLE:

METHODOLOGICAL PROPOSAL FOR PREDICTIVE MAINTENANCE UNDER CONDITION TO OPTIMIZE THE SERVICE LIFE OF CUMMINS ISX ENGINES THROUGH THE OIL ANALYSIS STUDY \*

AUTHOR:

JOSE LUIS RODRIGUEZ HERNANDEZ\*\*

KEYWORDS: PREDICTIVE MAINTENANCE, OIL SAMPLE ANALYSIS, MOBIL DELVAC MX 15W40 ESP, CUMMINS ISX ENGINE.

CONTENTS:

This monograph develops a step-by-step methodological model for the prediction of mechanical failures in Cummins ISX engines of the UEN Edinsa - Postobon, based on the company's lubrication program, carried out with the need to reduce the Cost per Kilometer of Maintenance, increase the Availability of the fleet, increase the Reliability index of the equipment, in the same way, improve the interpretation of the analysis of oil samples, in such a way that any maintenance person has effective bases and aids to verify the tribology conditions of the MOBIL DELVAC MX 15W40 ESP lubricating oil.

Likewise, the technical knowledge conservation bases are implemented in: design of procedural instructions, categorization of base data, prioritization of information, taxonomy of each part of the engine, formulated Excel files; in such a way that knowledge management is captured and is available to anyone who is interested in the "How" and "Know How" of each procedure of the proposed maintenance methodology.

---

\* Monograph

\*\* Physical – Mechanical Faculty. Maintenance Management Specialization. Director FRANCISCO SALDIVIA

## INTRODUCCIÓN

EDINSA S.A.S es la principal empresa en transportar por vía terrestre, los productos de la Organización Ardila Lülle, donde su principal cliente es POSTOBON S.A.; ya que depende de Edinsa, que el producto final, llegue a todos los rincones y hogares del país. Su principal objetivo es prestar el servicio de transporte de carga pesada T1 y reparto de producto final regional T2, garantizando la entrega justo a tiempo de la carga, con la más alta calidad y minimizando costos adicionales de transporte.

Los ingresos anuales que tiene la empresa es de más de 70.000 millones de pesos, y transporta carga por las carreteras del país más de 1200 Toneladas de carga anuales, es por ello la importancia del seguimiento y mejora continua del Plan Estratégico de Seguridad Vial, ya que minimizamos los riesgos de accidentalidad de los operadores de vehículos, se asegura que todos los funcionarios de la empresa apliquen el manejo defensivo y se está en concientización continua, de las buenas prácticas de manejo.

La flota de Edinsa está compuesta, en su mayoría por Unidades Tractoras 6X4 equipadas con Motores Cummins ISX desde 400hp, todas con el mismo sistema de Tracción Meritor y el mismo sistema de Transmisión Eaton Fuller de 18 Velocidades. Así mismo, uno de sus objetivos principales es garantizar el buen estado de los vehículos y sus componentes a través del tiempo, implementando una política de mantenimiento apoyada en el análisis de la causa raíz de las fallas, que garantice la confiabilidad de los equipos. Es por ello que controlar la calidad en las reparaciones para disminuir los paros por mantenimiento correctivo, es una tarea primordial del día a día en mantenimiento; de tal forma, que sostener en óptimas condiciones el estado mecánico de los equipos para garantizar la gestión de operaciones con una alta confiabilidad, es la meta día a día que se debe cumplir y retroalimentar de los errores, para optimizar los recursos de la organización.

Para lograr que la gestión de mantenimiento se cumpla, se monitorean continuamente la estructura de costos de tal forma que nos permita mantener el menor costo por kilómetro en la operación, analizando todas las variables posibles (llantas, combustible, repuestos, servicios, etc.), de tal manera, que se continúe manteniendo en óptimas condiciones el estado mecánico de los equipos para alcanzar y superar la meta de un millón de kilómetros, sin exponer la seguridad y confiabilidad de la flota.

Para poder optimizar y reinventarse en metodologías nuevas de mantenimiento, con los más bajos costos posibles de implementación, ejecución y mejora continua, se investiga y el Dpto. de Mantenimiento sugiere una propuesta aplicativa documentada y verificada, de mantenimiento predictivo con base en el estudio de análisis de aceites, aplicada a los Tracto-Camiones de la Regional de Bogotá D.C. La información obtenida nos facilitara para construir la línea base de comportamiento tribológico de cada unidad, permitiendo anticipar la ocurrencia de las fallas, con base, a una propuesta metodológica de seguimiento de mantenimiento predictivo.

El punto de llegada de esto, es dar una especial importancia y prioridad al mantenimiento por condición, de tal forma, que sea parte fundamental para el logro de los objetivos del Dpto. de Mantenimiento UEN EDINSA – POSTOBON.

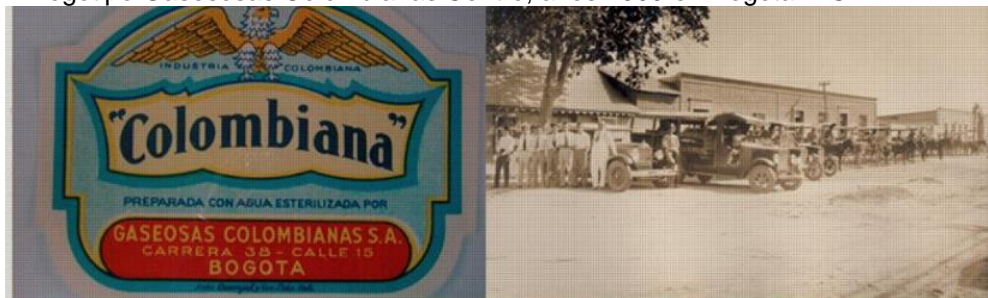
Con la implementación del programa tribológico, se busca anticipar fallas catastróficas de reparación, ya que es uno de los principales factores de pérdida de capital y de lucro cesante, por la cantidad de días que deben permanecer los Tracto-Camiones detenidos a la espera de repuestos o servicios especializados de reparación, con la finalidad de: aumentar el Costo por Kilometro Total de la flota, optimizar los intervalos de cambios de aceite motor, disminuir tiempos de reparación y números de fallas e intervenciones al motor, entre otras.

# 1. CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA DE MANTENIMIENTO EN LA EMPRESA EDINSA POSTOBON

## 1.1 DESCRIPCION DE LA EMPRESA EDINSA POSTOBON

**1.1.1 Historia POSTOBON S.A.** Al rededor del año 1904, en la ciudad de Medellín, nació una compañía que ha recorrido más de 115 años de existencia en el territorio colombiano, en el cual durante la época de la guerra de los 1000 días y la recesión mundial de economía internacional, el señor Valerio Tobón junto a su socio y jefe Gabriel Posada, generaron la sociedad llamada en un principio Posada&Tobón<sup>1</sup>.

**Figura 1.** Logotipo Gaseosas Colombianas Centro, años 1900 en Bogota D.C.



**Fuente.** Postobon S.A. 2020.

Tiempo después alrededor de los años 1950, el ingeniero civil Carlos Ardila Lülle oriundo de la ciudad de Bucaramanga, trasforma la compañía de manera trascendental, para el futuro de la industria de bebidas gaseosas y azucarada del territorio colombiano, dónde gracias al profesionalismo y empeño en la visión de grandes negocios, trazo un futuro profesional y prometedor para la compañía, tanto así que en 1968 logra que Gaseosas LUX se fusionara a Gaseosas Colombianas y Postobon S.A, a lo cual fue nombrado presidente de la compañía;

---

<sup>1</sup> Ibíd., historia.

confiando en su empeño comercial y bajo su mando, la compañía conglomeró a las principales empresas de bebidas gaseosas en el país<sup>2</sup>.

**Figura 2.** Fotografía trailer POSTOBON con emblema de Cerveza Andina.



**Fuente.** Postobon S.A. 2020.

El esquema de distribución es una de las grandes fortalezas de la compañía, donde se tiene la oportunidad de innovar y acceder a nuevos negocios y nuevos mercados a nivel nacional; se dedica principalmente a la logística, distribución, reparto, operaciones mantenimiento, planta, marketing, y publicidad, de los productos Postobon. De tal forma, todos los funcionarios de la compañía, dedican gran esfuerzo, para conocer las necesidades tanto de los consumidores finales, como de cada uno de, los clientes de la organización, de tal forma que se genere espacios y momentos llamativos y atractivos.

**1.1.2 Historia UEN EDINSA POSTOBON** Es una empresa de transporte de carga terrestre de servicio público, creada para transportar todos los productos, bienes y materia prima de la UEN Organización Ardila Lülle, con operación a nivel nacional, de tal forma que los costos de transporte, empaque y producto, requerido por cada empresa sea el más mínimo de tal forma que los productos sean acordes a cada precio del mercado nacional; de igual manera, uno de los

---

<sup>2</sup> Ibíd., Frescola.

objetivos de la UEN, es ser competitiva con las demás empresas de bebidas azucaradas; la principal actividad a la cual EDINSA está a cargo es administrar la operación y mantenimiento de la flota de vehículos de la empresa POSTOBON S.A.<sup>3</sup>.

**Figura 3.** Fotografía Unidad Tractora y Trailer UEN EDINSA - POSTOBON .



**Fuente.** Postobon S.A. 2020.

La política de mantenimiento de UEN EDINSA - POSTOBON está enfocada principalmente en resolver y obtener resultados tales como:

- Confiabilidad en la operación logística
- Control de calidad en las reparaciones
- Bienestar y satisfacción del operador
- Seguridad vial
- Control de costos.

---

<sup>3</sup> Ibíd., UEN EDNSA - POSTOBON.

**1.1.3 Procesos asociados a la gestión de mantenimiento** En cuanto a la Gestión de Mantenimiento en la Empresa, está fundamentada en los siguientes procesos asociados a cada estamento de la operación.

**Figura 4.** Imagen piramide procesos asociados a la gestion de mantenimiento UEN EDINSA - POSTOBON .



**Fuente.** Postobon S.A. 2020.

#### **1.1.3.1 Estratégicos.**

**1.1.3.1.1 Políticas:** La utilización de buenas prácticas de Mantenimiento ayuda en la disminución de los costos y el alargamiento de la vida útil de los componentes, dentro de las cuales podemos enumerar las siguientes:

- Adecuado manejo de llantas y su reencauchabilidad.
- Utilización adecuada de aditivos de agua refrigerante del Motor.
- Filtración adecuada de Aire, Combustible y Aceites
- Disminución del impacto ambiental de los residuos generados por los talleres y los vehículos.

**1.1.3.1.2 Planes:** El adecuado manejo de sistemas administrativos que garanticen la planeación, organización, dirección y el control el cumplimiento de las acciones y estrategias que se desarrollen en Mantenimiento que permitan reducir los costos y el alargamiento de la vida útil de los componentes, dentro de las cuales podemos enumerar las siguientes:

- Auditoria de Procesos.
- Sistematización de Mantenimiento.
- Plan de Mantenimiento Preventivo
- Plan de Mantenimiento Correctivo

**1.1.3.1.3 Estrategias de contratación:** se centran en la contratación directa a término fijo durante 6 meses, hasta completar los 2 años, los cuales se prorrogaran, si se cumple con la evaluación de desempeño calificada por los jefes de Mantenimiento; después el contrato pasa a ser de término indefinido, con aumento de salario.

Así mismo, 90% cumple con la contratación ya dicha, el otro restante 10% corresponde a los procesos de menor relevancia para el departamento de mantenimiento y cuyos activos fijos no ameritan la contratación de un personal fijo en la planta, los cuales se ejecutan mediante empresas tercerizadas especializadas en el mantenimiento preventivo y correctivo de las respectivas máquinas

### **1.1.3.2 Tácticos.**

**1.1.3.2.1 Programación:** Este punto, se realiza mediante la utilización del programa virtual “SAP”, el cual además de tener la interface de compras, nomina, control de inventarios, entre otras; también tiene la opción de Gestión de mantenimiento el cual permite la generación de O.T (Ordenes de Trabajo), asignación de tareas a cada una de las ordenes, ejecución de tiempos, herramientas, insumos, repuestos, horas laboradas, personal a cargo de ejecución

de tareas, cierre de órdenes, evaluación de indicadores y costos, y por último, seguimiento de mantenimiento.

En complemento a este programa, también se utiliza el paquete de Microsoft Office para la generación de informes, tablas dinámicas, bases de datos, gráficos descriptivos, tablas comparativas, etc.

Todo lo anterior, se aplica y programa para unos pilares importantes y básicos de la gestión de mantenimiento en la empresa, entre los que se encuentran:

- Capacitación de conductores.
- Adecuada filtración Aire, Combustible y Aceite.
- Adecuada lubricación.
- Acciones para disminuir impacto ambiental de residuos peligrosos.
- Aplicación de la teoría de las 5S en los talleres.
- Control del consumo de combustible.

**1.1.3.2.2 Calidad de proveedores:** Este punto se evalúa mediante, la prioridad ejecutada por parte del proveedor hacia nosotros; esto se evidencia de forma física y virtual (mediante el programa de Mantenimiento), después de hacer la requisición de repuestos y productos, se evalúa y mide los tiempos y la disponibilidad ejecutada, hasta la entrega física en el departamento de Almacén y compras. Así mismo se pide a los proveedores una cartilla de presentación donde se pueda constatar y certificar, la prestación de los servicios y productos ofrecidos, la orientación de la empresa, la composición, lugar y políticas integrales, además de la legitimidad de sus procesos, todo regido mediante todos los marcos legales establecidos en el país.

**1.1.3.2.3 Gerencia del conocimiento:** No se generan documentos o manuales informativos, a partir de la experiencia obtenida de diferentes soluciones a problemas presentados en el campo del mantenimiento, como tal. Lo que si se tiene en cuenta, es la aplicación y seguimiento de los planes y políticas de mantenimiento, a través de la utilización de los manuales originales de fábrica de

cada uno de los equipos, con el fin de garantizar una buena confiabilidad, en la ejecución de los cada uno de los procedimientos.

**1.1.3.2.4 Adecuación de la tecnología:** Se basa primordialmente en el reemplazamiento de los activos, con respecto a unos indicadores, los cuales nos dan el criterio de viabilidad de compra de nuevos equipos

- Antigüedad.
- Costos de mantenimiento.
- Retraso de tecnologías.
- Cuidado del Medio Ambiente.
- Ganancia y amortización del equipo.

### **1.1.3.3 Operativos**

**1.1.3.3.1 Ejecución:** Para este asunto se genera unos puestos de trabajo, a partir de los siguientes grupos de mantenimiento:

- Latonería y pintura.
- Cerrajería.
- Electricidad y electrónica.
- Tanqueo de combustible.
- Lavadero de vehículos.
- Mecánica general.
- Lubricación.
- Soldaduras uniones y cortes.
- Montallantas.

Estos grupos se fundamentan en objetivos generales, para la ejecución de las tareas:

- Utilización de elementos de protección personal.
- Alineación, balanceo y regrabe de llantas.
- Aplicación de aditivo radiador.

- Monitoreo e inspección de componentes según OT.
- Análisis de aceite motor, caja y transmisiones cada cambio.

**1.1.3.3.2 Registro:** Para el registro, se utilizan los diferentes programas informáticos, para el registro y almacenamiento virtual de cada una de los requerimientos y peticiones del cliente interno. Esto mediante una intranet privada, con servidores exclusivos y domino único de la empresa y de la División de Mantenimiento.

Así mismo, se tienen diferentes folios físicos, donde se acopian las O.T físicas y demás documentos para la verificación de tareas por parte de los operarios y administrativos de la organización.

**1.1.3.3.3 Almacenamiento:** Para esta cuestión, se tiene el departamento de compras y almacén, los cuales son los que gestionan directamente la adquisición y reserva de materiales, insumos, repuestos, accesorios, de acuerdo a la demanda requerida por el Departamento de Mantenimiento.

Actualmente el departamento de mantenimiento se conforma de 1 coordinador regional, 2 supervisores de mantenimiento, 1 auxiliar de mantenimiento y más de 40 técnicos especialistas en cada una de las áreas de mantenimiento de Tracto-Camiones; pero de todo el personal involucrado, solo los 2 primeros cargos, tienen acceso a la plataforma MOBIL SERV de análisis de aceites, y conocen su funcionamiento y análisis de muestras, el resto de personal no tienen el mínimo concepto, ni saben analizar una muestra de aceite de motor.

## **1.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA FLOTA**

En la actualidad, la compañía cuenta con un parque automotor conformado principalmente por 180 tractos camiones, distribuidos en cinco regionales tal como se muestra a continuación:

**Tabla 1.** Composicion Flota Tracto-Camiones UEN EDINSA - POSTOBON .

<b>REGIONAL</b>	<b>NUMERO DE EQUIPOS</b>
YUMBO	55
BOGOTA	80
MALAMBO	25
PIEDRECUESTA	10
MEDELLIN	10

**Fuente.** Postobon S.A. 2020.

La compañía cuenta con equipos de alta calidad y diferentes marcas, tales como:

- Kenworth T800
- Kenworth T660
- Volvo Autocar
- INTERNATIONAL Eagle 9400i
- INTERNATIONAL Eagle Prostar ISX
- INTERNATIONAL Eagle Prostar X15
- Freightliner Columbia
- Kodiak
- Gami
- Romarco
- Inca

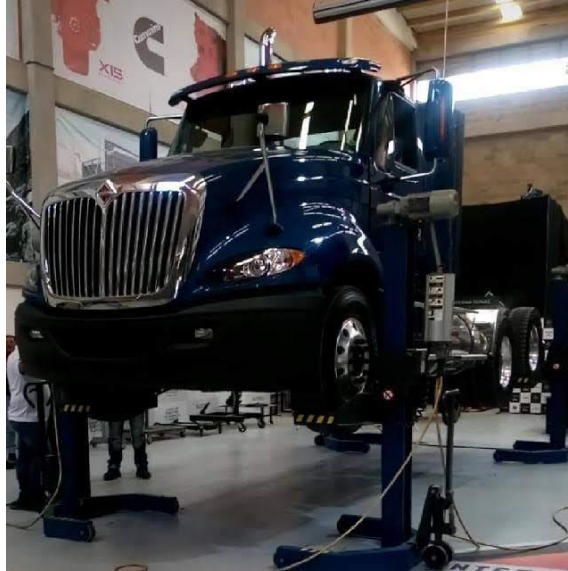
Los componentes de los equipos que se manejan en la compañía, en el área de motores y transmisiones son los siguientes:

**Tabla 2.** Composicion tipos de Motores y tipos de Tranmisiones Tracto-Camiones UEN EDINSA - POSTOBON .

<b>MOTORES</b>	<b>TRANSMISIONES</b>
Cummins ISX Cummins x15 Cummins ISC Detroit S60 Caterpillar	Eaton Fuller Eaton Ultra Shift

**Fuente.** Postobon S.A. 2020.

**Figura 5.** Fotografía Unidad Tractora Internacional Prostar 6X4 2020 UEN EDINSA - POSTOBON .



**Fuente.** Postobon S.A. 2020.

**1.2.1 Motor ISX** El Cummins ISX es un motor de combustión interna compuesto de 6 cilindros en línea (recta) producido por Cummins para uso de la industria automotriz y la industria de generación de energía eléctrica estacionaria, en sustitución de la N14 en 1998, cuando las leyes de emisiones aprobadas por la EPA hacen ese motor obsoleto<sup>4</sup>.

Este motor está diseñado con doble árbol de levas, donde con un eje de levas se acciona los inyectores y el otro eje maneja el tren de la válvulas y la disposición y control de las bobinas del freno de motor integral que ofrece hasta 447 kW [600 HP] de frenado. Este sistema de inyección se conoce como HPI (inyección de alta presión) en la que los inyectores son accionados mecánicamente y electrónicamente por leva para crear la presión de inyección. El sistema de combustible utiliza un módulo de sistema de combustible, con una bomba de levante, bomba de engranajes, válvula de paro, y actuadores de tiempo y dosificación para suministrar combustible a los inyectores<sup>5</sup>.

---

<sup>4</sup> Cummins Engine Company Inc. Cummins Inc. <https://www.cummins.com/>. U.S.A, 2020.

<sup>5</sup> *Ibíd.*, Sistema de Combustible y EGR.

El ECM (Módulo de Control Electrónico) utilizado en el ISX, funciona para grabar todo tipo de evento, anomalía, maniobrabilidad y comportamiento de cada uno de los sensores y sistemas del motor, donde a su vez tiene el programa de diagnóstico y protección ante fallas catastróficas de motor

El 2010 versión actual EPA conocida como ISX15, mejora particularidades de recirculación de gases de escape, filtro de partículas diésel y reducción catalítica selectiva (SCR), también conocido como inyección de Urea Automotriz<sup>6</sup>. El DEF se bombea y se inyecta en un tubo de escape, el cual reacciona con los gases de escape en el catalizador SCR para reducir los NOx.

Cummins continúa a la delantera en la producción de motores diésel de trabajo pesado en la región de Latinoamérica<sup>7</sup>.

**Figura 6.** Fotografía Motor Cummins ISX UEN EDINSA - POSTOBON .



**Fuente.** Postobon S.A. 2020.

La potencia entregada por el motor, que van de los rangos de 430 Hp a 600 Hp, se logra utilizando un motor de seis cilindros de gran cilindrada (15 litros), pistones más robustos y cojinetes duraderos, lo que aumenta la duración y el tiempo en servicio productivo.

<sup>6</sup> Ibíd., Cummins X15.

<sup>7</sup> Ibíd., Distribución y potencia motor.

Cummins ha desarrollado características, con el fin de mejorar la economía de combustible y ha generado herramientas como control de velocidad basado en carga, regulación de disminución de cambios altos a bajos, regulación temporizada de ralentí, y más.

**Figura 7.** Imagen Motor Cummins ISX Standart.



**Fuente.** Cummins Inc. 2012.

**1.2.2 Especificaciones Generales** las especificadores y características específicas del Motor Cummins ISX, se puede encontrar en el **Anexo M**, del presente trabajo.

### **1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El presente trabajo se realiza con el fin de diseñar una metodología enfocada a la prevención de fallas catastróficas y optimización de funcionamiento del Motor CUMMINS ISX, con el fin de reducir costos por reparaciones mayores y disminución de MTBF y el MTTR, permitiendo identificar y jerarquizar los mismos, de tal forma que la información suministrada se utilice como apoyo para gestionar

los activos con mayor eficiencia y eficacia, por parte de la mayoría de personal involucrado con los Motores CUMMINS ISX.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo General**

Modelar una metodología de mantenimiento predictivo bajo condición, basado en los 7 pasos principales en la gestión de mantenimiento, para identificar problemas en los motores ISX de una forma rápida y eficaz.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Análisis e interpretación de información de los reportes e informes de análisis de aceites realizados por el Laboratorio.
- Identificar los 7 pasos de mantenimiento predictivo y adaptarlos a la propuesta metodológica.
- Diseñar planes de acción, mediante tablas, gráficas y alertas sencillas de comprender, a todo el personal involucrado, para no intervenir de manera significativa el mantenimiento los motores CUMMINS ISX.

## **1.5 JUSTIFICACION DEL PROYECTO**

Para el diagnóstico de averías, por análisis de la degradación y contaminación del aceite, los sistemas de lubricación juegan un papel muy importante en la operación de cualquier tipo de máquina y tienen encomendadas una serie de funciones específicas; por el cual se realizó el análisis de lubricantes para brindar confiabilidad al proceso mediante la implementación del mantenimiento predictivo utilizando esta técnica para detectar averías, prevenir fallas catastróficas y optimizar el funcionamiento adecuado de la maquina en todo momento y todo lugar, donde cada una de las muestras que sean analizadas por el laboratorio, se

filtren y se trate la información, para generar un paso a paso de interpretación y toma de decisiones por parte de los ingenieros de mantenimiento y sus colaboradores, comprometidos en el mantenimiento de los motores ISX. Así mismo, por medio del mantenimiento predictivo se pueden programar adecuadamente todas las reparaciones de las máquinas sin interrumpir el proceso de producción, ya que se efectúan cuando las máquinas se encuentran en condiciones normales de funcionamiento o en tal caso, cuando la maquina entre en una rutina de mantenimiento preventivo, y se permita realizar las acciones necesarias.

Cabe aclarar que el costo del mantenimiento predictivo es menor comparado con los costos que genera el mantenimiento correctivo, en cuanto a la reparación de equipos y al tiempo muerto que se produce cuando se detiene la producción; además que puede considerarse como una inversión, porque evita todas aquellas pérdidas económicas que se producen cuando una máquina falla o genera una reparación mayor.

## **1.6 MATRIZ DE NORMATIVIDAD DE MANTENIMIENTO**

La normatividad y aspecto legal en el área de mantenimiento es muy importante a la hora de desarrollar actividades, porque se tiene en cuenta ciertas medidas como lo son la seguridad en el transporte terrestre, seguridad en el trabajo, y medio ambiente.

Las principal normatividad aplicada al contexto de la Monografía como tal, se puede encontrar en el **Anexo N**, del presente trabajo.

## 2. MARCO TEORICO

Los sistemas modernos de motores tienen como objetivo mejorar la reducción de las emisiones tóxicas en la medida de lo posible; mayor potencia del vehículo, tecnologías innovadoras como turbo alimentación y la inyección directa de combustible para este propósito además de las demás tecnologías innovadoras<sup>8</sup>, los diferentes sistemas del vehículo como tal, en cuanto a transmisión y potencia, combustible, inyección y potencia en el motor, hace que se requiera mucho más rendimiento y entrega de fuerza, hace que a su vez requiera que el componente lubricador, tendiera a ser en sus características intrínsecas, mucho más duro, exigente y lubricador, para soportar la presión hasta 2000 bar<sup>10</sup>, por lo tanto, los componentes del motor debían trabajar en condiciones extremas como: mayor velocidad / carga, temperatura más alta y cíclica inicio / parada; como resultado, se producen estados de lubricación irregulares, desgaste severo y fricción, así como la temperatura superficies de frotamiento<sup>11</sup>.

Es la fricción, el exceso de temperatura, la quema de lubricantes, dispersancia del hollín y otras propiedades físico-químicas, las que preocupan y mantienen a las industrias relacionadas con la tribología<sup>12</sup>, sobre la constante investigación y análisis del comportamiento de lubricación en los motores de combustión interna de tal forma que, dependiendo de las características del par lubricado y las exigencias de servicio al que esté sometido, dependerá de en donde se requiere

---

<sup>8</sup> Shanhong Wan, et al. Tribological performance of CrN and CrN/GLC coated components for automotive engine applications. *Journal of Alloys and Compounds* 695. Science Direct, 2017. pp 434-436.

<sup>9</sup> Cousseau Tiago, Ruiz Juan, Sinatora Amilton. Tribological response of fresh and used engine oils: The effect of surface texturing, roughness and fuel type. *Tribology International*. Science Direct, 2015.

<sup>10</sup> Kumar Yadav Ashok, et al. Performance and emission characteristics of a transportation diesel engine operated with non-edible vegetable oils biodiesel. *Case Studies in Thermal Engineering* 8. Science Direct, 2016. pp 241–242.

<sup>11</sup> *Ibíd.*, p. Cousseau Tiago, Ruiz Juan, Sinatora Amilton.

<sup>12</sup> Moran Robles Kevin David. Re-refinación de aceites lubricantes usados mediante procesos físico-químicos. Trabajo de Graduación, previa la obtención del título de Ingeniero Químico. Guayaquil-Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas. Departamento de Ciencias Químicas y Ambientales, 2015.

más o menos trabajo para superar la relación entre lubricado y coeficiente de fricción descrito por la Curva Stribeck<sup>13</sup>; la curva muestra el comportamiento del coeficiente de fricción para lubricación, dependiendo principalmente de la naturaleza del lubricante (específicamente sobre la viscosidad del lubricante), la velocidad relativa entre el lubricante y las partes móviles y fuerza normal mantenidas por las partes<sup>14</sup>.

Años recientes y siguiendo la tendencia general de reducir el consumo de emisiones de CO<sub>2</sub> de la industria automotriz, de nuevo el aceite de motor de servicio pesado propuesto por la API (American Petroleum Institute) con el fin de obtener ganancias en los beneficios de consumo de combustible<sup>15 16</sup>, en diciembre de 2016, API introdujo dos categorías de aceites para motores, CK-4 Y FA-4, compatible con la anterior categoría CJ-4 y la segunda dedicada a aumentar la economía de combustible de los vehículos, superando el histórico temperatura de alta viscosidad de corte límite de 3,5 cp. en Europa<sup>17 18</sup>.

El uso de aceites de motor de baja viscosidad (LVEO), es una manera más práctica de combatir las ineficiencias de los motores de los vehículos<sup>19</sup>, adoptada hace algunos años para su uso en el segmento transporte pesado; el LVEO están alcanzando ahora el segmento de servicio de alta durabilidad para vehículos pesados, donde hay que aclarar, que se ha retrasado en cuanto a desarrollo y estudios, con respecto al segmento de vehículos de turismo, debido a la preocupación por su capacidad para soportar las cargas asociadas con los ciclos de trabajo pesado<sup>20 21</sup>.

---

<sup>13</sup> *Ibíd.*, p. Kumar Yadav Ashok, et al.

<sup>14</sup> *Ibíd.*, p. Moran Robles Kevin David.

<sup>15</sup> *Ibíd.*, p. Cousseau Tiago, Ruiz Juan, Sinatora Amilton.

<sup>16</sup> *Ibíd.*, p. Moran Robles Kevin David.

<sup>17</sup> Macián Vicente, et al. Low viscosity engine oils: Study of wear effects and oil key parameters in a heavy duty engine fleet test. *Tribology International*. Science Direct, 2016. pp 245–247.

<sup>18</sup> Delgado Arnoldo, García Rafael, Aperador William. Estudio del Poder Lubricante del Aceite de Ajonjolí con Adición de Nano partículas de Cobre. *Inf. tecnol. La Serena Vol. 27*. SciELO The Scientific Electronic Library Online, 2016. pp 181-183.

<sup>19</sup> *Ibíd.*, p. Cousseau Tiago, Ruiz Juan, Sinatora Amilton.

<sup>20</sup> *Ibíd.*, p. Cousseau Tiago, Ruiz Juan, Sinatora Amilton.

<sup>21</sup> *Ibíd.*, p. Macián Vicente, et al.

Los aceites lubricantes producidos con base en plantas y alimentos, se consideran como las bases más sofisticadas y óptimas por sus características intrínsecas de los elementos que las componen: baja volatilidad, alto poder de limpieza del motor, alta dispersión, buena biodegradabilidad al momento de desecharse y atoxicidad. Aunque, presentan limitaciones debido a la deficiente estabilidad Termo-Oxidativa y disminución de ligereza a bajas temperaturas<sup>22 23</sup>; de acuerdo a investigaciones en tribología, los aceites vegetales presentan mejor efectividad en condiciones de lubricación riesgosa, respecto a los lubricantes de origen petroquímico<sup>24</sup>.

En general, la notable característica de lubricación de los bio-lubricantes es impartida por su estructura molecular; la unión de moléculas de glicerol y cadenas de ácidos grasos, mejoran la interacción del aceite con las superficies metálicas en contacto, a través de procesos de absorción mediante las fuerzas de Van Der Waals, donde a su vez los enlaces Hidrofóbicos, forman una película protectora que evita el contacto frecuente y cercano entre las piezas del motor, reduciendo la fricción y el desgaste<sup>25</sup>.

Una nueva tendencia tecnológica en aditivos es el uso de nanopartículas dispersas, ya que algunos estudios han demostrado su excelente capacidad para reducir la fricción dinámica y estática en las superficies críticas de los componentes de motores. El rendimiento de las nanopartículas como aditivos está estrechamente relacionado con una aplicación específica, debido a que las nanopartículas pueden presentar un comportamiento muy diferente en diferentes pruebas. Por ejemplo se ha evaluado experimentalmente el comportamiento tribológico del óxido de cobre nanopartículas como aditivos en aceite de motor

---

<sup>22</sup> *Ibíd.*, p. Cousseau Tiago, Ruiz Juan, Sinatora Amilton.

<sup>23</sup> *Ibíd.*, p. Macián Vicente, et al.

<sup>24</sup> *Ibíd.*, p. Delgado Arnoldo, García Rafael, Aperador William.

<sup>25</sup> Rabinowicz E. A Review of the Recent Literature on the Unlubricated Sliding Wear of Dissimilar Metals. *Journal of Lubrication Technology*. Vol. 113, 1981. pp 337-340.

multigrado de base mineral, realizando pruebas bajo diferentes cargas y diferentes concentraciones de nanopartículas.<sup>26</sup>

De acá la importancia para este estudio, de la composición química, tamaño, dureza y % de ellas en el lubricante, tienen efecto en su desempeño como aditivos anti desgaste y de extrema presión; por lo general los nps con tamaños superiores a 100 nanómetros (nm) tienden a ser muy duras, mientras que aquellas de diámetro menor a 10 nm tienden a ser blandas y con probabilidad de penetrar en la interface de fricción, favoreciendo la formación de una película protectora, además que imparten lisura en las superficies que están siendo sometidas a rozamiento<sup>27</sup>.

Es por ello, la importancia de estudiar los nuevos aditivos de tal forma que sean agentes que generen una ayuda y participación importante, de esas minúsculas grietas y fisuras en las partes, que aunque no sean relevantes en corto tiempo, para un plan de mejora continua a futuro en cuanto a vida útil, rendimiento combustible y potencia, será demasiado útil con la finalidad que, se puedan caracterizar su naturaleza cristalina de los recubrimientos, donde actualmente se ha estado evaluando por un Difractómetro de Rayos X utilizando radiación ( $\lambda = 0,154 \text{ nm}$ )<sup>28</sup>, las cuales son de tecnología de punta, al igual, que la morfología superficial de las pistas de desgaste se estudió mediante un microscopio electrónico de barrido (SEM) con espectroscopia de dispersión de energía (SEM-EDS)<sup>29</sup>; complementando lo anterior, también se puede generar un análisis mediante Radiografía Espectroscópica de Fotoelectrones (XPS)<sup>30</sup>, el cual se lleva a cabo para determinar las posibles reacciones interfaciales entre el lubricante y las superficies recubiertas.

---

<sup>26</sup> *Ibíd.*, p. Moran Robles Kevin David.

<sup>27</sup> Tormos Bernardo, et al. Fuel Consumption and Friction Benefits of Low Viscosity Engine Oils for Heavy Duty Applications. *Tribology International*. Science Direct vol. 110, 2017. pp 25–27.

<sup>28</sup> *Ibíd.*, p. Cousseau Tiago, Ruiz Juan, Sinatora Amilton.

<sup>29</sup> *Ibíd.*, p. Macián Vicente, et al.

<sup>30</sup> *Ibíd.*, p. Tormos Bernardo, et al.

### 3. MARCO CONCEPTUAL

#### ¿Qué es un lubricante?

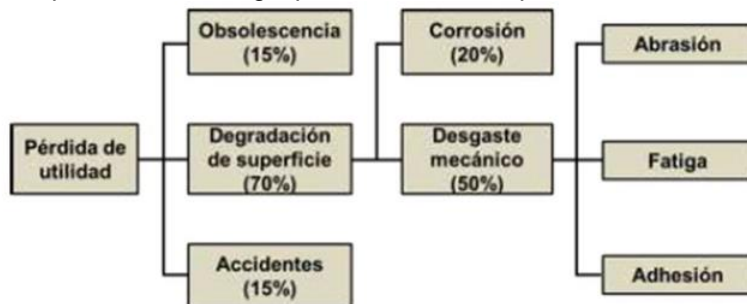
- Es una mezcla de un aceite base más un paquete de aditivos.
- Su función es lubricar, con el fin de evitar el contacto metal-metal de las superficies lo que hace que se disminuya la fricción, el desgaste, las pérdidas de energía y se incremente la vida útil del equipo.

#### Clasificación del lubricante

- Motor (Diésel, gasolina o gas)
- Industriales.
- Hidráulicos.
- Térmicos.

Controlar las condiciones que afectan el comportamiento tribológico de los lubricantes, es el objetivo de proteger las superficies de los materiales en movimiento. De acuerdo a Rabinowicz<sup>31</sup>, elaboro un gráfico donde se puede observar que más del 50% de la pérdida de utilidad se debe a degradación de superficies.

**Figura 8.** Diagrama pérdidas de energía por fricción de componentes.



**Fuente.** Rabinowicz. 2012.

<sup>31</sup> *Ibíd.*, p. Rabinowicz E.

La meta de un aceite lubricante, es aumentar la productividad de los equipos sujetos a través de la disminución del consumo de energía de los equipos y de la reducción del nivel de desgaste de los mecanismos

### **3.1 ACEITE LUBRICANTE**

**3.1.1 Aceite para motor diésel de alto desempeño Mobil Delvac™ MX ESP 15W-40<sup>32</sup>** este lubricante ofrece con mérito un desempeño superior, diseñado para motores diésel de alto caballaje, tanto motores con regulaciones tecnológicas de principios de siglo, como para los automotores de última generación.

En consecuencia, este aceite es apto para las categorías de servicio de motores diseñados bajo los parámetros: CK-4, CJ-4, CI-4 PLUS, CI-4 y CH-4 de API<sup>33</sup>. Mobil Delvac MX ESP es un producto especializado, donde su principal objetivo es ofrecer una superable protección del motor contra el desgaste, igualmente aumenta los intervalos entre cambios de aceite, sus propiedades son singulares, para el desempeño a altas temperaturas y limpieza del motor.

El aceite para motores de alto desempeño cumple a satisfacción los principales requisitos de los OEM (Fabricantes de Motores)

#### **Propiedades y Beneficios**

Este lubricante, se formula con mejoras en el aceite base, en conjunto del proceso de hidroprocesados y un sistema de aditivos de lubricantes equilibrado para brindar un sobresaliente desempeño. Esta formulación entrega una insuperable protección contra el excesivo desgaste, estabilidad superior contra la oxidación, y un mejorable control del TBN.

Mobil Delvac MX ESP 15W-40 es un aceite de alto desempeño para motores diésel, a su vez que proporciona un excelente desempeño en los modernos

---

<sup>32</sup> EXXON MOBIL CORPORATION. Mobil Delvac™ MX ESP.

<http://www.lubesonline@exxonmobil.com>. ExxonMobil Corporation del Perú, 2020.

<sup>33</sup> *Ibíd.*, p. EXXON MOBIL CORPORATION.

motores de alta potencia y bajas emisiones, incluso aquellos con los diferentes tecnologías de reducción de emisiones contaminantes de escape:

- Recirculación de gases de escape (EGR)
- Catalizadores de Oxidación de Diésel (DOCs)

Mobil Delvac MX 15W40 ESP brinda una óptima resistencia al consumo de aceite, la oxidación, el desgaste abrasivo y de fricción, como evita depósitos de materiales aglomerados en lodos<sup>34</sup>.

**Propiedades** El aceite está formulado con la tecnología de aditivos y un sistema mixto de agentes de detergentes, de tal forma que proporcionan un rendimiento avanzado. Además de asegurar un excelente control de hollín y una extraordinaria retención del TBN, donde proporciona largos intervalos entre cambios de aceite; la avanzada tecnología del aceite también es sobresaliente a la resistencia del consumo de aceite, a la oxidación, al desgaste abrasivo y corrosivo, y a los depósitos generados por altas temperaturas<sup>35</sup>.

### **Aplicaciones**

- Distintas aplicaciones en carretera que funcionan a altas revoluciones y altas cambios de cargas como en viajes cortos para recolección con paradas constates y recogidas con inicios bruscos
- Aplicaciones que operan en condiciones severas de baja velocidad y cargas con alto torque que utilizan combustibles con un máximo de 500 ppm de azufre<sup>36</sup>.

---

<sup>34</sup> COMPAÑÍA DE LUBRICANTES S.A. Mobil Delvac™ MX ESP 15W-40. [sistemas@ciadelubricantes.com](mailto:sistemas@ciadelubricantes.com). Bogotá D.C., 2017.

<sup>35</sup> *Ibíd.*, p. EXXON MOBIL CORPORATION.

<sup>36</sup> *Ibíd.*, p. EXXON MOBIL CORPORATION.

**Figura 9.** Lista de propiedades, ventajas y beneficios Aceite MOBIL DELVAC MX 15W40 ESP

<u>Propiedades</u>	<u>Ventajas y beneficios potenciales</u>
Cumple con las especificaciones más exigentes de los principales fabricantes de equipo y con la más reciente categoría API de servicio a gasolina	Un solo aceite de motor para operaciones de flotas mixtas
Superior estabilidad contra la oxidación	Intervalos prolongados entre cambios de aceite. Menor acumulación de lodos a bajas temperaturas y de depósitos a altas temperaturas
Excelente control del hollín y la viscosidad	Una mayor eficiencia del motor, larga vida útil del motor y del aceite
Excelente control del consumo de aceite	Menores costos de aceite debido a una menor necesidad de aceite de reposición durante la operación
Sobresaliente reserva de TBN	Protección contra la corrosión e intervalos prolongados entre cambios de aceite tanto para motores nuevos como viejos que utilizan combustible diésel con hasta 500 ppm de azufre
Fluidez y facilidad de bombeo a bajas temperaturas	Formulado para un arranque suave en climas fríos
Resistencia al desgaste corrosivo y abrasivo	Larga vida útil de las superficies de desgaste críticas
Compatibilidad con los componentes	Larga vida útil de empaquetaduras y sellos
Formulación con bajo contenido de cenizas que cumple con los requisitos de API CK-4 y CJ-4	Larga vida útil de los equipos de postratamiento de gases de escape (DPF, DOC y SCR)

**Fuente.** EXXON MOBIL CORPORATION. 2018.

### 3.1.2 Composición aceites lubricantes.

**3.1.2.1 Bases lubricantes** Es el componente más importante del aceite, define su viscosidad y le da propiedades fisicoquímicas importantes al aceite, como: anti desgasté, antiespumante, antioxidante, índice de viscosidad, biodegradabilidad y toxicidad entre otras<sup>37</sup>.

**3.1.3 Aditivos en los lubricantes** Son sustancias químicas que se agregan en el cuerpo del lubricante, en cantidades razonables con el fin de suministrar o aumentar propiedades, o para suprimir o reducir otras que le son perjudiciales, dependiendo de la contaminación y desgaste de materiales externos al aceite.

La finalidad de un aditivo es potencializarlo y que continúe preservando su base como lubricante; así mismo se debe transferir al lubricante adhiriéndose a ella completamente.

<sup>37</sup> RAMIREZ, Wilson y CABREJO Jupiter. IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE ANÁLISIS DE ACEITES EN MOTORES DIESEL PARA EL PARQUE AUTOMOTOR DE LA EMPRESA FL COLOMBIA. Monografía Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2013.

**3.1.3.1 Tipos de Aditivos** Los aditivos pueden dividirse en diferentes grupos, según los efectos que producen:

- a) Detergentes-Dispersantes
- b) Anticorrosivos y antioxidantes
- c) Aditivos Mejoradores del Índice de Viscosidad
- d) Mejoradores del Punto de Fluidez y congelación
- e) Aditivos Antiespumantes
- f) Aditivos Mejoradores de la Interfaz
- e) Aditivos para Aumentar la Rigidez dieléctrica

### **3.2 CONDICIONES Y ELEMENTOS QUÍMICOS DE ORIGEN, DE LOS ACEITES LUBRICANTES.**

Los fabricantes de motores diésel están introduciendo motores avanzados y tecnologías emergentes, para mejorar la eficiencia del combustible y cumplir con los estrictos requisitos de emisión según lo ordena la emisión agencias de control en todo el mundo. Las diferentes mejoras en la combustión, se plantean diferentes estrategias, compuestas por: diseño de componentes del motor, gestión del aire, sistema de pos tratamiento, sistema de lubricación y combustible a alta presión.

Las formulaciones del lubricante de motor son bastante complejas y están compuestas por aceites base, aditivos de rendimiento, modificadores de viscosidad y depresores del punto de fluidez; de tal forma, que las diferentes casas matrices de fabricación de motores, han aumentado los requisitos de rendimiento de aceites, aplicados en motores diésel, donde las distintas partes, son cuidadosamente priorizados dependiendo del tipo de funcionamiento y requerimiento<sup>38</sup>.

---

<sup>38</sup> Bagi Sujay, Sharma Vibhu, Aswath Pranesh. Role of dispersant on soot-induced wear in Cummins ISB engine test. Carbon. ScienceDirect, 2018. pp 396.

**Figura 10.** Imagen Guia Para la Interpretacion de Analisis de Aceite Usado en Motores Diesel.

Los siguientes límites tienen el fin de proveer una guía general para la interpretación cuando se está revisando un solo resultado de un motor diesel de trabajo pesado **SIN** recirculado de gases de combustión (EGR) o motores hasta el 2003. Cuando se tienen varias muestras, se recomienda un análisis estadístico. Se asume que los intervalos de cambio son los recomendados por el fabricante. Estos límites aplican para todos los motores diesel de trabajo pesado sin importar el fabricante. Los lineamientos no cubren equipos con periodo extendido de cambio.

**Límites Desgaste**

<b>Elemento (ppm)</b>	<b>Normal</b>	<b>Precaución</b>	<b>Alerta</b>
<b>Hierro</b>	<100	100 - 200	>200
<b>Cromo</b>	<10	10 - 20	>20
<b>Níquel (*)</b>	<5	5 - 15	>15
<b>Aluminio</b>	<20	10 - 20	>20
<b>Cobre</b>	<20	20 - 50	>50
<b>Plomo</b>	<20	20 - 50	>50
<b>Estaño</b>	<10	10 - 25	>25

(\*) Puede indicar corrosión en el sistema de admisión

**Límites Contaminación**

<b>Análisis</b>	<b>Normal</b>	<b>Precaución</b>	<b>Alerta</b>
<b>Silicio (ppm)</b>	<15	>15	>25
<b>Hollín (% peso)(*)</b>	<3	>3	>4
<b>Potasio (ppm)(**)</b>	<40	>40	>100
<b>Sodio (ppm)(**)</b>	<40	>40	>100
<b>Agua (% vol)</b>	<0.25	>0.25	>0.50
<b>Dilución (% vol)</b>	<2	>2	>5

(\*) Si hay presencia de glycol reportada seguir la acción como un Alerta.

(\*\*) Para motores CAT y MBE serie 4000, y motores con seguidores desizantes en el tren de válvulas, Precaución > 2%, Alerta > 3%.

**Condiciones del Lubricante**

<b>Análisis</b>	<b>Normal</b>	<b>Precaución</b>	<b>Alerta</b>
<b>Visc @ 100°C (*)</b>	11 - 18	18 - 20	<10 ó >20
<b>TBN (**)</b>	>4	2 - 4	<2
<b>Oxidación (abs/cm)</b>	<15	15 - 29	>30

(\*) Para aceites grado XXW-40.

(\*\*) Si se conoce el TBN del aceite nuevo, la alerta será cuando se caiga más del 70%.

**Acciones Recomendadas**

Con rangos **Normales**: no se necesitan acciones

Por encima de los límites de **Precaución**: cambie aceite y filtros, vuelva a muestrear en el siguiente cambio de aceite.

Un solo resultado por encima de los límites de **Alerta**, o segundo resultado por encima de los límites de **Precaución**: cambie aceite y filtros y tome las acciones correctivas.

Fuente. EXXON MOBIL CORPORATION. 2013.

**Origen de partículas metálicas del aceite**

El análisis de aceite usado es una parte importante del mantenimiento del motor, ya que proporciona información sobre el estado del aceite, su condición para un uso posterior y, hasta cierto punto, también proporciona información sobre el estado de la máquina lubricada por el aceite. Las muestras de aceite se toman en intervalos regulares, típicamente definidos por el OEM (fabricante de equipos originales) o por el proveedor de aceite, pero normalmente no serán más de 1 mes de diferencia. Las muestras se envían a un laboratorio para su análisis. De tal forma que se proporciona recomendaciones sobre su idoneidad para un uso posterior y optimización de los intervalos de cambio de aceite; así mismo, permitir la detección y, por lo tanto, la prevención de problemas que no se atienden puede afectar la operación confiable del motor. Por lo tanto, el laboratorio completa un análisis de rutina típico para verificar las características físicas y químicas del

aceite, tales como viscosidad, contenido de agua, número de base, insoluble, punto de inflamación, elementos, etc.

- ✓ Aluminio: Pistones, Casquetes.
- ✓ Bario: Fugas de refrigerante, aditivo detergente en el lubricante.
- ✓ Boro: Polvo del aire, fugas de refrigerante.
- ✓ Calcio: Aditivo detergente.
- ✓ Cobre: Casquetería en bronce, latón y mezcla cobre y plomo, fugas de refrigerante en radiadores de cobre, enfriadores de aceite.
- ✓ Cromo: Anillos y segmentos cromados.
- ✓ Estaño: Casquetes de bronce, tuberías de lubricante.
- ✓ Hierro: Paredes de Cilindros, segmentos muñones del cigüeñal, distribución.
- ✓ Níquel: Válvulas de alta resistencia, engranajes de distribución de potencia y tiempo.
- ✓ Manganeso: Válvulas de alta resistencia, engranajes de distribución de potencia y tiempo.
- ✓ Plomo: Casquetes de mezcla cobre y plomo.
- ✓ Silicio: Aire atmosférico, aditivo antiespumante en el lubricante.
- ✓ Sodio: Fugas de refrigerante.
- ✓ Zinc: Casquetería de latón, aditivo antioxidante en el lubricante<sup>39</sup>.

### **3.2.1 Condiciones en operación de los aceites lubricantes**

**3.2.1.1 Aumento de la Viscosidad** Si la viscosidad está más alta que el grado original, suele significar que ha habido oxidación del aceite; un aumento permisible de viscosidad se considera como máximo hasta un 30% más espeso que el

---

<sup>39</sup> OELCHECK GMBH. Limit values for wear metals. [www.oelcheck.de](http://www.oelcheck.de). Kerschelweg, 83098 Brannenburg, Deutschland, 2019.

original. La acción correctiva será reemplazar el aceite del motor y el filtro como primera opción. La oxidación en exceso se genera por:

**Cavitación.** (Aire en el lubricante) Al haber presencia de humedad o agua en el lubricante del motor, genera la cavitación en forma de corrosión o explosión entre superficies en contacto, donde las diferencias de presión generan daños relevantes entre las piezas.

**Sobrecalentamiento.** Sucede por un funcionamiento erróneo o defectuoso del sistema de refrigeración

**3.2.1.2 Humedad** La contaminación de aceite del motor por humedad puede traer como resultado mala lubricación y formación de sedimentos. Las lecturas más altas del 2% se consideran excesivas por la mayor parte de los laboratorios de pruebas. Al haber agua presente en el cárter, pueden ser ambiente para la generación de bacterias que degradan el aceite, generando que el lubricante se pase a un estado de Acidez, el cual causa oxidación y obstruye filtros de lubricación<sup>40</sup>; las causas pueden ser:

- Mangueras tapadas
- Bomba de agua agrietada
- Bloque agrietado
- Largos intervalos de cambio de aceite.

**3.2.1.3 Dilución por combustible** La presencia de combustible en el aceite puede deberse a inyectores defectuosos, fugas por anillos y sellos de empaques, bomba de inyección, motor descalibrado o conducción inadecuada. Una dilución de 5% de combustible puede considerarse alarmante.

**3.2.1.4 Disminución de la Viscosidad** Los laboratorios en general se consideran una disminución de viscosidad debido a la dilución del aceite. Una dilución máxima permisible de combustible del 3% de volumen, es generalmente aceptada. La dilución de combustibles en el aceite, se genera por:

---

<sup>40</sup> Shawa Austin, et al. Tribological study of diésel piston skirt coatings in CJ-4 and PC-11 engine oils. *Wear. Science Direct. Vol. 376–377, Part B*, 2017. pp 1673.

- Filtro de aire tapado o entrada de aire anormal después del filtro.
- Termostato defectuoso, lo que evita que el motor alcance su temperatura normal de funcionamiento y el motor funcione por debajo de la normalidad
- Ciclos de conducción cortos y arranques momentáneos en frío
- Conducto del desfogue de gases de descarga tapado en el múltiple de admisión o en la tapa delantera del motor.

**3.2.1.5 Dilución con agua** El agua en el aceite puede provenir del sistema de refrigeración, de condensación de los gases de escape o ingresar al efectuar añadidos de aceite. Cuando su origen es el sistema de refrigeración, puede deberse a grietas en la culata o junta de culata defectuosa<sup>41</sup>.

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

Por último también se ha investigado que la dureza del hollín, en comparación con los componentes físicos del motor, las partículas cristalinas y duras en base de carbono, es en un alto grado de responsabilidad, de un mayor desgaste con mayor cantidad de hollín en el aceite lubricante<sup>42</sup>.

**3.2.1.7 Anticongelante** La contaminación con anticongelante es causa de que el aceite del motor se congele. Las posibles causas de glicol o etilenglicol en el aceite incluyen:

- Bloque agrietado

---

<sup>41</sup> Ibíd., p. Cousseau Tiago, Ruiz Juan, Sinatora Amilton.

<sup>42</sup> Ibíd., p. Bagi Sujay, Sharma Vibhu, Aswath Pranesh.

- Cabeza de cilindros agrietada
- Fugas por el empaque de la culata del motor

**3.2.1.8 Formación de espuma** La espuma es una aglomeración de burbujas de aire u otro gas, separados por una fina capa de líquido que persiste en la superficie. Suele formarse por agitación violenta del líquido. La generación de esa espuma, causa fallas y averías de todo tipo en los diferentes sistemas hidráulicos y de lubricación a presión.

- Cavitación en bombas
- aumento de presión en el sistema asilado y genera derrames en depósitos de expansión.
- Oxidación prematura del aceite
- Fallos de casquetería (por deficiente lubricación)
- Disminución de la capacidad de disolución y refrigerante del aceite
- Flotación de partículas de barros presentes en el aceite

**Tabla 3.** Parámetros límites análisis aceite motores Diésel Flota Coordinadora Mercantil S.A.

PARAMETROS	VALOR
Viscosidad	12,5-16,3
Numero de base total (TBN)	5
Numero de acides total (TAN)	4,5
Dilusion de combustible max (%)	5
METALES DE DESGASTE	
Hierro (ppm) max	70
Plomo (ppm) max	5
Cobre (ppm) max	15
Aluminio (ppm) max	5
Cromo (ppm) max	3
CONTAMINANTES METALICOS	
Potasio (ppm) max	20
Sodio (ppm) max	10
Silicio (ppm) max	8
Hollin porcentaje en peso max (%)	3

**Fuente.** Coordinadora Mercantil S.A. 2015.

### 3.3 PROCESO DE ANÁLISIS DE LUBRICANTES

El análisis de aceite en las últimas décadas se ha convertido en la principal herramienta para cualquier tipo de programa enfocado a la supervisión en los equipos de una compañía. Un programa de análisis bien estructurado puede lograr beneficios como:

- Asegurar la fiabilidad de los equipos.
- Disminuir el coste del mantenimiento.

Estos procedimientos y pasos facilitan el proceso de control de la lubricación, y al mismo tiempo produce resultados confiables que ayudan a los profesionales del mantenimiento a tomar las decisiones más convenientes para su trabajo<sup>43</sup>.

Un análisis de una secuencia de datos en función del tiempo pone en evidencia, cómo se pueden elevar al máximo la vida útil de la maquinaria y su fiabilidad y, al mismo tiempo, disminuye los costes de mantenimiento. Aplicar la metodología tiene su triunfo, cuando se asignan los recursos necesarios para poner en práctica un programa de análisis del aceite<sup>44</sup>.

**Figura 11.** Toma de Muestra de Aceite Mobil.



**Fuente.** EXXON MOBIL CORPORATION. 2013.

<sup>43</sup> WIDMAN INTERNATIONAL SRL. La interpretación de los Resultados de Análisis. <https://www.widman.biz/>. Mantenimiento Proactivo, Widman International SRL, Santa Cruz – Bolivia, 2019.

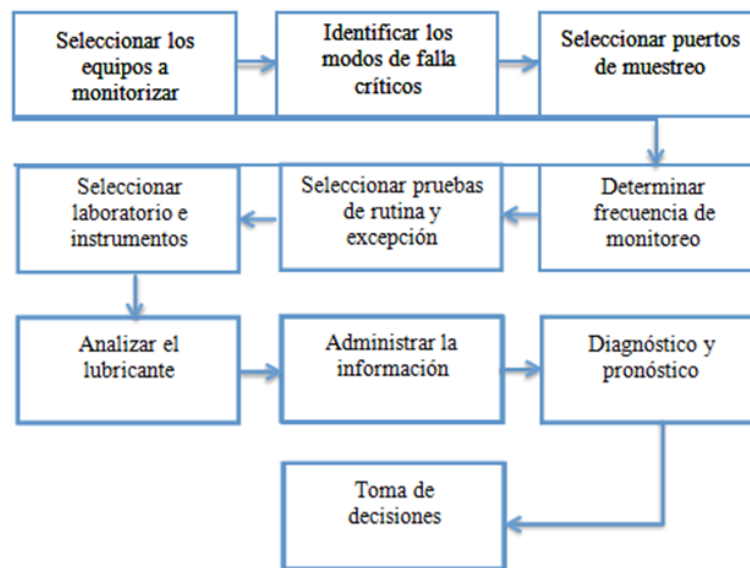
<sup>44</sup> *Ibíd.*, p. OELCHECK GMBH.

Los objetivos principales del uso de análisis de aceite son:

- ✓ Búsqueda de la causa raíz de fallas FMCA.
- ✓ Detección de problemas desde su generación.
- ✓ Planeación y programación de las intervenciones de mantenimiento.
- ✓ Reducir tiempos de paro y tiempos muertos.
- ✓ Optimizar costos y gastos de mantenimiento.

Para el desarrollo de análisis de aceite se utiliza un método principal y sencillo:

**Figura 12.** Diagrama de flujo de análisis de lubricantes.



**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

### 3.3.1 Objetivos del muestreo

- Causa de la falla inminente o progresiva.
- Monitorear realmente lo importante y primordial.
- Análisis e identificación de los orígenes de la contaminación del sistema.
- Minimiza el ruido que altera el dato (procedimientos de muestreo correctos)
- Planear paro de máquina para intervención.
- Análisis y determinación de condición del aceite en operación

Adicional se debe tener unas pautas importantes por parte de la empresa para realizar un análisis correcto, se deben suministrar la siguiente información de forma clara y concisa<sup>45</sup>, con datos confiables:

- Historial de fallas y eventos de paro de máquina.
- Identificación del entorno de operación del equipo (temperatura, humedad, contaminación, localización, terreno, etc).
- Condiciones iniciales de operación del lubricante.
- Edad, kilometraje u horas de la maquinaria.
- Límites para cada prueba y para cada elemento.
- Edad y condición del lubricante.
- Los componentes y partes de la maquinaria, su metalurgia y comportamiento.
- Lubricantes y línea base.
- Datos y hechos de la muestra.

**3.3.2 El laboratorio** El laboratorio está dedicado al análisis de aceites usados durante todo el desarrollo del plan de mantenimiento; incluyen análisis elemental para rastrear metales de desgaste, agotamiento de aditivos y contaminantes como fugas de refrigerante. También incluyen un infrarrojo Espectrómetro (IR) para medir la condición del lubricante como oxidación, nitración, sulfatación, número base total (TBN), fugas de hollín, humedad y refrigerante, así como un combustible medidor de dilución para monitorear la contaminación del combustible en el aceite, analizador de aceite y medidor de dilución de combustible

**3.3.3 Pruebas a realizarle al lubricante** El conjunto de pruebas se definen con base al tipo de lubricante y el equipo, objetivo de la muestra y nivel de desarrollo de las pruebas.

---

<sup>45</sup> Raposo Hugo, et al. Predicting condition based on oil analysis – A case study. Tribology International. ScienceDirect, 2019. pp 66.

**3.3.3.1 Viscosidad** una de las propiedades físicas más importante del aceite lubricante es viscosidad, la cual determina la capacidad de carga del aceite, así como la facilidad con que circula. El correcto equilibrio entre alta viscosidad para transporte de carga y baja viscosidad para facilitar la circulación debe ser considerada para cualquier lubricante y su aplicación. Para el control del estado de la máquina, viscosidad cinemática, definida como la resistencia al flujo bajo gravedad; las temperaturas más comunes para realizar el análisis son 40 grados Celsius y 100 ASTM D 7279.

#### **3.3.3.2 Índice de viscosidad**

- Es una medida de la variación de la viscosidad en relación del cambio de temperatura.
- Cinemática a 100° C y 40 ° C.
- El índice de viscosidad más alto indica menor disminución en la viscosidad con el aumento de la temperatura.
- ASTM D 2270.

#### **3.3.3.3 FTIR (Espectrometría Infrarrojo por transformada de Fourier ASTM E2412)**

Tiene su funcionamiento en que los enlaces químicos de las sustancias, se puede observar cuánta radiación infrarroja el lubricante absorbe en función de la frecuencia de esa radiación. Eso es todo lo que necesitamos del infrarrojo; espectroscopia en sí, solo tenemos que asegurarnos de un espectro infrarrojo preciso, ya que diferentes materiales tienen frecuencias de vibraciones específicas que corresponde a los niveles de energía de las moleculares<sup>46</sup>.

El espectro del aceite se compara con las características y parámetros principales de un aceite nuevo idéntico para analizar contaminantes como:

- Oxidación.
- Nitración.
- Sulfatación.

---

<sup>46</sup> Ibid., p. WIDMAN INTERNATIONAL SRL.

- Hollín.
- Combustible.
- Agua.
- Glicol.

**3.3.3.4 Grado de acidez o alcalinidad del aceite** Es un hecho inevitable: los lubricantes de las máquinas se degradan en tiempo extraordinario. Esfuerzo térmico y mecánico, acoplado con los contaminantes inevitables, hacen que el aceite alcance un punto donde ya no puede realizar su función como un lubricante. La degradación de un lubricante se debe principalmente por la descomposición de componentes químicos en el aceite, que resulta en la formación de subproductos ácidos a lo cual, se pueden expresar por el número de neutralización respectivo, donde se define como la cantidad de base o ácido, expresado en mgr. de KOH, formado por reacciones químicas entre la base del aceite componentes de reserva y aditivos en un oxígeno / hidrógeno, ambiente rico bajo estrés térmico extremo; a lo cual la característica principal es, que tanto se requiere para neutralizar el contenido ácido o base de un gramo de muestra. Estos los subproductos ácidos conducen a la corrosión del aceite humedecido, piezas de la máquina y la formación de barniz y lodos que puede obstruir rápidamente los filtros de aceite<sup>47</sup>. La acidez de un aceite nuevo da información sobre el grado de refinamiento y aditivación. Los más importantes son:

- Bomba de inyección.
- Filtro de aire obstruido.
- Sobrecalentamientos por fallo de la refrigeración.
- Filtro obstruido o ineficiente.

---

<sup>47</sup> *Ibíd.*, p. WIDMAN INTERNATIONAL SRL.

- TAN (Número de ácido total) manifiesta y caracteriza los mgr aproximados de KOH necesarios para neutralizar todos los constituyentes ácidos presentes en 1 gramo de muestra de aceite<sup>48</sup>.
- TBN (Número de base total) manifiesta y caracteriza los mgr. equivalentes de KOH necesarios para neutralizar sólo a los constituyentes alcalinos presentes en 1 gramo de muestra de aceite<sup>49</sup>.

Además de estar íntimamente relacionados el TAN y TBN, existe una relación inversamente proporcional entre las 2 características del lubricante.

El TBN de un aceite de motor, debe ser mayor cuanto mayor sea el contenido en azufre del carburante.

### 3.4 MANTENIMIENTO PREDICTIVO

El mantenimiento predictivo conocido como basado en condición o CBM se genera como necesidad de reducción de costo, optimización de vida útil del activo, prolongación de funcionamiento de la maquina al máximo, antes de que ocurra una falla que pueda impedir el buen funcionamiento de la misma, de tal forma que el mantenimiento preventivo y correctivo, tradicionales en todos y cada uno de los departamento de mantenimiento de cada organización, sean disminuidos progresivamente en recursos y tareas, pero no eliminados completamente.

La filosofía del mantenimiento predictivo se fundamenta en la existencia de parámetros y reglas iniciales, los cuales después de un estudio y análisis exhaustivo de cada una de las variables y condiciones al que la maquina está expuesta o pueda generar, se establecen criterios de alerta y normalidad de funcionamiento, donde lo primordial es detectar, hasta donde la maquina puede funcionar sin generar una avería considerable, ni afectar su integridad y por supuesto afectar su ciclo de vida.

---

<sup>48</sup> TESTOIL PRO. Understanding ISO Codes. [sales@testoil.com](mailto:sales@testoil.com). Strongsville, OH, 2016.

<sup>49</sup> *Ibíd.*, p. TESTOIL PRO.

Así mismo, esta filosofía se fundamenta en la vigilancia continua y progresiva de equipos, sin dejar de monitorear periódicamente cada uno de los equipos que se evaluarán bajo los criterios seleccionados para medir.

De tal forma que, si la condición se detecta y se está totalmente informado de causas y consecuencias de la misma, se podrá realizar seguimiento e intervención oportuna antes de que ocurra un evento que afecte el funcionamiento óptimo del activo; lo anterior se deduce, ya que todos los componentes de una máquina evidencian características y avisos de su comportamiento antes que ocurran la falla; la clave está, en descubrir qué tipo de metodología basada en CBM utilizar, para cada máquina.

Por lo tanto, se considera un mantenimiento basado en condiciones realizado según lo sugerido por las condiciones del estado de degradación.

Para ejecutar el mantenimiento predictivo, se utiliza como un sistema de ingeniería que integra las capacidades avanzadas de detección de fallas y las tecnologías existentes para cada condición de la máquina o componentes de la misma.

**3.4.1 Virtudes del mantenimiento CBM** Para la predicción de la vida útil mediante la evaluación de la degradación de las condiciones de funcionamiento, los pronósticos permiten la predicción de fallas en las máquinas que resultan en beneficios para los operadores de la planta, tales como tiempos de inactividad más cortos, mayor confiabilidad operativa, costos de operación y mantenimiento reducidos y una planificación logística y de mantenimiento más efectiva<sup>50</sup>. En este contexto, las tecnologías pueden reducir el tiempo y los costos de mantenimiento de productos o procesos mediante actividades de diagnóstico y pronóstico eficientes y rentables.

Para los campos industriales, los sistemas pueden proporcionar ventajas competitivas significativas dado que las técnicas relevantes pueden permitir una

---

<sup>50</sup> ALBARRACIN, Pedro. Tribología y Lubricación Industrial y Automotriz: Tomo I, 5ta edición. Colombia: 2015. p.85.

reducción en el costo de las actividades de mantenimiento y las consecuencias de fallas inesperadas<sup>51</sup>.

**3.4.2 Dificultades de implementación del CBM** La gran diferencia entre la teoría y metodología del CBM, aplicado a las maquinas, y la implementación y puesta en marcha de los principios de CBM, es su misma esencia; quiere decir que el hecho que la maquina tenga defectos incipientes, defectos de diseño, defectos o averías de fábrica, defectos de materiales o mala elección de los mismos, en los componentes de la maquinaria, no es garantía que la metodología CBM funcione optima y verídicamente.

Así mismo, para cada máquina son diferentes los elementos y variables a analizar en un estudio de CBM, a lo cual se debe realizar primero un estudio de criticidad para elegir a que maquinas aplicar la metodología y cuales realmente la necesitan. También, si no se concientiza y se capacita al personal de la recurrente e insistente necesidad de muestrear y analizar resultados cada intervalo comprendido, no generara ningún éxito el CBM; de igual manera si una alerta arrojada por el programa, no es analizada, diagnosticada e intervenida a tiempo, todo los esfuerzos de un programa completo de CBM, no servirán en lo más mínimo.

---

<sup>51</sup> Saldivia Francisco. APLICACIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO. CASO ESTUDIO: ANALISIS DE ACEITE USADO EN UN MOTOR DE COMBUSTION INTERNA”. Eleventh LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology, 2013. pp 2.

#### 4. METODOLOGIA

Se ha conceptualizado el mantenimiento predictivo como el tipo de mantenimiento propuesto, más idóneo para su implementación en el análisis de fallas de los motor, señalando las razones fundamentales para su implementación y uso de las tecnologías de predicción para el monitoreo de estado de los equipos, dando las pautas de cada etapa, teniendo en cuenta los 7 pasos a seguir para el análisis de los datos obtenidos mediante toma de muestras periódicamente y bajo condiciones especiales.

La función de la planeación debe ser consistente en lo que se quiere lograr y buscar en el mejor sentido, la mejor manera de hacerlo; lo anterior involucra en el mantenimiento la implementación de tareas que logren los mejores resultados para el proceso y la organización.

En la medida que la empresa involucra la implementación de nuevas tecnologías y montos de inversión en maquinarias y equipos, el mantenimiento demanda la implementación de técnicas innovadoras de rutinas predictivas. Al señalar las razones fundamentales para la implementación, de la metodología predictiva, se tiene claro que el uso de las tecnologías de predicción para el monitoreo de estado de los equipos, es una de las premisas más importantes de esta filosofía, recolectando las variables de pautas en operación y funcionamiento del automotor, es en la medida del caso, implementar a los equipos de la flota, como un reglamento de mantenimiento, sin olvidar que cada máquina es un caso en particular.

La gerencia de mantenimiento incorpora en sus estrategias y criterios modernos de gestión y ejecución de sus actividades, la implementación de modernas técnicas de monitoreo, le permiten tomar la manera más correcta y certera las decisiones, en función del Costo-Beneficio y lograr la combinación optima con los otros mantenimientos, a fin de lograr el efecto global de reducción de costos.

#### **4.1 Revisión de los equipos**

Se define como la identificación de equipos a evaluar y funciones a realizar, a lo que se debe una descripción general de la metodología que identifica la interrelación entre la definición de requisitos y otras tareas principales asociadas a equipos, máquinas y activos en la organización. Luego se concentra en el proceso de definición de requisitos, para realizar correctamente el diseño de la misión con especial atención de lo que se debe hacer, dando descripciones detalladas y una comprensión integral de las condiciones óptimas de operación.

#### **4.2 Revisión de criticidad y confiabilidad**

- ◆ Confiabilidad y Disponibilidad: estos factores establecen y determinan los equipos o los sistemas más importantes y relevantes en el proceso o función a ejecutar del activo, de tal forma que se genere un listado, de a qué se debe priorizar y en qué tipo de condición se debe evaluar
- ◆ Identificar modos de falla: los requisitos se pueden analizar y descomponer por tiempo, funciones, comportamientos, objetos, flujo de datos, estados y modos, y fallas / fallas y efectos, donde se indican las condiciones que se presentan antes del daño, y durante el funcionamiento de la máquina, por algún otro cambio en una característica de operación o mantenibilidad.

#### **4.3 Selección del mantenimiento adecuado**

Para la selección del mantenimiento adecuado se debe identificar el modo de las fallas de los sistemas a evaluar, de modo que, se tenga exactitud en la raíz de las frecuencias de las fallas; de tal forma, que se determine qué tipo de CBM utilizar, (Análisis de aceites, Análisis de vibraciones, corrientes inducidas, Termografía, etc).

#### **4.4 Selección del método de medición**

- ◆ Identificar alertas y técnicas de medición: según la información recolectada en el estudio de fallas, se identifican los parámetros y valores base, a seguir según las consecuencias que sus efectos presenten.

En cuanto a las técnicas de monitoreo y muestreo, se diferencian mediante la ubicación del elemento muestreante: instalación permanente o transitorio, mediante equipo Off-line o en Operación, antes del depósito de almacenamiento de aceite, después del elemento filtrante, etc.

Además de lo anterior, se debe tener en cuenta es la tendencia a medir en la muestra.

- ◆ Seleccionar frecuencia de medición: Se debe considerar si el intervalo de muestreo es continuo o periódico, esto depende principalmente del tipo de falla, pero está influenciada por factores tales como kilometraje u horas de funcionamiento, recomendaciones del OEM, el costo de cambio de piezas y la criticidad de equipo o componente.
- ◆ Seleccionar puntos de medición: Existen casos en que el montaje no permite tomar las muestras respectivas, ya sea por comodidad o modificación de la pieza; así mismo, algunas veces se necesitan permisos especiales o cursos primordiales para hacerlo.
- ◆ Establecer parámetros de alarma: Las alarmas pueden ser valores únicos o múltiples, tanto crecientes como decrecientes o en tal caso, cambios que ocurren dentro de los límites previamente establecidos, mientras que no exceda o sobrepasen dichas alertas.

#### **4.5 Recolección de información y análisis**

- ◆ Realizar mediciones y revisar su tendencia: la metodología común, es tomar medidas y compararlas con las tendencias históricas, datos básicos o del fabricante del lubricante. Las mediciones se toman a lo largo de un lapso de tiempo programado con cierta periodicidad.
- ◆ Comparación con criterios de alarma: Si los valores medidos son permitidos en comparación con los criterios de alerta – alarma se dejan tal cual y no se altera ninguna acción, pero si los valores medidos no son aceptables debe hacerse un diagnóstico y retroalimentación del proceso.

- ♣ Mejorar la información verídica: es necesario asegurar de tener datos confiables de resultados obtenidos. Retomar las muestras, modificación a la frecuencia de muestreo, realizar una toma de datos adicional, usar una técnica más especializada o cambiar de proveedor, son tareas que se deben verificar, de lo contrario hay que proceder a mejorarlos

#### **4.6 Determinación de tareas de mantenimiento a aplicar y retroalimentación respectiva**

Los requisitos funcionales son una combinación de exigencias de las condiciones, restricciones regulatorias, restricciones operativas y realidades de implementación. Estos requisitos se centran en qué funciones hacer, para cumplir las misiones y objetivos requeridos, que son los necesarios para obtener el rendimiento esperado del sistema en las condiciones especificadas anteriormente. La vista funcional se centra en el que hacer, en el sistema para producir el comportamiento operativo requerido. Incluye entradas, salidas, estados y reglas de transformación requeridas. De tal forma, que se comience por lo más básico como son inspecciones, tomas de muestras periódicas, recolección de información, estudio detallado de cada caso en particular, con la condición y obligatoriedad, que el equipo no entre en falla funcional.

Por último, se debe de alimentar esa base de datos o programa que se tenga establecido para el análisis y toma de decisiones correctas, en el plan de mantenimiento CBM, de tal forma que se lleve el histórico y debido registro real, de cada acción u omisión realizada a cada máquina, ya sea por diagnóstico, intervención o reparación. Cuando estas acciones han sido realizadas y verificadas, es necesario registrarlas y compararlas con el diagnóstico inicial.

#### **4.7 Revisión**

El mantenimiento predictivo es una retroalimentación y mejoramiento progresivamente y paso a paso, sin descuidarla ni mucho menos olvidarla. Después de iniciada la ejecución de las toma de muestras predictivas, es necesario reevaluar todas las variables que permitan mejorar la efectividad del

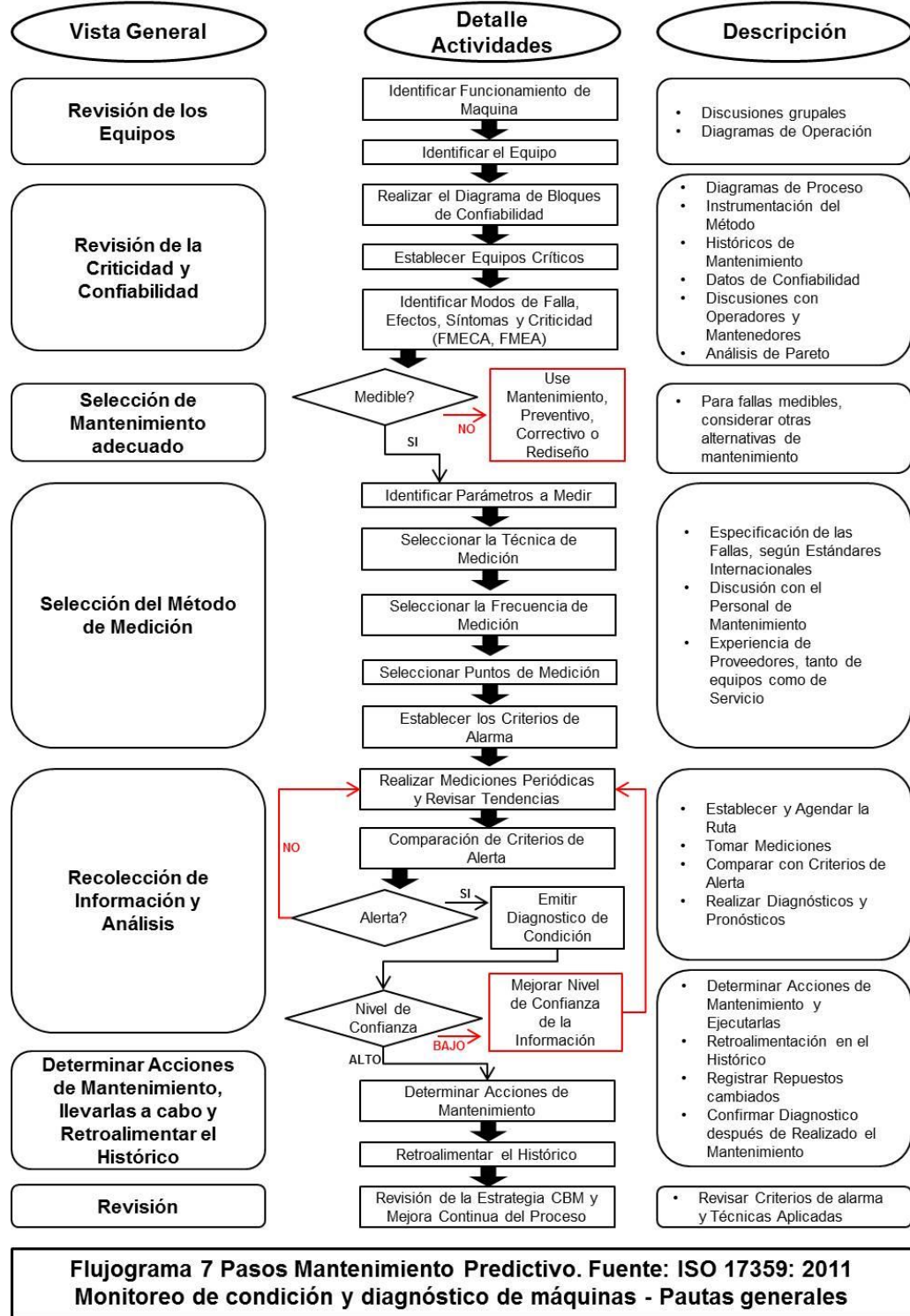
proceso y así alimentar continuamente la base de datos, optimizando cada procedimiento y medición del muestreo.

La mejor forma de conocer la efectividad y estado de la implementación, es a través de indicadores con los cuales se puede conocer, los límites respecto a lo esperado, llevando a indagar cada variable, de tal forma que se finiquite el estudio de la muestra tomada<sup>52</sup>.

---

<sup>52</sup> International Organization for Standardization ISO. ISO 17359:2011. Condition monitoring and diagnostics of machines - General guidelines. <https://www.iso.org/ics/17.160/x/>.ISO/TC 108/SC 5 Condition monitoring and diagnostics of machine systems, ICS : 17.160 Vibrations, shock and vibration measurements, 2011. pp 26.

**Figura 13.** Flujograma 7 pasos Mantenimiento Predictivo. Fuente: ISO 17359: 2011; Monitoreo de condición y diagnóstico de máquinas - Pautas generales.



**Flujograma 7 Pasos Mantenimiento Predictivo. Fuente: ISO 17359: 2011 Monitoreo de condición y diagnóstico de máquinas - Pautas generales**

Fuente. International Organization for Standardization (ISO). 2011.

#### 4.1 DELIMITACIÓN

- Se realizan 50 muestras o más de aceite por mes.
- Se utilizara 1 laboratorio para realizar el análisis de las muestras, ubicado en la ciudad de Bogotá.
- Recursos humanos: Se hará uso del lubricador, supervisor y Jefe de mantenimiento, tomando parte de las horas del horario laboral para generar la muestra e ingresarla a la plataforma virtual de MOBILSERV.
- Las instalaciones para la toma de la muestra son los talleres de mantenimiento de EDINSA POSTOBON ubicados en la zona industrial de Bogotá Planta GASCOLCENTRO; de tal forma que se evalúen solo la flota de dicha regional.
- Al obtener el envío del análisis por parte de MOBILSERV, se interpretara los resultados y se tomara las decisiones con respecto al equipo.
- Se tomaran y analizar muestras de aceite de motores Cummins ISX y que estén operando, tribológicamente con el aceite Mobil Delvac 15W40 MX ESP.

## 5. RECOPIACION Y ANALISIS DE INFORMACION

El transporte público y transporte de carga pesada, de grandes flotas, busca el monitoreo general y de la condición en particular, de cada elemento, el cual, apunta a combinar un aumento de fiabilidad (y por lo tanto disponibilidad) con los costos más bajos posibles y el impacto ambiental positivo, ya sea directa o indirecta con la implementación de cualquier plan sólido de mantenimiento. Las compañías de transporte, por lo tanto, tienen un interés obvio en el monitoreo de su rendimiento de CPK, para reducir costos y aumentar la disponibilidad de equipos operando. Este papel presenta un enfoque de monitoreo de condición para el análisis de lubricación de Aceites utilizados en los motores diésel.

Estos sistemas ahora son compatibles con la computadora la cual cuenta con herramientas que permiten el análisis, estudio, registro y control de los datos, obtenido.<sup>53</sup>

Una de las metodologías implementadas, es generar un programa de actividades en cuando a inspecciones durante el transcurso del año, de tal forma que se pueda garantizar una disminución y prevención de fallas en el equipo.

**Tabla 4.** Programa de actividades inspecciones periodicas EDINSA – POSTOBON.

<b>REVISIONES</b>	<b>DIA a DIA</b>				
Nivel de aceite del motor	X				
Nivel del refrigerante	X				
Nivel del aceite hidráulico	X				
Luces	X				
<b>REVISIONES</b>	<b>Cada SEMANA</b>				
Presión de aire en los neumáticos		X			
Calibración de frenos		X			
Revisión de cardanes y juntas universales.		X			
<b>REVISIONES</b>	<b>Cada 3 MESES</b>				
Revisión de retenedores y rodamientos			X		
<b>REVISIONES</b>	<b>Cada ½ AÑO</b>				
Nivel de aceite caja				X	

<sup>53</sup> Ibíd., p. Raposo Hugo, et al. pp 67

Nivel de aceite diferencial				X	
-----------------------------	--	--	--	---	--

**Fuente.** Postobon S.A. 2020.

Así mismo se identificó algunas, causa raíz de cada una de las fallas generadas, y de este modo se generó un esquema de mejoramiento, tipo “Caza-Fallas”, de cada uno de los sistemas del equipo, para tener una solución concreta primaria si alguno de los síntomas de las fallas se llega a presentar.

**Tabla 5.** Matriz “Caza-Fallas” perdida potencia motor.

<b>EL MOTOR FALTA POTENCIA O NO JALA LA CARGA</b>	
<b>POSIBLES CAUSAS</b>	<b>SOLUCIÓN</b>
Filtro de aire tapado	Limpiar o cambiar
Filtro de combustible atascado	Cambiar
Combustible de pésima calidad	Cambiar
Sistema de inyección pierde presión	Revisión técnica
Falta de compresión en pistones - anillos	Revisión técnica
Sistema de inyección airado	Purgar

**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

**Tabla 6.** Matriz “Caza-Fallas” recalentamiento motor.

<b>EL MOTOR SUBE LA TEMPERATURA CONSTANTEMENTE</b>	
<b>POSIBLES CAUSAS</b>	<b>SOLUCIÓN</b>
Nivel de refrigerante faltante	Llenar y revisar tapa del radiador
Panel del radiador obstruido	Limpiar parte frontal del radiador, revisión fisuras y entradas de aire anormales
Presencia de aceite en el refrigerante	Revisión técnica
Sensor de temperatura no funciona o está en corto	Reemplazar
FanClutch no acciona	Ajustar correa o cambiar
Tapa del radiador pierde hermeticidad	Cambiar

**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

**Tabla 7.** Matriz “Caza-Fallas” expulsión excesiva de combustión motor.

<b>CANTIDAD Y CALIDAD DE EMISIÓN DE GASES POR LA COMBUSTIÓN</b>	
<b>POSIBLES CAUSAS</b>	<b>SOLUCIÓN</b>
Humo blanco La combustión es pobre de combustible	Revisar líneas de combustible, filtros o bomba de inyección revisión técnica y sondeo
Humo azul Presencia de aceite en la combustión	Revisar niveles de aceite, revisión técnica de pérdidas de aceite
Humo negro La combustión es rica en combustible	Revisar bomba de inyección revisión técnica de inyectores

**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

**Tabla 8.** Matriz “Caza-Fallas” consumo excesivo de combustible motor.

<b>CONSUMO EXCESIVO DE COMBUSTIBLE</b>	
<b>POSIBLES CAUSAS</b>	<b>SOLUCIÓN</b>
Humo negro	Revisar bomba de inyección revisión técnica de inyectores
Fugas de combustible	Observar y tapar
Filtro de aire atascado	Limpiar o cambiar
Sistema inyección en mal estado	Revisión técnica

**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

**Tabla 9.** Matriz “Caza-Fallas” consumo excesivo de aceite motor.

<b>CONSUMO EXCESIVO DE ACEITE</b>	
<b>POSIBLES CAUSAS</b>	<b>SOLUCIÓN</b>
Fugas de aceite	Observar y corregir
Aceite inadecuado	Consultar manual de operación
Humo azul	Revisar niveles de aceite, revisión técnica de pérdidas de aceite
Presencia de aceite en el refrigerante	Revisión de enfriador de aceite
Ausencia de cambios de aceite y consumos de aceite	Consultar manual de operación
Filtro sin funcionar y Bypass	Cambiar

**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

Por último, se tiene un formato de rutina de mantenimiento básico para un motor Cummins ISX, el cual se ejecuta por intervalos de kilometraje, sin importar tiempo, condiciones, variables o prioridades a intervenir; lo cual hace que algunas veces, se actué tareas sin necesidad, donde se tiende a caer en el error de reparar lo que está funcionando bien, además de malgastar recursos técnicos, físicos, de tiempo e insumos innecesariamente.

**Tabla 10.** Formato Rutina Plan de Mantenimiento basico para un motor Cummins ISX.

PLAN DE MANTENIMIENTO PARA UN MOTOR CUMMIS ISX					
TAREAS	FRECUENCIA	ESPECIALIDAD	CONDICION	INSUMOS	SEGURIDAD
Toma muestra de aceite motor	7.500 KM	LUBRICADOR	OFF		
Comprobar restricción filtro de aire y cambiar filtro si requiere	7.500 KM	LUBRICADOR	OFF		
Cambiar Aceite motor y filtros - según AAU	7.500 KM	LUBRICADOR	OFF		
Revisar estado soportes postenfriador	7.500 KM	TEC. MOTORES	OFF		
Verificar condicion de mangueras abrazaderas y lineas de admisión de aire	7.500 KM	TEC. MOTORES	OFF		
Inspeccionar Turbo - Verificar filtraciones aceite y holguras estado de turbina	7.500 KM	TEC. MOTORES	OFF		
Inspección soportes delantero y traseros de motor	7.500 KM	TEC. PATIO	OFF		
Chequear sonido motor y vibraciones anormales	25.000 KM	TEC. MOTORES	ON		
Chequear y registrar presion de aceite Max. Y Min	25.000 KM	TEC. MOTORES	ON		
Verificar y registrar temperatura del motor	25.000 KM	TEC. MOTORES	ON		
Revisar condicion y fugas por tapavalvulas y carter- Sellas delantero y trasero - distribucion	25.000 KM	TEC. MOTORES	ON		
Comprobar correcta operación freno de motor	25.000 KM	TEC. MOTORES	ON		
Calibración Motor- válvulas - Inyectores y freno motor verificar Eje de levas y balancines	150.000 KM	TEC. MOTORES	OFF		
D/ compresor/ Culata para inspeccion y cambio de elementos por desgaste.	150.000 KM	TEC. MOTORES	OFF		
Efectuar prueba Blow by - Medir evolución	150.000 KM	TEC. MOTORES	OFF		
Mantenimiento preventivo Postenfriador -prueba TEST presion chequear sellado	150.000 KM	TEC. MOTORES	OFF		

**Fuente.** Postobon S.A. 2020.

## 5.1 HISTORIAL DE FALLAS

Los siguientes historiales de fallas, datos de Flota de la regional de Bogotá, tiempos de MTTR y MTBF, consolidados generales de muestras de aceite de las Unidades Tractoras, registros diarios de novedades y averías en la regional, son recopilados y organizados en el Back Up del computador del taller; de igual manera, son administrados y está bajo responsabilidad, por el Supervisor de Mantenimiento o en su defecto por el Jefe de Mantenimiento.

**Figura 14.** Hoja de Excel, Base de Datos Muestras Aceite, Plataforma MOBILSERV, EDINSA – POSTOBON.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Sample Status	Report Status	Date Reported	Asset ID	Unit ID	Unit Description	Asset Class	Position	Tested Lubricant	Service Level	Sample Bottle	Manufacturer	Alt Manufacturer	Model	Alt Model
2	Completed	Alert	17/12/2018	40136988	TRJ449	KENWORTH TG Differential	REAR	MOBIL DELVAC	Enhanced	b030220330	MERITOR [ARV		RT-46-169	
3	Completed	Normal	17/12/2018	40132009	TRJ449	KENWORTH TG Engine	FRONT	MOBIL DELVAC	Enhanced	b030205457	CUMMINS		ISX 450 ST	
4	Completed	Normal	18/12/2018	40537282	TRM819	KENWORTH TG Engine	FRONT	MOBIL DELVAC	Enhanced	b021966859	CUMMINS		ISX 400 ST	
5	Completed	Alert	18/12/2018	40100381	TRJ985	KENWORTH TG Engine	FRONT	MOBIL DELVAC	Enhanced	b021966339	CUMMINS		ISX 450 ST	
6	Completed	Alert	19/12/2018	30674823	TPW760	KENWORTH TG Engine	FRONT	MOBIL DELVAC	Enhanced	b021967082	CUMMINS		ISX 400	
7	Completed	Alert	19/12/2018	40100389	TRJ983	KENWORTH TG Engine	FRONT	MOBIL DELVAC	Enhanced	b021967674	CUMMINS		ISX 450 ST	
8	Completed	Normal	21/12/2018	30712802	TPK289	VOLVO MOTO Engine	FRONT	MOBIL DELVAC	Enhanced	b030205104	DETROIT DIESE		SERIES 60	
9	Completed	Normal	21/12/2018	30712801	TPK290	VOLVO MOTO Engine	FRONT	MOBIL DELVAC	Enhanced	b030205729	DETROIT DIESE		SERIES 60	
10	Completed	Alert	21/12/2018	40359519	WCR625	FREIGHTLINER Engine	FRONT	MOBIL DELVAC	Enhanced	b030204934	DETROIT DIESE		SERIES 60	
11	Completed	Alert	12/06/2019	50206197	SZX597	INTERNATION Transmission		MOBIL DELVAC	Enhanced	b037145820	FULLER [EATOR		RTLO-16918B	
12	Completed	Alert	29/10/2019	40392396	WCR607	FREIGHTLINER Transmission		MOBIL DELVAC	Enhanced	b036261839	FULLER [EATOR		RTLO-16918B	
13	Completed	Alert	26/12/2018	40132007	TRJ447	KENWORTH TG Engine	FRONT	MOBIL DELVAC	Enhanced	b030204599	CUMMINS		ISX 450 ST	
14	Completed	Alert	26/12/2018	40150092	TRJ638	KENWORTH TG Engine	FRONT	MOBIL DELVAC	Enhanced	b030204298	CUMMINS		ISX 400 ST	
15	Completed	Alert	26/12/2018	40381613	WCR607	FREIGHTLINER Engine	FRONT	MOBIL DELVAC	Enhanced	b030205641	DETROIT DIESE		SERIES 60	
16	Completed	Alert	26/12/2018	40150087	TRJ638	KENWORTH TG Differential	REAR	MOBIL DELVAC	Enhanced	b030490658	MERITOR [ARV		RT-46-169	
17	Completed	Alert	26/12/2018	40137849	TRJ447	KENWORTH TG Differential	MIDDLE	MOBIL DELVAC	Enhanced	b030490317	MERITOR [ARV		RT-46-169	
18	Completed	Alert	26/12/2018	40137846	TRJ447	KENWORTH TG Differential	REAR	MOBIL DELVAC	Enhanced	b030490905	MERITOR [ARV		RT-46-169	
19	Completed	Alert	26/12/2018	40150090	TRJ638	KENWORTH TG Differential	LEFT	MOBIL DELVAC	Enhanced	b030490169	MERITOR [ARV		RT-46-169	
20	Completed	Alert	03/01/2019	30674823	TPW760	KENWORTH TG Engine	FRONT	MOBIL DELVAC	Enhanced	b021967119	CUMMINS		ISX 400	
21	Completed	Alert	03/01/2019	40100387	TRJ938	KENWORTH TG Engine	FRONT	MOBIL DELVAC	Enhanced	b021967059	CUMMINS		ISX 450 ST	
22	Completed	Alert	09/01/2019	40352257	SNU072	FREIGHTLINER Engine	FRONT	MOBIL DELVAC	Enhanced	b021967565	DETROIT DIESE		SERIES 60	
23	Completed	Normal	10/01/2019	30712806	SOB816	INTERNATION Engine	FRONT	MOBIL DELVAC	Enhanced	B030715716	DETROIT DIESE		SERIES 60	
24	Completed	Alert	15/01/2019	40100381	TRJ985	KENWORTH TG Engine	FRONT	MOBIL DELVAC	Enhanced	b021963942	CUMMINS		ISX 450 ST	
25	Completed	Normal	15/01/2019	30674823	TPW760	KENWORTH TG Engine	FRONT	MOBIL DELVAC	Enhanced	b021963887	CUMMINS		ISX 400	
26	Completed	Normal	15/01/2019	40352257	SNU072	FREIGHTLINER Engine	FRONT	MOBIL DELVAC	Enhanced	b021963473	DETROIT DIESE		SERIES 60	

**Fuente.** Postobon S.A. 2020.

Es de mencionar, que los archivos de todos días de cada mes, de los Informes Diarios de Taller Bogotá, están incluidos en los anexos, junto con sus documentos correspondientes, accesibles para la interpretación y estudio correspondiente.

**Tabla 11.** Hoja de Excel, consolidado número de fallas y tiempo de reparación de fallas mensuales, año 2019 de EDINSA – POSTOBON.

	2019											
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Prom. Horas Trabajadas (hT)	336	336	336	336	336	336	336	336	336	336	336	336
<b>ENGINE</b>												
Fallas (P)	114	151	73	86	97	66	89	89	99	122	136	50
Horas Paro (hP)	98	131	60	54	58	45	94	61	91	87	100	32
<b>TRANSMISSION</b>												
Fallas (P)	11	9	15	22	22	11	32	18	30	7	8	8
Horas Paro (hP)	28	30	32	29	39	20	38	8	38	47	25	32
<b>ELECTRIC</b>												
Fallas (P)	83	61	68	70	61	54	43	125	81	91	120	88
Horas Paro (hP)	42	82	42	75	58	40	39	80	41	49	105	58

Fuente. Postobon S.A. 2020.

**Tabla 12.** Hoja de Excel, consolidado número de fallas y tiempo de reparación de fallas mensuales, año de Enero a Abril de 2020 de EDINSA – POSTOBON.

	2020			
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL
Prom. Horas Trabajadas (hT)	336	224	224	224
<b>ENGINE</b>				
Fallas (P)	76	52	38	97
Horas Paro (hP)	69	72	45	111
<b>TRANSMISSION</b>				
Fallas (P)	5	8	8	5
Horas Paro (hP)	23	27	24	20
<b>ELECTRIC</b>				
Fallas (P)	72	52	65	57
Horas Paro (hP)	55	47	45	51

Fuente. Postobon S.A. 2020.

**Tabla 13.** Hoja de Excel, consolidado Total Periodo evaluado, número de fallas y tiempo de reparación de fallas, años 2019 y parte 2020 de EDINSA – POSTOBON.

	TOTAL
Prom. Horas Trabajadas (hT)	5040
<b>ENGINE</b>	
Fallas (P)	1435
Horas Paro (hP)	1208
<b>TRANSMISSION</b>	
Fallas (P)	219
Horas Paro (hP)	460
<b>ELECTRIC</b>	
Fallas (P)	1191
Horas Paro (hP)	909

Fuente. Postobon S.A. 2020.

Los datos mostrados en las Tablas 20, 21 y 22, están basados en los informes diarios de taller de la empresa “UEN EDINSA - POSTOBON” del año 2019 y desde Enero hasta Abril del Año 2020.

De igual manera, las imágenes a continuación muestra el esquema general de las hojas de Excel que se cuentan, cada mes para el registro de los reportes diarios de novedades en mantenimiento; así mismo, en este informe se consolida, las OT's día a día registradas en Taller de Bogotá D.C

Los archivos en relación son:

Carpeta: **INFORME DIARIO TALLER 2019**

**8002 ENERO.xlsx**

**8002 FEBRERO.xlsx**

**8002 MARZO.xlsx**

**8002 ABRIL.xlsx**

**8002 MAYO.xlsx**

**8002 JUNIO.xlsx**

**8002 JULIO.xlsx**

**8002 AGOSTO.xlsx**

**8002 SEPTIEMBRE.xlsx**

**8002 OCTUBRE.xlsx**

**8002 NOVIEMBRE.xlsx**

**8002 DICIEMBRE.xlsx**

Carpeta: **INFORME DIARIO TALLER 2020**

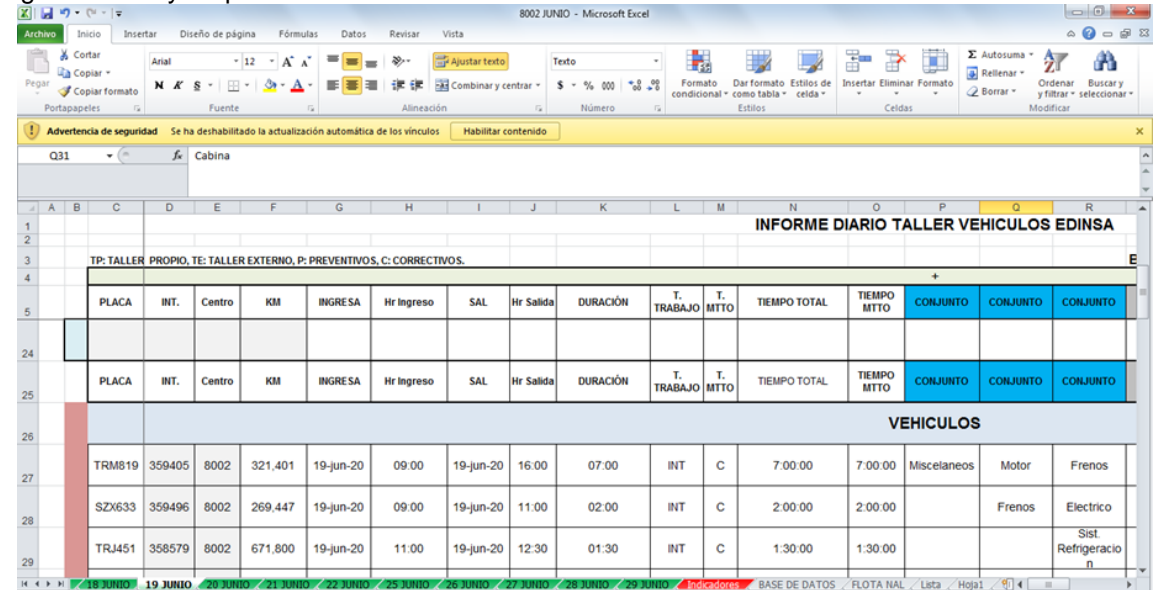
**8002 ENERO.xlsx**

**8002 FEBRERO.xlsx**

**8002 MARZO.xlsx**

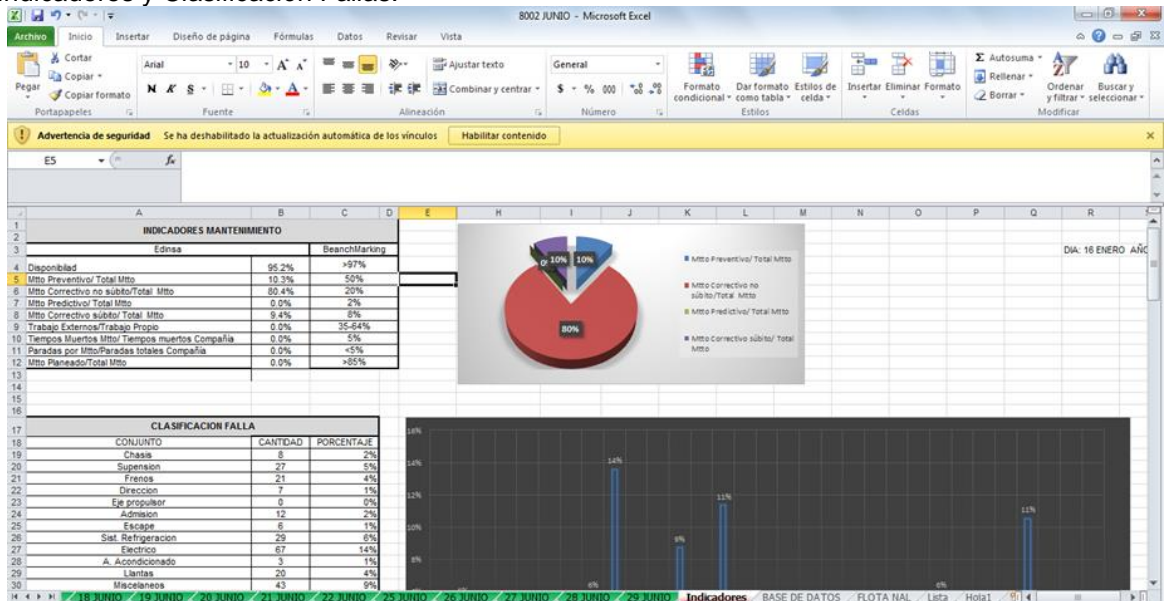
**8002 ABRIL.xlsx**

**Figura 15.** Hoja de Excel, esquema Básico Informe diario de Taller EDINSA – POSTOBON, registro inicial y respectiva falla.



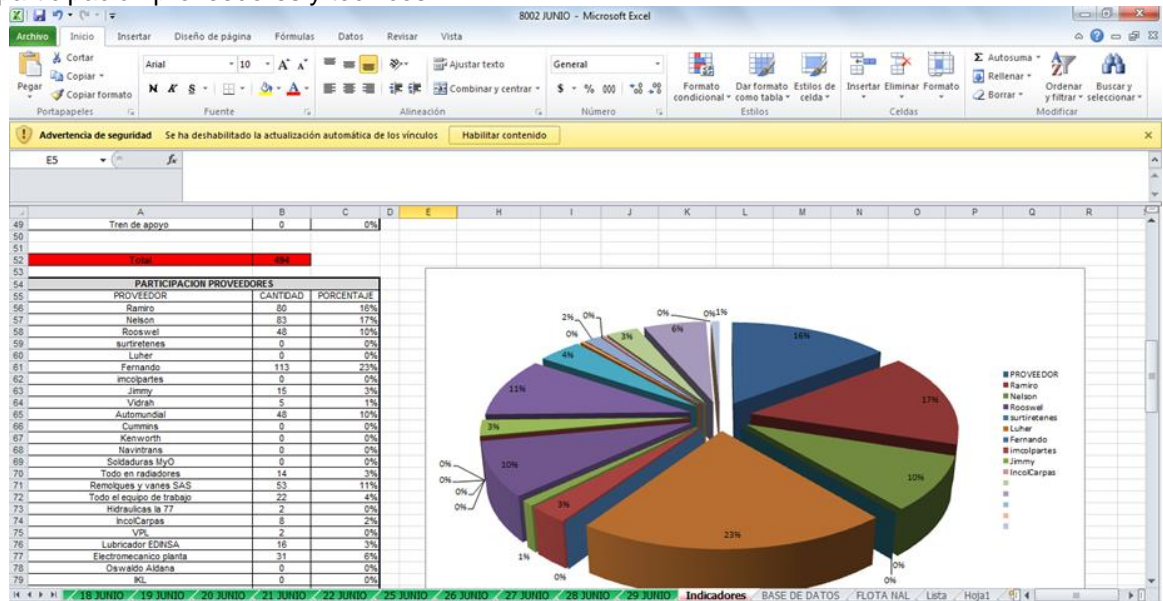
Fuente. Postobon S.A. 2020.

**Figura 16.** Hoja de Excel, esquema Básico Informe diario de Taller EDINSA – POSTOBON, Indicadores y Clasificación Fallas.



Fuente. Postobon S.A. 2020.

**Figura 17.** Hoja de Excel, esquema Básico Informe diario de Taller EDINSA – POSTOBON, participación proveedores y técnicos.



Fuente. Postobon S.A. 2020.

Todos los anteriores datos, cifras, indicadores, archivos y bases de datos serán útiles para el desarrollo de esta Metodología; los datos son Reales y son registrados todos los días, al terminar la jornada de trabajo, rectificado y verificado por el Supervisor de Mantenimiento o en su defecto por el Jefe de Mantenimiento.

## 5.2 HOJA DE VIDA DEL ACTIVO

**5.2.1 Taxonomía** La taxonomía es la ciencia y los principios utilizados para la clasificación consistente de un grupo o subgrupo de objetos. La Taxonomía de equipos es una clasificación de los equipos, de observaciones relacionadas con mantenimiento, y de actividades integradas en un sistema ordenado de grupos de familias. Ha sido diseñada para permitir la clasificación consistente de todo equipo relevante de la organización. La aplicación de la Taxonomía de Equipos asegurará que se utilicen códigos homologados para describir los mismos objetos, las mismas observaciones sobre actividades relacionadas con trabajos de mantenimiento, tanto en un mismo sitio o planta como entre diversos Centros de trabajo, regiones, zonas, sectores y/o divisiones; la taxonomía completa de dicho motor Cummins ISX, se puede encontrar en el **Anexo L**, del presente trabajo.

**Tabla 14.** Clasificación de nivel 1 taxonomía de activos.

Nivel 1	Denominación
EB	BOGOTA
EY	YUMBO
EMA	MALAMBO
EP	PIEDECUUESTA
EME	MEDELLIN

**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

**Tabla 15.** Clasificación de nivel 2 taxonomía de activos.

Organismo	Nivel 2	Denominación
EB	MTTO	MANTENIMIENTO
	ADM	ADMINISTRACIÓN
	OPE	OPERACIONES
	PRO	PRODUCCIÓN

**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

**Tabla 16.** Clasificación de nivel 3 y 4 taxonomía de activos.

Organismo	Nivel 3	Denominación
MTTO	TC	TRACTO CAMIÓN
Organismo	Nivel 4	Denominación
TC	MOT	MOTOR

**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

## 6. CÁLCULO Y ANÁLISIS INDICADORES MANTENIMIENTO

### 6.1 CRITICIDAD

Se realizara un análisis de criticidad de los sistemas más representativos de un Tracto-Camión, permitiendo identificar y jerarquizar los mismos de tal forma que la información suministrada se utilice como apoyo para gestionar los activos con mayor eficiencia y eficacia, adicionalmente permite determinar la importancia y las consecuencias de los eventos que podrían suceder por falla.

Los sistemas que soportan el estudio son: Sistema de Transmisión, Sistema Eléctrico y Motor.

Interpretar los datos para incluir un método que funcione de instrumento para formar nuevos procesos en el manejo de los equipos. El método **CTR (criticidad total por riesgos)** se aplica en el sistema que genere un alto grado de criticidad según el proceso realizado.

**Figura 18.** Esquema Factores Criticidad Total por Riesgos.

<b>CTR = FF x ((IO x FO) + CM + SHA)</b>				
<b>Frecuencia de fallo</b>	<b>Consecuencias</b>			
<b>Frecuencia de fallo</b>	<b>Impacto Operacional</b>	<b>Flexibilidad operacional</b>	<b>Costos de mantenimiento</b>	<b>Impacto en seguridad e higiene ambiental</b>
<b>FF</b>	<b>IO</b>	<b>FO</b>	<b>CM</b>	<b>SHA</b>
5. Repetitivo: mayor a 1000 eventos al año	10: Pérdidas de producción superiores al 75%	4: No se cuenta con unidades de reserva para cubrir la producción, tiempos de reparación y logística muy grandes	2: Costes de reparación, materiales y mano de obra superiores a 3 millones de pesos.	8: Riesgo alto de pérdida de vida, daños graves a la salud del personal y/o incidente ambiental mayor (catastrófico) que exceden los límites permitidos
4. Frecuente: 800 y 1000 eventos al año	7: Pérdidas de producción entre el 50% y el 75%	2: Se cuenta con unidades de reserva que logran cubrir de forma parcial el impacto de producción, tiempos de reparación y logística intermedios	1: Costes de reparación, materiales y mano de obra inferiores a 3 millones de pesos.	6: Riesgo medio de pérdida de vida, daños importantes a la salud, y/o incidente ambiental de difícil restauración
3. Promedio: 600 y 800 eventos al año	5: Pérdidas de producción entre el 25% y el 49%	1: Se cuenta con unidades de reserva en línea, tiempos de reparación y logística pequeños		3: Riesgo mínimo de pérdida de vida y afección a la salud (recuperable en el corto plazo) y/o incidente ambiental menor (controlable), derrames fáciles de contener y fugas repetitivas
2. Bueno: entre 400 y 600 eventos al año	3: Pérdidas de producción entre el 10% y el 24%			1: No existe ningún riesgo de pérdida de vida, ni afección a la salud, ni daños ambientales
1. Excelente: menos de 400 eventos al año	1: Pérdidas de producción menor al 10%			

**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

**Figura 19.** Esquema Criterio de importancia Criticidad Total por Riesgos.

Criterio	A	B	C
<b>Medio Ambiente</b>	Si un fallo del mismo puede provocar que la empresa tenga que recurrir a dar aviso a las autoridades públicas por problemas que pudiesen afectar a la salud de las personas y del medio ambiente (por ejemplo: Una fuga de GLP)	Un fallo del mismo provocase una contaminación o afección que pudiera gestionarse en el interior de la empresa (por ejemplo, una fuga de Combustible que se controla con la PTAR de la empresa)	Un fallo del mismo no produjese ningún tipo de contaminación medioambiental.
<b>Seguridad</b>	Fallos pueden producir accidentes que provocan absentismo laboral temporal o permanente en el lugar de trabajo.	Causar daños menores a la gente en el trabajo, no producen la ausencia de trabajo.	Fallos no pueden crear consecuencias relacionadas con la seguridad de las personas
<b>Calidad</b>	Fallos de calidad también puede producir un importante impacto externo, o una imagen muy negativa de la compañía en el mercado	Fallos que producen sólo una consecuencia interna	No ocasionan ningún impacto
<b>Trabajo (Tiempo)</b>	Activos que trabajan a tres turnos	Activos que trabajan a dos turnos	Activos que trabajan a un turno
<b>Entrega (D)</b>	Producen un paro en todo Operaciones o Produccion, cuando fallan	Pueden dejar sólo una línea de producción o una ruta de Operaciones, parada al fallar	Producen una interrupción significativa de la producción u Operaciones
<b>Fiabilidad</b>	Activos con frecuencia de fallo menor de 3 h	Activos con frecuencias de fallo entre 3 y 10 horas	Activos con frecuencias de fallo superiores a 20 h
<b>Mantenibilidad</b>	Tiempo medio de reparación de más de 12 horas	Tiempo medio de reparación esta entre 4 y 12 horas	Tiempo medio de reparación es inferior a 4 horas

**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

**Tabla 17.** Tabla descripción de factores Criticidad Total x Riesgos.

<b>1. FRECUENCIA DE FALLA. (Todo tipo de Falla)</b>	<b>Puntaje</b>
No más de 400 por año	<b>1</b>
Entre 400 y 600 por año	<b>2</b>
Entre 600 y 800 por año	<b>3</b>
Entre 800 y 1000 por año	<b>4</b>
Más de 1000 por año ( Más de una parada semanal )	<b>5</b>
<b>2. TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR. (MTTR).</b>	
Menos de 4 horas	<b>1</b>

Entre 4 y 6 horas	2
Entre 6 y 12 horas	3
Entre 12 y 24 horas	4
Más de 24 horas	5
<b>3. IMPACTO SOBRE LA PRODUCCION</b>	
No afecta la producción.	5%
25 % de impacto.	25%
50% de impacto.	50%
75% de impacto.	75%
La impacta totalmente.	100%
<b>4. COSTO DE REPARACION (Millones de Pesos)</b>	
Menos de 3 millones	3
Entre 3 y 10 Millones de Pesos	5
Entre 10 y 15 millones	10
Más de 15 Millones	25
<b>5. IMPACTO AMBIENTAL.</b>	
No origina ningún impacto ambiental.	0
Contaminación ambiental baja, el efecto se manifiesta en un espacio reducido dentro de los límites de contención de la fuga.	5
Contaminación ambiental moderada, no rebasa los límites de la planta.	10
Contaminación ambiental alta, incumplimiento de normas, quejas de la comunidad. Procesos sancionatorios.	25
<b>6 IMPACTO EN LA SALUD Y SEGURIDAD PERSONAL.</b>	
No origina heridas ni lesiones.	0
Puede originar lesiones o heridas leves no incapacitantes.	5
Puede ocasionar lesiones o heridas graves con incapacidad temporal entre 1 y 30 días.	10
Puede ocasionar lesiones con incapacidad superior a 30 días o incapacidad parcial permanente.	25
<b>7. IMPACTO EN LA SATISFACCION DEL CLIENTE INTERNO (Departamento de la empresa al que se le prestan servicios)</b>	
No ocasiona pérdidas económicas en las otras áreas de la planta	0
Puede ocasionar perdidas económicas hasta de 5 SMMLV.	5
Puede ocasionar perdidas económicas mayores de 5 y menores de 25 SMMLV	10
Puede ocasionar perdidas económicas mayores de 25 SMMLV	20

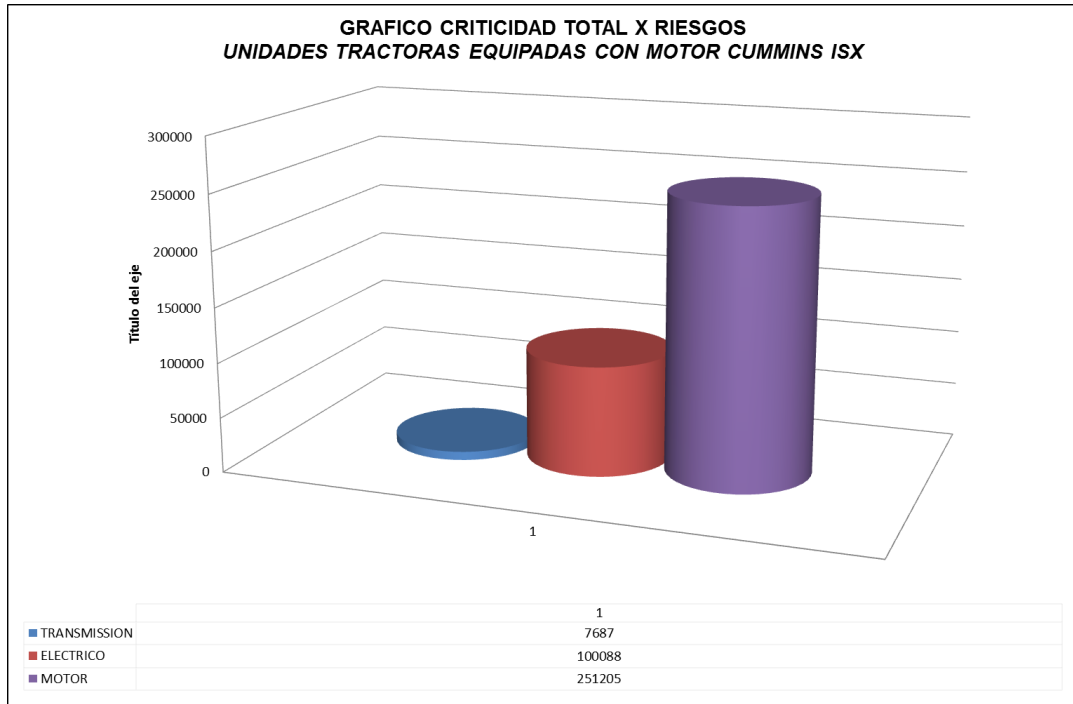
Fuente. Autor de la Monografía. 2020.

**Tabla 18.** Tabla consolidado de criticidad de sistemas evaluados.

<b>CONSOLIDADO DE CRITICIDAD</b>					
	<b>ASPECTO DE EVALUACION</b>	<b>Análisis Método CTR</b>	<b>NUMERO DE FALLAS EN EL PERIODO EVALUADO</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>CRITICIDAD</b>
<b>TRANSMISION</b>	1. FRECUENCIA DE FALLA. (Todo tipo de Falla)	1	<b>219</b>	1	<b>7687</b>
	2. TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR. (MTTR).	2		2	
	3. IMPACTO SOBRE LA PRODUCCION	7		1533	
	4. COSTO DE REPARACION (Millones de Pesos)	5		5	
	5. IMPACTO AMBIENTAL.	5		5	
	6 IMPACTO EN LA SALUD Y SEGURIDAD PERSONAL.	5		5	
	7. IMPACTO EN LA SATISFACCION DEL CLIENTE INTERNO (Departamento de la empresa al que se le prestan servicios)	10		10	
<b>ELECTRICO</b>	1. FRECUENCIA DE FALLA. (Todo tipo de Falla)	4	<b>1191</b>	4	<b>100088</b>
	2. TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR. (MTTR).	1		1	
	3. IMPACTO SOBRE LA PRODUCCION	7		8337	
	4. COSTO DE REPARACION (Millones de Pesos)	3		3	
	5. IMPACTO AMBIENTAL.	0		0	
	6 IMPACTO EN LA SALUD Y SEGURIDAD PERSONAL.	0		0	
	7. IMPACTO EN LA SATISFACCION DEL CLIENTE INTERNO (Departamento de la empresa al que se le prestan servicios)	10		10	
<b>MOTOR</b>	1. FRECUENCIA DE FALLA. (Todo tipo de Falla)	5	<b>1435</b>	5	<b>251205</b>
	2. TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR. (MTTR).	1		1	
	3. IMPACTO SOBRE LA PRODUCCION	7		10045	
	4. COSTO DE REPARACION (Millones de Pesos)	5		5	
	5. IMPACTO AMBIENTAL.	5		5	
	6 IMPACTO EN LA SALUD Y SEGURIDAD PERSONAL.	0		0	
	7. IMPACTO EN LA SATISFACCION DEL CLIENTE INTERNO (Departamento de la empresa al que se le prestan servicios)	10		10	

**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

**Figura 20.** Grafico de barras Criticidad de sistema evaluados.



**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

Como podemos observar, en el análisis de criticidad de roles y diamantes aplicado a 3 sistemas fundamentales de una Tracto-Camión, se evidencia que el sistema de Motor es el de mayor ranking de criticidad; esto nos hace escoger a este sistema como el más crítico del tracto camión.

Es por ello que, de acuerdo a la metodología escogida para el análisis de criticidad y jerarquización de activos, la cual nos fundamentamos en el modelo de criticidad semi-cuantitativo “CTR” (Criticidad total por riesgo), definimos los siguientes factores ponderados de cada uno de los criterios a ser evaluados, y que se explican en la tabla.

Después de analizar cada uno de los factores ponderados al sistema de Motor, se dedujo los siguientes factores, como los más precisos para la determinar qué tan crítico es el sistema como tal, para el departamento de mantenimiento.

- 5. Repetitivo: mayor a 1000 eventos al año
- 7: Pérdidas de producción entre el 50% y el 75%
- 4: No se cuenta con unidades de reserva para cubrir la producción, tiempos de reparación y logística muy grandes
- 2: Costes de reparación, materiales y mano de obra superiores a 3 millones de pesos.
- 3: Riesgo mínimo de pérdida de vida y afección a la salud (recuperable en el corto plazo) y/o incidente ambiental menor (controlable), derrames fáciles de contener y fugas repetitivas


$$CTR = FF \times ((IO \times FO) + CM + SHA))$$

$$CTR = 5 \times [(7 \times 4) + 2 + 3]$$

$$CTR = 5 \times [33]$$

Así entonces, mediante la aplicación de la matriz de criticidad (CTR), y el cálculo de los valores específicos a aplicar, evidenciamos que el sistema de Motor del tracto camión, tiene un factor CRÍTICO (mayor a 30), con una frecuencia de fallo nivel 5 (mayor a 1000 eventos al año).

Figura 21. Matriz de Criticidad.



<b>FRECUENCIA</b>	<b>5</b>	MC	MC	C	C	C
	<b>4</b>	MC	MC	C	C	C
	<b>3</b>	NC	NC	MC	C	C
	<b>2</b>	NC	NC	MC	MC	C
	<b>1</b>	NC	NC	NC	MC	C
		<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>
	<b>CONSECUENCIA</b>					

Fuente. Autor de la Monografía. 2020.

## 6.2 CONFIABILIDAD

El objetivo de este trabajo es desarrollar los cálculos de confiabilidad con base en el MTBF y el MTTR, teniendo en cuenta los posibles sistemas a los que se puede aplicar el proceso. Se realizara un análisis de confiabilidad de los sistemas más representativos de una Unidad Tractora, permitiendo identificar y jerarquizar los mismos de tal forma que la información suministrada se utilice como apoyo para gestionar los activos con mayor eficiencia, eficacia y confiabilidad, adicional permite determinar la importancia y las consecuencias de los eventos que podrían suceder por fallas.

De acuerdo a lo anterior mencionado, se identificara el nivel de confiabilidad, disponibilidad de los sistemas de un tracto camión.

Los sistemas que soportan el estudio son:

- Transmisión.
- Motor.
- Eléctrico.

**Tabla 19.** Hoja de Excel, consolidado Total Periodo evaluado, número de fallas y tiempo de reparación de fallas, años 2019 y parte 2020 de EDINSA – POSTOBON.

	TOTAL
Prom. Horas Trabajadas (hT)	5040
<b>ENGINE</b>	
Fallas (P)	1435
Horas Paro (hP)	1208
<b>TRANSMISSION</b>	
Fallas (P)	219
Horas Paro (hP)	460
<b>ELECTRIC</b>	
Fallas (P)	1191
Horas Paro (hP)	909

**Fuente.** Postobon S.A. 2020.

Con base a los datos consolidados, de la base de datos de los informes diarios de taller, analizados, ejecutados y revisados, por parte de la Gestión de Mantenimiento de EDINSA – POSTOBON, llevados a cabo en la Regional de Bogotá D.C, se calculará los principales KPI's (key performance indicator) de Mantenimiento.

### 6.2.1 Calculo MTBF y MTTR

MTBF: Tiempo Medio entre Fallas

MTTR: Tiempo Medio de Reparación

$$MTBF = \left[ \frac{\text{Horas Trabajadas} - \text{Horas Paro}}{\text{Numero de Fallas}} \right]$$

**Tabla 20.** Calculo MTBF.

<b>MTBF engine</b>	2,670383275
<b>MTBF transmission</b>	20,91324201
<b>MTBF electric</b>	3,468513854

**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

$$MTTR = \left[ \frac{\text{Horas Paro}}{\text{Numero de Fallas}} \right]$$

**Tabla 21.** Calculo MTTR.

<b>MTTR engine</b>	0,841811847
<b>MTTR transmission</b>	2,100456621
<b>MTTR electric</b>	0,763224181

**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

### 6.2.2 Calculo de Confiabilidad “R”

$\lambda = \text{Tasa de Fallo}$

$$\lambda = \left[ \frac{1}{MTBF} \right]$$

$$R = e^{-\lambda * t}$$

**Tabla 22.** Calculo Confiabilidad.

<b>R engine</b>	68,76480829	%
<b>R transmission</b>	95,33086137	%
<b>R electric</b>	74,95307644	%

**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

$$R [Total del Equipo] = \sum [R [Motor] * R [Transmision] * R [Electrico]] * 100$$

**R total** 49,13480273 %

**Tabla 23.** Tabla Confiabilidad de Sistema Unidad Tractora.

EQUIPO	SISTEMAS	CONFIABILIDAD SISTEMAS	CONFIABILIDAD EQUIPOS
<b>UNIDADES TRACTORAS EQUIPADAS CON MOTOR CUMMINS ISX</b>	Motor	68,76%	49,13%
	Transmisión	95,33%	
	Eléctrico	74,95%	

**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

### 6.2.3 Análisis de resultados

**Tabla 24.** Tabla valor alarma cifras Confiabilidad.

COLOR	VALOR DE ALARMA	INTERPRETACION
<b>Rojo</b>	R < 0.5 [50%]	Peligro
<b>Amarillo</b>	0.51 <R< 0.75 [51% <R< 75%]	Alerta
<b>Verde</b>	R > 0.76 [76%]	Bien

**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

De tal forma que después del cálculo y análisis de la confiabilidad de los 3 sistemas de la Unidad Tractora, se determinó que en general, se obtuvo una confiabilidad de 0.95 ó 95%, la cual se logró mediante la evaluación de un sistema en paralelo donde, teniendo en cuenta, el cuadro anterior, estaría sobre los estándares de interpretación “Peligro”.

**Tabla 25.** Tabla comparativo Confiabilidad de Sistema Unidad Tractora.

<b>Rojo</b>	<b>R &lt; 0.5 [50%]</b>	<b>Peligro</b>
-------------	-------------------------	----------------

**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.



## **7. DESARROLLO MODELO PROPUESTO**

### **7.1 DEFINICIÓN DE LA ESTRUCTURA DE DATOS**

**7.1.1 Proceso de obtención, análisis y tratamiento de datos recolectados** En la entidad seleccionada corresponde a EDINSA POSTOBON descrita anteriormente como una empresa de la organización Ardila Lule basada en la prestación de servicio de transporte terrestre a los productos terminados de POSTOBON.

En virtud de esta definición, es necesario precisar que este estudio de caso, puede incluir tanto estudios de un solo caso como de múltiples casos (según sea una o varias las unidades de Análisis) pero su propósito fundamental es comprender la particularidad del caso. La opción que delimita el desarrollo de este proyecto radica en el estudio de caso del uso del análisis de aceite como método de ensayos no destructivo en la compañía EDINSA, buscando como característica principal proponer un modelo de mantenimiento predictivo de fallas, con el fin de mejorar la vida útil de un motor.

#### **7.1.2 ¿Cómo se desarrollará el estudio en EDINSA POSTOBON?**

- 1) Transcripción de caso a investigar: se redactara el caso o fenómeno que sucede en EDINSA respecto al uso del análisis de aceite enfocado al sistema motor como principal eje de desarrollo, no se modificara la información y será objetiva.
- 2) Antecedentes del caso a investigar: se realizara un estudio de los datos encontrados en informes, reportes, hallazgos, indicadores internos del departamento de Mantenimiento; así mismo se descargarán los datos almacenados de la plataforma MOBILSERV, en lo que tiene que ver, de análisis de aceite procesados, de motores ISX, de los meses del año en curso

### **7.1.3 Fuentes de información**

**7.1.3.1 Fuente primaria** Las fuentes se darán con base a un sistema de recolección de información primaria, siendo la fuente principal, la toma de datos como:

- Kilometrajes de los equipos.
- Fechas de los muestreos.
- Kilometrajes de la vida útil del aceite.
- Rellenos o adición de aceite verificado en SAP.
- Especificación del Motor.
- Chasis.
- OT's (Ordenes de Trabajo)
- Alertas y precauciones de los análisis de aceite.

### **7.1.3.2 Fuentes secundarias**

- Manual MOBIL SERV.
- Manual Cummins.
- Manual interno de mantenimiento.

Como proceso alternativo a la fuente de información se realizará el proceso posterior de ingreso de datos a la plataforma de MOBIL SERV

**7.1.4 Selección de variables** En el desarrollo de este proyecto se especificarán las variables implícitas en las actividades de mantenimiento relacionados al análisis de aceite:

### **7.1.4.1 Variables de las características del aceite**

- Oxidación.
- Materiales Contaminantes.
- Materiales de Desgaste
- Pérdida de efectividad de los aditivos.
- Viscosidad.
- Agua.

- Dilución de combustible.

**7.1.5 Población y Muestra** En esta sección definiremos los activos, equipos o sistemas que se van a analizar en el desarrollo del proyecto, clasificando la población y la muestra.

**7.1.5.1 Población** Se hará uso de la homogeneidad del sistema seleccionando como población los Tracto-Camiones con aplicación de motor Cummins ISX, desde los caballajes de 400hp a 450hp, que pertenezcan a la Regional de Bogotá D.C, los cuales tienen el promedio de estar en funcionamiento 12 horas diarias, todos los días, sin importar rutas específicas y conductores fijos.

**7.1.5.2 Muestra** Se establece un tipo de muestra sistemático, donde se relaciona un patrón o criterio al seleccionar la muestra; se realizara un análisis basado en una tabla de frecuencia determinada por el recorrido (km) del equipo seleccionado. Se basara en un lapso de 5.000 km por cada equipo.

Será sistemática ya que cada equipo cuenta con los mismos sistemas del motor.

**7.1.6 Recolección de datos** Principalmente la recolección de datos se hará de forma directa en el reporte o informe que el laboratorio genere de las muestras anteriormente ingresadas a la plataforma virtual.

**7.1.6.1 Análisis de información** La aplicación será enfocada a los equipos seleccionados de la tabla de muestreo, posteriormente se hará una clasificación basada en la prioridad de los equipos que generen alerta y precaución en los reportes.

Posteriormente se realizara un análisis de la información, enfocado a las alertas que genere el reporte, es decir se analizara las posibles fallas que se presenten en el sistema basados en el reporte gráfico y de porcentaje del archivo; Es importante corroborar los resultados con el manual de fabricante del motor, con el manual interno de la compañía y las especificaciones de la Casa Matriz del Motor, en este caso Cummins Inc.

En la actualidad cada equipo es monitoreado bajo la figura de condición de intervalos de 7.000 km y solo se toman decisiones de cambio de lubricantes con base en los resultados de laboratorio.

**7.1.7 Parámetros fijos para el servicio de Análisis de Aceites** Para el desarrollo del presente protocolo de evaluación de desempeño se tendrá como referencia los parámetros fijos recomendados y definidos por Cummins Inc., los cuales se indican a continuación.

**Tabla 27.** Parámetros de límites máximos condicionales Muestra aceite motor.

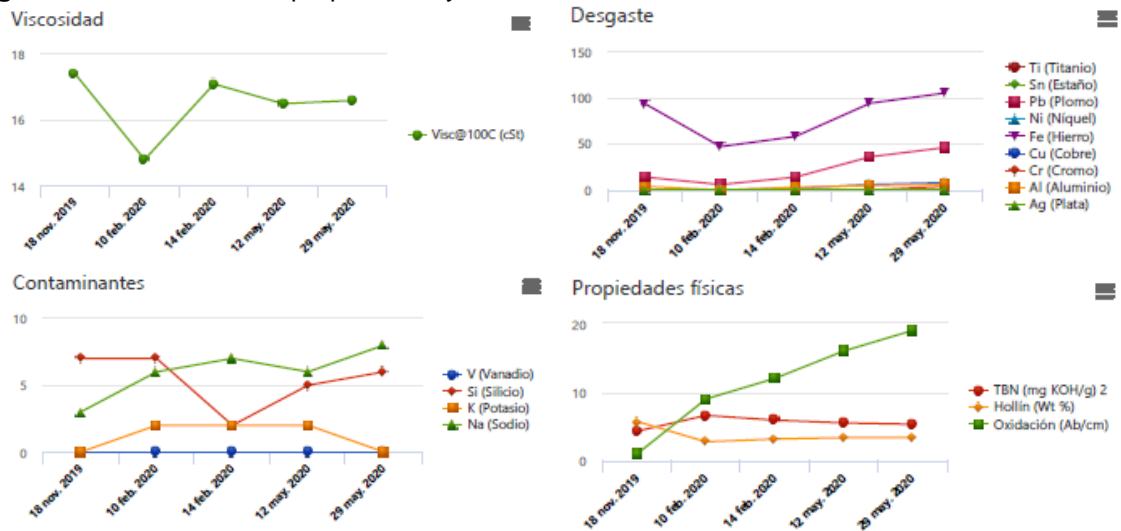
		DIESEL		
		Rango medio 4BT, 6BT, ISB,ISC.	Pasado NTC 350, N14, LI O, M II, ISX	Alto HP K 19, K 38, K 50, QSK 45, QSK 60
Viscosidad 100 C (cSt)		Variación +/- 5 unidades		
Número total de bases (TNB) ASTM D4739 min (mg KOH/g)		2.0	2.0	2.0
Número total ácido (TAN) máx. (mg KOH/g)		4,5	4,5	4,5
Dilución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

**Fuente.** Cummins Inc. 2012.

**7.1.8 Plan de acción** Nos basaremos en la recolección y análisis de datos recolectados directamente de la base de nuestro laboratorio primario, el cual nos brinda los valores de cada uno de los elementos importantes contenidos en el

aceite además de las características Físico – Químicas intrínsecas del lubricante; así mismo esta herramienta nos brinda la facilidad de llevar un seguimiento cada intervalo de ciclos (en este caso Kms), en el cual, ya sea por planeación (Off-Line) o precaución (On-Line) se generó la toma de muestra y respectivo análisis de la misma, como se puede observar en los siguientes gráficos.

**Figura 22.** Gráficos de las propiedades y características de la muestra de aceite de aceite motor.



Fuente. Postobon S.A. 2020.

Teniendo en cuenta los anteriores gráficos, recolectaremos los datos específicos y cuantitativos de cada uno de las variables a analizar y rectificaremos que tan relevante han sido los cambios de los diferentes lapsos de tiempo.

Con base al análisis y debida recolección de datos de cada una de las muestras de los equipos, se genera un reporte donde se evidencia, el cuadro anterior, con la siguiente información en detalle:

**1) Verticalmente.**

- a. Información de la muestra
- b. Lubricante
- c. Desgaste (ppm)
- d. Contaminantes
- e. Aditivos

**2) Horizontalmente.**

- a. Información de la Cuenta
- b. Información de la Muestra
- c. Información sobre Equipo
- d. Tendencias y datos de Muestra

Figura 23. Datos específicos de cada una de las variables.

Tendencias y datos de muestra						
Información de la Muestra	Estado del Reporte	Alerta	Normal	Normal	Alerta	Alerta
	ID de la Muestra	BO9323187306	BO0043289330	BO0048339311	BO0135142319	BO0160359322
	Nivel de servicio	Mejorado	Mejorado	Mejorado	Mejorado	Mejorado
	Identificación de la botella	b036287404	b036938113	b044694835	b044746446	b044869672
	Lubricante de la Prueba	MOBIL DELVAC MX ESP 15W40	MOBIL DELVAC MX ESP 15W40	MOBIL DELVAC MX ESP 15W40	MOBIL DELVAC MX ESP 15W40	MOBIL DELVAC MX ESP 15W40
	Muestreada	18 nov. 2019	10 feb. 2020	14 feb. 2020	12 may. 2020	29 may. 2020
	Registrados	20 nov. 2019	13 feb. 2020	17 feb. 2020	19 may. 2020	09 jun. 2020
	Edad del equipo	409054	420494	430806	441723	446364
	Unidad de Medida del Equipo	@Kilometer	@Kilometer	@Kilometer	@Kilometer	@Kilometer
	Edad del aceite	9997	21437	31749	42666	47307
	Unidad de Medida del Aceite	@Kilometer	@Kilometer	@Kilometer	@Kilometer	@Kilometer
	Volumen de relleno	0	21437		0	0
	Unidad de Medida de Volumen		@Gallons			
	Aceite cambiado	Sí	No	No	No	Sí
	Filtro cambiado	Sí	No	No	No	Sí
Lubricante	TBN (mg KOH/g) 2	4.3	6.6	5.9	5.5	5.3
	Clasificación de Contaminación	Alerta	Normal	Normal	Normal	Normal
	Clasificación de Equipo	Normal	Normal	Normal	Alerta	Alerta
	Clasificación del Aceite	PRECAUCIÓN	Normal	Normal	Normal	Normal
	Índice PQ	10	12	12	31	31
	Grado de viscosidad SAE	50	40	50		
	Visc@100C (cSt)	17.4	14.8	17.1	16.5	16.6
	Oxidación (Ab/cm)	1	9	12	16	19
	Hollín (Wt %)	5.70	2.74	3.15	3.35	3.36
	Agua (Vol.%)	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado
Indicador de refrigerante	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado	
Desgaste (ppm)	Ag (Plata)	0	0	0	0	0
	Al (Aluminio)	4	0	3	5	6
	Cr (Cromo)	0	0	0	0	4
	Cu (Cobre)	0	0	2	6	8
	Fe (Hierro)	93	47	58	94	105
	Mo (Molibdeno)	40	40	36	39	42
	Ni (Níquel)	0	0	0	0	0
	Pb (Plomo)	14	6	14	36	46
	Sn (Estaño)	0	0	0	0	0
Ti (Titanio)	0	0	0	0	0	
Contaminantes (ppm)	K (Potasio)	0	2	2	2	0
	Mn (Manganeso)	0	0	0	0	0
	Na (Sodio)	3	6	7	6	8
	Si (Silicio)	7	7	2	5	6
	V (Vanadio)	0	0	0	0	0
Aditivo (ppm)	B (Boro)	24	50	47	40	50
	Ba (Bario)	0	0	0	0	0
	Ca (Calcio)	1730	2086	1635	1793	1880
	Mg (Magnesio)	566	540	450	504	548
	P (Fósforo)	855	874	940	987	1019
	Zn (Zinc)	880	1054	862	975	1017

Fuente. Postobon S.A. 2020.

## 8. METODOLOGÍA MODELO PROPUESTO Y ESTÁNDARES DE DESEMPEÑO

De acuerdo al estudio y análisis anterior de los parámetros de cada informe en particular, se generara el método paso a paso, el cual se debe ejecutar por parte de cualquier de las personas relacionadas y responsables, con los análisis de aceite de motor de la flota de la regional (Coordinador de Mantenimiento, Jefe de Mantenimiento, Supervisor de Mantenimiento, Técnico Lubricador).

Es de mencionar que los procedimientos paso a paso, está incluido en los anexos, junto con sus documentos correspondientes, accesibles para llevarlos a cabo en práctica.

Los Instructivos en relación son:

***Procedimiento Toma de Muestra.pdf***

***INSTRUCTIVO PARA INGRESAR MUESTRAS ACEITE PLATAFORMA MOBILSERV.pdf***

***INSTRUCTIVO PARA EXPORTAR ARCHIVO DE LA PLATAFORMA MOBILSERV.pdf***

***ORIGINAL Límites Análisis Aceite BOGOTA.xlsx***

Se genera una tabla de acciones de mejora automática en EXCEL, de tal forma que produzca una acción a realizar futura, ya sea revisión, reparación o cambio del componente(s), a los indicadores en relación del elemento, que sobrepase estas cifras de referencia y generen el distintivo color rojo de alerta o amarillo de precaución.

Igualmente también se realizara el seguimiento respectivo, en las OT's de cada equipo que se intervenga, de tal forma que se pueda llevar un control y seguimiento de las siguientes variables:

- *Revisión* por alerta de Precaución de alguno de los elementos de la muestra.
- *Reparación o Cambio* por alerta Crítica de alguno de los elementos de la muestra.

**Figura 24.** Seguimiento del análisis de aceites.

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
Sample Sta	Report Sta	Date Reptd	Asset ID	Unit ID	Unit Descri	Asset Class	Position	Tested Lub	Service Lev	Sample Bot	Manufactu	Alt Manufa	Model	
2	Completed	Alert	02/01/2020	40251552	TRJ632	KENWORTH T8 Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b036225168	CUMMINS		ISX 450 ST	
3	Completed	Normal	02/01/2020	40291904	TRK877	INTERNATIONAL Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b036933948	CUMMINS		ISX 435V	
4	Completed	Alert	02/01/2020	40146360	TRJ640	KENWORTH T8 Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b044562115	CUMMINS		ISX 450 ST	
6	Completed	Caution	02/01/2020	40537282	TRM819	KENWORTH T8 Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b044564779	CUMMINS		ISX 400 ST	
7	Completed	Normal	02/01/2020	40268781	TRK882	INTERNATIONAL Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b044562424	CUMMINS		ISX 435V	
8	Completed	Normal	08/01/2020	40100387	TRJ938	KENWORTH T8 Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b044560841	CUMMINS		ISX 450 ST	
9	Completed	Alert	08/01/2020	40740373	SZX037	INTERNATIONAL Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b044561049	CUMMINS		ISX 435V	
10	Completed	Alert	08/01/2020	40100384	TRJ936	KENWORTH T8 Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b044561419	CUMMINS		ISX 450 ST	
12	Completed	Alert	08/01/2020	31202378	SNM171	INTERNATIONAL Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b044562906	CUMMINS		ISX 435V	
14	Completed	Normal	10/01/2020	50186592	SZX633	INTERNATIONAL Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b044563295	CUMMINS		ISX 435V	
15	Completed	Normal	10/01/2020	40537282	TRM819	KENWORTH T8 Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b044564355	CUMMINS		ISX 400 ST	
17	Completed	Normal	10/01/2020	40100381	TRJ985	KENWORTH T8 Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b036083258	CUMMINS		ISX 450 ST	
18	Completed	Normal	15/01/2020	40251552	TRJ632	KENWORTH T8 Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	B036223697	CUMMINS		ISX 450 ST	
19	Completed	Alert	15/01/2020	40248512	TRJ627	KENWORTH T8 Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	B036225174	CUMMINS		ISX 450 ST	
20	Completed	Alert	15/01/2020	50089768	SZX034	INTERNATIONAL Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	B036224954	CUMMINS		ISX 435V	
21	Completed	Normal	10/01/2020	40251550	TRJ982	KENWORTH T8 Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	B036224315	CUMMINS		ISX 450 ST	
22	Completed	Alert	10/01/2020	40194402	TRJ636	KENWORTH T8 Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	B036223182	CUMMINS		ISX 450 ST	
23	Completed	Alert	15/01/2020	50111749	SZX597	INTERNATIONAL Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b044562196	CUMMINS		ISX 435V	
27	Completed	Normal	16/01/2020	40251552	TRJ632	KENWORTH T8 Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	B044658523	CUMMINS		ISX 450 ST	
28	Completed	Normal	23/01/2020	40291904	TRK877	INTERNATIONAL Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b036194682	CUMMINS		ISX 435V	
30	Completed	Normal	17/01/2020	40146360	TRJ640	KENWORTH T8 Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b044559396	CUMMINS		ISX 450 ST	
31	Completed	Alert	17/01/2020	40150092	TRJ638	KENWORTH T8 Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b044564707	CUMMINS		ISX 400 ST	
32	Completed	Alert	17/01/2020	40132009	TRJ449	KENWORTH T8 Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b044564610	CUMMINS		ISX 450 ST	
39	Completed	Alert	23/01/2020	40527819	TRM577	KENWORTH T8 Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b036197025	CUMMINS		ISX 400 ST	
41	Completed	Normal	21/01/2020	40715422	SXV162	INTERNATIONAL Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b044561913	CUMMINS		ISX 435V	
45	Completed	Alert	22/01/2020	40715416	SZW899	INTERNATIONAL Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b044563920	CUMMINS		ISX 435V	
46	Completed	Alert	21/01/2020	40100391	TRJ984	KENWORTH T8 Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b044563605	CUMMINS		ISX 450 ST	

**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

## 8.1 PRIORIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN Y REEVALUACION DE DATOS OBTENIDOS

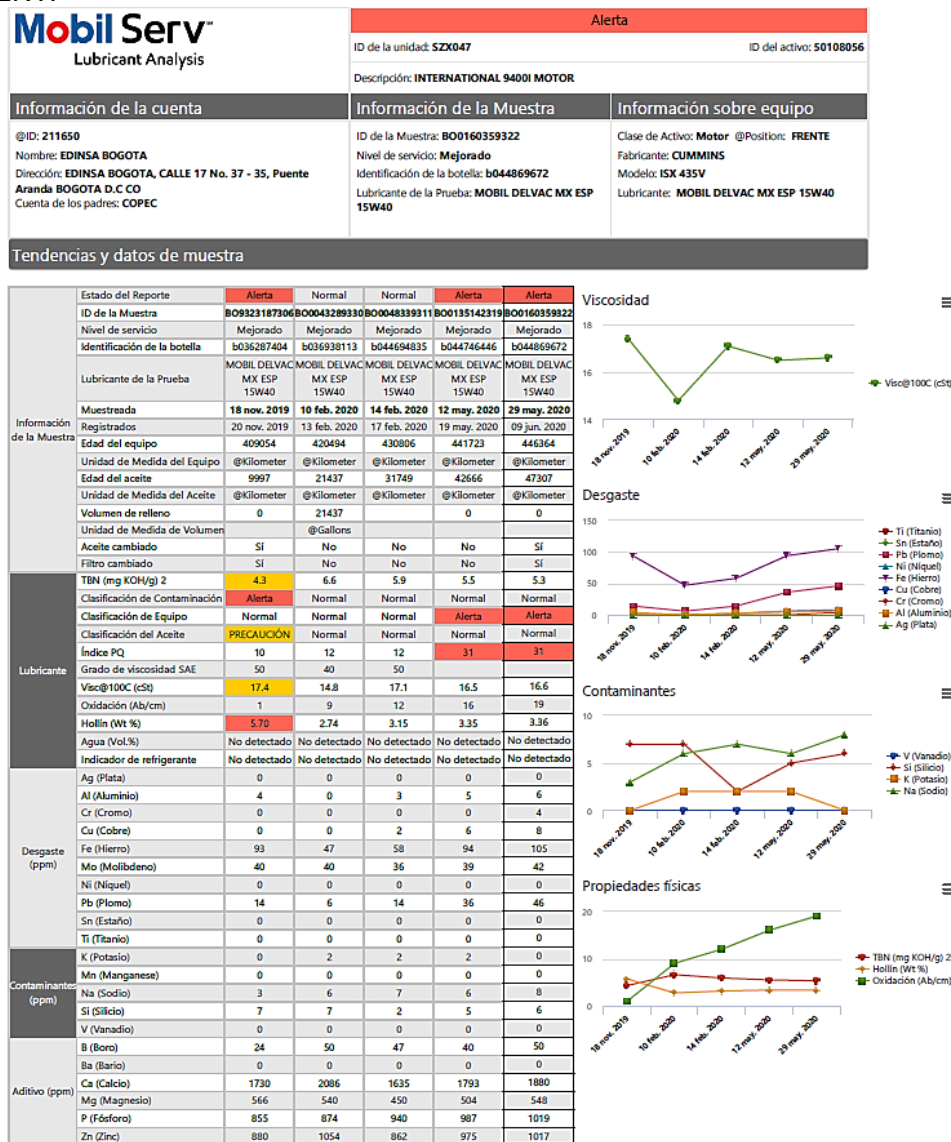
La interpretación del informe de análisis de aceite del motor, se guiara bajo la siguiente preferenciación de pasos, de los más relevantes a los de menor incidencia:

1. Información del Activo e información del aceite utilizado en el mismo.
2. Información de la Muestra de aceite, Información de fecha tomada, Kilometraje del Equipo y Kilometraje del aceite en uso, condición de cambio de aceite y filtración.
3. Valores en ppm de contaminantes y desgaste, en la muestra de aceite, de los elementos hallados por el laboratorio, en el lubricante.
4. Características del lubricante.
5. Graficas ilustrativas de los puntos anteriormente mencionados.

De tal forma que tomaremos, en principio, como ejemplo un informe común de análisis de aceite motor ISX, descargado desde la plataforma de EXXON MOBIL, para complementar la interpretación y análisis, de los resultados descargados de la base de datos del laboratorio, y que luego serán insertados en el Archivo

Maestro de EXCEL, con el fin de estudiar más rápido y sencillo los valores descargados, para posteriormente tomar decisiones asertivas y con fundamento técnico. Se evidenciarán mediante unas flechas negras, donde en su interior tendrán el número 1 a 1 (paso a paso), la guía de seguir el método de priorización de la información dada, por el informe de Muestra de Aceite, suministrado por la plataforma virtual.

**Figura 25.** Informe común de Análisis de Aceite Motor ISX, generado por el Laboratorio MOBILSERV.



Fuente. EXXON MOBIL CORPORATION. 2020.

**Figura 26.** Información del Activo e información del aceite utilizado en el mismo.

Alerta		
ID de la unidad: <b>SZX047</b>		ID del activo: <b>50108056</b>
Descripción: <b>INTERNATIONAL 9400I MOTOR</b>		
Información de la cuenta	Información de la Muestra	Información sobre equipo
@ID: <b>211650</b> Nombre: <b>EDINSA BOGOTA</b> Dirección: <b>EDINSA BOGOTA, CALLE 17 No. 37 - 35, Puente Aranda BOGOTA D.C CO</b> Cuenta de los padres: <b>COPEC</b>	ID de la Muestra: <b>B00160359322</b> Nivel de servicio: <b>Mejorado</b> Identificación de la botella: <b>b044869672</b> Lubricante de la Prueba: <b>MOBIL DELVAC MX ESP 15W40</b>	Clase de Activo: <b>Motor</b> @Position: <b>FRENTE</b> Fabricante: <b>CUMMINS</b> Modelo: <b>ISX 435V</b> Lubricante: <b>MOBIL DELVAC MX ESP 15W40</b>

**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

**Figura 27.** Información de la Muestra de aceite, Información de fecha tomada, Kilometraje del Equipo y Kilometraje del aceite en uso, condición de cambio de aceite y filtración.

Tendencias y datos de muestra						
		Alerta	Normal	Normal	Alerta	Alerta
Información de la Muestra	Estado del Reporte	Alerta	Normal	Normal	Alerta	Alerta
	ID de la Muestra	<b>B09323187306</b>	<b>B00043289330</b>	<b>B00048339311</b>	<b>B00135142319</b>	<b>B00160359322</b>
	Nivel de servicio	Mejorado	Mejorado	Mejorado	Mejorado	Mejorado
	Identificación de la botella	b036287404	b036938113	b044694835	b044746446	b044869672
	Lubricante de la Prueba	MOBIL DELVAC MX ESP 15W40	MOBIL DELVAC MX ESP 15W40	MOBIL DELVAC MX ESP 15W40	MOBIL DELVAC MX ESP 15W40	MOBIL DELVAC MX ESP 15W40
	Muestreada	<b>18 nov. 2019</b>	<b>10 feb. 2020</b>	<b>14 feb. 2020</b>	<b>12 may. 2020</b>	<b>29 may. 2020</b>
	Registrados	20 nov. 2019	13 feb. 2020	17 feb. 2020	19 may. 2020	09 jun. 2020
	Edad del equipo	409054	420494	430806	441723	446364
	Unidad de Medida del Equipo	@Kilometer	@Kilometer	@Kilometer	@Kilometer	@Kilometer
	Edad del aceite	9997	21437	31749	42666	47307
	Unidad de Medida del Aceite	@Kilometer	@Kilometer	@Kilometer	@Kilometer	@Kilometer
	Volumen de relleno	0	21437		0	
	Unidad de Medida de Volumen		@Gallons			
	Aceite cambiado	Si	No	No	No	Si
	Filtro cambiado	Si	No	No	No	Si

**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

**Figura 28.** Valores en ppm de contaminantes y desgaste, en la muestra de aceite, de los elementos hallados por el laboratorio, en el lubricante.

Desgaste (ppm)	Ag (Plata)	0	0	0	0	0
	Al (Aluminio)	4	0	3	5	6
	Cr (Cromo)	0	0	0	0	4
	Cu (Cobre)	0	0	2	6	8
	Fe (Hierro)	93	47	58	94	105
	Mo (Molibdeno)	40	40	36	39	42
	Ni (Niquel)	0	0	0	0	0
	Pb (Plomo)	14	6	14	36	46
	Sn (Estaño)	0	0	0	0	0
	Ti (Titanio)	0	0	0	0	0
Contaminantes (ppm)	K (Potasio)	0	2	2	2	0
	Mn (Manganeso)	0	0	0	0	0
	Na (Sodio)	3	6	7	6	8
	Si (Silicio)	7	7	2	5	6
	V (Vanadio)	0	0	0	0	0

Valores en ppm Muestra Aceite

**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

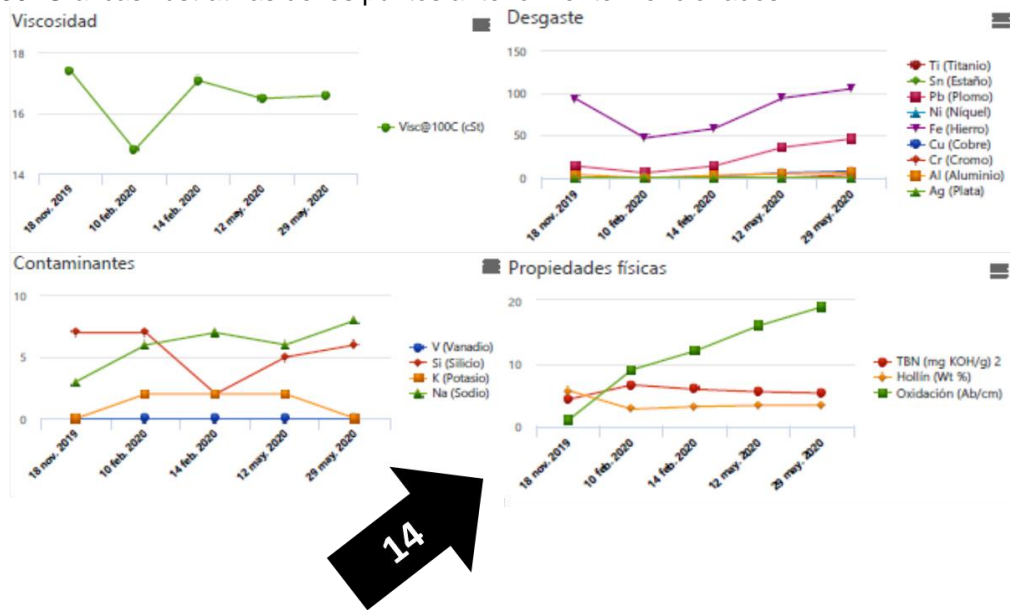
**Figura 29.** Características del lubricante.

<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="margin-bottom: 10px;"> <span style="font-size: 24px; font-weight: bold;">12</span> </div> <div style="margin-bottom: 10px;"> <span style="font-size: 24px; font-weight: bold;">13</span> </div> </div> Lubricante	TBN (mg KOH/g) 2	4.3	6.6	5.9	5.5	5.3
	Clasificación de Contaminación	Alerta	Normal	Normal	Normal	Normal
	Clasificación de Equipo	Normal	Normal	Normal	Alerta	Alerta
	Clasificación del Aceite	PRECAUCIÓN	Normal	Normal	Normal	Normal
	Índice PQ	10	12	12	31	31
	Grado de viscosidad SAE	50	40	50		
	Visc@100C (cSt)	17.4	14.8	17.1	16.5	16.6
	Oxidación (Ab/cm)	1	9	12	16	19
	Hollín (Wt %)	5.70	2.74	3.15	3.35	3.36
	Agua (Vol.%)	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado
	Indicador de refrigerante	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado

**Características del Lubricante**

**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

**Figura 30.** Graficas ilustrativas de los puntos anteriormente mencionados.



**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

Los valores de la Tabla 28, fueron generados mediante promedios e iteraciones de datos, ponderados de la base de datos maestra de EDINSA – POSTOBON, para los motores Cummins de la compañía; de igual manera se complementa, con la base técnica del Fabricante original del motor (Cummins Inc.) y su recomendación de manual de funcionamiento y mantenimiento.

Con el compendio de valores clasificados y limitados, por cada elemento y/o característica del lubricante MOBIL DELVAC MX 15W40 ESP, se generan condiciones limitadas y automáticas en el Libro Maestro de EXCEL, el cual nos expondrá, la condición del aceite sencilla y automáticamente, además de actualizar tablas Dinámicas e Indexadas, de las acciones a realizar o componentes a reparar o cambiar.

**Tabla 28.** Parámetros de límites Normales, Precaución y Críticos condicionales aplicado a las muestra aceite motor ISX para la flota de Transporte Terrestre pesado T1, Regional Bogotá D.C.

<b>LIMITES ANALISIS ACEITE ENGINE (BOGOTA) MOBIL DELVAC MX 15W40 ESP</b>			
<b>ELEMENTO (desgaste ppm)</b>	<b>NORMAL</b>	<b>PRECAUCION</b>	<b>CRÍTICO</b>
Fe (Iron)	<80	80a100	>100
Cu (Copper)	<10	10a20	>20
Pb (Lead)	<25	25a30	>30
Al (Aluminum)	<12	12a15	>15
Cr (Chromium)	<10	10a15	>15
Sn (Tin)	<10	10a15	>15
Ni (Nickel)	<4	4a5	>5
<b>ELEMENTO (contaminantes ppm)</b>	<b>NORMAL</b>	<b>PRECAUCION</b>	<b>CRÍTICO</b>
Si (Silicon)	<12	12a15	>15
K (Potassium)	<20	20a40	>40
Soot (Wt%)	<2.5	2.5a3	>3
Na (Sodium)	<20	20a40	>40
<b>CARACTERISTICA (propiedades)</b>	<b>NORMAL</b>	<b>PRECAUCION</b>	<b>CRÍTICO</b>
<a href="#">Visc@100C (cSt)</a>	13a17	12a13 ó 17a18	<12 ó >18
TBN (mg KOH/g) 2	>4	4 a 2	<2
Dilucion por Combustible (%)	<2	2a5	>5
Oxidation (Ab/cm)	<15	15a20	>20
Water (Vol.%)	NotDetected	0.01a0.15	>0.15
PQ Index	<20	20a30	>30
Coolant Indicator	NotDetected		DETECTED

**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

La tabla anterior, tiene como uno de los objetivos, considerar y deliberar, los resultados obtenidos en el periodo evaluado, y compararlos con los resultados

tomados periodos atrás, de tal forma, que la persona que decida, ir al detalle y estudiar a fondo cada limite, tenga los siguientes tip's como fundamentos, para la más precisa y correcta toma de decisión:

1. Conocer el equipo, sus componentes e historial de reparaciones
2. Comparación con muestras previas
3. Observar las tendencias y establecer un patrón de incidencia.
4. Comparar con las guías de límites de precaución del aceite usado: Normal, Precaución, Crítico
5. Redirigirse a las guías del OEM e indagar si discierne de algún dato.
6. Comparar con información mecánica y operacional (etiquetar información, entrevistar al operador, mecánico, etc.)

**Figura 31.** Hoja del Archivo Maestro de EXCEL, nombrada “ANALISIS RESULTADOS ENGINE”, formulada y limitada automáticamente para generar las alertas.

ANALISIS RESULTADOS MUESTRAS DE ACEITE ENGINE BOGOTA D.C																						
Unit ID	Date Reported	Oil Age	Equipmen t Age	Oil Changed	Filter Changed	Visc@100C (cSt)	Oxidation (Ab/cm)	PQ Index	Water (Vol.%)	Soot (Wt%)	TBN (mg KOH/g) 2	Si (Silicon)	K (Potassium)	Na (Sodium)	Fe (Iron)	Cr (Chromium)	Al (Aluminum)	Cu (Copper)	Pb (Lead)	Sn (Tin)	Ni (Nickel)	Comments
						<12 ó >21	>20	>30	>0.15	>3	<2	>15	>40	>40	>100	>15	>15	>20	>30	>15	>5	
TRJ632	02/01/2020	35849	672108	No	No	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	ACCION REQU
TRK877	02/01/2020	13657	675554	No	No	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NO SE REQUI
TRJ640	02/01/2020	60881	1071333	Yes	Yes	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	ACCION REQU
FNL831	02/01/2020	62593	158320	No	No	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	PRECAUCION
TRM819	02/01/2020	23631	355112	No	No	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	PRECAUCION
TRK882	02/01/2020	29015	648668	No	No	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NO SE REQUI
TRI938	08/01/2020	16975	726698	No	No	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NO SE REQUI
SZX037	08/01/2020	37067	518404	Yes	Yes	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	ACCION REQU
TRI936	08/01/2020	54058	338782	Yes	Yes	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO	CRITICO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	PRECAUCION
WCR608	08/01/2020	11840	529320	Yes	Yes	CRITICO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	ACCION REQU
SNM171	08/01/2020	41484	1089905	Yes	Yes	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	ACCION REQU
FNL831	08/01/2020	64391	160118	No	No	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	PRECAUCION
SZX633	10/01/2020	20709	81797	No	No	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NO SE REQUI
TRM819	10/01/2020	26365	357846	No	No	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NO SE REQUI
WCR607	10/01/2020	14635	170640	No	No	CRITICO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	ACCION REQU
TRI985	10/01/2020	92992	748084	No	No	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NO SE REQUI
TRJ632	15/01/2020	44734	680993	No	No	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NO SE REQUI
TRJ627	15/01/2020	58800	796300	Yes	Yes	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	ACCION REQU
SZX034	15/01/2020	20963	520780	No	No	CRITICO	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	CRITICO	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	ACCION REQU
TRI982	10/01/2020	16230	763200	No	No	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NO SE REQUI
TRJ636	10/01/2020	65723	673436	No	No	CRITICO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	ACCION REQU
SZX597	15/01/2020	55255	108043	No	No	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	PRECAUCION	CRITICO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	NORMAL	ACCION REQU
FNL830	15/01/2020	47876	130573	No	No	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NO SE REQUI
FNL831	15/01/2020	65298	161025	No	No	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	PRECAUCION
SNU072	15/01/2020	14874	536733	Yes	Yes	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	ACCION REQU
TRJ632	16/01/2020	51600	687956	No	No	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	NO SE REQUI
TRK877	23/01/2020	5930	681480	No	No	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NO SE REQUI
SNU073	17/01/2020	7829	551170	No	No	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	NORMAL	CRITICO	CRITICO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	ACCION REQU
TRJ640	17/01/2020	7561	1078894	No	No	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NO SE REQUI
TRJ638	17/01/2020	35300	800024	No	No	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	ACCION REQU
TRJ449	17/01/2020	47529	839644	Yes	Yes	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	CRITICO	CRITICO	CRITICO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO	CRITICO	NORMAL	NORMAL	PRECAUCION

**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

El Resultado del Análisis de Aceite Usado se enfoca en tres áreas que ayudan a identificar:

- Condiciones del equipo
- Condiciones de contaminación
- Condiciones de lubricante



Es importante mencionar, que este archivo EXCEL, será la base principal, para que periódicamente cualquiera de los responsables del mantenimiento predictivo de la flota de Tracto-Camiones, puedan descargar sin límites de valores ni límites de bases de datos, el compendio de muestras de aceite registradas en la plataforma virtual; se recalca que será el Libro Maestro, ya que está diseñado, para que momento de ingresar nuevos datos descargados de la página de Mobil, se actualice en tiempo real y de inmediata, la información y condición del aceite, características y contaminantes del lubricante, desgaste de los materiales internos del motor y acciones a tomar para la predicción de fallas de mayor gravedad.

## **8.2 TOMA DE DECISIONES**

Después de analizar cada una de las muestras, filtradas y condicionadas a los límites de contaminación, desgaste o pérdida de propiedades tribológicas, del aceite de motor, se toman las siguientes premisas:

- 1) Determinar condición de degradación
- 2) Indicar si el aceite está en condiciones de uso
- 3) Identificar si hay contaminación en el aceite
- 4) Detectar condiciones anormales en el equipo que está siendo probado
- 5) Identificar que problemas pueden ser identificados y corregidos antes de causar daños permanentes
- 6) Evalúa tendencias de desgaste de Mantenimiento Mayor (Overhaul) en algunas unidades puede ser minimizado o acortado.
- 7) Confirmar condiciones de las alertas nuevamente
- 8) Obtener una segunda muestra para análisis de laboratorio

### 8.3 REGISTRO DE INFORMACION EJECUTADA

La persona responsable, deberá seguir la siguiente lista de pasos, para registrar debidamente todas las acciones y todos los repuestos e insumos utilizados, en el mantenimiento predictivo propuesto:

*A) Revisión* por alerta de Precaución de alguno de los elementos de la muestra (se deberá plasmar en la OT del Informe diario de taller y en la OT generada por el Sistema SAP, la tarea realizada para corregir la novedad, precedida de la palabra “PREDICTIVO”, de tal forma, que se pueda generar un informe respectivo, de algún lapso de tiempo predeterminado, y se tenga trazabilidad de cada intervención que se realice a cada equipo individualmente).

*B) Reparación o Cambio* por alerta Critica de alguno de los elementos de la muestra (se deberá plasmar en la OT del Informe diario de taller y en la OT generada por el Sistema SAP, los repuestos utilizados para corregir la novedad, precedida de la palabra “PREDICTIVO”, de tal forma, que se pueda generar un informe respectivo, de algún lapso de tiempo predeterminado, y se tenga trazabilidad de cada repuesto que se cambie a cada equipo individualmente).

*C) Cuando se vuelva a descargar la base de datos de la plataforma MOBILSERV, del nuevo periodo de tiempo a analizar, se debe tener en cuenta los servicios realizados (Intervenciones por alerta de precaución) y repuestos cambiados (Cambio por alerta Critica), del lapsus anterior de cada equipo, con el fin de cruzar información, e ir descartando si la acciones realizadas en el anterior predictivo, elimino de raíz las posibles fallas que generaría si la condición no se hubiera intervenido a tiempo.*

Lo anterior, con el fin de rectificar en la siguiente toma de muestra de análisis, si las acciones que se llevaron a cabo fueron satisfactorias, para evitar una falla o reparación mayor e incurrir en altos gastos de mantenimiento, a su vez incidiendo

negativamente en la Confiabilidad y Disponibilidad de la Flota de Tracto-Camiones.

Por último, el responsable que este en ese momento de descargar, filtrar y actualizar el Archivo Maestro EXCEL, deberá por compromiso, realizar las siguientes tareas o en su defecto reportárselas al jefe inmediato:

- 1) Socializar con los demás Técnicos encargados de cada especialidad, las acciones a tomar en el próximo mantenimiento preventivo de cada unidad, o en el próximo mantenimiento correctivo, donde se tenga el tiempo y el recurso de realizar las acciones debidas.
- 2) Imprimir y publicar en la cartelera principal del taller de mantenimiento, el listado completo con las acciones a tomar, de tal forma que todos estén enterados y se tenga la información disponible a todo el personal del taller
- 3) Realizar el pedido a compras, de los repuestos e insumos a utilizar, cargados al Stock de Almacén de Taller, con el fin de Disponer en tiempo real y de inmediato lo que se necesite, para la reparación o cambio de componentes, con la finalidad de disminuir el MTTR y aumentar la Disponibilidad y Confiabilidad del equipo.
- 4) Programar con los proveedores que realizan servicios especializados, que no se cuentan en taller, las fechas y tiempos necesarios de realizar las inspecciones, verificaciones y reparaciones necesarias de los elementos del motor que se detecten en el Archivo Excel Maestro; así mismo de programar con el Dpto. de Operaciones el día y las horas de Reparación que se estimaran para la ejecución de las tareas anteriormente mencionadas.
- 5) Imprimir, publicar e informar a los Conductores Titulares, de las corrección o verificaciones que se darán a lugar, en las Unidades Tractoras que cada uno tiene asignada, de tal forma que se programen y dispongan el tiempo, para ejecutar la metodología del Mantenimiento Predictivo, de acuerdo a las decisiones tomadas por el Dpto. de Mantenimiento.

6) Programar con el Dpto. de Operaciones, Torre de Control, Dpto. de Mejora Continua y Estandarización de Procesos, la programación de las Unidades Tractoras para ingresar a Taller, Si y Solo Si, cumplen alguna de las siguientes condiciones:

A) Si están disponibles para intervenir en el taller, sin afectar la Logística y Producción de Postobon.

B) Si están en un nivel de Alerta Critico y por criterio técnico, afectarían de manera importante la integridad del equipo, integridad del Conductor o un riesgo de SST.

C) Si están programados previamente para un Mantenimiento Preventivo y se dispone de tiempo, recursos y personal, de ejecutar en ese mismo tiempo Planeado, la Metodología Propuesta de Predictivo de Fallas de Motor.

#### **8.4 PUNTOS A CONSIDERAR**

- Los Límites aplicados a cada muestra pueden variar dependiendo de las condiciones ambientales, por donde transite la Unidad Tractora, y del historial de fallas o condiciones de cada equipo, que afecten significativamente la muestra de aceite.
- El proceso de revisión considerará toda la información recolectada y podrá relacionar múltiples resultados, para determinar condiciones anormales
- El Efecto en los resultados por alteración en el aceite: Los equipos con alto consumo de aceite no entregan muestras representativas, dado al alto volumen de aceite de relleno, el cual distorsiona las condiciones reales del equipo (mezcla de aceite nuevo y usado). Se deberá indagar y buscar los volúmenes de aceite de relleno, que se han realizado al Tracto-Camión.
- Utilizar pruebas de análisis en sitio diseñadas para condiciones en alerta (Glicol, prueba ferromagnética, prueba DELTA de presiones de filtros, etc.)

- Normalizar los datos: Leer los análisis sin considerar tiempo o distancia, puede llevar a conclusiones incorrectas sobre las condiciones del equipo, evaluar las tendencias relacionadas con la relación de desgaste por hr/mi/km puede mejorar la evaluación; lo anterior ya que en ciertos periodos del año, por falta de disponibilidad de Unidades Tractoras en las Plantas Principales, se disponen de 1 Tracto-Camión de más al mes, para suplir la necesidad dentro de la planta, a lo cual puede conllevar, a mayores tiempos de Ralentí y menor Kilometraje recorrido “Mula de Patio”.
- Verificar las condiciones del equipo con otras herramientas de monitoreo e inspección (inspecciones preventivas, medición de presión de salida de bomba de lubricante y de filtro lubricante, termografía, etc.)
- Toma de contra muestra por duda en alguna muestra de aceite contaminada, ya sea por el técnico o por su posterior manipulación.

## 9. RESULTADOS OBTENIDOS

Durante este año se han enviado un total de 340 muestras de aceite de las cuales 53 salen con resultados normales, 218 alertas de Precaución y 69 en alerta Crítica. De acuerdo a lo que se quiere realizar con esta implementación preliminar, donde las primeras fases, están en ejecución y son las que se van a mostrar en esta monografía. A continuación se van a mostrar los resultados de algunas unidades que fallaron catastróficamente, generando perdida significativas a los gastos no planeados por mantenimiento, evidenciando informes de muestras de aceite, componentes desgastados y comparativos de Costos de mantenimientos, realizando supuestos de Mantenimiento Predictivo Vs Fallas Correctivas (lo anterior, se descargara los datos de gastos promediados de repuestos y servicios similares, del presente año, en la regional de Bogotá D.C).

También se mencionaran Mejoras Enfocadas a diferentes Componentes del motor, los cuales ayudaran a disminuir desgastes acelerados, fallos momentáneos y aportaran valiosamente al mejoramiento, de funcionamiento y condición de los motores Cummins de la Organización.

## 9.1 ANÁLISIS DE CASO 1

La Unidad Tractora de placa SZX047 con 450.507 km recorridos a la fecha, ingresa al taller de mantenimiento EDINSA BOGOTA D.C, llega en grúa después de haber quedado varada en el peaje “El Korán” en el municipio de Guaduas - Cundinamarca; el conductor reporta que al momento de emprender la marcha nuevamente después de pagar el peaje respectivo, el motor bota una gran cantidad de humo negro, a lo cual pierde potencia y no le es posible al Tracto-Camión mover la carga de llevaba de 52 Ton Peso Completo. Se procede a indagar, mediante el Archivo Maestro Excel y la base de datos de la Plataforma MOVILSERV, las últimas muestras de aceite de motor tomadas y analizadas, a lo cual se comienza con el respectivo análisis en el documento formulado.

**Figura 33.** Imagen Muestras de Aceite placa SZX047, transcurso del año predictivo parte Izq.

PLACA	FECHA MUESTREO	Oil Changed	Filter Changed	CAMBIO ACEITE										TERMOSTATOS		RADIADOR		ENFRIADOR ACEITE	
				Si	K	SOOT (Wt%)	Na (Sodium)	Visc@100C (cSt)	TBN (mg KOH/g)	Oxidation (Ab/cm <sup>2</sup> )	Water (Vol%)	PQ Index	Oxidation (Ab/cm <sup>2</sup> )	Cu	Oxidation (Ab/cm <sup>2</sup> )	Cu	Al	Oxidation (Ab/cm <sup>2</sup> )	
103	SZX047	13/02/2020	No	No	NORMAL	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
104	SZX047	18/02/2020	No	No	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
251	SZX047	19/05/2020	No	No	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	CRITICO	PRECAUCION	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL
313	SZX047	09/06/2020	Yes	Yes	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	CRITICO	PRECAUCION	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL

**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

**Figura 34.** Imagen Muestras de Aceite placa SZX047, transcurso del año predictivo parte Der.

PLACA	FECHA MUESTREO	ACTUADORES		CALIBRACION MOTOR		BOMBA ACEITE		BOMBA COMBUSTIBLE		BUJES ERES DE LEVAS			CASQUETERIA CIGUEÑAL			ERES DE LEVAS		INYECTORES	
		Visc@100C (cSt)	Disociacion por Combustible	Soot (Wt%)	Fe	Al	Visc@100C (cSt)	Disociacion por	Cu	Pb	Sn	Cu	Pb	Sn	Fe	Soot (Wt%)	Visc@100C (cSt)	Disociacion Comb	
103	SZX047	13/02/2020	NORMAL		PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	NORMAL		NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	
104	SZX047	18/02/2020	PRECAUCION		CRITICO	NORMAL	NORMAL	PRECAUCION		NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO	PRECAUCION	
251	SZX047	19/05/2020	NORMAL		CRITICO	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL		NORMAL	CRITICO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	PRECAUCION	CRITICO	
313	SZX047	09/06/2020	NORMAL		CRITICO	CRITICO	NORMAL	NORMAL		NORMAL	CRITICO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	CRITICO	CRITICO	

**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

**Figura 35.** Límites alerta Muestra aceite Unidad Tractora SZX047.

LÍMITES ANALISIS ACEITE ENGINE (BOGOTÁ) MOBIL DELVAC MX 15W40 ESP			
ELEMENTO (desgaste ppm)	NORMAL	PRECAUCION	CRÍTICO
Fe (Iron)	<80	80a100	>100
Cu (Copper)	<10	10a20	>20
Pb (Lead)	<25	25a30	>30
Al (Aluminum)	<12	12a15	>15
Cr (Chromium)	<10	10a15	>15
Sn (Tin)	<10	10a15	>15
Ni (Nickel)	<4	4a5	>5
ELEMENTO (contaminantes ppm)	NORMAL	PRECAUCION	CRÍTICO
Si (Silicon)	<12	12a15	>15
K (Potassium)	<20	20a40	>40
Soot (Wt%)	<2.5	2.5a3	>3
Na (Sodium)	<20	20a40	>40
CARACTERÍSTICA (propiedades)	NORMAL	PRECAUCION	CRÍTICO
Visc@100C (cSt)	13a17	12a13 ó 17a18	<12 ó >18
TBN (mg KOH/g) 2	>4	4 a 2	<2
Dilución por Combustible (%)	<2	2a5	>5
Oxidation (Ab/cm)	<15	15a20	>20

**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

La Anterior Información se puede verificar en los archivos Adjuntos en los siguientes anexos: **ANEXO A**, **ANEXO F** y **ANEXO G**.

Según las últimas muestras de aceite de este equipo, y guiándonos por la “**Tabla 37. Parámetros de Límites Normales, Precaución y Críticos condicionales aplicado a las muestra aceite motor ISX para la flota de Transporte Terrestre pesado T1, Regional Bogotá D.C.**”, presentan Aumento de ppm de Hierro, aumento de ppm de Plomo, aumento del Índice de Oxidación en el aceite y presencia continua de Hollín; se procede a desarmar el motor y se encuentran los siguientes hallazgos:

**Figura 36.** Tobera Inyector #5 fragmentado.



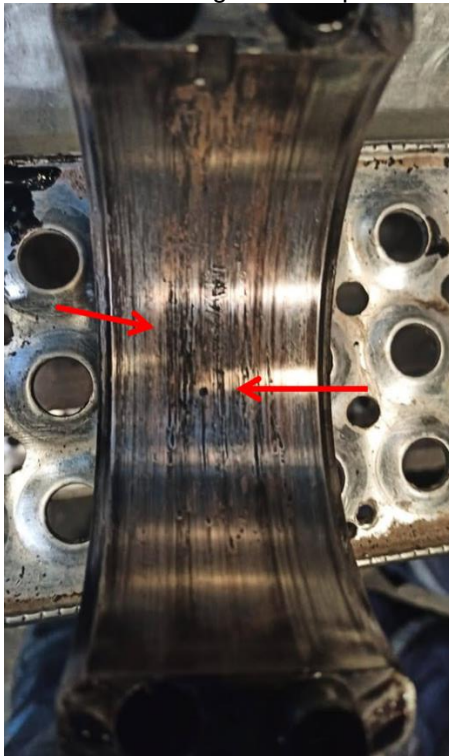
Fuente. Autor de la Monografía. 2020.

**Figura 37.** Alojamiento de Tobera Inyector #5 fragmentado.



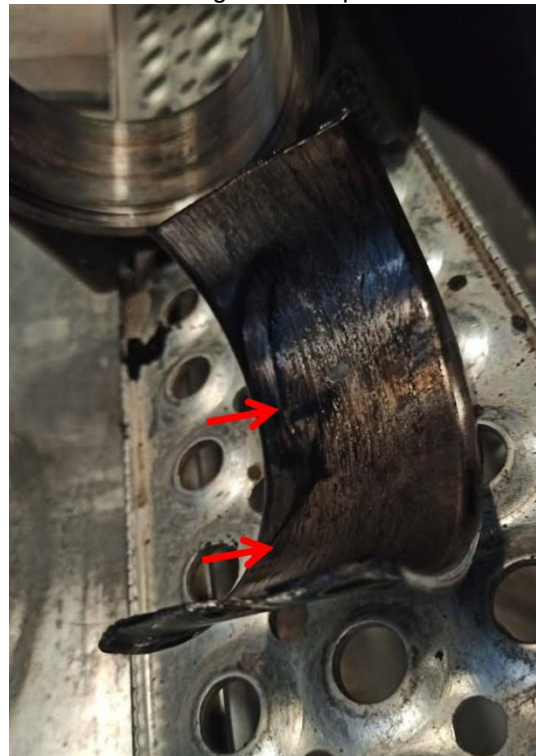
Fuente. Autor de la Monografía. 2020.

**Figura 38.** Desgaste excesivo casquete inferior de biela cigüeñal del pistón #5.



Fuente. Autor de la Monografía. 2020.

**Figura 39.** Desgaste excesivo casquete superior de biela cigüeñal del pistón #5.



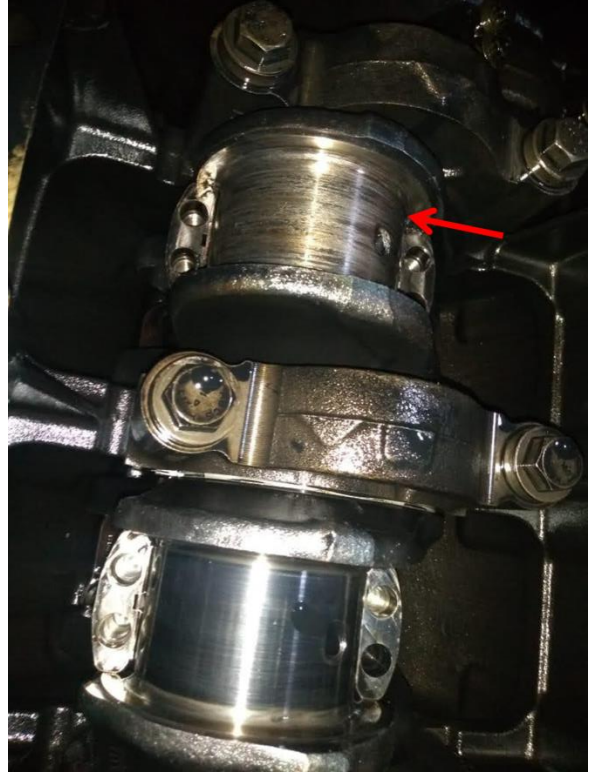
Fuente. Autor de la Monografía. 2020.

**Figura 40.** Desgaste excesivo muñon de biela cigüeñal del piston #5 vista posterior.



**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

**Figura 41.** Desgaste excesivo muñon de biela cigüeñal del piston #5 vista lateral.



**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

- Alojamiento de Tobera Inyector #5 fragmentado: la hipótesis de probabilidad de falla de este componente, se originó por las altas temperaturas de la culata del motor, debido a al grado de oxidación del aceite; la excesiva entrega de combustible por parte de los inyectores, también influyo al deterioro de las toberas o alojamientos donde sienta el inyector con la culata.
- Desgaste excesivo de casquetería y muñones de biela cigüeñal del pistón #5, significativo y rayados: la hipótesis de probabilidad de falla de este componente, se originó por las altas temperaturas de la culata del motor, debido a al grado de oxidación del aceite; la excesiva entrega de combustible por parte de los inyectores, también influyo en la continua degradación del aceite del motor.

**Reparaciones a efectuar** (En espera de Autorización por Gerencia Técnica)

- Cambio de casquetes de bancada
- Cambio de casquetes de biela
- Cambio de termostato
- Envío a rectificadora de la Culata (Pendiente de Informe preliminar)
- Envío a rectificadora del Cigüeñal (Pendiente de Informe preliminar)
- Revisión eje de levas.
- Cambio toberas y mantenimiento Inyectores
- Cambio de aceite motor y filtración.
- Calibración motor

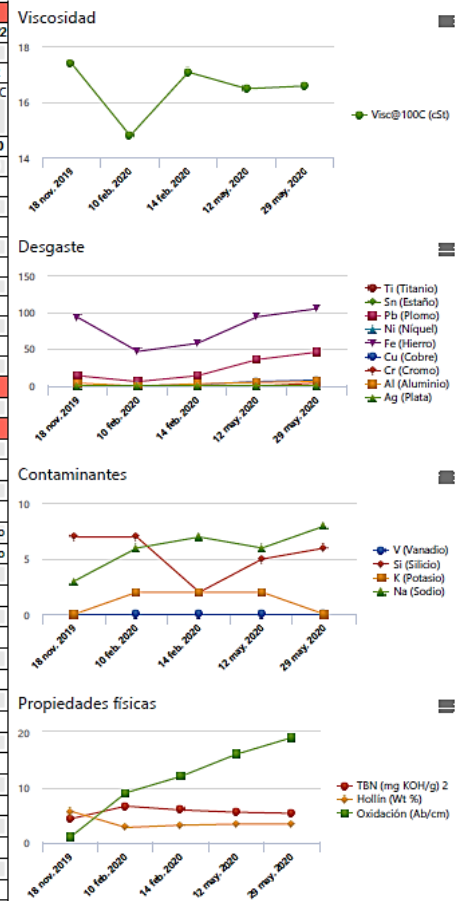
Finalmente, al momento de remitirnos al último Informe de Muestra de aceite motor, por parte del laboratorio de Exxon Mobil, el cual se puede ver en el **ANEXO G**, se indaga el por qué solo reportaba alerta por índice PQ; al momento de contactar con el proveedor, nos indica que los análisis están formulados y parametrizados a los valores base en general para todos los clientes que utilizan el aceite Mobil Delvac MX 15W40 ESP, a lo cual no genero alerta por los demás elementos excesivos de desgaste del motor (aumento de ppm de Hierro, aumento de ppm de Plomo) y deterioro de las características y funcionalidades del aceite lubricante (aumento del Índice de Oxidación en el aceite, presencia continua de Hollín)

Figura 42. Informe Unidad Tractora SZX047 de Análisis de Aceite Motor ISX, generado por el Laboratorio MOBILSERV.

		Alerta	
		ID de la unidad: <b>SZX047</b>	ID del activo: <b>50108056</b>
Descripción: <b>INTERNATIONAL 9400I MOTOR</b>			
Información de la cuenta	Información de la Muestra	Información sobre equipo	
@ID: 211650 Nombre: EDINSA BOGOTA Dirección: EDINSA BOGOTA, CALLE 17 No. 37 - 35, Puente Aranda BOGOTA D.C CO Cuenta de los padres: COPEC	ID de la Muestra: <b>B00160359322</b> Nivel de servicio: <b>Mejorado</b> Identificación de la botella: <b>b044869672</b> Lubricante de la Prueba: <b>MOBIL DELVAC MX ESP 15W40</b>	Clase de Activo: <b>Motor</b> @Position: <b>FRENTE</b> Fabricante: <b>CUMMINS</b> Modelo: <b>ISX 435V</b> Lubricante: <b>MOBIL DELVAC MX ESP 15W40</b>	

Tendencias y datos de muestra

Estado del Reporte	Alerta	Normal	Normal	Alerta	Alerta
ID de la Muestra	B09323187306	B00043289330	B00048339311	B00135142319	B00160359322
Nivel de servicio	Mejorado	Mejorado	Mejorado	Mejorado	Mejorado
Identificación de la botella	b036287404	b036938113	b044694835	b044746446	b044869672
Lubricante de la Prueba	MOBIL DELVAC MX ESP 15W40	MOBIL DELVAC MX ESP 15W40	MOBIL DELVAC MX ESP 15W40	MOBIL DELVAC MX ESP 15W40	MOBIL DELVAC MX ESP 15W40
Muestreada	18 nov. 2019	10 feb. 2020	14 feb. 2020	12 may. 2020	29 may. 2020
Registrados	20 nov. 2019	13 feb. 2020	17 feb. 2020	19 may. 2020	09 jun. 2020
Edad del equipo	409054	420494	430806	441723	446364
Unidad de Medida del Equipo	@Kilometer	@Kilometer	@Kilometer	@Kilometer	@Kilometer
Edad del aceite	9997	21437	31749	42666	47307
Unidad de Medida del Aceite	@Kilometer	@Kilometer	@Kilometer	@Kilometer	@Kilometer
Volumen de relleno	0	21437		0	0
Unidad de Medida de Volumen		@Gallons			
Aceite cambiado	Sí	No	No	No	Sí
Filtro cambiado	Sí	No	No	No	Sí
TBN (mg KOH/g) 2	4.3	6.6	5.9	5.5	5.3
Clasificación de Contaminación	Alerta	Normal	Normal	Normal	Normal
Clasificación de Equipo	Normal	Normal	Normal	Alerta	Alerta
Clasificación del Aceite	PRECAUCIÓN	Normal	Normal	Normal	Normal
Índice PQ	10	12	12	31	31
Grado de viscosidad SAE	50	40	50		
Visc@100C (cSt)	17.4	14.8	17.1	16.5	16.6
Oxidación (Ab/cm)	1	9	12	16	19
Hollín (Wt %)	5.70	2.74	3.15	3.35	3.36
Agua (Vol %)	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado
Indicador de refrigerante	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado
Ag (Plata)	0	0	0	0	0
Al (Aluminio)	4	0	3	5	6
Cr (Cromo)	0	0	0	0	4
Cu (Cobre)	0	0	2	6	8
Fe (Hierro)	93	47	58	94	105
Mo (Molibdeno)	40	40	36	39	42
Ni (Níquel)	0	0	0	0	0
Pb (Plomo)	14	6	14	36	46
Sn (Estaño)	0	0	0	0	0
Ti (Titanio)	0	0	0	0	0
K (Potasio)	0	2	2	2	0
Mn (Manganeso)	0	0	0	0	0
Na (Sodio)	3	6	7	6	8
Si (Silicio)	7	7	2	5	6
V (Vanadio)	0	0	0	0	0
B (Boro)	24	50	47	40	50
Ba (Bario)	0	0	0	0	0
Ca (Calcio)	1730	2086	1635	1793	1880
Mg (Magnesio)	566	540	450	504	548
P (Fósforo)	855	874	940	987	1019
Zn (Zinc)	880	1054	862	975	1017



Fuente. EXXON MOBIL CORPORATION. 2020.

## 9.1.1 Comparativo Costos Mantenimiento Predictivo Vs Fallas Correctivas

### Caso 1

**Tabla 29.** Costos Aproximados Fallas Correctivas Vs. Costos Aproximados Mantenimiento Predictivo SZX047.

Costos Aproximados Fallas Correctivas		Costos Aproximados Mantenimiento Predictivo	
Correcciones	Valor Aprox.*	Intervenciones Predictivo**	Valor Aprox.*
Cambio de casquetes de bancada	\$ 480.000	Revisión Radiador	\$ 450.000
Cambio de casquetes de biela	\$ 430.000	Revisión Enfriador de aceite	\$ 750.000
Cambio de termostato	\$ 100.000	Revisión y Mantenimiento Inyectores	\$ 4'800.000
Envió a rectificadora de la Culata (Pruebas Hidrostáticas, cambio válvulas, asientos válvulas, guías válvulas, resortes válvulas, cauchos válvulas)	\$ 1'600.000	Cambio de aceite motor y filtración.	\$ 800.000
Envió a rectificadora del Cigüeñal (Pruebas alineación, balanceo, rectificación medidas, pulido muñones de biela y bancada, rectificación circularidad de Dámper)	\$ 2'500.000	Calibración motor	\$ 250.000
Revisión eje de levas.	\$ 100.000	Cambio de termostato	\$ 100.000
Cambio toberas y mantenimiento Inyectores	\$ 5'500.000	Cambio de casquetes de bancada	\$ 480.000
Cambio de aceite motor y filtración.	\$ 800.000	Cambio de casquetes de biela	\$ 430.000
Calibración motor	\$ 250.000		
Revisión Radiador	\$ 450.000		
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 12'210.000***</b>	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 8'060.000***</b>

**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

\* Los anteriores costos reales se basan en aproximaciones de valores cotizados o valores ejecutados, en el transcurso del año 2020.

\*\* Las intervenciones del mantenimiento predictivo, son servicios y repuestos a revisar, reparar o cambiar, cuando las alertas se habrían tenido en cuenta a tiempo.

\*\*\* Costos totalizados de Mano de Obra y Repuestos.

## 9.2 ANÁLISIS DE CASO 2

La Unidad Tractora de placa TRI982 con 780.501 km recorridos a la fecha, ingresa al taller de mantenimiento EDINSA BOGOTA D.C, llega en grúa después de haber quedado varada en el municipio de Aguazul - Casanare; el conductor reporta que de un momento a otro se escuchó un golpe en seco por debajo del capot y se detuvo el motor de inmediato; trata de darle encendido al Tracto-Camión nuevamente, tiene corriente pero no gira el motor; procede a llamar la grúa de la concesión para ahorillarse de la carretera; se solicita el servicio de grúa de la aseguradora para trasladar la Unidad Tractora desde Casanare a Bogotá. Se procede a indagar, mediante el Archivo Maestro Excel y la base de datos de la Plataforma MOVILSERV, las últimas muestras de aceite de motor tomadas y analizadas, a lo cual se comienza con el respectivo análisis en el documento formulado.

**Figura 43.** Imagen Muestras de Aceite placa TRI982, transcurso del año predictivo parte Izq.

REVISION																	
PLACA	FECHA MUESTREO	Oil Changed	Filter Changed	CAMBIO ACEITE								TERMOSTATOS		RADIADOR		EMBRADOR ACEITE	
				SI	K	SOOT (wt%)	Na (Sodium)	Visc@100C (cSt)	TBN (mg KOH/g)	Oxidation (Ab/cm)	Water (Vol.%)	PQ Index	Oxidation (Ab/cm)	Cu	Oxidation (Ab/cm)	Cu	Al
23	TRI982	10/01/2020	No	No	CRITICO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
133	TRI982	26/02/2020	No	No	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
165	TRI982	16/03/2020	No	No	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
195	TRI982	18/04/2020	No	No	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL
273	TRI982	27/05/2020	No	No	PRECAUCION	NORMAL	PRECAUCION	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL
309	TRI982	09/06/2020	No	No	NORMAL	NORMAL	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL

**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

Figura 44. Imagen Muestras de Aceite placa TRI982, transcurso del año predictivo parte Der.

Fuente. Autor de la Monografía. 2020.

Figura 45. Limites alerta Muestra aceite Unidad Tractora TRI982.

LIMITES ANALISIS ACEITE ENGINE (BOGOTA) MOBIL DELVAC MX 15W40 ESP			
ELEMENTO (desgaste ppm)	NORMAL	PRECAUCION	CRÍTICO
Fe (Iron)	<80	80a100	>100
Cu (Copper)	<10	10a20	>20
Pb (Lead)	<25	25a30	>30
Al (Aluminum)	<12	12a15	>15
Cr (Chromium)	<10	10a15	>15
Sn (Tin)	<10	10a15	>15
Ni (Nickel)	<4	4a5	>5
ELEMENTO (contaminantes ppm)	NORMAL	PRECAUCION	CRÍTICO
Si (Silicon)	<12	12a15	>15
K (Potassium)	<20	20a40	>40
Soot (Wt%)	<2,5	2,5a3	>3
Na (Sodium)	<20	20a40	>40
CARACTERISTICA (propiedades)	NORMAL	PRECAUCION	CRÍTICO
Visc@100C (cSt)	13a17	12a13 ó 17a18	<12 ó >18
TBN (mg KOH/g) 2	>4	4 a 2	<2
Dilucion por Combustible (%)	<2	2a5	>5
Oxidation (Ab/cm)	<15	15a20	>20
Water (Vol.%)	NotDetected	0.01a0.15	>0.15
PQ Index	<20	20a30	>30
Coolant Indicator	NotDetected		DETECTED

Fuente. Autor de la Monografía. 2020.

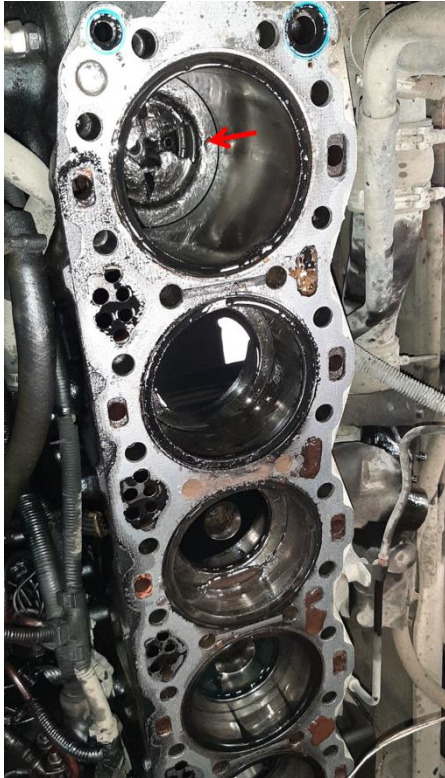
La Anterior Información se puede verificar en los archivos Adjuntos en los siguientes anexos: **ANEXO A**, **ANEXO F** y **ANEXO H**.

Según las últimas muestras de aceite de este equipo, y guiándonos por la “**Tabla 37. Parámetros de límites Normales, Precaución y Críticos condicionales aplicado a las muestra aceite motor ISX para la flota de Transporte Terrestre pesado T1, Regional Bogotá D.C.**”, presentan Aumento de ppm de Cobre, aumento de ppm de

Silicio y presencia continua de Hollín; se procede a desarmar el motor y se encuentran los siguientes hallazgos:

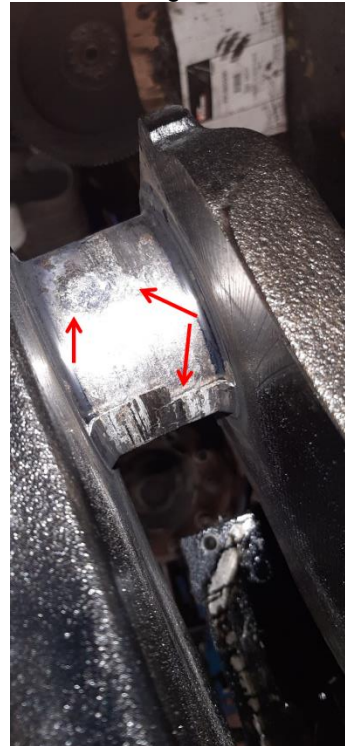
- Destrucción de alabes turbina contra alojamiento interno Turbocompresor, por desalineación del eje del Turbo: la hipótesis de probabilidad de falla de este componente, se originó por los altos índices de Silicio que ingresaban al motor, por medio del filtro de aire, el cual no fue revisado periodos anteriores a la falla; de igual manera, el deterioro progresivo forzado del aceite, pudo haber generado que la película lubricante en el eje de la turbina del turbocompresor, no lubricara bien y se desalineara, generando el choque contra el alojamiento interno del turbo.
- Deterioro grave casquetes de bancada cigüeñal del pistón #1: la hipótesis de probabilidad de falla de este componente, se originó por la ruptura del pistón #1, el cual se estrelló contra las válvulas de repartición de la culata del motor, y desencajo totalmente el tiempo de motor. Lo anterior se menciona, ya que todo el tren de repartición quedo inservible, al igual que el conjunto Pistón-, se identificó después Biela-Casquetes-Muñones de Biela-Muñones de Bancada, del respectivo cilindro #1; se verifico después de desarmar todo el motor.

**Figura 46.** Destrucción de Pistón #1.



**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

**Figura 47.** Raspadura de Muñón de Bancada #1 de cigüeñal.



**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

**Figura 48.** Deterioro grave casquete inferior de bancada cigüeñal del pistón #1.



**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

**Figura 49.** Deterioro grave casquete superior de bancada cigüeñal del pistón #1.



**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

**Figura 50.** Destrucción de alabes turbina contra alojamiento interno TurboCompressor, por desalineación del eje del Turbo.



Fuente. Autor de la Monografía. 2020.

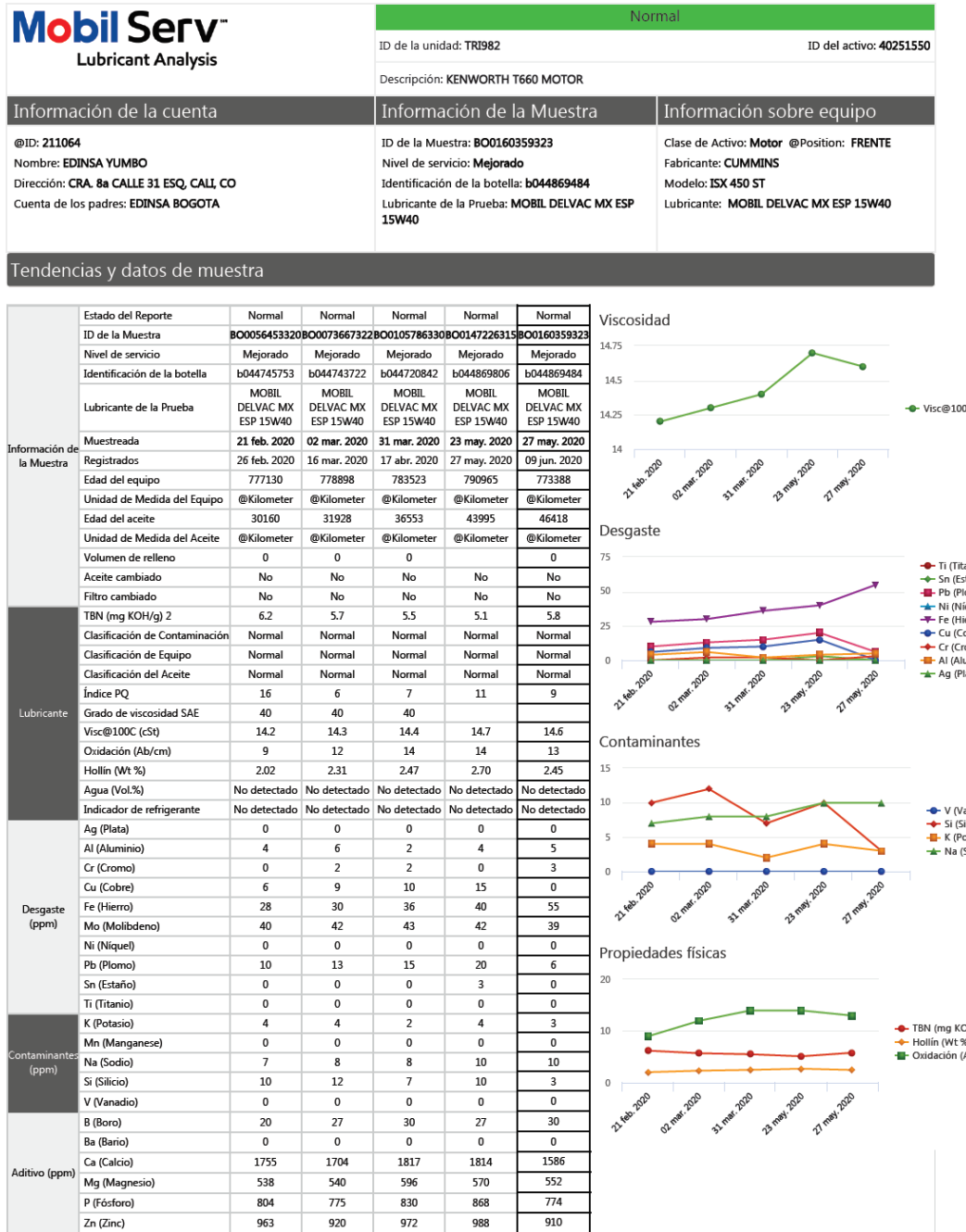
**Reparaciones a efectuar** (En espera de Autorización por Gerencia Técnica)

- Cambio de casquetes de bancada.
- Cambio de casquetes de biela.
- Reparación Mayor de motor (Kit Completo Camisa-Pistón-Anillos).
- Envío a rectificadora de la Culata (Pendiente de Informe preliminar).
- Rectificar el Cigüeñal.
- Revisión y rectificación ejes de levas.
- Cambio toberas y mantenimiento Inyectores.
- Cambio Turbocompresor Nuevo Holset HX55.
- Cambio de aceite motor y filtración.
- Calibración motor y Mano de Obra reparación completa Motor.

Finalmente, al momento de remitirnos al último Informe de Muestra de aceite motor, por parte del laboratorio de Exxon Mobil, el cual se puede ver en el **ANEXO H**, se indaga el por qué reportaba como “Normal” las muestras de aceite; a lo cual no genero alerta por los demás elementos excesivos de desgaste del motor

(aumento de ppm de Cobre) y elementos contaminantes (aumento de ppm de Silicio, presencia de Hollín).

Figura 51. Informe Unidad Tractora TRI982 de Análisis de Aceite Motor ISX, generado por el Laboratorio MOBILSERV.



Fuente. EXXON MOBIL CORPORATION. 2020.

## 9.2.1 Comparativo Costos Mantenimiento Predictivo Vs Fallas Correctivas

### Caso 2

**Tabla 30.** Costos Aproximados Fallas Correctivas Vs. Costos Aproximados Mantenimiento Predictivo TRI982.

<b>Costos Aproximados Fallas Correctivas</b>		<b>Costos Aproximados Mantenimiento Predictivo</b>	
<b>Correcciones</b>	<b>Valor Aprox.*</b>	<b>Intervenciones Predictivo**</b>	<b>Valor Aprox.*</b>
Cambio de casquetes de bancada	\$ 480.000	Revisión sistema admisión e intercooler	\$ 1'800.000
Cambio de casquetes de biela	\$ 430.000	Revisión Bujes ejes de levas	\$ 850.000
Reparación Mayor de motor (Kit Completo Camisa-Pistón-Anillos)	\$ 13'500.000	Revisión y rectificación ejes de levas.	\$ 750.000
Envió a rectificadora de la Culata (Pruebas Hidrostáticas, cambio válvulas, asientos válvulas, guías válvulas, resortes válvulas, cauchos válvulas)	\$ 1'600.000	Cambio de aceite motor y filtración.	\$ 800.000
Rectificar el Cigüeñal (Pruebas alineación, balanceo, rectificación medidas, rectificación muñones de biela y bancada de Standart a 0.25 ó 0.50, rectificación circularidad de Dámper)	\$ 3'500.000	Calibración motor	\$ 250.000
Revisión y rectificación ejes de levas.	\$ 750.000	Revisión y mantenimiento Actuadores	\$ 2'500.000
Revisión y mantenimiento Actuadores	\$ 2'500.000	Cambio de casquetes de bancada	\$ 480.000
Cambio de aceite motor y filtración.	\$ 800.000	Cambio de casquetes de biela	\$ 430.000
Cambio Turbocompresor Nuevo Holset HX55	\$ 2'500.000		
Calibración motor y Mano de Obra reparación completa Motor	\$ 2'500.000		
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 28'560.000***</b>	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 7'860.000***</b>

**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

\* Los anteriores costos reales se basan en aproximaciones de valores cotizados o valores ejecutados, en el transcurso del año 2020.

\*\* Las intervenciones del mantenimiento predictivo, son servicios y repuestos a revisar, reparar o cambiar, cuando las alertas se habrían tenido en cuenta a tiempo.

\*\*\* Costos totalizados de Mano de Obra y Repuestos.

### 9.3 ANÁLISIS DE CASO 3

La Unidad Tractora de placa TRI985 con 795.108 km recorridos a la fecha, ingresa al taller de mantenimiento EDINSA BOGOTA D.C, llega después de regresar de Rutas Nacionales largas sin regresar a Bogotá, el conductor reporta que desde semanas anteriores la unidad Tractora tiene las siguientes novedades: se eleva mucho la temperatura de motor y mantiene le fanclutch activo repetidas veces; Consumo combustible elevado, más del 20% de lo normal; Consumo aceite elevado, le ha realizado rellenos en otras regionales entre 2 y 3 galones por semana; perdida de potencia de motor y el funcionamiento del motor es inestable, ya que se demora mucho en encender y en apagar. Se procede a indagar, mediante el Archivo Maestro Excel y la base de datos de la Plataforma MOVILSERV, las últimas muestras de aceite de motor tomadas y analizadas, a lo cual se comienza con el respectivo análisis en el documento formulado.

**Figura 52.** Imagen Muestras de Aceite placa TRI985, transcurso del año predictivo parte Izq.

PLACA	FECHA MUESTREO	Oil Changed	Filter Changed	CAMBIO ACEITE										TERMOSTATOS		RADIADOR		ENFRIADOR ACEITE		
				Si	K	SOOT (Wt%)	Na (Sodium)	Visc@100C (cSt)	TBN (mg KOH/g)	Oxidation (Ab/cm <sup>2</sup> )	Water (Vol.%)	PQ Index	Oxidation (Ab/cm <sup>2</sup> )	Cu	Oxidation (Ab/cm <sup>2</sup> )	Cu	Al	Oxidation (Ab/cm <sup>2</sup> )		
29	TRI985	10/01/2020	No	No	PRECAUCION	NORMAL	CRITICO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	PRECAUCION	
110	TRI985	19/02/2020	No	No	PRECAUCION	NORMAL	CRITICO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	CRITICO	NORMAL	NORMAL	CRITICO	
192	TRI985	18/04/2020	No	No	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	PRECAUCION	PRECAUCION	CRITICO	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	CRITICO	NORMAL	NORMAL	CRITICO	
311	TRI985	09/06/2020	Yes	Yes	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	PRECAUCION	PRECAUCION	CRITICO	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	CRITICO	NORMAL	NORMAL	PRECAUCION	CRITICO

**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

**Figura 53.** Imagen Muestras de Aceite placa TRI985, transcurso del año predictivo parte Centro.

	PLACA	FECHA MUESTREO	SISTEMA ADMISION E INTERCOOLER		ACTUADORES			CALIBRACION MOTOR		BOMBA ACEITE	
			Al	Si	Soot (Wt%)	Visc@100C (cSt)	Diluccion por Combustible	Soot (Wt%)	Fe	Al	
19	TRI985	10/01/2020	NORMAL	PRECAUCION	CRITICO	NORMAL		CRITICO	NORMAL	NORMAL	
110	TRI985	19/02/2020	NORMAL	PRECAUCION	CRITICO	NORMAL		CRITICO	PRECAUCION	NORMAL	
192	TRI985	18/04/2020	NORMAL	NORMAL	CRITICO	PRECAUCION		CRITICO	CRITICO	NORMAL	
311	TRI985	09/06/2020	PRECAUCION	NORMAL	CRITICO	PRECAUCION		CRITICO	CRITICO	PRECAUCION	

**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

**Figura 54.** Imagen Muestras de Aceite placa TRI985, transcurso del año predictivo parte Der.

BUJES EJES DE LEVAS			CASQUETERIA CIGUEÑAL			EJES DE LEVAS		INYECTORES			BLOQUE MOTOR		PISTONES
Cu	Pb	Sn	Cu	Pb	Sn	Fe	Soot (Wt%)	Visc@100C (cSt)	Diluccion por Combustible	Fe	Al		
NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL		NORMAL	NORMAL		
NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	PRECAUCION	CRITICO	NORMAL		PRECAUCION	NORMAL		
NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO	CRITICO	PRECAUCION		CRITICO	NORMAL		
NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO	CRITICO	PRECAUCION		CRITICO	PRECAUCION		

**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

La Anterior Información se puede verificar en los archivos Adjuntos en los siguientes anexos: **ANEXO A**, **ANEXO F** y **ANEXO I**.

De igual manera, en el **ANEXO J**, se muestra el video realizado de la prueba Blow By de Gases de Carter realizada al motor de la Unidad Tractora, donde se muestra que según Manuales del OEM, a plena carga (2000 RPM y temperatura de motor de 100°C, sin activar FanClutch) marca una presión de salida de gases de cárter positiva, por encima de 4,5 in/H<sub>2</sub>O de presión; a lo que según especificación técnicas el rango Max de presión de salida es 4 in/H<sub>2</sub>O.

Por último, en el **ANEXO K** se muestra el video realizado, después de concluida la prueba Blow By, de cómo se mezcla el aceite de motor y el refrigerante de motor (al interior del mismo), y es expulsado fuera del sistema, en forma de emulsión.

**Figura 55.** Límites alerta Muestra aceite Unidad Tractora TRI985.

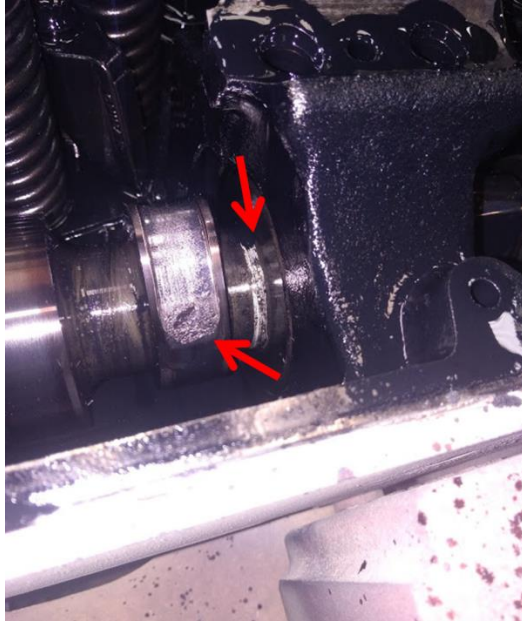
LÍMITES ANALISIS ACEITE ENGINE (BOGOTÁ) MOBIL DELVAC MX 15W40 ESP			
ELEMENTO (desgaste ppm)	NORMAL	PRECAUCION	CRÍTICO
Fe (Iron)	<80	80a100	>100
Cu (Copper)	<10	10a20	>20
Pb (Lead)	<25	25a30	>30
Al (Aluminum)	<12	12a15	>15
Cr (Chromium)	<10	10a15	>15
Sn (Tin)	<10	10a15	>15
Ni (Nickel)	<4	4a5	>5
ELEMENTO (contaminantes ppm)	NORMAL	PRECAUCION	CRÍTICO
Si (Silicon)	<12	12a15	>15
K (Potassium)	<20	20a40	>40
Soot (Wt%)	<2.5	2.5a3	>3
Na (Sodium)	<20	20a40	>40
CARACTERÍSTICA (propiedades)	NORMAL	PRECAUCION	CRÍTICO
Visc@100C (cSt)	13a17	12a13 ó 17a18	<12 ó >18
TBN (mg KOH/g) 2	>4	4 a 2	<2
Dilucion por Combustible (%)	<2	2a5	>5
Oxidation (Ab/cm)	<15	15a20	>20
Water (Vol.%)	NotDetected	0.01a0.15	>0.15
PQ Index	<20	20a30	>30
Coolant Indicator	NotDetected		DETECTED

**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

Según las últimas muestras de aceite de este equipo, y guiándonos por la “**Tabla 37. Parámetros de límites Normales, Precaución y Críticos condicionales aplicado a las muestra aceite motor ISX para la flota de Transporte Terrestre pesado T1, Regional Bogotá D.C.**”, presentan Aumento de ppm de Hierro, aumento de ppm de Aluminio, presencia de Hollín, aumento del Índice de Oxidación en el aceite, disminución del Índice de TBN en el aceite y aumento del Índice de Viscosidad en el aceite; se procede a desarmar el motor y se encuentran los siguientes hallazgos:

- Desgaste excesivo en las levas de los ejes de levas de admisión y escape: la hipótesis de probabilidad de falla de este componente, se originó por las altas temperaturas de la culata del motor, debido a al grado de oxidación del aceite; la excesiva entrega de combustible por parte de los inyectores, también influyo al deterioro de propiedades del aceite, incluso cayo el Índice TBN; así mismo se revisó en el historial de intervenciones al motor, y no se había calibrado hace más de 2 años, esa causa hizo que se evidenciara en la inestabilidad de encendido y apagado de motor; igualmente la perdida de potencia y el exceso de consumo de combustible fueron fuentes de la causa de falla.
- Fisura significativa cámara de combustión #5 culata motor sector inyector: la hipótesis de probabilidad de falla de este componente, se originó por las altas temperaturas de la culata del motor, debido a al grado de oxidación del aceite; la excesiva entrega de combustible por parte de los inyectores, también influyo al deterioro de propiedades del aceite; esa causa hizo que se evidenciara en el aumento frecuente de temperatura de motor, y no retomaba a la temperatura normal de trabajo, es por ello que la culata se resintió y se fracturo por el área menos densa de material.
- Al momento de terminar la prueba Blow By realizada en taller, y en que el motor estaba en su punto máximo de temperatura operable, la culata no resistió y permitió la mezcla de aceite – refrigerante dentro de las galerías principales y los demás componentes del motor, de tal forma que se expulsó la mezcla emulsionada por el tanque auxiliar, contaminando y añadiendo más intervenciones no programadas al motor.

**Figura 56.** Desgaste excesivo en las levas de los ejes de levas de admision y escape.



**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

**Figura 57.** Presencia de aceite en las camaras de combustion.



**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

**Figura 58.** Fisura significativa camara de combustion #5 culata motor.



**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

**Figura 59.** Fisura significativa camara de combustion #5 culata motor, sector inyector.



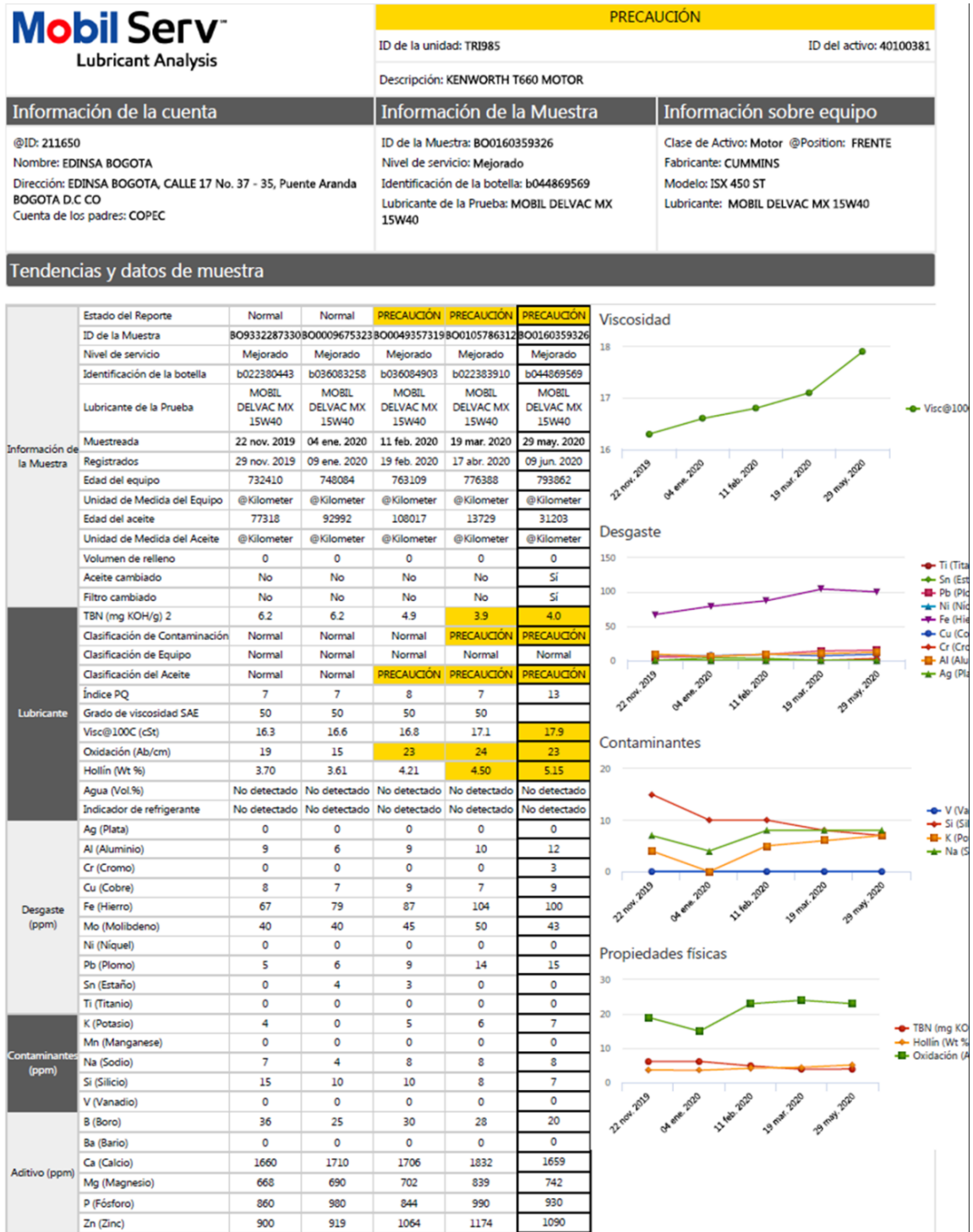
**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

**Reparaciones a efectuar** (En espera de Autorización por Gerencia Técnica)

- Cambio termostato
- Revisión radiador
- Limpieza y flushing completo a las galerías y demás componentes del motor
- Revisión de enfriador aceite
- Cambio de la Culata de motor.
- Cambio ejes de levas.
- Cambio toberas y mantenimiento Inyectores.
- Cambio de aceite motor y filtración.
- Calibración motor.

Finalmente, al momento de remitirnos al último Informe de Muestra de aceite motor, por parte del laboratorio de Exxon Mobil, el cual se puede ver en el **ANEXO I**, se indaga el por qué reportaba como “Precaución” las muestras de aceite; a lo cual no genero alerta por los demás elementos excesivos de desgaste del motor (aumento de ppm de Aluminio, aumento de ppm de Hierro) y propiedades del lubricante (aumento del Índice de Viscosidad en el aceite).

**Figura 60.** Informe Unidad Tractora TRI985 de Análisis de Aceite Motor ISX, generado por el Laboratorio MOBILSERV.



Fuente. EXXON MOBIL CORPORATION. 2020.

### 9.3.1 Comparativo Costos Mantenimiento Predictivo Vs Fallas Correctivas Caso 3

**Tabla 31.** Costos Aproximados Fallas Correctivas Vs. Costos Aproximados Mantenimiento Predictivo TRI985.

<b>Costos Aproximados Fallas Correctivas</b>		<b>Costos Aproximados Mantenimiento Predictivo</b>	
<b>Correcciones</b>	<b>Valor Aprox.*</b>	<b>Intervenciones Predictivo**</b>	<b>Valor Aprox.*</b>
Cambio termostato	\$ 100.000	Revisión radiador	\$ 450.000
Revisión radiador	\$ 850.000	Revisión Bujes ejes de levas	\$ 850.000
Cambio de la Culata de motor.	\$ 14'500.000	Revisión y rectificación ejes de levas.	\$ 750.000
Limpieza y flushing completo a las galerías y demás componentes del motor	\$ 1'000.000	Cambio de aceite motor y filtración.	\$ 800.000
Cambio ejes de levas.	\$ 6'000.000	Mantenimiento Inyectores y actuadores	\$ 6'800.000
Revisión Enfriador de aceite	\$ 750.000	Revisión Radiador	\$ 450.000
Cambio de aceite motor y filtración.	\$ 800.000	Revisión Enfriador de aceite	\$ 750.000
Cambio toberas y mantenimiento Inyectores.	\$ 5'500.000	Calibración motor	\$ 250.000
Calibración motor	\$ 250.000	Cambio termostato	\$ 100.000
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 29'750.000***</b>	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 11'200.000***</b>

**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

\* Los anteriores costos reales se basan en aproximaciones de valores cotizados o valores ejecutados, en el transcurso del año 2020.

\*\* Las intervenciones del mantenimiento predictivo, son servicios y repuestos a revisar, reparar o cambiar, cuando las alertas se habrían tenido en cuenta a tiempo.

\*\*\* Costos totalizados de Mano de Obra y Repuestos.

## 9.4 MEJORAS ENFOCADAS

**Sistemas de admisión defectuosos de aire en los motores** Los análisis de aceite de motor fueron determinantes para concluir la causa raíz, de la contaminación en una muestra de aceite motor, en el Motor por contaminación de Sílice; El equipo SKI175 de número Interno 357083 asignado al conductor Javier Ramírez, fue el activo estudiado. Al momento de realizar una prueba al sistema de admisión e Intercooler, se detectó que en la base del filtro de aire principal, se encontraba totalmente deteriorada por oxido y abolladuras, ya que esta base es de material metálico, y al momento de ajustarlo con los ductos de admisión, no se tiene buena adhesión entre superficies, dejando al descubierto entradas de aire después de los filtros de aire del motor.

Al equipo SKI175, se le adapto una base completa filtro de aire con indicador de restricción de Freighliner Columbia CL120 Modelo 2013,el cual está fabricado en resinas y plásticos, eliminando la antigua base que se encontraba deteriorada; los resultados fueron satisfactorios ya que la base y el filtro de aire cumple la labor para la cual fue diseñado.

**Figura 61.** Base Filtro Antiguo y deteriorado



**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

**Figura 62.** Base Filtro Antiguo y deteriorado visto posterior



**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

**Figura 63.** Base Filtro Nueva Tipo Freightliner



**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

**Figura 64.** Base Filtro Nueva Tipo Freightliner vista posterior



**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

**Plantilla programación motores ISX:** se está aplicando una plantilla única de parámetros protegida con contraseña para los motores ISX, de esta manera se evitan modificaciones en los parámetros de los equipos.

Se realizó la prueba durante 12 semanas continuas, las cuales las primeras 6 fueron con la plantilla original programada que trae el Motor Cummins ISX, y las siguientes 6 semanas, se realiza la prueba con 1 plantilla modificada con los siguientes parámetros:

- Tiempo de Duración del motor en ralentí Max 5 min.
- Aceleraciones y Desaceleraciones suaves, evitando cambios de velocidad abruptos
- Relación de Torque máximo de motor con RPM relacionadas según OEM (entre 1500 y 1800).
- Utilización y activación de Velocidad de crucero en los últimos cambios de menor esfuerzo.
- Menos tiempo de apertura de Inyectores.

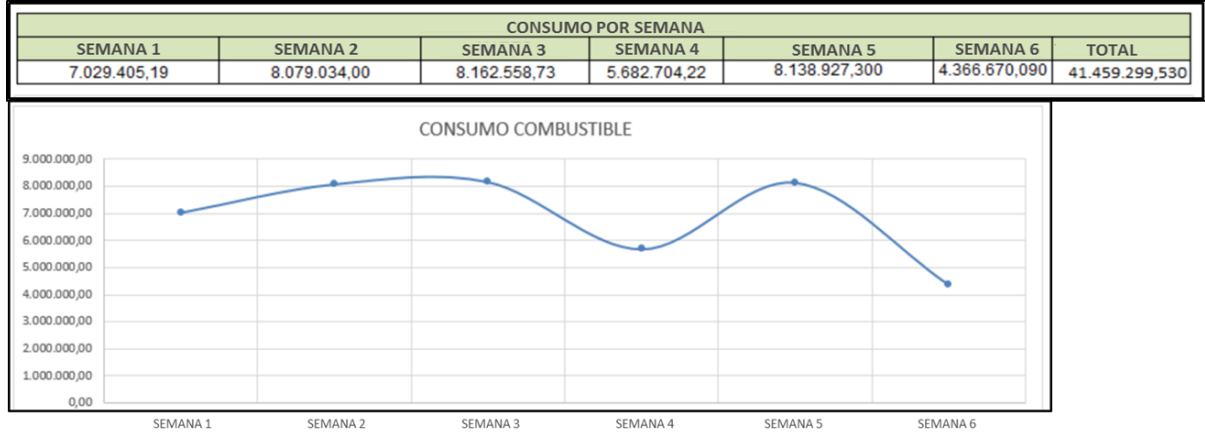
Resultados plantilla inactiva

**Figura 65.** Imagen Información base condiciones iniciales de prueba sin plantilla de Dosificación.

UBICACIÓN EQUIPO	ESTADO	PLACA	CONSUMO EN GALONES	KILOMETROS	CPK	PRECIO PROM GL	COSTO GALONES
URBANO	SIN ACTIVAR	SZX633	5.347,517	26.024,000	4,866557694	\$ 7.753,00	\$ 41.459.299,30

**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

**Figura 66.** Grafica Gasto en Pesos Vs Semanas de trabajo, consumo Combustible ACPM B10 Standart sin plantilla de Dosificacion.



**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

**Figura 67.** Imagen descargada gasto en pesos programa SAP, por semana de combustible sin plantilla de Dosificacion.

Clase de orden	01.	02.	03.	04.	05.	06.:
Total	7.029.405,19 COP	7.500.378,98 COP	8.162.558,73 COP	5.682.704,22 COP	8.138.927,69 COP	4.366.670,09 COP

**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

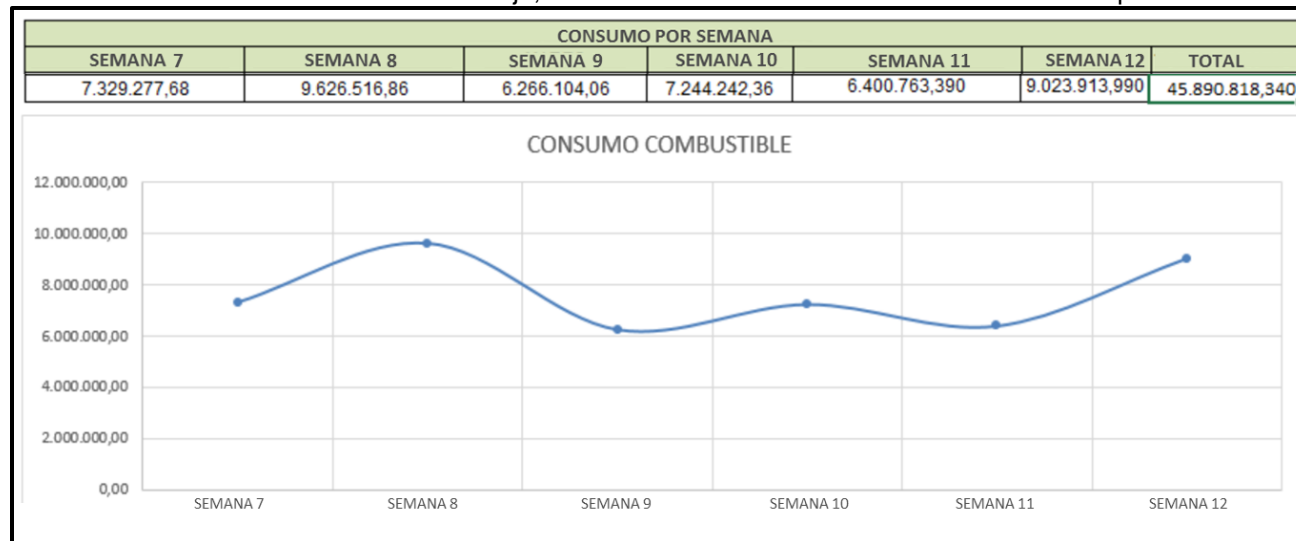
Resultados plantilla activa

**Figura 68.** Imagen Información base condiciones iniciales de prueba con plantilla de Dosificación.

UBICACIÓN EQUIPO	ESTADO	PLACA	CONSUMO EN GALONES	KILOMETROS	CPK	PRECIO PROM GL	COSTO GALONES
URBANO	ACTIVADA	SZX633	5.748,568	34.384,000	5,981315695	\$ 7.983,00	\$ 45.890.818,34

**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

**Figura 69.** Gráfica Gasto en Pesos Vs Semanas de trabajo, consumo Combustible ACPM B10 Standart con plantilla de Dosificación.



**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

**Figura 70.** Imagen descargada gasto en pesos programa SAP, por semana de combustible con plantilla de Dosificacion.

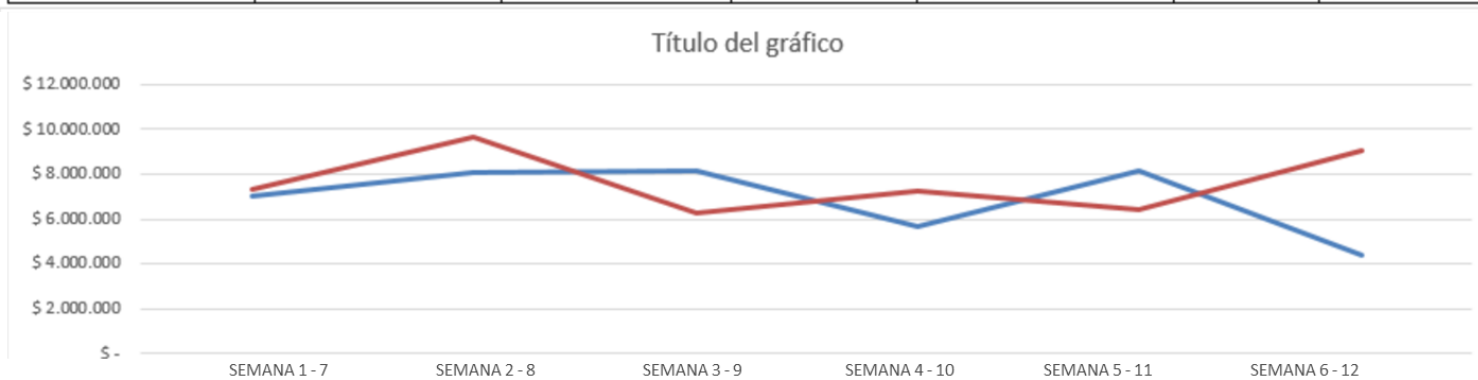
Clase de orden	07.	08.	09.	10.	11.	12.
Total	7.329.277,68 COP	9.626.516,86 COP	4.346.104,06 COP	7.204.242,36 COP	5.391.283,96 COP	9.023.913,99 COP

**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020.

Comparativo de Pruebas Plantilla de Dosificación Motor Cummins ISX.

**Figura 71.** Comparativo grafica Gasto en Pesos Vs Semanas de trabajo, consumo Combustible ACPM B10 Standart, pruebas plantilla de Dosificacion.

CONSUMO POR SEMANA						
SEMANAS 1-7	SEMANAS 2-8	SEMANAS 3-9	SEMANAS 4-10	SEMANAS 5-11	SEMANAS 6-12	TOTAL DIFERENCIA
\$ 7.029.405	\$ 8.079.034	\$ 8.162.559	\$ 5.682.704	\$ 8.138.927	\$ 4.366.670	\$ 41.459.300
\$ 7.329.278	\$ 9.626.517	\$ 6.266.104	\$ 7.244.242	\$ 6.400.763	\$ 9.023.914	\$ 45.890.818



**Fuente.** Autor de la Monografía. 2020

### **Resultados obtenidos**

- Con la plantilla activada el CPK aumenta en 1,11 pasando de 4,86 a 5,98
- Los costos por consumo de combustible disminuyen
- Se optimiza la eficiencia de consumo de combustible de la flota
- Al haber menor consumo de combustible, se tiende a disminuir, las muestras de aceite contaminadas por combustible, además de reducir la generación de Hollín en la cámara de combustión.

## 10. CONCLUSIONES

- Se logra identificar y avanzar en una etapa previa de ensayos, el modelo propuesto, de tal forma, que brinda información clara, concisa y precisa de las acciones a tomar, al momento que una alerta, ya sea precaución o crítica, se evidencie en el archivo formulado.
- Se cumple con la gestión de conocimiento, generando archivos e información importante de procesos y tareas a realizar, con el fin, si hay personal interesado en conocer la metodología, pueda acceder a ella y aplicarla en un sistema PHVA.
- Mediante el análisis de casos puntuales, ocurridos en el desarrollo de este trabajo, se evidencia la diferencia de costos de mantenimiento correctivo a comparación del manteniendo predictivo bajo condición mediante análisis de pruebas de aceite motor, el cual logra evidenciar la importancia de analizar cada caso en especial y prever fallas catastróficas; de igual manera, implementando esta metodología es más probable y más fácil, detectar los vehículos que presenten síntomas de fallas graves antes que ocurran.
- Gracias a la metodología de muestras de aceite, logramos hallar mejoras enfocadas en los procesos, de tal forma que estas modificaciones aportarán significativamente en la prevención de fallas mecánicas e los motores, además de disminuir costos y mejorar el Costo X Kilometro de la flota actual.
- Por medio de la aplicación de la metodología de mantenimiento predictivo, se genera el hábito de consciencia y compromiso, por parte de todos los responsables de mantenimiento de los activos de la empresa, y encargados del mantenimiento de los mismos; cuando se dispone a realizar alguna toma de

decisión o intervención al equipo, se compromete a la persona que este analizando el archivo maestro, de planear, controlar, disponer y pronosticar, todo el proceso que se requiere desde solicitar equipo al Dpto. de Operaciones, hasta el seguimiento continuo de equipo, después de las reparaciones o revisiones que se realicen.

- Así mismo, de implementar a la flota de Tracto-Camiones de EDINSA Regional Bogotá D.C, y obtener resultados satisfactorios, se propondrá implementar este tipo de mantenimiento como uno más, de los pilares principales en la Gestión del Mantenimiento para las demás regionales, incluso de acuerdo al caso, rediseñar el modelo, para aplicarlo a los demás sistemas de la Unidad Tractora, que también se puedan realizar análisis de aceite (Diferenciales, Transmisiones, Bombas y cajas Hidráulicas, Toma fuerzas, etc.).

## BIBLIOGRAFIA

ALBARRACIN, Pedro. Tribología y Lubricación Industrial y Automotriz: Tomo I, 5ta edición. Colombia: 2015. p.85. ISBN 000129299.

Bagi Sujay, Sharma Vibhu, Aswath Pranesh. “Role of dispersant on soot-induced wear in Cummins ISB engine test”. En: Carbon. ScienceDirect [base de datos en línea], 2018. pp 396. Elsevier Ltd All rights reserved. (Recuperado en 15 de Mayo de 2020). Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2018.04.066>

Cousseau Tiago, Ruiz Juan, Sinatora Amilton. “Tribological response of fresh and used engine oils: The effect of surface texturing, roughness and fuel type”. En: Tribology International. Science Direct [base de datos en línea], 2015. Elsevier Ltd. All rights reserved. (Recuperado en 20 de Junio de 2020). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.triboint.2015.11.016>

COMPAÑÍA DE LUBRICANTES S.A. Mobil Delvac™ MX ESP 15W-40. En: [sistemas@ciadelubricantes.com](mailto:sistemas@ciadelubricantes.com) [base de datos en línea]. Bogotá D.C. Colombia, Calle 18A # 69F – 06. © 2017. Todos los derechos reservados. (Recuperado en 20 de Junio de 2020). Disponible en: <https://ciadelubricantes.com/shop/flotas/mobil-delvac-mx-esp-15w-40/>

Cummins Engine Company, Inc. En: Global Headquarters, 500 Jackson Street [base de datos en línea]. © 2020 Cummins Inc., Box 3005, Columbus, IN 47202-3005 U.S.A. All Rights Reserved. (Recuperado en 27 de Julio de 2020). Disponible en: <https://www.cummins.com/>

Delgado Arnoldo, García Rafael, Aperador William. “Estudio del Poder Lubricante del Aceite de Ajonjolí con Adición de Nano partículas de Cobre”. En: Inf. tecnol. La Serena Vol. 27. SciELO The Scientific Electronic Library Online [base de datos en línea], 2016. pp 175-184. Elsevier Ltd. All rights reserved. (Recuperado en 20 de Junio de 2020). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642016000600018>

EXXON MOBIL CORPORATION. “Mobil Delvac™ MX ESP”. En: <http://www.lubesonline@exxonmobil.com> [base de datos en línea], ExxonMobil del Perú S.R.L. Av. Camino Real N° 456, Torre Real , Piso 14, Lima – Perú.

©Copyright 2003-2020 Exxon Mobil Corporation. All Rights Reserved (Recuperado en 20 de Junio de 2020). Disponible en:

<https://www.mobil.com/es-pe/commercial-vehicle-lube/pds/gl-xx-mobil-delvac-mx-esp>

International Organization for Standardization ISO. "ISO 17359:2011. Condition monitoring and diagnostics of machines - General guidelines". En: <https://www.iso.org/ics/17.160/x/> [base de datos en línea], ISO/TC 108/SC 5 Condition monitoring and diagnostics of machine systems, ICS: 17.160 Vibrations, shock and vibration measurements; Edition: 2, Number of pages : 26, Publication date : 2011-04 (Recuperado en 27 de Julio de 2020). Disponible en:

<https://www.iso.org/standard/39912.html>

Kumar Yadav Ashok, et al. "Performance and emission characteristics of a transportation diesel engine operated with non-edible vegetable oils biodiesel". En: Case Studies in Thermal Engineering 8. Science Direct [base de datos en línea], 2016. pp 236–244. Elsevier Ltd. All rights reserved. (Recuperado en 20 de Junio de 2020). Disponible en:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.csite.2016.08.001>

Macián Vicente, et al. "Low viscosity engine oils: Study of wear effects and oil key parameters in a heavy duty engine fleet test". En: Tribology International. Science Direct [base de datos en línea], 2016. pp 240–248. Elsevier Ltd. All rights reserved. (Recuperado en 20 de Junio de 2020). Disponible en:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.triboint.2015.08.028>

Moran Robles Kevin David. "Re-refinación de aceites lubricantes usados mediante procesos físico-químicos. [En línea]. Trabajo de Graduación, previa la obtención del título de Ingeniero Químico. Guayaquil-Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas. Departamento de Ciencias Químicas y Ambientales, 2015. (Recuperado en 27 de Julio de 2020). Disponible en:

<https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/98485/D-CD102093.pdf>

OELCHECK GMBH. "Limit values for wear metals". En: [www.oelcheck.de](http://www.oelcheck.de) [base de datos en línea],\_last modified on 11 April 2019, at 11:34.Kerschelweg,\_83098 Brannenburg,\_Deutschland. All Rights Reserved. (Recuperado en 20 de Junio de 2020). Disponible en: [https://en.oelcheck.com/wiki/Limit\\_values](https://en.oelcheck.com/wiki/Limit_values)

POSTOBON S.A. Organización Ardila Lülle. En: [www.postobon.com/la-compania/quienes-somos](http://www.postobon.com/la-compania/quienes-somos) [base de datos en línea], Línea de transparencia 01-8000-123400, Medellín: 2655151. © Copyright 2015, Todos los derechos reservados. (Recuperado en 20 de Julio de 2020). Disponible en: <https://www.postobon.com/>

Rabinowicz E. "A Review of the Recent Literature on the Unlubricated Sliding Wear of Dissimilar Metals". En: Journal of Lubrication Technology. Vol. 113, 2, 1981 [base de datos en línea], J. Eng. Mater. Technol. Oct 1981, 103(4): 333-340 (8 pages). All rights reserved. (Recuperado en 20 de Junio de 2020). Disponible en: <https://doi.org/10.1115/1.3225024>

RAMIREZ, Wilson y CABREJO Jupiter. "IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE ANÁLISIS DE ACEITES EN MOTORES DIESEL PARA EL PARQUE AUTOMOTOR DE LA EMPRESA FL COLOMBIA". Monografía Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica. 2013

Raposo Hugo, et al. "Predicting condition based on oil analysis – A case study". En: Tribology International. ScienceDirect [base de datos en línea], 2019. pp 66. Elsevier Ltd All rights reserved. (Recuperado en 15 de Mayo de 2020). Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2019.01.041>

Saldivia Francisco. "APLICACIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO. CASO ESTUDIO: ANALISIS DE ACEITE USADO EN UN MOTOR DE COMBUSTION INTERNA". En: Eleventh LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2013). "Innovation in Engineering, Technology and Education for Competitiveness and Prosperity" August 14 - 16, 2013 Cancun, Mexico. (Recuperado en 27 de Julio de 2020). Disponible en: <http://laccei.org/LACCEI2013-Cancun/RefereedPapers/RP264.pdf>

Shanhong Wan, et al. "Tribological performance of CrN and CrN/GLC coated components for automotive engine applications"; En: Journal of Alloys and Compounds 695. Science Direct [base de datos en línea], 2017. pp 433-442. Elsevier Ltd. All rights reserved. (Recuperado en 15 de Mayo de 2020). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.11.118>

Shawa Austin, et al. “Tribological study of diésel piston skirt coatings in CJ-4 and PC-11 engine oils”. En: *Wear*. Science Direct [base de datos en línea], 2017. Vol. 376–377, Part B, pp 1673. Elsevier Ltd All rights reserved. (Recuperado en 27 de Julio de 2020). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wear.2017.01.082>

TESTOIL PRO. “Understanding ISO Codes”. En: [sales@testoil.com](mailto:sales@testoil.com) [base de datos en línea]. Strongsville, OH. © Insight Services, Inc. 2016 All Rights Reserved (Recuperado en 15 de Mayo de 2020). Disponible en: <https://testoil.com/data-interpretation/understanding-iso-codes/>

Tormos Bernardo, et al. “Fuel Consumption and Friction Benefits of Low Viscosity Engine Oils for Heavy Duty Applications”. En: *Tribology International*. Science Direct [base de datos en línea], 2017. vol. 110. pp 23–34. Elsevier Ltd All rights reserved. (Recuperado en 15 de Mayo de 2020). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.triboint.2017.02.007>

WIDMAN INTERNATIONAL SRL. “La interpretación de los Resultados de Análisis”. En: <https://www.widman.biz/> [base de datos en línea], Mantenimiento Proactivo. ©2019 Widman International SRL, Santa Cruz – Bolivia. All Rights Reserved (Recuperado en 20 de Junio de 2020). Disponible en: <https://www.widman.biz/Analisis/tablas.php>

# ANEXOS

## ANEXO A. ARCHIVO: CONSOLIDADO MUESTRAS ACEITE GENERAL EDINSA.XLSX

Imagen Hoja de Excel, Base de Datos Muestras Aceite, Plataforma MOBILSERV, EDINSA – POSTOBON.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
	Sample Status	Report Status	Date Reported	Asset ID	Unit ID	Unit Description	Asset Class	Position	Tested Lubricant	Service Level	Sample Bottle	Manufacturer	Alt. Manufacture	Model	Alt. Model	Serial Number	Account
1	Completed	Alert	02/01/2020	40251552	TRJ632	KENWORTH T Engine	Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b036225168	CUMMINS		ISX 450 ST			EDINSA
2	Completed	Normal	02/01/2020	40291904	TRK877	INTERNATIONAL Engine	Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b03693948	CUMMINS		ISX 435V			EDINSA
3	Completed	Alert	02/01/2020	40146360	TRJ640	KENWORTH T Engine	Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b044562115	CUMMINS		ISX 450 ST			EDINSA
4	Completed	Caution	02/01/2020	50465090	FNL831	INTERNATIONAL Engine	Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b044564361	INTERNATIONAL		NOT LISTED			EDINSA
5	Completed	Caution	02/01/2020	40527282	TRM819	KENWORTH T Engine	Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b044564773	CUMMINS		ISX 400 ST			EDINSA
6	Completed	Normal	02/01/2020	40268781	TRK882	INTERNATIONAL Engine	Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b044562424	CUMMINS		ISX 435V			EDINSA
7	Completed	Normal	08/01/2020	40100387	TR1938	KENWORTH T Engine	Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b044560841	CUMMINS		ISX 450 ST			EDINSA
8	Completed	Alert	08/01/2020	40740373	SZX037	INTERNATIONAL Engine	Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b044561049	CUMMINS		ISX 435V			EDINSA
9	Completed	Alert	08/01/2020	40100384	TR1936	KENWORTH T Engine	Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b044561419	CUMMINS		ISX 450 ST			EDINSA
10	Completed	Alert	08/01/2020	40381615	WCR608	FREIGHTLINER Engine	Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b044561210	DETROIT DIESEL		SERIES 60			EDINSA
11	Completed	Alert	08/01/2020	31202378	SNM171	INTERNATIONAL Engine	Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b044562906	CUMMINS		ISX 435V			EDINSA
12	Completed	Caution	08/01/2020	50465090	FNL831	INTERNATIONAL Engine	Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b044560383	INTERNATIONAL		NOT LISTED			EDINSA
13	Completed	Normal	10/01/2020	50186592	SZX633	INTERNATIONAL Engine	Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b044563295	CUMMINS		ISX 435V			EDINSA
14	Completed	Normal	10/01/2020	40537282	TRM819	KENWORTH T Engine	Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b044564355	CUMMINS		ISX 400 ST			EDINSA
15	Completed	Alert	10/01/2020	40381613	WCR607	FREIGHTLINER Engine	Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b044563880	DETROIT DIESEL		SERIES 60			EDINSA
16	Completed	Normal	10/01/2020	40100381	TR1985	KENWORTH T Engine	Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b036983258	CUMMINS		ISX 450 ST			EDINSA
17	Completed	Normal	15/01/2020	40251552	TRJ632	KENWORTH T Engine	Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b036223697	CUMMINS		ISX 450 ST			EDINSA
18	Completed	Alert	15/01/2020	40248512	TRJ627	KENWORTH T Engine	Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b036225174	CUMMINS		ISX 450 ST			EDINSA
19	Completed	Alert	15/01/2020	50089768	SZX034	INTERNATIONAL Engine	Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b036224954	CUMMINS		ISX 435V			EDINSA
20	Completed	Normal	10/01/2020	40251550	TR1982	KENWORTH T Engine	Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b036224315	CUMMINS		ISX 450 ST			EDINSA
21	Completed	Alert	10/01/2020	40194402	TRJ636	KENWORTH T Engine	Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b036223182	CUMMINS		ISX 450 ST			EDINSA
22	Completed	Alert	15/01/2020	50111749	SZX597	INTERNATIONAL Engine	Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b044562196	CUMMINS		ISX 435V			EDINSA
23	Completed	Normal	15/01/2020	50465089	FNL830	INTERNATIONAL Engine	Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b044562593	CUMMINS		X15			EDINSA
24	Completed	Caution	15/01/2020	50465090	FNL831	INTERNATIONAL Engine	Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b044562781	INTERNATIONAL		NOT LISTED			EDINSA
25	Completed	Alert	15/01/2020	40352257	SNU072	FREIGHTLINER Engine	Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b044563198	DETROIT DIESEL		SERIES 60			EDINSA
26	Completed	Normal	16/01/2020	40251552	TRJ632	KENWORTH T Engine	Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b044658523	CUMMINS		ISX 450 ST			EDINSA
27	Completed	Normal	23/01/2020	40291904	TRK877	INTERNATIONAL Engine	Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b036194682	CUMMINS		ISX 435V			EDINSA
28	Completed	Alert	17/01/2020	40352917	SNU073	FREIGHTLINER Engine	Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b044562557	DETROIT DIESEL		SERIES 60			EDINSA
29	Completed	Normal	17/01/2020	40146360	TRJ640	KENWORTH T Engine	Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b044559396	CUMMINS		ISX 450 ST			EDINSA
30	Completed	Alert	17/01/2020	40150092	TRJ638	KENWORTH T Engine	Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b044564707	CUMMINS		ISX 400 ST			EDINSA
31	Completed	Alert	17/01/2020	40132009	TRJ449	KENWORTH T Engine	Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b044564610	CUMMINS		ISX 450 ST			EDINSA
32	Completed	Alert	17/01/2020	40132009	TRJ449	KENWORTH T Engine	Engine	FRONT	MOBIL DELVA	Enhanced	b044564610	CUMMINS		ISX 450 ST			EDINSA

## ANEXO B. INFORMES DIARIOS TALLER 2019 - 2020

Imagen Hoja de Excel, esquema Básico Informe diario de Taller EDINSA – POSTOBON, registro inicial y respectiva falla.

**INFORME DIARIO TALLER VEHICULOS EDINSA**

TP: TALLER PROPIO, TE: TALLER EXTERNO, P: PREVENTIVOS, C: CORRECTIVOS.

PLACA	INT.	Centro	KM	INGRESA	Hr Ingreso	SAL	Hr Salida	DURACIÓN	T. TRABAJO	T. MITO	TIEMPO TOTAL	TIEMPO MITO	CONJUNTO	CONJUNTO	CONJUNTO
TRM819	359405	8002	321.401	19-jun-20	09.00	19-jun-20	16.00	07.00	INT	C	7.00.00	7.00.00	Miscelaneos	Motor	Frenos
SZ633	359496	8002	269.447	19-jun-20	09.00	19-jun-20	11.00	02.00	INT	C	2.00.00	2.00.00		Frenos	Electrico
TRJ451	358579	8002	671.800	19-jun-20	11.00	19-jun-20	12.30	01:30	INT	C	1:30:00	1:30:00			Sist. Refrigeracion

Imagen Hoja de Excel, esquema Básico Informe diario de Taller EDINSA – POSTOBON, Indicadores y Clasificación Fallas.

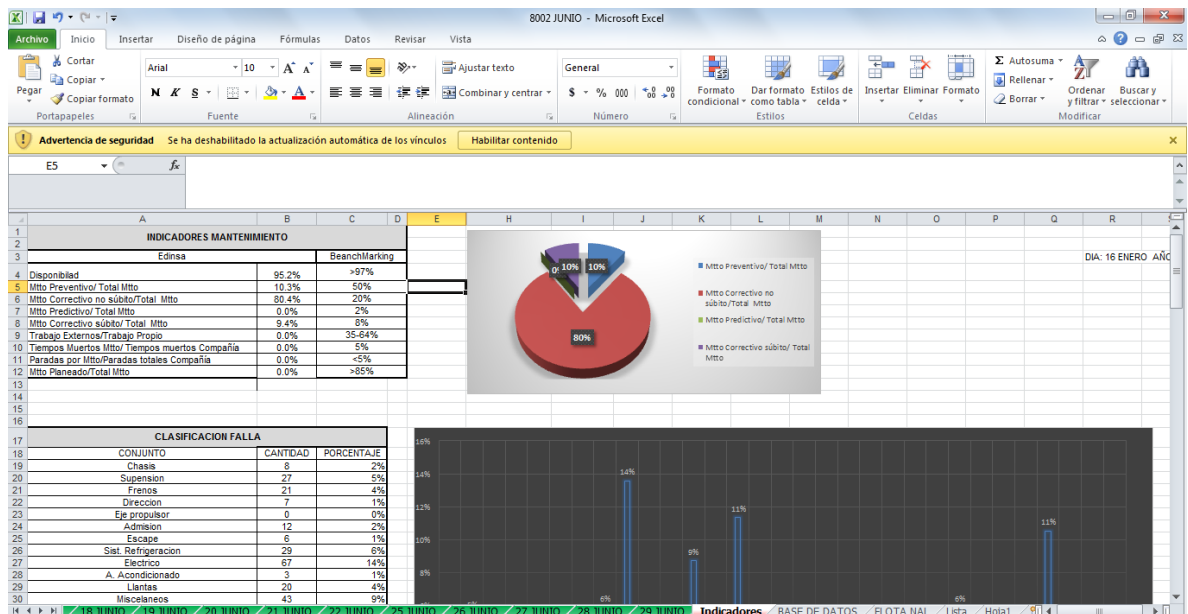
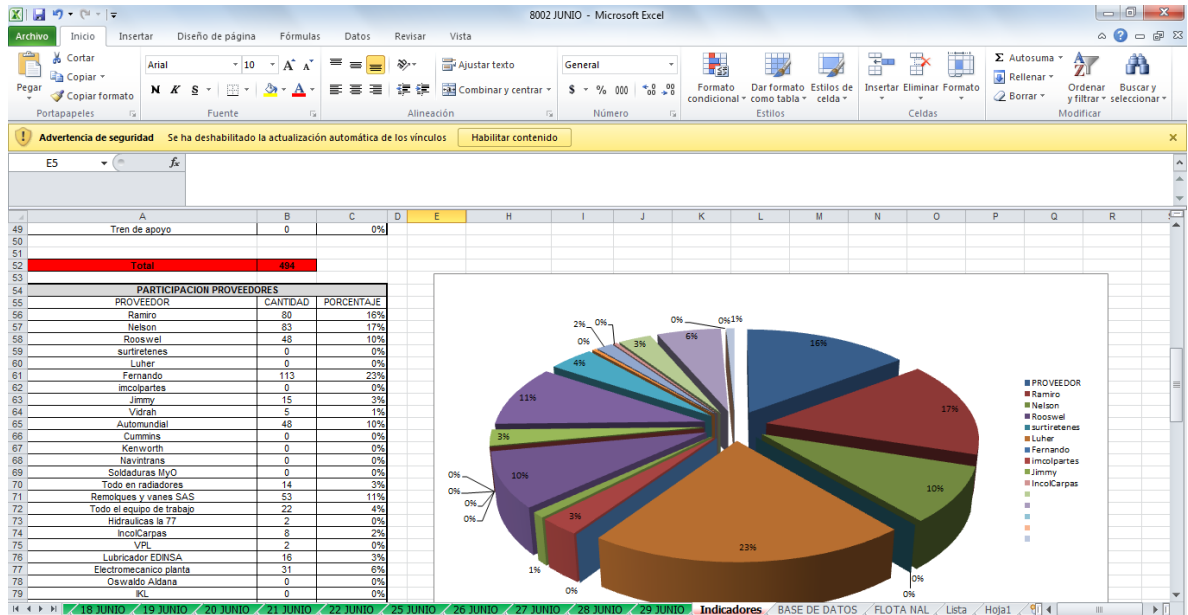


Imagen Hoja de Excel, esquema Básico Informe diario de Taller EDINSA – POSTOBON, participación proveedores y técnicos.



Ubicación Anexos Informes Diarios de Taller

Carpeta: **INFORME DIARIO TALLER 2019**

- Archivo: **8002 ENERO.xlsx**
- Archivo: **8002 FEBRERO.xlsx**
- Archivo: **8002 MARZO.xlsx**
- Archivo: **8002 ABRIL.xlsx**
- Archivo: **8002 MAYO.xlsx**
- Archivo: **8002 JUNIO.xlsx**
- Archivo: **8002 JULIO.xlsx**
- Archivo: **8002 AGOSTO.xlsx**
- Archivo: **8002 SEPTIEMBRE.xlsx**
- Archivo: **8002 OCTUBRE.xlsx**
- Archivo: **8002 NOVIEMBRE.xlsx**
- Archivo: **8002 DICIEMBRE.xlsx**

Carpeta: **INFORME DIARIO TALLER 2020**

- Archivo: **8002 ENERO.xlsx**
- Archivo: **8002 FEBRERO.xlsx**
- Archivo: **8002 MARZO.xlsx**
- Archivo: **8002 ABRIL.xlsx**

**ANEXO C. ARCHIVO: PROCEDIMIENTO TOMA DE MUESTRA.PDF**

Imagen Presentación Procedimiento Toma Muestra Aceite Motor



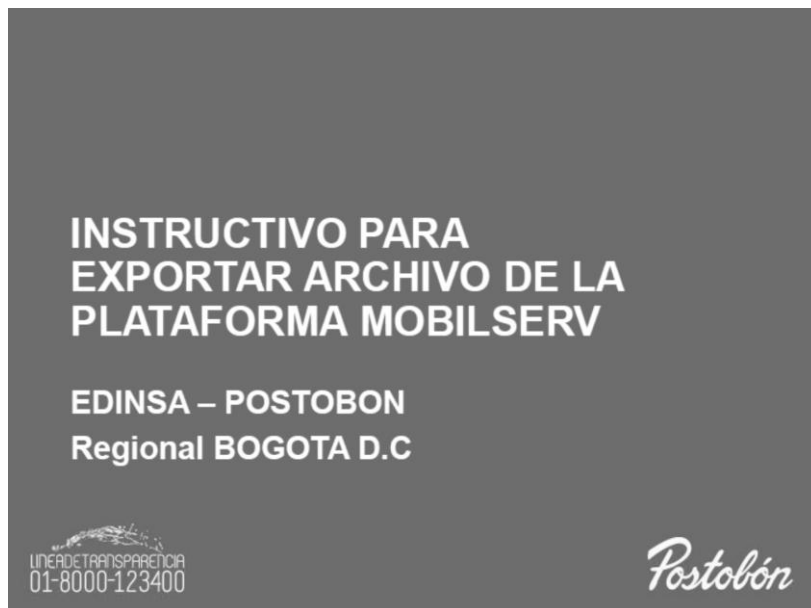
**ANEXO D. ARCHIVO: INSTRUCTIVO PARA INGRESAR MUESTRAS ACEITE  
PLATAFORMA MOBILSERV.PDF**

Imagen Presentación Instructivo para Ingreso de Muestras de Aceite en  
Plataforma MobilServ Exxon Mobil



**ANEXO E. ARCHIVO: INSTRUCTIVO PARA EXPORTAR ARCHIVO DE LA  
PLATAFORMA MOBILSERV.PDF**

Imagen Presentación Instructivo para Exportar Archivo de la Plataforma MobilServ  
Exxon Mobil



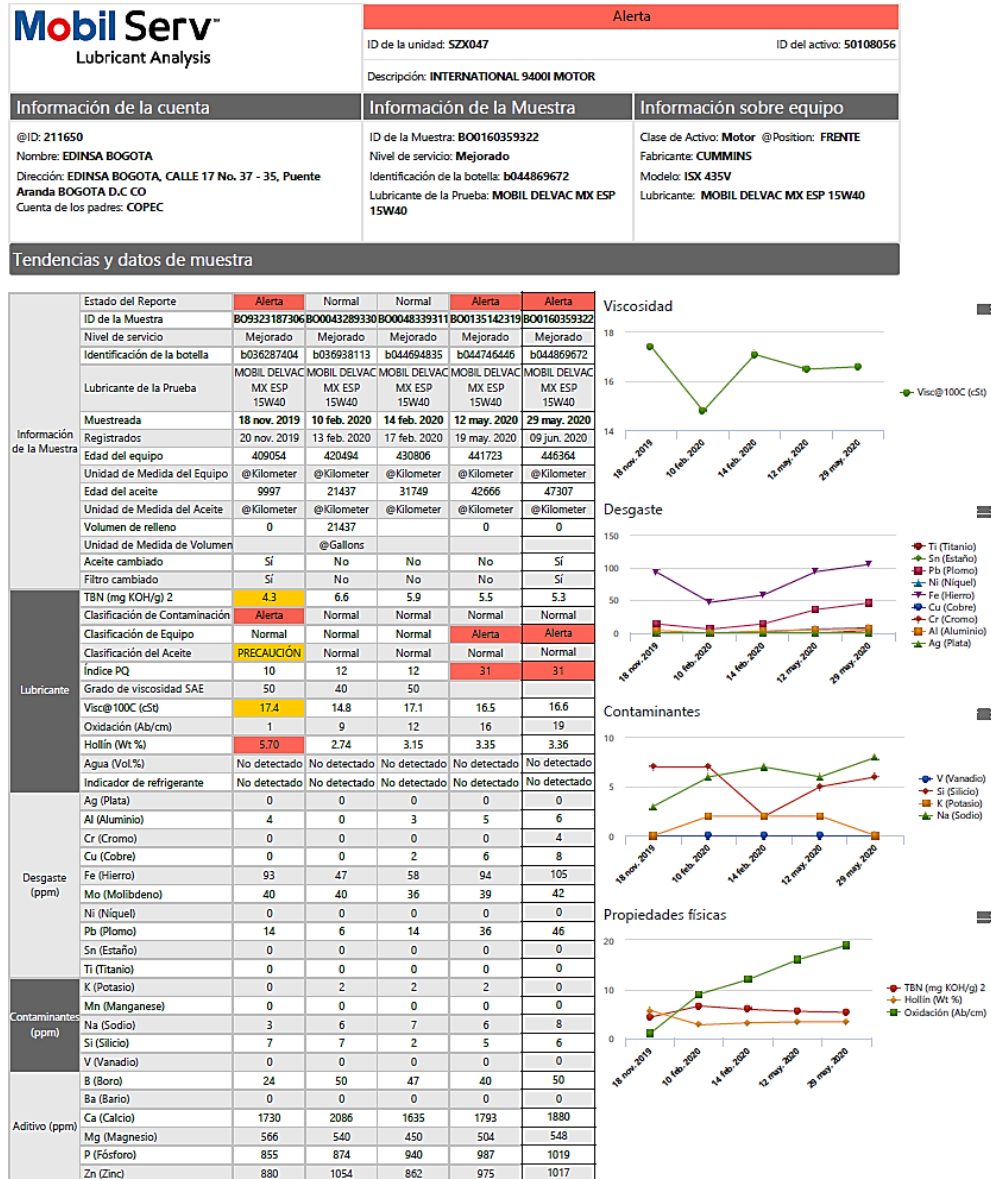
# ANEXO F. ARCHIVO: ORIGINAL LIMITES ANÁLISIS ACEITE BOGOTA.XLSX

Imagen Hoja de Excel Archivo Maestro EXCEL “ORIGINAL Limites Analisis Aceite BOGOTA”

Unit ID	Date Reported	Oil Age	Equipment Age	Oil Changed	Filter Changed	Viscos@100C (cSt)	Oxidation (Ab/cem)	PO Index	Water (Vol%)	Soot (Wt%)	TBN (mg KOH/g) 2	Si (Silicon)	K (Potassium)	Na (Sodium)	Fe (Iron)	Cr (Chromium)	Al (Aluminum)	Cu (Copper)
TR1632	02/01/2020	35848	672108	No	No	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
TR1677	02/01/2020	13657	675554	No	No	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
TR1640	02/01/2020	60881	1971333	Yes	Yes	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
FM1831	02/01/2020	62983	158320	No	No	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
TR1819	02/01/2020	23031	355112	No	No	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
TR1882	02/01/2020	29035	648668	No	No	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
TR1938	08/01/2020	16975	726498	No	No	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
SZK057	08/01/2020	37067	518404	Yes	Yes	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
TR1936	08/01/2020	54058	838782	Yes	Yes	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO
WCR608	08/01/2020	11840	529320	Yes	Yes	CRITICO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
SML171	08/01/2020	41484	1089905	Yes	Yes	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
FM1831	08/01/2020	64391	160118	No	No	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
SZK633	10/01/2020	20709	81797	No	No	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
TR1819	10/01/2020	26385	357846	No	No	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
WCR607	10/01/2020	14035	170640	No	No	CRITICO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
TR1985	10/01/2020	92992	748084	No	No	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
TR1632	15/01/2020	44734	680993	No	No	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
TR1627	15/01/2020	58800	796300	Yes	Yes	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
SZK054	15/01/2020	20985	520780	No	No	CRITICO	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	CRITICO	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	NORMAL	CRITICO
TR1982	10/01/2020	16290	765200	No	No	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
TR1636	10/01/2020	65723	673436	No	No	CRITICO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
SZK057	11/01/2020	62224	119047	No	No	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	CRITICO	NORMAL	PRECAUCION	NORMAL	PRECAUCION	CRITICO	NORMAL	NORMAL	NORMAL

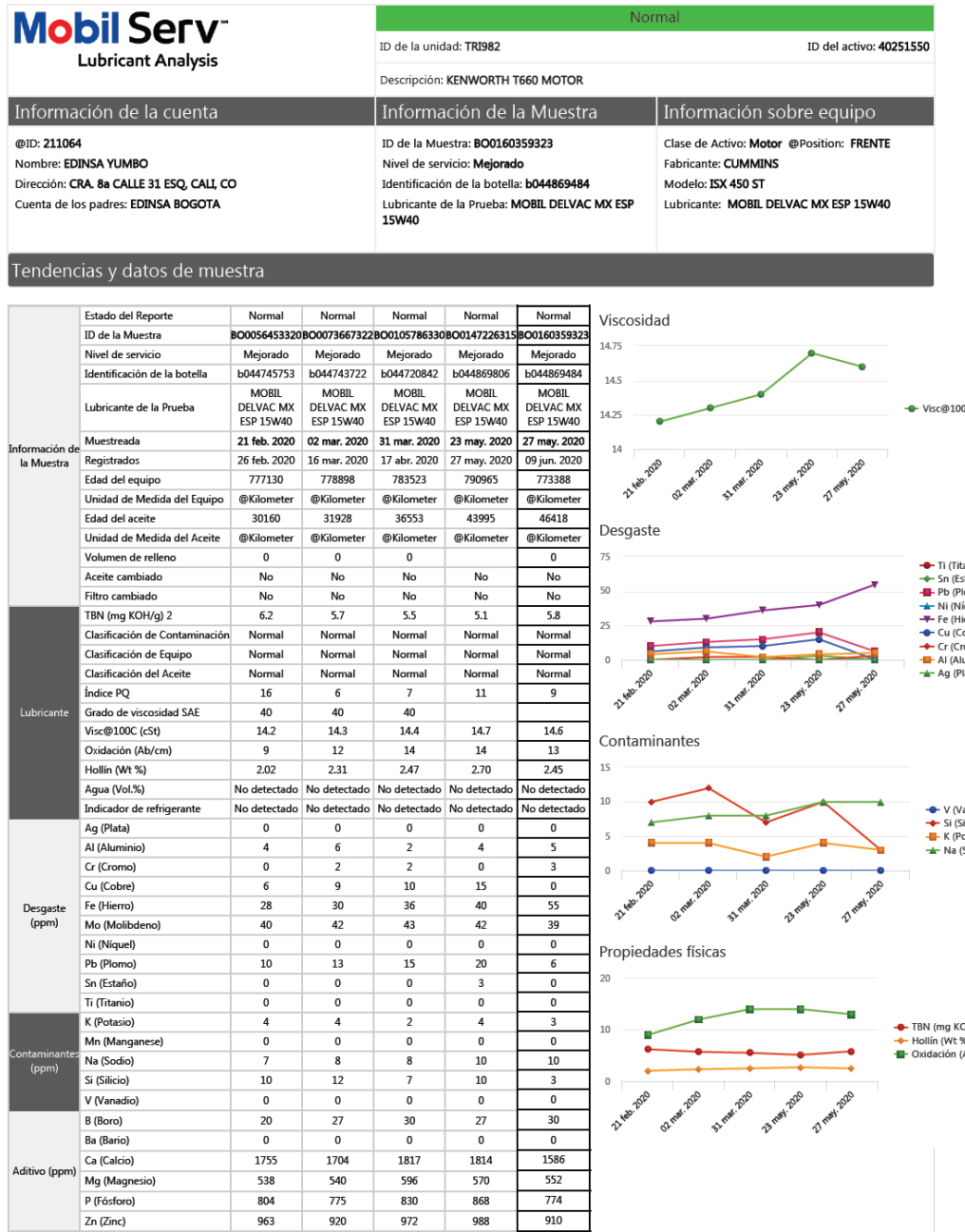
## ANEXO G. ARCHIVO: SZX047.PDF

Imagen Informe Unidad Tractora SZX047 de Análisis de Aceite Motor ISX, generado por el Laboratorio MOBILSERV.




## ANEXO H. ARCHIVO: TRI982.PDF

Imagen Informe Unidad Tractora TRI982 de Análisis de Aceite Motor ISX, generado por el Laboratorio MOBILSERV.



# ANEXO I. ARCHIVO: TRI985.PDF

Imagen Informe Unidad Tractora TRI985 de Análisis de Aceite Motor ISX, generado por el Laboratorio MOBILSERV.



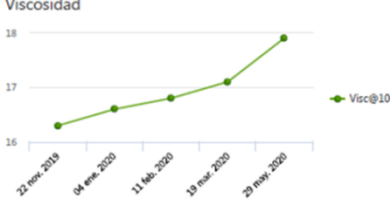
**PRECAUCIÓN**

ID de la unidad: TRI985 Descripción: KENWORTH T660 MOTOR	ID del activo: 40100381
---	-------------------------

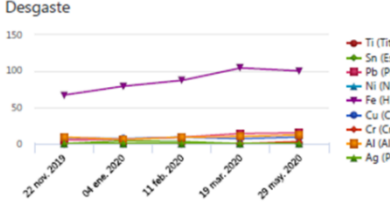
Información de la cuenta	Información de la Muestra	Información sobre equipo
@ID: 211650 Nombre: EDINSA BOGOTA Dirección: EDINSA BOGOTA, CALLE 17 No. 37 - 35, Puente Aranda BOGOTA D.C CO Cuenta de los padres: COPEC	ID de la Muestra: B00160359326 Nivel de servicio: Mejorado Identificación de la botella: b044869569 Lubricante de la Prueba: MOBIL DELVAC MX 15W40	Clase de Activo: Motor @Position: FRENTE Fabricante: CUMMINS Modelo: ISX 450 ST Lubricante: MOBIL DELVAC MX 15W40

**Tendencias y datos de muestra**

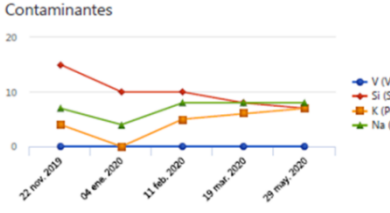
	Normal	Normal	PRECAUCIÓN	PRECAUCIÓN	PRECAUCIÓN
<b>Información de la Muestra</b>					
Estado del Reporte	Normal	Normal	PRECAUCIÓN	PRECAUCIÓN	PRECAUCIÓN
ID de la Muestra	B09332287330	B00009675323	B00049357319	B00105786312	B00160359326
Nivel de servicio	Mejorado	Mejorado	Mejorado	Mejorado	Mejorado
Identificación de la botella	b022380443	b036083258	b036084903	b022383910	b044869569
Lubricante de la Prueba	MOBIL DELVAC MX 15W40	MOBIL DELVAC MX 15W40	MOBIL DELVAC MX 15W40	MOBIL DELVAC MX 15W40	MOBIL DELVAC MX 15W40
Muestreada	22 nov. 2019	04 ene. 2020	11 feb. 2020	19 mar. 2020	29 may. 2020
Registrados	29 nov. 2019	09 ene. 2020	19 feb. 2020	17 abr. 2020	09 jun. 2020
Edad del equipo	732410	748084	763109	776388	793862
Unidad de Medida del Equipo	@Kilometer	@Kilometer	@Kilometer	@Kilometer	@Kilometer
Edad del aceite	77318	92992	108017	13729	31203
Unidad de Medida del Aceite	@Kilometer	@Kilometer	@Kilometer	@Kilometer	@Kilometer
Volumen de relleno	0	0	0	0	0
Aceite cambiado	No	No	No	No	Si
Filtro cambiado	No	No	No	No	Si
TBN (mg KOH/g) 2	6.2	6.2	4.9	3.9	4.0
Clasificación de Contaminación	Normal	Normal	Normal	PRECAUCIÓN	PRECAUCIÓN
Clasificación de Equipo	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
Clasificación del Aceite	Normal	Normal	PRECAUCIÓN	PRECAUCIÓN	PRECAUCIÓN
<b>Lubricante</b>					
Índice PQ	7	7	8	7	13
Grado de viscosidad SAE	50	50	50	50	
Visc@100C (cSt)	16.3	16.6	16.8	17.1	17.9
Oxidación (Ab/cm)	19	15	23	24	23
Hollín (Wt %)	3.70	3.61	4.21	4.50	5.15
Agua (Vol.%)	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado
Indicador de refrigerante	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado
<b>Desgaste (ppm)</b>					
Ag (Plata)	0	0	0	0	0
Al (Aluminio)	9	6	9	10	12
Cr (Cromo)	0	0	0	0	3
Cu (Cobre)	8	7	9	7	9
Fe (Hierro)	67	79	87	104	100
Mo (Molibdeno)	40	40	45	50	43
Ni (Níquel)	0	0	0	0	0
Pb (Plomo)	5	6	9	14	15
Sn (Estaño)	0	4	3	0	0
Ti (Titanio)	0	0	0	0	0
<b>Contaminantes (ppm)</b>					
K (Potasio)	4	0	5	6	7
Mn (Manganeso)	0	0	0	0	0
Na (Sodio)	7	4	8	8	8
Si (Silicio)	15	10	10	8	7
V (Vanadio)	0	0	0	0	0
B (Boro)	36	25	30	28	20
Ba (Bario)	0	0	0	0	0
<b>Aditivo (ppm)</b>					
Ca (Calcio)	1660	1710	1706	1832	1659
Mg (Magnesio)	668	690	702	839	742
P (Fósforo)	860	980	844	990	930
Zn (Zinc)	900	919	1064	1174	1090




**Viscosidad**



**Desgaste**



**Contaminantes**



**Propiedades físicas**

**ANEXO J. ARCHIVO: 20200702.MP4**

Imagen de Video anexo, prueba Blow By Salida Gases de Carter del Motor Cummins ISX del vehículo TRI985



**ANEXO K. ARCHIVO: 20200704.MP4**

Imagen de Video anexo, emisión de líquido emulsionado producto de mezcla de aceite – refrigerante en las galerías del Motor Cummins ISX del vehículo TRI985



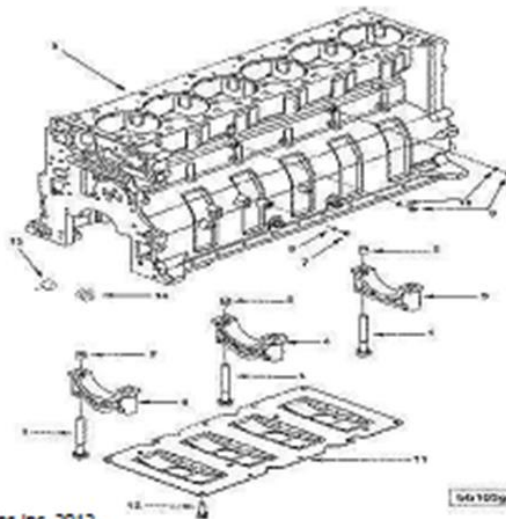
## ANEXO L. ARCHIVO: TAXONOMÍA MOTOR CUMMINS ISX.PDF

Imagen de archivo en formato pdf de la taxonomía completa del Motor Cummins ISX para Edinsa – Postobon.

### TAXONOMÍA MOTOR CUMMINS ISX

#### Bloque

Figura 1. Vista explosionada Bloque Motor ISX.



Fuente. Cummins Inc. 2012.

Tabla 1. Tabla referencias taxonomía Bloque Motor ISX.

Nivel 4	#	Denominación	Referencia
MOT	1	screw, hex flange head cap	EBMTTOTCMOT - 3678506
	2	dowel, ring	EBMTTOTCMOT - 3678507
	3	block, cylinder	EBMTTOTCMOT - 3682861
	4	cap, main bearing	EBMTTOTCMOT - 3680246
	5	cap, main bearing	EBMTTOTCMOT - 3688547
	6	cap, main bearing	EBMTTOTCMOT - 3688549
	7	plug, threaded	EBMTTOTCMOT - 3678610
	8	seal, o ring	EBMTTOTCMOT - 3678603
	9	plug, threaded	EBMTTOTCMOT - 3678921
	10	seal, o ring	EBMTTOTCMOT - 3678912
	13	plug, expansion	EBMTTOTCMOT - 3007636
	14	plug, expansion	EBMTTOTCMOT - 3679334
	11	plate, cyl block stiffener	EBMTTOTCMOT - 3680425
	12	screw, hex flange head cap	EBMTTOTCMOT - 3680781

Fuente. Autor de la Monografía. 2020.

## ANEXO M. ARCHIVO: Especificaciones Generales del Motor ISX.PDF

Imagen de archivo en formato pdf de las especificaciones y características completas del Motor Cummins ISX.

### ESPECIFICACIONES GENERALES DEL MOTOR ISX

**Tabla 1.** Características técnicas principales Motores Cummins ISX.

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

Fuente. Cummins Inc. 2012.

**Tabla 2.** Características técnicas Sistema Admisión Motores Cummins ISX.

ISX 400 HP – 450 HP	
<b>Especificaciones Sistema de Admisión de Aire</b>	
Elevación Máxima de Temperatura entre Aire Ambiente y Entrada de Aire del Motor (ambiente arriba de 0°C [32°F])	11°C [20°F]
Restricción Máxima de Entrada (filtro limpio)	250 mm H2O [10 pulg. H2O]
Restricción Máxima de Entrada (filtro sucio)	635 mm H2O [25 pulg. H2O]
Máxima Caída Permisible de Presión a Través del Enfriador de Carga de Aire	
Psi	13.5 kPa [2 psi]
Hg (mercurio)	102 mm Hg [4 pulg. Hg]

Fuente. Cummins Inc. 2012.

**Tabla 3.** Características técnicas Sistema de Escape Motores Cummins ISX.

ISX 400 HP – 450 HP	
<b>Especificaciones Sistema de Escape</b>	
Contrapresión Máxima Permisible del Escape Creada por la Tubería y el Silenciador	
Hg (mercurio)	76 mm Hg [3 pulg. Hg]
H2O (agua)	1016 mm H2O [40 pulg. H2O]
Tamaño del Tubo de Escape	127 mm [5 pulg.]

Fuente. Cummins Inc. 2012.

## ANEXO N. ARCHIVO: MATRIZ DE NORMATIVIDAD DE MANTENIMIENTO.PDF

Imagen de archivo en formato pdf de las principales normatividades aplicadas al contexto de la presente Monografía.

### MATRIZ DE NORMATIVIDAD DE MANTENIMIENTO

La normatividad y aspecto legal en el área de mantenimiento es muy importante a la hora de desarrollar actividades, porque se tiene en cuenta ciertas medidas como lo son la seguridad en el transporte terrestre, seguridad en el trabajo, y medio ambiente.

**Tabla 1.** Matriz Normatividad PESV aplicado a Bogota.

MATRIZ DE NORMATIVIDAD		
LEY O NORMA	VIGENCIA	FUENTE
Resolución No 315 de 2013.  Por la cual se adoptan unas medidas para garantizar la seguridad en el transporte público terrestre automotor y se dictan otras disposiciones.	Publíquese y cúmplase.  Dada en Bogotá D. C, a 6 de febrero de 2013. NOTA Publicada en el Diario Oficial 48697 de febrero 7 de 2013.	Régimen Legal de Bogotá D.C.; "Resolución 315 de 2013 Ministerio de Transporte - Por la cual se adoptan unas medidas para garantizar la seguridad en el transporte público terrestre automotor y se dictan otras disposiciones."; Propiedad de la Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.; Fecha de Expedición: 06/02/2013; Fecha de Entrada en Vigencia: 07/02/2013; Medio de Publicación: Diario Oficial 48697 de febrero 7 de 2013. En línea, Available: <a href="http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=51704">http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=51704</a>
APLICACIÓN		
<p>Se impone a las empresas de transporte terrestre de pasajeros, de responder por la revisión técnico mecánica y de emisiones contaminantes de los vehículos vinculados a las diferentes operaciones terrestres; revisión que se surtirá en el Centro de Diagnóstico Automotor que seleccione y cuyo costo será asumido por el propietario del vehículo. Igualmente la organización o propietario, se responsabilizara por la ejecución del mantenimiento "preventivo de los vehículos de servicio público vinculados a su parque automotor y con cargo al propietario del vehículo". En cuanto al mantenimiento correctivo, se deja a libre albedrío que sea manejado por la empresa o por el propietario del vehículo; pero es atribución del propietario autorizar o rechazar el despacho del vehículo.</p> <p>De la obligación del mantenimiento preventivo de los vehículos a ella vinculados tiene el deber de programarlos según la necesidad; pero entre uno y otro no debe superar más de dos meses. La evidencia de los mantenimientos ya sean preventivos y correctivos deben constar en la "ficha de mantenimiento", donde se consignaran la información relevante del mantenimiento.</p> <p>La implementación del protocolo de alistamiento es una obligación de todas las empresas de transporte terrestre de pasajeros, carga y mixto, con el fin de verificar previamente al despacho del vehículo aspectos relacionados con la seguridad en la operación de transporte.</p>		

**Fuente.** Alcaldía Mayor de Bogota. 2013.