

Diseño Plan de Mantenimiento Media Vida en Motor C32 para Camión 777F CAT

Autor Augusto Barrios, Autor Delmer Castillo

Trabajo de Grado para Optar al Título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director

Jorge Luis Chacón Velasco

MSc, PhD. Ingeniería de Termo fluidos en Motores térmicos

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Bucaramanga

2022

Agradecimientos

Doy gracias a Dios por todas las bendiciones recibidas, por darme a mis padres Augusto y Yesmith, mi hermana Yasmel, mi esposa Alba y mis hijas Yasmel y Morelia que son mi motivación para mejorar cada día.

Augusto Barrios.

Agradezco a Dios por todo lo que me ha brindado a lo largo de mi vida, a mis Padres por apoyarme en todos los caminos recorridos, a mi hijo por estar siempre a mi lado y a mi hermana y sobrina por ser un apoyo en todo momento.

Delmer Castillo.

Tabla de contenido

Introducción		12
1.	Objetivos	15
1.1	Objetivo General.....	15
1.2	Objetivos Específicos.....	15
2.	Materiales y Métodos.....	16
2.1	Determinación de las horas de operación para programar el MVMM	16
2.2	Selección de los componentes a intervenir en el motor durante el MVMM	18
2.3	Determinar límites máximos y mínimos de las variables a monitorear en los componentes seleccionados	19
2.4	Creación de hoja de ruta del MVMM.....	20
3.	Marco Teórico.....	21
3.1	Tecnología ACERT y especificaciones técnicas del motor.....	21
3.2	Funcionamiento en general del motor.....	26
3.2.1	Sistema de lubricación	26
3.2.2	Sistema de combustible.....	27
3.2.3	Sistema de refrigeración	28
3.2.4	Sistema de admisión y escape.....	29
3.3	Mantenimiento Preventivo.....	31
3.4	Mantenimiento predictivo.....	33
3.4.1	Análisis de aceites.....	34
3.4.2	Análisis de temperaturas	37

3.4.3	Monitoreo de gases Blow By	38
3.4.4	Presión de combustible	38
3.5	Factor de carga consumo de combustible y horas de vida media	39
3.5.1	Factor de carga	39
3.5.2	Vida media	41
4.	Resultados	42
4.1	Determinación de las horas para la programación del MVMM C32	42
4.2	Selección de los componentes a intervenir en el motor durante el MVMM.	50
4.3	Determinación del alcance del MVMM en cada componente seleccionado	55
4.4	Creación de la hoja de ruta para el Plan MVMM C32 en camiones 777F	58
5.	Conclusiones	79
6.	Recomendaciones	81
	Referencias Bibliográficas	82
	Apéndices.....	84

Lista de Tablas

Tabla 1	<i>Especificaciones de fabrica Motor c32</i>	21
Tabla 2	<i>Límites de Desgaste en motores instalados en camiones CAT</i>	34
Tabla 3	<i>Variables de control de potencia usadas en ECM motor</i>	51
Tabla 4	<i>Resumen Proceso de Selección componentes a intervenir MVMM C32</i>	54
Tabla 5	<i>Rangos Max y Min. De las variables en componentes seleccionados y alcance del MVMM</i>	57
Tabla 6	<i>Hoja de ruta MVMM C32 Camión 777F</i>	62
Tabla 7	<i>Listado de verificaciones y acciones realizadas durante MVMM</i>	70

Lista de Figuras

Figura 1. <i>Esquema del Diagrama de control de la combustión ECM Motor C32</i>	24
Figura 2 <i>Esquema de comunicación entre el ECM motor y software ET en PC</i>	25
Figura 3 <i>Gráfica presión de aceite Vs RPM del motor</i>	27
Figura 4 <i>Esquema circuito de suministro de combustible</i>	28
Figura 5 <i>Esquema sistema de refrigeración Motor C32 en camión 777F</i>	29
Figura 6 <i>Esquema del circuito de admisión y escape motor C32</i>	30
Figura 7 <i>Programa de mantenimiento tradicional y de 8 etapas para equipos Cat</i>	32
Figura 8 <i>Test de especificaciones motor FZS00779</i>	46
Figura 9 <i>Imagen resumen de descarga reporte estado del producto Motor FZS00779</i>	48

Lista de Apéndices

Apendice A. Presión de Neumáticos Camiones de Construcción y Minería.....	84
Apendice B. Recomendación de fluidos camión 777F.....	85
Apendice C. Cajas de Herramientas básicas mecánico y electricista.	87
Apendice D . Formato de calibración motor.....	89
Apendice E. Presión de lubricación motor Vs. Rpm motor (rango aceptable).....	90

Glosario

ACCERT (Advanced Combustion Emisión Reduction Technology): Tecnología de combustión avanzada para el control de emisiones Caterpillar.

ADEM (Advanced Motor Controller Diesel Engine Management): Administración avanzada de motor diésel, tecnología utilizada en el control electrónico de motor.

Backlog: Formato utilizado para reportar eventos y solicitar los repuestos necesarios para solucionarlos.

Bowlby: Nombre que recibe la prueba que mide la proporción en la que los gases de la combustión en el cilindro de un motor pasan por entre los anillos del pistón y entran al Carter del motor.

Consumo Especifico: Eficiencia que tiene un motor en para transformar carburante en energía mecánica, se expresa como la cantidad de carburante que hay que consumir en (Kg) para obtener determinada potencia de un (KW) durante una hora (Kg/KWh).

ET (siglas en inglés): Técnico Electrónico de Caterpillar, software de diagnóstico para todas las maquinas Caterpillar.

ECM (siglas en inglés): módulo de control electrónico.

Mantenimiento Vida Media Motor (MVMM): Mantenimiento preventivo realizado en motores Caterpillar con el objetivo de evaluar, reparar y cambiar componentes en función de poner a punto la combustión del equipo y su potencia, después de operar ciertas horas bajo un factor de carga y un consumo de combustible especificado por fábrica.

MEUI (siglas en inglés): Unidad Inyectora Electromecánica

Rimpull: Cantidad de fuerza ejercida en la zona de contacto del vehículo y el suelo, esta fuerza es normalmente expresada en Newtons o libras fuerza. En los camiones mineros, esta fuerza es equivalente al torque generado en los mandos finales y entre el radio de los neumáticos.

Stage: Normas europeas que controlan las emisiones producto de la combustión en motores utilizados en máquinas móviles fuera de carretera (NRMM) se han estructurado como niveles gradualmente más estrictos conocidos como Stage de la I a la V en la actualidad.

Tier: Norma de la agencia de protección nacional de los Estados Unidos que regula las emisiones producto de la combustión en niveles del 1 al 4. La regulación de emisiones se establece para normalizar a Óxidos de nitrógeno (NOx), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), y los hidrocarburos no metanos (NMHC), material particulado (PM) y porcentaje de humo (EPA, 2016)

TMI (siglas en inglés): Información técnica de marketing que ofrece información en la web de las especificaciones de productos Caterpillar.

Resumen

Título: Diseño Plan de Mantenimiento Media Vida en Motor C32 para Camión 777F CAT ¹

Autor: Augusto Barrios, Delmer Castillo.²

Palabras Clave: Motor, Vida Media, Factor de Carga, ECM

La presente monografía se desarrolla con base en la creación de un plan de mantenimiento vida media de motor Caterpillar C32 instalado en camiones fuera de carretera 777F, esta estrategia tiene la finalidad de evitar la disminución de potencia y riegos de fallas por desgaste acumulados durante la operación del motor después de cumplirse un consumo de combustible de 568.500 Litros a las 13000 horas y bajo un factor de carga de 24% en equipos mantenidos y operados bajo las especificaciones de fábrica.

El MVMM (Mantenimiento vida media motor) se enfoca en componentes que, al acumular horas de operación, sufren el mayor deterioro por las exigencias de su trabajo y aquellos que su desempeño afecta las variables de control de la combustión en el ECM motor, los criterios de evaluación de las variables de control en los componentes se realiza mediante una guía técnica donde se definen actividades de cambio, evaluación y programación. Toda la información necesaria para ejecución de este plan se sintetiza en una hoja de ruta.

Realizar una intervención de Vida Media motor (MVMM), es una decisión estratégica de las organizaciones porque se aseguran extender la vida de sus activos y no implica una gran inversión económica en estos momentos de incertidumbre que vivimos.

1 Trabajo de grado

2 Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Jorge Luis Chacón Velásquez. MSc, PhD. Ingeniería de Termo fluidos en Motores térmicos

Abstract

Title: Mid-Life Maintenance Plan for Caterpillar Engine C32 Installed in 777F Truck *

Author(s): Augusto Barrios, Delmer Castillo ³

Key Words: Engine, Mid-Life, Load Factor, ECM

The present monograph is developed based on the creation of a Mid-life maintenance plan for the Caterpillar C32 engine installed in 777F trucks, this technique is planned to prevent power decrease and the risk of developing failures accumulated during engine operation after fulfilling a fuel consumption of 568,500 liters at 13,000 hours and 24% load factor in equipment preserved and operated under manufacturer specifications. The engine mid-life maintenance is concentrated on components that suffer considerable deterioration due to the demands of their work and those whose performance affects the combustion control variables in the engine ECM. The evaluation standards of the control variables in the components are carried out through a technical guide where change, evaluation, and programming activities are defined. Entirely information essential to execute this plan is summarized in a roadmap.

* Degree Work

³School of Mechanical Engineering. Specialization in Maintenance Management. Advisor: Jorge Luis Chacón Velázquez, MSc, PhD. Thermo Fluid Engineering in Thermal Engines.

Introducción

A continuación, se planteará la problemática que motivó a la generación de un plan de mantenimiento en la mitad de la vida de los motores C32 instalados en camiones Caterpillar 777F y justificaremos su ejecución con el propósito de mantener estos equipos operando con emisiones, potencia y consumo de combustible dentro de lo especificado por fábrica hasta el final de su vida útil.

- Planteamiento del problema

La industria Minera en Colombia utiliza camiones 777F Marca Caterpillar con capacidad neta de 90,7 ton. para sus labores de acarreo en minería a cielo abierto, estos equipos vienen equipados con motores Caterpillar C32. La función principal del C32 en el camión es proveer al tren de potencia hasta 700KW de potencia neta y unas revoluciones a full carga de máximo 1800 RPM.

A pesar de ser mantenidos con las rutinas recomendadas por fábrica, a medida que el motor C32 en camiones 777F acumula horas de operación, se presenta en diferentes grados una disminución en su potencia y en la economía de consumo de combustible, por causa de la pérdida de la eficiencia en la combustión.

¿Es posible mantener la potencia, el consumo de combustible, el par de rotación, la velocidad y control de las emisiones al ambiente, después de la realización de un MVMM?
¿Garantiza la realización de un MVMM el cumplimiento y la posible extensión de la vida útil del motor C 32 Caterpillar?

Muchos motores pueden acortar su vida esperada y otros pueden alcanzarla presentando problemas de pérdida de potencia, emisiones contaminantes fuera de lo permitido y excesivos

consumos de combustible. Esta situación presenta una oportunidad para diseñar una estrategia de mantenimiento vida media de motor (MVMM), que permita mediante una puesta a punto en la combustión, lograr que este consiga llegar a su vida esperada con una potencia y economía de combustible dentro de los rangos especificados por el fabricante.

- Justificación del plan Propuesto

Las organizaciones desde hace algún tiempo vienen utilizando herramientas que les permita predecir el comportamiento a futuro de los activos con que cuenta, con el fin de tener un plan detallado de los pasos a seguir en caso de presentarse un evento en dichos activos.

Este debería ser un plan estratégico técnico que les permita evaluar comportamientos y tendencias de los activos para poder determinar el alcance exacto de la intervención que se le va a aplicar al equipo.

Los costos de mantenimiento, la mano de obra a utilizar es costosa y las empresas buscan reducir lo más que puedan estos costos; ni que decir si un equipo sufre un daño que implica pérdida total del activo todavía sin alcanzar su vida útil establecida, por tal motivo aplicar un plan de MVMM a los activos y a los componentes mayores de estos activos es más económico, no implica una inversión elevada en repuestos, mano de obra y permite llevar el equipo a su vida útil establecida o el mejor de los casos extenderla.

Durante el proceso investigativo de la monografía no se encontraron estudios o investigaciones que argumenten de una manera científica la idea de un MVMM sin embargo, los

grandes fabricantes de motores Diésel como CATERPILLAR y CUMMINS, recomiendan realizar un overhaul a sus motores cuando se acerquen a la vida media, estos ofrecen servicios de evaluación del estado del motor, así como diferentes kits de reparación (Caterpillar, parts.cat.com, s.f.) y cambio de componentes con la finalidad de extender la vida útil de estos y evitar fallas prematuras.

Cummings (Cummins, s.f.) recomienda que no hay un momento exacto para llevar un motor a una revisión de vida media, existen diferentes factores a tener en cuenta que influyen en el rendimiento y el desgaste del motor. “Si bien los motores que tienen entre 500.000 y 750.000 millas deberían llamar más atención, el kilometraje no es el único indicador. El ciclo de trabajo, la variación de la ruta, la capacidad de carga y la geografía tienen en cuenta la necesidad de una revisión”.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Diseñar un plan de mantenimiento vida media en motor de camión Caterpillar 777F; con la finalidad de mantener la potencia y el consumo de combustible dentro de los rangos especificados por el fabricante durante la vida esperada del motor.

1.2 Objetivos Específicos

- Determinar en el motor C32 para camiones 777F mediante el factor de carga y el consumo promedio de combustible, las horas de operación presupuestadas para la programación del MVMM.

- Seleccionar los componentes a intervenir en el motor durante el mantenimiento, identificando los componentes que al perder sus funciones afectan directamente la potencia del motor y verificar las horas de operación de los componentes a la hora de programar la ejecución del mantenimiento, con el propósito de delimitar en el motor los puntos de intervención durante la detención e identificar repuestos y recursos que se deban tener en el sitio.

- Determinar los límites máximos y mínimos de las variables a monitorear en los componentes seleccionados para definir tareas de cambio, ajuste o reparación, estableciendo el alcance de las operaciones de mantenimiento.

- Diseñar el plan de mantenimiento del motor C32, mediante la creación de la hoja de ruta donde se registrará toda la información necesaria sobre: secuencia de ejecución de las tareas del mantenimiento, tipos de operaciones, horas obra labor, costo de mano de obra, listado de insumos, formatos, manuales y herramientas necesarias para la ejecución del plan, con la finalidad de estandarizar las tareas de forma estratégica y poder replicarlas en todos los camiones 777F.

2. Materiales y Métodos

El diseño del plan de Mantenimiento vida media en motor C32, se realizará bajo la metodología de mantenimiento preventivo. En la siguiente secuencia de actividades para la consecución de los objetivos específicos planteados.

2.1 Determinación de las horas de operación para programar el MVMM

Para determinar a qué horas de operación se ejecutará en el motor C32 el MVMM, se utilizará la Ecuación 1 del factor de carga motor. Para lograrlo, se necesitará obtener del proyecto mina la jagua el factor de carga estimado en los motores C32 en camiones 777F y de fábrica la

Ecuación 1

$$\text{Factor de carga} = \frac{\text{consumo} \left(\frac{l}{h} \right)}{\text{Potencia del motor (KW)} * 0.22 \frac{kg}{kW * h}} * 0.85 \frac{kg}{l}$$

información sobre las siguientes variables: consumo específico, potencia del motor y la cantidad de combustible (litros o galones) que se estima debe consumir el motor a su mitad de vida. A continuación, se muestran los pasos utilizados para la obtención de información.

- Obtención de la información sobre variables obtenidas en pruebas de fábrica en el motor, se establecerán los canales de comunicación con la fábrica para obtener de la página TMI web (Caterpillar, s.f.), la prueba de especificaciones del motor Caterpillar, de esta forma tendremos acceso a los valores de referencia del consumo específico, potencia del motor y consumo promedio, a modo de ejemplo se utilizará el motor C32 Serie FZS00779.
- Descarga del reporte de estado del producto a más de 5000 horas de operación mediante el software ET, para confirmar que factor de carga promedio sea lo más aproximado al factor de carga estimado en el proyecto.
- Consultar de manual de mantenimiento para identificar el consumo de combustible estipulado por Caterpillar para alcanzar la Vida media del motor.
- Calcular la vida media del motor en horas, mediante el factor de carga.

2.2 Selección de los componentes a intervenir en el motor durante el MVMM

La selección de los componentes a intervenir se realiza en los sistemas del motor (admisión, combustión, escape, refrigeración y lubricación) identificando aquellos que al perder sus funciones se afecte directamente: La proporción y temperatura del aire admitido, la temperatura en general del motor y el suministro de combustible en el motor. Para estos componentes será necesario conocer las horas de operación, para definir que componente requieren cambios por horas o si aún tienen vida útil, esta información servirá para identificar repuestos y recursos que se deban tener en el sitio. Los pasos para la selección se describen a continuación.

- Identificar en los sistemas de admisión, escape, combustión, refrigeración y lubricación las variables que utiliza el ECM en el motor para el control de la combustión, y el cumplimiento de las normas de emisiones.
- Determinar en la máquina y el motor, componentes que, al perder su función, afectan las variables de control del ECM y generan disminución en la potencia del motor. Para estos subcomponentes se verificará las horas definidas para el cambio por fin de vida útil y que tipo de operación se realizará en ellos durante el MVMM (Mantenimiento Vida media Motor).
- Creación de un formato con las horas actuales de cada componente a intervenir, para su inclusión en la información que se entregará al personal de ejecución del mantenimiento. Este formato permitirá al ejecutor saber el porcentaje de vida útil consumida en el

componente e identificar si por horas de operación el componente debe ser cambiado. Durante la planeación la verificación de horas actuales servirá para asegurar la disponibilidad en almacén de los repuestos a cambiar.

2.3 Determinar límites máximos y mínimos de las variables a monitorear en los componentes seleccionados.

A continuación, se establecerán los pasos planteados para determinar los límites máximos y mínimos de las variables en los componentes seleccionados con la finalidad de comprobar su correcto funcionamiento y definir el alcance del MVMM (revisión, evaluación, cambio y ajuste) en la intervención de cada componente.

Para cada componente seleccionado se identificarán las variables a monitorear y sus límites, que permitan comprobar su buen funcionamiento. Este paso se realiza consultando y analizando la operación de los componentes en los sistemas del motor, mediante la consulta de los manuales de operación de sistemas, pruebas y ajustes.

Se creará el formato donde se registrarán los valores de las variables obtenidas durante los procesos de medición de variables y se compararán con los valores especificados en los manuales de prueba y ajuste (Caterpillar, Operacion de sistemas Motores C32, 2008). De acuerdo a los valores obtenidos se definirán el alcance del mantenimiento. Adicionalmente se especificará la herramienta necesaria y el estado del equipo (operativo/ apagado) para la medición de la variable.

2.4 Creación de hoja de ruta del MVMM

El diseño de el plan de mantenimiento MVMM del motor C32, se estructura en una hoja de ruta donde se describirán las secuencias de operaciones necesarias, donde se determinarán todos los recursos e información necesaria para su ejecución. La estructura de la hoja de ruta será la siguiente:

- Título del plan.
- Justificación.
- Listado secuencial de Actividades a realizar durante el mantenimiento.
- Tipo de operación (limpieza, evaluación, ajuste, cambio, calibración).
- Duración de la operación.
- Cantidad de técnicos y tipo de especialidad (Mecánico, Eléctrico).
- Listado de partes necesarias.
- Listados de insumos y herramientas.
- Listado de manuales de consulta.
- Formatos de chequeo de variables y registro de acciones a realizar en el componente.
- Costo obra labor.

Al finalizar la hoja de ruta del plan de trabajo MVMM, se obtendrá la información y los recursos necesarios, para implementar el plan de mantenimiento media vida en motores C32 con la finalidad de mantener dentro de los rangos permitidos, los parámetros de funcionamiento que permitan una combustión y potencia eficiente en el equipo después de alcanzada la mitad de su

vida esperada. La hoja de ruta permitirá establecer el plan como una tarea estratégica estandarizada que podrá ser replicada en cualquier otro camión 777F de Caterpillar.

3. Marco Teórico

En este capítulo de la monografía se presenta una estructura teórica acerca de la tecnología ACERT y las especificaciones técnicas del motor C32, funcionamiento en general del motor, planes de mantenimiento preventivos, predictivos, factor de carga, vida media y consumo de combustible en motores para camiones 777F.

3.1 Tecnología ACERT y especificaciones técnicas del motor.

Para cumplir con los requerimientos de potencia los camiones 777F de Caterpillar tiene instalado motores ACERT C32 con las especificaciones de fábrica descritas a en la Tabla 1 a continuación (Caterpillar, Specalog For 777F Off Highway Truck, 2017).

Tabla 1

Especificaciones de fabrica Motor c32

ITEM	ESPECIFICACIONES
Modelo Del Motor Cat®	C32 ACERT

Potencia Bruta	SAE J1995 758 kW 1,016 hp
Potencia neta	SAE J1349 700 kW 938 hp
Potencia Neta	ISO 9249 700 kW 938 hp
Número de cilindros	12
Par máximo	4716 N·m 3,478 lb ft
Diámetros del cilindro	145 mm 5.7 in
Carrera	162 mm 6.4 in
Desplazamiento	32.1 L 1,959 in ³

Nota: Especificaciones de fabrica para ítems más relevantes, que representan al motor C32.

Información tomada de (Caterpillar, Specalog For 777F Off Highway Truck, 2017)

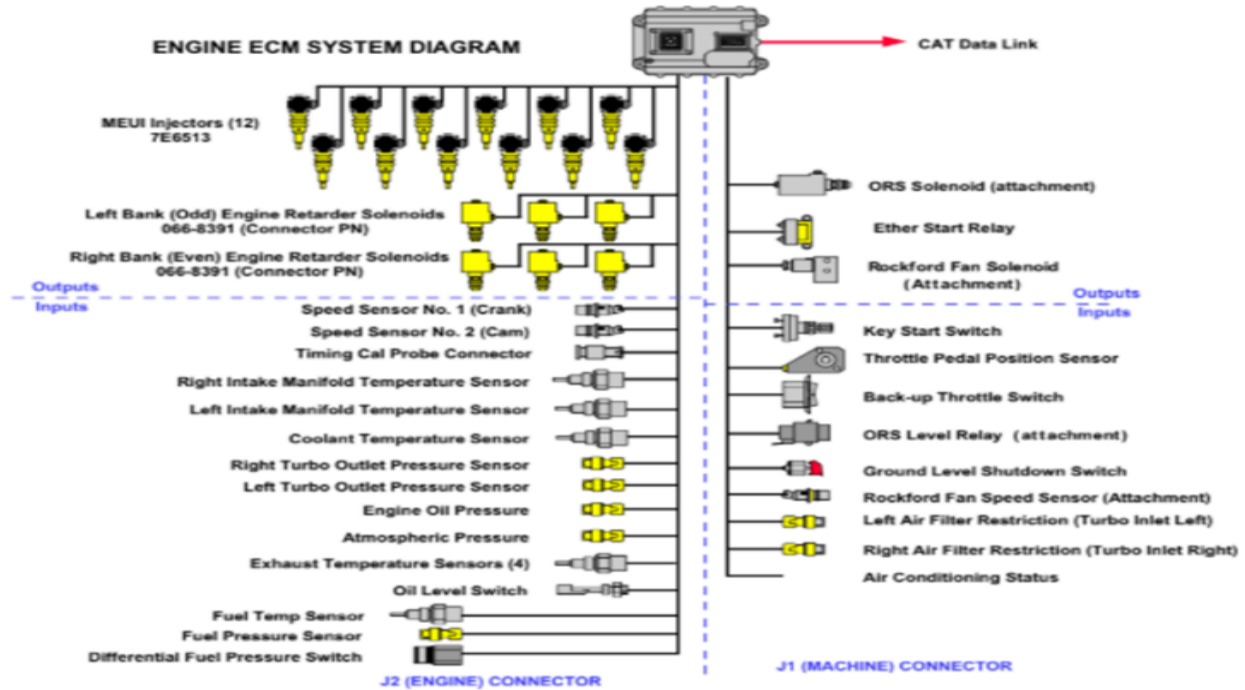
Los motores Caterpillar C32 instalados en camiones fuera de carretera 777F utilizan la tecnología ACERT (Tecnología de combustión avanzada para la reducción de emisiones), esta tecnología fue producida inicialmente por Caterpillar a finales del 2004. La finalidad de esta tecnología es controlar de manera precisa la entrega de combustible en la cámara de combustión y de esta manera cumplir con los niveles de emisión permitidos por las normas TIERS (Tier1-Tier4) en los estados unidos y la Stage (Stage I-Stage IIIB) para la unión europea, cuyos objetivos principales son: Reducción de las emisiones de óxido de nitrógeno (NOx) y las de dióxido de carbono (CO₂).

En su ECM (Modulo de control electrónico) los Motores C32, usan tecnología denominada ADEM 4⁴, que es la encargada de la administración avanzada del motor Diesel, en el control del funcionamiento de los inyectores MEUI⁵ durante la combustión. Véase la Figura 1. La cual muestra el esquema de datos de entradas de los diferentes sensores, lo que le permite al módulo conocer durante el funcionamiento del motor las variaciones de: Temperaturas, velocidades, presión de combustible, y presión de refuerzo (entrada de Aire), para luego comparar los valores con parámetros pre establecidos en su memoria y ajustar el tiempo y la cantidad de inyección, logrando una entrega de potencia de acuerdo a los requerimientos de carga, con la eficiencia más alta posible, disminuyendo las emisiones contaminantes mientras mantiene la potencia, rendimiento del motor y la eficiencia del combustible (Uscategui, 2009).

⁴ ADEM 4, Advanced Motor Controller Diesel Engine Management

⁵ MEUI, Mechanical Electronic Unit Injector

Figura 1.

Esquema del Diagrama de control de la combustión ECM Motor C32

Nota: La figura incluye las señales de entrada y salida de información en ECM motor C32.

Tomado de Caterpillar 2007 Control de Inyección manual SERV1828. Se utilizan imágenes sin restricciones de manuales Cat.

La tecnología Adem 4 del ECM le permite tener acceso de primera mano a información importante de las variables del motor, para conocer su estado en general y evaluar el funcionamiento de algunos componentes específicos, toda la información censada puede verificarse mediante el software de Caterpillar ET (Técnico Electrónico).

El software ET permite al usuario mediante los menús: diagnóstico, información, servicio y utilidades acceder a la información almacenada en el ECM del motor, para establecer conexión entre el ECM y el ET, como se veremos en la Figura 2, es necesario tener un adaptador de

comunicaciones y dos cables de conexión, uno que conecta el adaptador con el ECM y el otro conecta el adaptador con el PC, en el PC se debe tener instalado el software ET Licenciado por Caterpillar.

Figura 2

Esquema de comunicación entre el ECM motor y software ET en PC



Nota: Esquema de conexión entre el ECM y el PC tomado de sis cat.com. Se utilizan imágenes sin restricciones de manuales Cat.

Todos los parámetros censados por el ECM para el control de la combustión pueden ser evaluados y visualizados mediante el ET, de las siguientes maneras: en tiempo real, mediante grabación de registros de datos en períodos establecidos por el usuario y descargas de reportes.

De esta forma el usuario podrá tener acceso a información del motor referente a:

- Factor de carga promedio
- Horas de operación (horas)
- Consumo promedio de combustible (gal/hora)
- Temperaturas de admisión y escape (°C)
- Presión del sistema de combustible (psi)
- Presión de refuerzo (aire del sistema) (in_Hg)
- Temperaturas del refrigerante (°C)

- Alarmas referentes al sistema
- RPM promedios

Referente al diagnóstico de componentes, el ET tiene la opción de ejecutar pruebas para verificar, el funcionamiento de los inyectores y la bomba de transferencia en el motor.

- Prueba de los solenoides de inyector.
- Corte de cilindros.
- Presión de combustible (bomba de transferencia).

3.2 Funcionamiento en general del motor

La composición básica del motor Diesel consiste de los siguientes elementos: bloque motor, el conjunto de culata, conjunto pistón, anillos, bielas, cigüeñal, árbol de levas y el amortiguador de vibraciones. Sobre esta composición se alojan cuatro sistemas importantes sistema de lubricación, combustible, refrigeración, admisión y escape. Los cuales se describen a continuación para el C32.

3.2.1 Sistema de lubricación

En el sistema de lubricación una bomba toma el aceite del Carter, lo circula hacia un enfriador, luego es filtrado y recircula internamente en el motor por todos los cojinetes e incluyendo los cojinetes de bancada, bielas, pistón, cigüeñal, eje de levas, engranajes y turbos para finalmente retornar al carter.

Funciones del sistema de lubricación: las funciones principales de este sistema son:

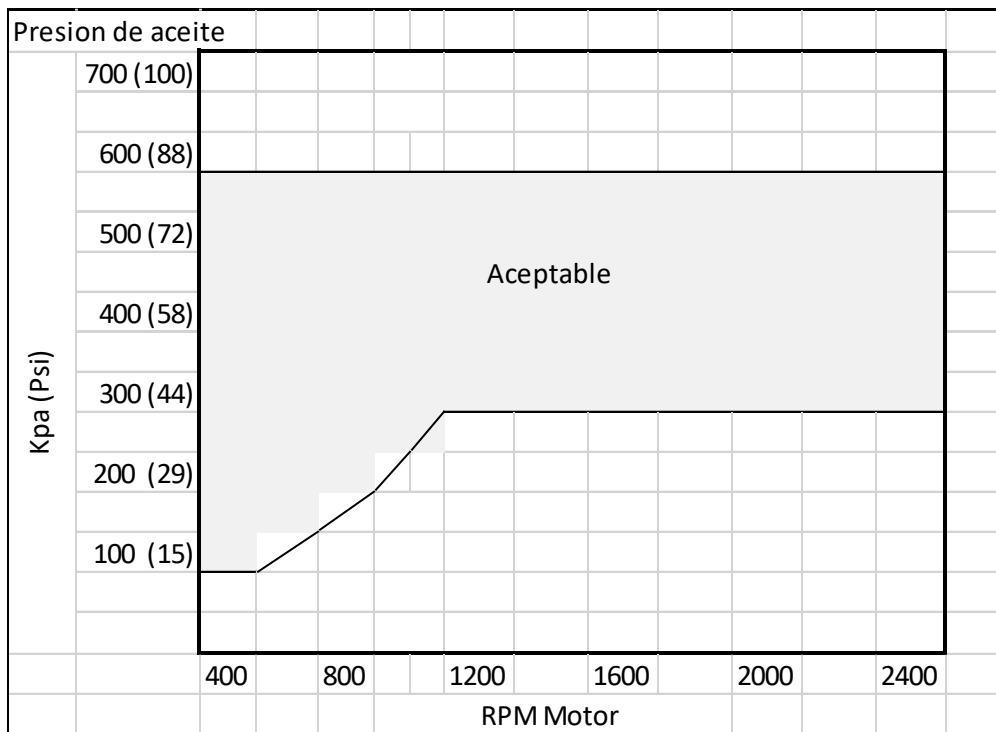
Lubricar, filtrar partículas de desgaste, enfriar y mantener presión de aceite a las diferentes RPM dentro de rango mostrado en la

Figura 3 a continuación, en la

Figura 3

Figura 3

Gráfica presión de aceite Vs RPM del motor



Nota: En la figura se muestra el rango aceptable de presión aceite motor de acuerdo a los rpm actuales del motor realizado por los autores con datos tomados del sis.cat.com 2009, ssnr9937-05.

Se utilizan imágenes sin restricciones de manuales Cat.

3.2.2 Sistema de combustible

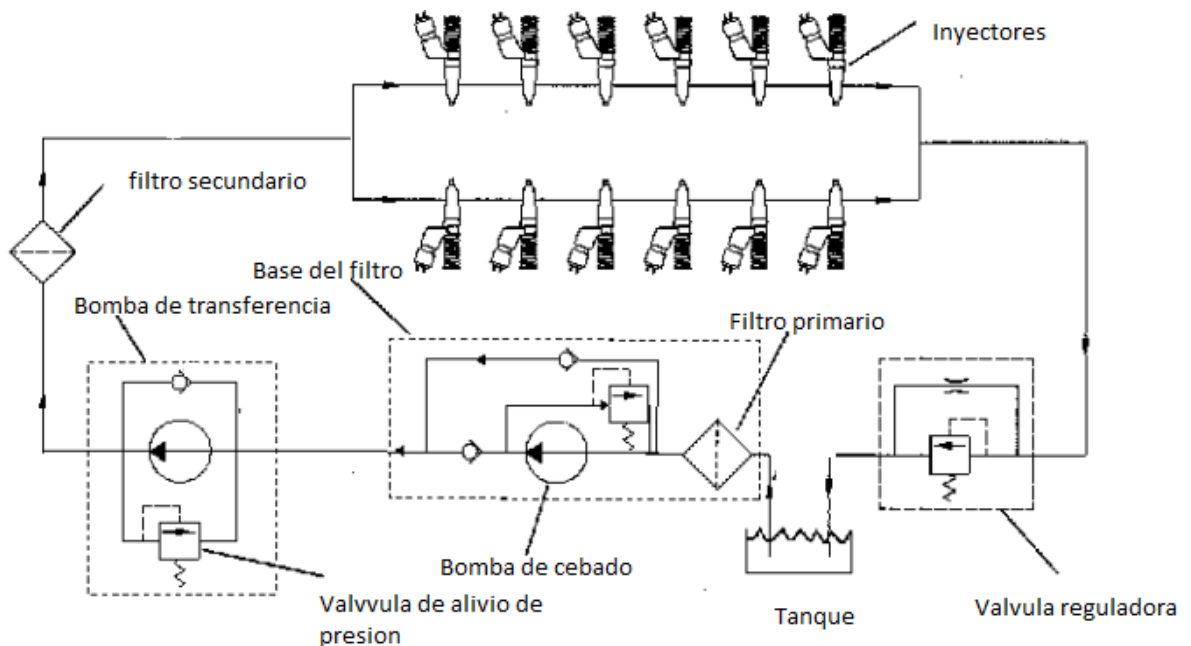
Los componentes del sistema se pueden observar en la Figura 4. La bomba de transferencia succiona del tanque el combustible haciéndolo pasar por un filtro primario y luego por un filtro secundario, luego circula por el motor refrigerándolo, e ingresando a los inyectores MEUI quienes

son controlados (tiempo o duración de inyección) mediante el ECM. En la tubería de retorno al tanque de combustible una válvula limita la presión del sistema.

Funciones del sistema de combustible: Sus principales funciones son refrigerar, filtrar y mantener presión del combustible a 78 psi a bajas rpm en vacío y 93 psi a altas rpm.

Figura 4

Esquema circuito de suministro de combustible



Nota: La figura representa el circuito de suministro de combustible en motor C32 Tomado de Siscat.com ssnr9937-05. Se utilizan imágenes sin restricciones de manuales Cat.

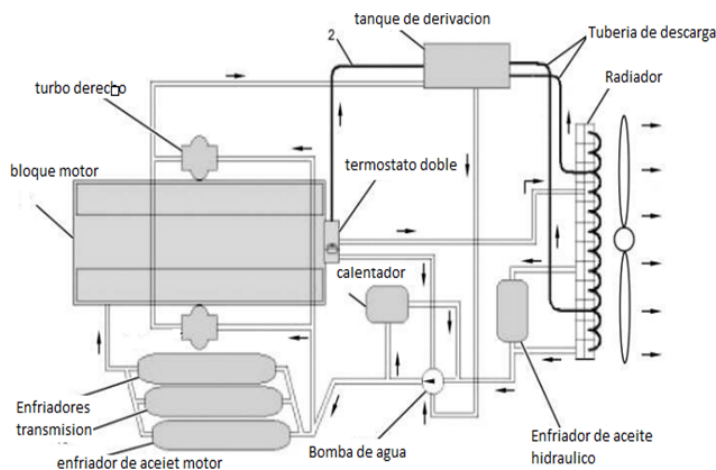
3.2.3 Sistema de refrigeración

El sistema de refrigeración como se ilustra en la Figura 5 utiliza una bomba de agua que suministra refrigerante al enfriador de aceite del motor y a los enfriadores de aceite del tren de

fuerza, luego el refrigerante circula a través del bloque motor y pasa a las cabezas de los cilindros. Una vez sale de la cabeza de los cilindros el refrigerante pasa a la caja del termostato, el termostato dirige el refrigerante hacia la bomba de agua para su recirculación o al radiador para su enfriamiento en función de la temperatura del refrigerante. El refrigerante circula después por el radiador y una pequeña cantidad de refrigerante pasa al enfriador de aceite hidráulico antes de que el refrigerante vuelva a la bomba de agua. Además, hay una pequeña cantidad de refrigerante que pasa a los turbocompresores para su enfriamiento, y después vuelve al tanque de derivación. El refrigerante del tanque de derivación circula después a la bomba del agua de las camisas.

Figura 5

Esquema sistema de refrigeración Motor C32 en camión 777F



Nota: La figura muestra los componentes del sistema de refrigeración y el recorrido del refrigerante en el motor C32 tomado de Sis cat.com,2009 ssnr9937 -05. Se utilizan imágenes sin restricciones de manuales Cat.

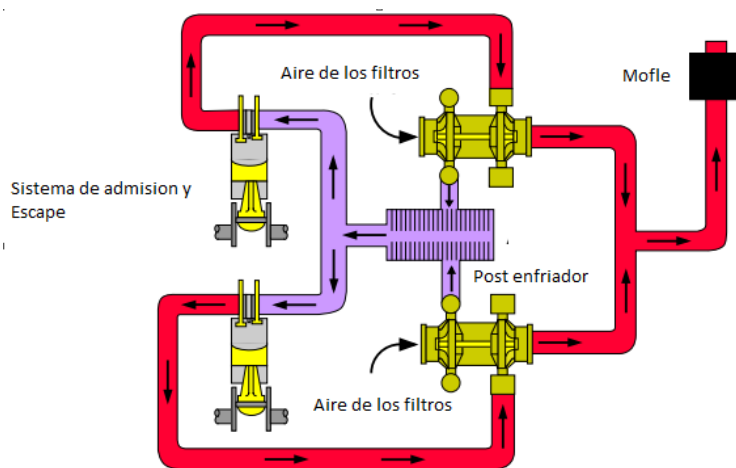
Funciones del sistema de refrigeración: Mantiene presión y estanqueidad del sistema, refrigerar el motor y sus componentes, mantener la temperatura del refrigerante a máximo 110°C

3.2.4 Sistema de admisión y escape

El aire de admisión ingresa por los filtros y pasa al turbo compresor donde se comprime y aumenta su temperatura, luego ingresa a un post enfriador donde un intercambiador de calor enfría el aire de admisión, en esta instancia el aire se encuentra más denso por los efectos de compresión y enfriamiento. El aire se dirige a los cilindros para ingresar por las válvulas de admisión (ciclo de admisión) es comprimido se inyecta el combustible para producir la combustión, luego los gases productos de la combustión salen al abrirse las válvulas de escape, ingresan al múltiple de escape y pasan por la turbina del compresor, el flujo y el calor de los gases hace girar la turbina del compresor, finalmente los gases llegan al silenciador para ser enviados al ambiente como se observa en la Figura 6.

Figura 6

Esquema del circuito de admisión y escape motor C32



Nota: La figura representa los componentes del circuito de aire desde su ingreso (admisión) hasta la salida al medio ambiente (escape) tomado de Caterpillar, global service learning 2007serv1828.

Se utilizan imágenes sin restricciones de manuales Cat.

Funciones del sistema Admisión: El sistema de admisión tiene como principales funciones filtrar el aire de admisión, comprimir, mantener una restricción de aire admisión máxima de 3,7 kPa (15 pulgadas de H₂O) para filtro nuevo y máximo de 6,2 kPa (15 pulg. de H₂O) de filtro usado. Mantener temperatura del aire de admisión máximo a 82°C.

Funciones sistema de Escape: El sistema de escape hace girar la turbina del compresor, y mantiene una máxima contrapresión de gases de escape a 10,0 kPa (40 pulg de H₂O) en silenciadores (mofle) estándar y en máximo 12,4 kPa (50 pulg de H₂O) para silenciadores (mofle) catalíticos temperatura máxima permitida de los gases de escape 760°C.

3.3 Mantenimiento Preventivo

En el mantenimiento preventivo de acuerdo (Gutierrez, 2009) “La función principal es conocer el estado actual de los equipos, mediante los registros de control llevados en cada uno de ellos y en coordinación con el departamento de programación, para realizar la tarea preventiva en el momento más oportuno. Consiste en una serie de actuaciones sistemáticas en las que desmontan las máquinas y se observan para reparar o sustituir los elementos sometidos a desgaste” (P-429).

Todos los equipos Caterpillar cuentan con un manual de mantenimiento preventivo, para el caso del 777F es el manual SEBU7790-12, en este documento se encuentran rutinas de mantenimientos preventivos con las horas de operación a las cuales deben ser realizadas. Cada 250 horas de servicio Caterpillar aconseja la ejecución de mantenimiento preventivos, existen dos formas de ejecutarlo la tradicional o en 8 etapas como se muestra en la Figura 7, a continuación.

Figura 7

Programa de mantenimiento tradicional y de 8 etapas para equipos Cat

Actividad	Intervalo	Tradicional				8 Etapas							
		250	500	1000	2000	Intervalo fijo de 250 hrs- Lavado en cada servicio Mezcla de los servicios de 250/ 500/ 1000/ 2000							
		PM1	PM2	PM3	PM4	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000
				PM1	PM2	PM3	PM4	PM5	PM6	PM7	PM8		
Aceites													
Aceite de motor- Cambio (ORS')	500		X	X	X	X				X			X
Aceite de rueda delantera- Cambio	500		X	X	X	X			X				X
Aceite del Convertidor y transmisión- Cambio	1000			X	X			X					X
Aceite del tanque hidraulico- Cambiar	2000				X			X					
Aceite del sistema de dirección- Cambiar	2000				X			X					
Aceite del diferencial y mandos finales- Cambiar	2000				X					X			
Filtros													
Filtro de aceite de activación de frenos- Reemplazar	500		X	X	X	X			X				X
Filtro de aceite de enfriamiento de frenos- Reemplazar	500		X	X	X	X			X				X
Filtros de aceite de diferencial y mandos finales- Reemplazar	500		X	X	X	X			X				X
Filtro de aceite de motor- Reemplazar	500		X	X	X			X			X		X
Filtro de combustible primario- Reemplazar	500		X	X	X			X			X		X
Filtro de combustible secundario- Reemplazar	500		X	X	X			X			X		X
Filtro del sistema de dirección- Reemplazar	500		X	X	X			X			X		X
Filtro de aceite del convertidor- Reemplazar	500		X	X	X			X			X		X
Filtro de aceite de la transmisión- Reemplazar	500		X	X	X			X			X		X
Filtro de aire primario del motor- Limpiar/ Reemplazar	2000							X			X		X

Basado en las condiciones

Nota: La ilustración muestra las etapas de pm propuestas para equipos Cat e incluye rutinas en motor. Tomado de *Sis* cat.com. best practice wes cat trac.2011. Se utilizan imágenes sin restricciones de manuales Cat.

La diferencia entre los métodos como se observa en la Figura 7, consiste en que, en las 8 etapas, todos los mantenimientos preventivos tendrán la misma duración y se mezclan los servicios, mientras que en la forma tradicional algunos PM tendrán una mayor duración por la carga de trabajos asignada.

El manual de operación y mantenimiento Caterpillar SEBU7790-12 para las 3.000, 6.000, 7.500 y 15.000 horas de operación y con un factor de carga de 40%, recomienda para el motor C32 en camiones 777F las rutinas preventivas listadas a continuación.

- Cada 3000 horas

Limpieza del radiador, ajuste de válvulas e inyectores, cambio tapa del radiador

- Cada 6000 horas

Adición de extender al refrigerante

- Cada 7500 horas (media vida a factor de carga 40%)

Evaluación y reparación componentes sistemas del motor

- Cada 15000 horas (overhaul motor /factor de carga 40%)

Reparación general del motor

3.4 Mantenimiento predictivo

“El mantenimiento predictivo basa sus principios en el conocimiento permanente del estado y la operatividad de los equipos, mediante la medición de diferentes variables. El control que se tiene de estas variables determina la utilización del predictivo. La principal ventaja radica en la velocidad de detección de la avería (en forma anticipada y temprana al hecho)” (Gutierrez, 2009)(P-434)., mientras que en otros casos sólo es posible establecer una frecuencia. A su vez, las acciones predictivas incorporan algunas variables que aumentan la información del estado de los equipos.

El mantenimiento predictivo en la mayoría de los equipos tiene un inconveniente que no es económico, cada maquina suele necesitar instalación de diferentes equipos para la medición de parámetros como lo son presión, carga, caudales, consumos, temperatura... Para el motor Caterpillar C32 con tecnología ACERT de aplicación minera, las pruebas predictivas más realizadas en minas colombianas en función de la predicción de eventos en la combustión son: Análisis de aceites, análisis de temperaturas, evaluación de presión de gases de escape, presión del combustible.

En su sistema de combustible existe una ventaja, la mayoría de las variables de la combustión pueden ser monitoreadas aprovechando la tecnología de monitoreo incluida en su módulo de control electrónico.

3.4.1 *Análisis de aceites*

El análisis de aceites en motores nos permite verificar la concentración de partículas de desgaste en el aceite, las propiedades del aceite y los contaminantes que pueden modificar sus propiedades. El proceso se realiza mediante el análisis de muestras y sus tendencias.

Para disminuir el desgaste a través de análisis de aceites se necesita tener un plan de mantenimiento proactivo donde se tenga el conocimiento de que parte del motor provienen las partículas de desgaste y tener establecido rangos: Normales, de control y críticos para los valores de cada elemento de desgaste.

Tabla 2

Límites de Desgaste en motores instalados en camiones CAT

TABLA DE DESGASTE MOTORES INSTALADOS EN CAMIONES DE LA SERIES 7 CATERPILLAR										
Evaluación	Elemento	769D	773D	777C	777D	777F	789C	793B	793C	793D
	Cobre	0-6	0-4	0-10	0-9	0-7	0-3	0-9	0-42	0-13
	Hierro	0-42	0-32	0-29	0-22	0-22	0-21	0-39	0-26	0-30
	Cromo	0-1	0-1	0-1	0-1	0-2	0-0	0-1	0-1	0-2
NTA	Aluminio	0-3	0-3	0-3	0-3	0-2	0-2	0-4	0-4	0-3
	Plomo	0-4	0-2	0-4	0-3	0-2	0-2	0-2	0-3	0-2
	Silicio	0-6	0-6	0-12	0-8	0-8	0-5	0-5	0-7	0-5
	Estaño	0-7	0-2	0-3	0-3	0-2	0-1	0-0	0-5	0-2
	Cobre	7-9	5-6	11-12	10-11	8-9	4-4	10-13	43-61	14-18

	Hierro	43 – 52	33 – 39	30 – 36	23 – 28	23 – 27	22 – 25	40 – 48	27 – 33	31 – 38
	Cromo	1 – 1	1 – 1	1 – 1	1 – 1	3 – 4	0 – 0	1 – 1	1 – 1	3 – 4
MC	Aluminio	4 – 4	3 – 3	4 – 4	4 – 4	3 – 4	3 – 3	5 – 5	5 – 5	4 – 5
	Plomo	5 – 5	3 – 3	5 – 5	4 – 4	3 – 4	2 – 2	3 – 3	4 – 5	3 – 4
	Silicio	7 – 8	7 – 7	13 – 15	9 – 11	9 – 11	6 – 6	6 – 7	8 – 9	6 – 7
	Estaño	8 – 10	3 – 3	4 – 4	4 – 4	3 – 4	2 – 2	1 – 1	6 – 8	3 – 4
	Cobre	>52	>39	>36	>28	>27	>25	>48	>33	38
	Hierro	>1	>1	>1	>1	>1	>0	>1	1	>4
	Cromo	>4	>3	>4	>4	>4	>3	>5	>5	>5
AR	Aluminio	>5	>3	>5	>4	>4	>2	>3	>5	>4
	Plomo	>8	>7	>15	>11	>11	>6	>7	>9	>7
	Silicio	>10	>3	>4	>4	>4	>2	>1	>8	>4
	Estaño	>52	>39	>36	>28	>27	>25	>48	>33	>38

Nota: La tabla muestra los límites de desgaste del motor Diesel para diferentes elementos en una serie de equipos, donde podemos encontrar el camión 777F la información es un resumen tomado del sis Caterpillar (Caterpillar, S.O.S. Service, 2017). Se utilizan imágenes sin restricciones de manuales Cat.

Caterpillar tiene establecido para cada máquina, los límites de concentración del desgaste en partes por millón para los elementos constituyentes de las partes internas del motor. En la Tabla 2 se observan los rangos de concentración del desgaste para toma de decisiones con código de colores, en donde: (verde NTA) no se requiere tomar acción, (amarillo MC) se requiere la realización de acciones de control y monitoreo, (rojo AR) estado crítico donde se requiere acción inminente. Simplificando el análisis de las muestras

Existen otras propiedades importantes que son analizadas y nos ayudan a conocer el estado del lubricante como lo son:

Viscosidad: Es la propiedad más importante de un lubricante. Se define como la medida de la resistencia a fluir a una temperatura específica en relación con el tiempo. Para Cat una viscosidad aceptable para un aceite 15W40 en cSt. a 100°C es $> 12,4$ y $< 16,4$ (Moscoso, 2011)

TBN: Numero Base Total. Medida total del contenido alcalino presente en el lubricante producto de aditivos que neutralizan la acidez producida en la combustión. Un TBN, relativamente alto es asociado con una mejor protección contra la corrosión en anillos de pistón y camisas de cilindros. El porcentaje de TBN no debe bajar del 50% de su valor original.

Los contaminantes en el aceite pueden dar información del proceso de la combustión. Y en los análisis de aceites podemos obtener información de gran importancia analizándolos. A continuación, se observarán los más representativos para el proceso de combustión (Recinos, 2014).

Porcentaje de dilución: Es un fenómeno causado por combustible no quemado que ingresa al sistema de lubricación del motor, reduciendo la efectividad del lubricante. La dilución por combustible es un problema importante, ya que puede reducir significativamente la viscosidad del aceite, alterando las propiedades de este y así provocar desgaste prematuro en las piezas. La dilución de aceite no debe ser superior al 5 % del porcentaje del peso. (Carpio & Granizo, 2015)

Hollín: Refleja la cantidad de carbón suspendida en el lubricante de un motor. Es producto de una combustión incompleta, por lo que siempre existe una pequeña cantidad. Si por alguna

razón hay deficiencias en el proceso de combustión, aumenta significativamente la cantidad de hollín y combustible no quemado.

Agua y refrigerante: El agua/refrigerante es el segundo contaminante más destructivo presente en el lubricante de un motor de combustión interna. Puede ingresar al sistema por distintas razones, tales como fugas en el sistema de enfriamiento y condensación. Esta sustancia puede encontrarse en tres formas diferentes dentro del aceite: disuelta, emulsionada y libre. En condiciones normales no se debería encontrar un porcentaje de volumen de agua mayor al 0.25% en el aceite y para el refrigerante se tiene un porcentaje de volumen máximo en el aceite de 0.1% (Carpio & Granizo, 2015)

3.4.2 Análisis de temperaturas

El motor cuenta con sensores de temperatura de escape para cada banco de cilindros (derecho e izquierdo) de esta forma se puede realizar verificación de las temperaturas en los dos bancos ejecutando registros de datos en tiempo real y descarga de reportes para definir si se presentan aumentos de temperatura significativos. Caterpillar establece como un límite para temperaturas de escape en motor C32 805 °C, al excederse esta temperatura el ECM genera una alarma de nivel dos la cual genera disminución de potencia del motor (Caterpillar, Service Training Meeting Guide, 2007) sirve como punto de referencia para solicitar una termografía que indique con mayor precisión, cuál de los puestos del motor está presentando una mayor temperatura por entrega excesiva de combustible o si el aire que está ingresando al sistema no está siendo post enfriado correctamente. La temperatura a la cual debe ingresar el aire post enfriado está en aproximada mente 86°C.

3.4.3 Monitoreo de gases Blow By

La prueba de gases de escape o blow by en motores indica el volumen de la masa de los gases de la cámara logran pasar hacia el Carter, esta variable es una buena medida de la integridad de los segmentos y del estado del lubricante, en condiciones normales de operación, las fugas por blow by suelen ser pequeñas en la mayoría de los motores por lo que no es una variable que se mida siempre para hacer diagnóstico de la combustión. Sin embargo, se ha comprobado que en motores pequeños a bajo régimen puede ser superior al 4% de la masa atrapada y superiores al 10% en condiciones de arranque en frío. El gas que pasa al Carter a través de los segmentos es recogido con un conducto y remansado para evitar el flujo pulsante. Tras esto, se mide mediante una tobera calibrada a un medidor de vórtice forzado. El error de dichos equipos puede ser inferior al $\pm 5\%$ (Martin, 2013).

3.4.4 Presión de combustible

En motores C32 de aplicación para camión 777F, la presión de combustible debe ser mantenida cerca 75-100 psi para alcanzar la correcta operación del sistema de acuerdo a (Caterpillar, Fuel System, 2009), presiones por debajo de 75 psi puede presentar fallos en los inyectores por cavitación. El combustible que se suministra al inyector debe tener la presión adecuada, para fluir rápidamente en el inyector, de lo contrario su ingreso al inyector no tendrá la velocidad requerida y se generan burbujas de vacío que implotan internamente en el inyector causando erosión y aparición de fugas internas de combustible. La presión del combustible se puede monitorear realizando grabaciones de esta variable en tiempo real mediante ET y de manera manual instalando un manómetro en el puerto de prueba. Su medición es muy sencilla y puede monitorearse en cada mantenimiento preventivo que se programe en el equipo. Estudios realizados indican que en los fallos de motores la variación de la presión de combustible tiene una alta

relación con el diagnóstico y surgimiento de fallos. Se recomienda establecer entre los límites superiores e inferiores de presión aceptada intervalos de seguimiento preventivo ya que dentro de estos pueden estar iniciando fallos en los componentes del sistema de combustible. (M.Sc. Elio Rafael Hidalgo Batista, 2015)

3.5 Factor de carga consumo de combustible y horas de vida media

Caterpillar de acuerdo con su manual de mantenimiento para camiones 777F SEBU7790-12 (Caterpillar, 2019) establece a las 7.500 Horas o 568.500 L (150.000US gal) el consumo de combustible con un factor de carga de 40%, las labores de reparación o cambio de componentes en la mitad de la vida esperada del motor.

El factor de carga y el consumo de combustible son variables propias de cada equipo y condicionan las horas de intervención en labores programadas de cambio y reparación de componentes, como se describe a continuación.

3.5.1 Factor de carga

Factor de carga se considera la porción de la potencia que usa el motor durante su servicio, este factor es específico del equipo y sus condiciones de operación, al conocer el factor de carga se puede estimar el consumo de combustible que tendrá la máquina. Y calcular horas de mantenimientos basados en consumo.

En caso de no contar con información del régimen de carga, el cálculo de factor de carga lo podemos obtener de acuerdo a (Mario Klanfar, 2016), usando la Ecuación 1 ver a continuación,

Ecuación 1

$$\text{Factor de carga} = \frac{\text{consumo} \left(\frac{l}{h} \right)}{\text{Potencia del motor (KW)} * 0.22 \frac{kg}{kW * h}} * 0.85 \frac{kg}{l}$$

En donde:

Consumo (l/h) (promedio de consumo real). Se debe realizar un control de las adiciones de combustible y las horas de operación. **Potencia del motor** se consulta en las especificaciones del motor. **Densidad del combustible Diesel**. 0,85 kg/l tomado de (Mario Klanfar, 2016), **Consumo Especifico** 0.22 kg/(kW*H) (Mario Klanfar, 2016), indica la eficiencia que tiene un motor para transformar carburante en energía mecánica (cantidad en kilogramos necesaria para obtener cierta cantidad de kilovatios por hora) la última edición previa al artículo realizado (Mario Klanfar, 2016) indica que para motores Diesel el rango va de 0.21 a 0.26 donde los valores altos corresponden a motores con menos eficiencia y menor tecnología. Para motores con tecnología moderna se usa el valor de 0.22. En los motores Caterpillar este valor se puede obtener del test específico del motor (prueba realizada en fabrica).

Para los camiones de acarreo en minas a cielo abierto el factor de carga oscila entre el 20% y el 40% (Mario Klanfar, 2016) a medida que se incrementa el factor de carga nos indica que las condiciones de operación son desfavorables al camión, ejemplo: transito sobre pendientes muy prominentes, sobrecarga de capacidad, deficiente mantenimiento. Un factor de carga del 24% se considera un buen promedio para los camiones fuera de ruta teniendo en cuenta que la mitad de sus ciclos lo ejecutan sin carga y es posible lograr buenas prácticas de operación, mantenimiento del equipo y de las vías por donde circula. Por lo tanto, una vez se tenga conocimiento del factor de carga real del equipo se deben calcular los tiempos en que se ejecutaran los mantenimientos de reparación y cambio de componentes en el motor (media vida y Reparación total).

3.5.2 Vida media

Para los motores C32 la vida media se considera el tiempo en horas de servicio que demorará el motor en llegar al consumo de 568.500 litros de combustible a un régimen de carga específico, para obtener este valor se debe conocer el factor de carga. El cual se puede asumir inicialmente en 0.24 si se cuenta con una estrategia de mantenimiento y operación adecuada. De esta forma se puede despejar de la Ecuación 1 (Factor de carga) el valor de las horas a las que el motor podrá alcanzar el consumo de litros establecido para la media vida (Mario Klanfar, 2016)

$$0.24 = \frac{\text{consumo}\left(\frac{568.500l}{h}\right)}{\text{Potenciadelmotor}(KW) * 0.22 \frac{kg}{kW * h} * 0.85 \frac{kg}{l}} * 0.85 \frac{kg}{l}$$

$$h = \frac{\text{consumo} 568.500l}{\text{Potenciadelmotor}(KW) * 0.24 * 0.22 \frac{kg}{kW * h}} * 0.85 \frac{kg}{l}$$

Para conceptos de planificación el método de cálculo anteriormente citado se puede emplear para establecer una vida media inicial y luego se debe hacer seguimiento con la tecnología de monitoreo que ofrece el motor. Como un valor referencia inicial, se tienen 13.000 horas de operación con un factor de carga de 0.24 y 700 KW de potencia que ofrece el motor C32.

El Módulo de control electrónico del motor permite ver el consumo promedio y el factor de carga, de esta forma se puede monitorear el desempeño, recalcular la vida media, modificar la estrategia de mantenimiento y operación del equipo en caso de ser necesario.

4. Resultados

4.1 Determinación de las horas para la programación del MVMM C32

El MVMM está estructurado para ser implementado en equipos que han cumplido con un plan óptimo de mantenimiento, sus variables críticas han sido monitoreadas y controladas, la operación en campo ha sido monitoreada para cumplir con los estándares de buen uso. Durante su mantenimiento se tengan históricos de los cambios de componentes. Por lo tanto, en la mitad de su vida estratégicamente se evaluarán, cambiarán y ajustarán componentes que son de vital importancia para la combustión con el fin de mantener hasta el fin de la vida esperada un buen desempeño en potencia y economía de combustible.

A modo de ejemplo para calcular las horas de operación a las que el motor alcanza su vida media se utilizará la Ecuación 1 Factor de carga y los datos referentes a consumos y potencia del motor C32 número de serie FZS00779 instalado en camión 777F de uso en Mina la Jagua.

Ecuación 1

$$\text{Factor de carga} = \frac{\text{consumo} \left(\frac{l}{h} \right)}{\text{Potencia del motor (KW)} * 0.22 \frac{kg}{kW * h}} * 0.85 \frac{kg}{l}$$

$$\text{Factor de carga} = \frac{\text{consumo} \left(\frac{l}{h} \right)}{\text{Potencia del motor (KW)} * 0.22 \frac{kg}{kW * h}} * 0.85 \frac{kg}{l}$$

$$h = \frac{\text{consumo} 568.500l}{\text{Potencia del motor (KW)} * 0.24 * 0.22 \frac{kg}{kW * h}} * 0.85 \frac{kg}{l}$$

En la Ecuación 1, las variables que necesitamos obtener, para calcular la vida media en horas de operación del motor en mención son las siguientes:

Factor de carga 24% (0.24)

Consumo específico del motor 0.22 Kg/KW H

Consumo de combustible en el motor para alcanzar la vida media 568.500 L

Potencia neta del Motor 700 KW

A continuación, se describe como se obtuvo para las condiciones de operación y mantenimiento de mina la Jagua en motores C32 instalados en camiones 777F. Cada una de estas variables.

- Factor de carga

Los factores típicos de carga en los motores dependen del tipo de equipo en el que están instalados, su aplicación y condiciones de operación. Para camiones Caterpillar 777F de acuerdo al libro de desempeño técnico (Caterpillar, 2010), el factor de carga oscila en los siguientes rangos de acuerdo a la aplicación y condiciones de operación del equipo.

Bajo: (20%-30%) Funcionamiento continuo a un peso bruto medio del menor recomendado, caminos de acarreo bien mantenidos, Sin sobrecarga. Factor de carga Bajo.

Medio: (30%-40%) Funcionamiento continuo al peso bruto medio cerca del recomendado. Sobrecarga mínima caminos de acarreo en buen estado, factor de carga moderado.

Alto: (40%-50%) Operación continua en o sobre el peso bruto máximo recomendado. Sobrecarga, caminos de acarreo difíciles, alto factor de carga.

En el caso de Mina la Jagua y los equipos de acarreo de carbón 777F se utilizará un factor de carga de 24%. (0.24) se selecciona este valor teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los equipos 777F cumplen con las rutinas de mantenimiento recomendadas por fábrica ver Mantenimiento Preventivo 3.3 en marco Teórico.
- Se tiene control de la presión y estados de las llantas en los equipos. **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**
- Los fluidos de operación en el equipo son los recomendados por fábrica combustible, aceites y refrigerantes. **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**
- Se cuenta con un departamento de monitoreo de condiciones encargado de analizar muestras de aceites (tendencias de desgastes), monitoreo de variables críticas del equipo (sobrecargas, temperaturas, presiones y alarmas). Todo bajo la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad y con el uso de la tecnología producto link de CAT.
- Se realizan análisis de las rutas para el control de pendientes y estados de las vías en general.
- Operadores de los equipos están capacitados para operar el equipo de manera eficiente.
- Se ha comprobado mediante descarga de datos del ECM en motores de equipos 777F que en los camiones de acarreo de carbón operan bajo factores de carga promedio del 24%. Ver

- Figura 9.

Consumo específico del motor

El valor del consumo específico de un motor en particular y otras variables se puede solicitar a Caterpillar, mediante el representante de fábrica que realiza la venta del motor y también se puede solicitar mediante la página www.caterpillar.com/en/contact.html. La Figura 8 a continuación es una muestra de los reportes de pruebas de especificaciones de producto, en este caso de un Motor C32, con número de serie FZ00779. Estas pruebas permanecen almacenadas en la página TMI Web de Caterpillar. Para la realizar identificar el consumo específico de este motor en esta monografía se gestionó la consecución de esta información con el representante Caterpillar en Colombia Relianz, quien suministro el reporte de pruebas de especificación realizado por Caterpillar y donde extrajimos el CSFC consumo de combustible a una velocidad constante (carga a tope) el cual en teoría este valor oscila de 0.21 a 0.26 Kg/KW h para los motores Diesel, siendo los valores menores cercanos a 0.21 los que representan a motores con tecnología enfocada en mejorar la eficiencia de la combustión.

Figura 8

Test de especificaciones motor FZS00779

TEST SPEC [FZS00779]

(FZS00779)-ENGINE (TNM00697)-MACHINE (GGG01170)-TRANSMISSION

OCTOBER 06, 2021

For Help Desk Phone Numbers Click here
(/tmi/tmihome/TMIContactInfo.htm)

Reference Number: 0K7790

Effective Serial Number:

Model: C32 DI TA AAAC

Make from Spec:

Test Spec Data				
Description	Measure	Nominal	Celling	Floor
Corr Full Load Power	hp	1,022	1,053	991
Full Load Speed	RPM	1800	1810	1790
High Idle Speed	RPM	2000	2010	1990
Low Idle Speed	RPM	700	710	690
FL Static Fuel Setting	in	0.318		
FT Static Fuel Setting	in	0.418		
FLS (Intercept)		34		
FTS (Slope)		-15		
Corrected Fuel Rate	GAL/HR	47.9	50.3	45.5
CSFC	LB/HP.H	0.339	0.361	0.320
Adjusted Boost	IN_HG	52.1	60.0	44.3
Torque Check Speed	RPM	1200	1210	1190

Nota: La información de esta tabla fue solicitada por el departamento de planeación camiones Mina la Jagua a representante de fábrica Caterpillar en Colombia Relianz. S.A.

El consumo específico reportado en el test de especificaciones del producto de la Figura muestra tres valores: Nominal, máximo y el mínimo. Para la realización de nuestro cálculo se requiere el uso del máximo teniendo en cuenta que para calcular el factor de carga se utiliza la relación entre el consumo real y el consumo específico con el motor operando a potencia nominal máxima.

Consumo específico conversión de unidades

$$\text{CSFC: } 0.361 \text{ Lb/Hp H} = 0.22 \text{ Kg/kW H}$$

Consumo de combustible en el motor para alcanzar la vida media

Este valor se obtiene de los manuales de mantenimientos de los equipos Caterpillar, para los C32 en camiones 777 F en el manual de operación y mantenimiento. Caterpillar estima que después de consumir 568.500 L de combustible los equipos estarán a mitad de sus horas de operación.

Potencia del motor

Se utilizará la potencia neta del motor, esta se obtiene del manual de especificaciones de la máquina. para este caso es de 700 KW.

Con las variables identificadas se procede a realizar el cálculo de las horas de operación en las que el motor C32 en camión 777F obtendrá la mitad de su vida en Mina la Jagua

$$h = \frac{\text{consumo } 568.500 \text{ l}}{700(\text{KW}) * 0.24 * 0.22 \frac{\text{kg}}{\text{kW} * \text{h}} * 0,85 \frac{\text{kg}}{\text{l}}}$$

$$h = 13.074 \text{ Horas}$$

El factor de carga en los equipos a aplicar el MVMM debe ser confirmado para garantizar que las horas calculadas estén acordes al régimen de carga real. Mediante el software ET y la tecnología de control del ECM podemos monitorear este factor y visualizarlo al descargar un reporte de estado del producto donde se puede obtener la información de las variables actuales, monitoreadas y calculadas por el ECM del motor C32. A continuación, se ilustra un reporte de estado del producto (camión 777F TNM00559). Enfocado en la información referente al motor C32 S/N FZS00779, a las 10.191 horas de operación. Como se puede observar el motor instalado maneja un factor de carga promedio del 24% lo cual justifica el cálculo de las horas para la programación del MVMM.

Figura 9

Imagen resumen de descarga reporte estado del producto Motor FZS00779



Cat Electronic Technician 2021A v1.0
 Product Status Report
 09/18/2021 14:17:31 undefined

Product Status Report

Parameter	Value
Product ID	TNM00559
Equipment ID	-
Comments	-

C32 777 (FZS00779)

Parameter	Value
Número de serie del ECM	15636005VA
Número de serie del motor	FZS00779
Identificación del equipo	M3-44
Número de pieza del grupo del software	5965026-00
Descripción del grupo del software	C32-777
Fecha de publicación del grupo del software	AUG20

Current Totals - C32 777 (FZS00779)

Description	Value	Unit
Tiempo de marcha en vacío total	4028.21	horas
Combustible total	132846	gal
Combustible de marcha en vacío total	9462	gal
Combustible máximo total	515775	gal
Factor de carga promedio	24	%
Total de horas de operación	35830	horas
El motor arranca	5450	-
Revoluciones totales en la vida útil del motor	707297584	rev
Arranques/Hora	0,53	-
RPM promedio	1156,74	rpm
Porcentaje de tiempo de velocidad en vacío	39,53	%
Promedio de consumo de combustible	13,04	gph
Factor de carga general	25	%
Horas de duración total del motor	10191,0	horas
Recuento total de paradas demoradas del motor	260	-
Recuento total de paradas del motor en vacío	129	-
Recuento total de anulaciones de parada en vacío del motor	1952	-
Recuento total de anulaciones de parada retardada del motor	12	-

Nota: Descargado de software ET directamente de la maquina se observa el factor de carga promedio.

4.2 Selección de los componentes a intervenir en el motor durante el MVMM.

- Los motores C32 instalados en camiones 777F de Caterpillar utilizan la tecnología Acert para controlar la combustión y cumplir con las normas de emisiones Tier 2. La tecnología Acert mediante su sistema de monitoreo utiliza una computadora ECM, para recibir señales de entrada de sus sensores y entrega señales de salida a los inyectores controlando la cantidad de combustible inyectado y la energía que se libera en la combustión para la consecución del torque que se entregara al tren de potencia en el camión. Las variables citadas a continuación son monitoreadas por el ECM verificando su operación en rangos específicos indicados en la Tabla 3, al salirse las variables de su rango de operación, el funcionamiento y la combustión en el motor perderán eficiencia, en estos casos el ECM genera alarmas y disminuye la potencia del motor para indicar que se debe corregir el evento causante de la variación.

La finalidad del control de estas variables es garantizar la correcta entrega de oxígeno (aire), combustible (Diesel) y que la temperatura del motor (calor) sea la adecuada para el proceso de la combustión. Durante la operación del equipo se puede identificar la salida del rango de las variables mediante alarmas en cabina del operador. Caterpillar maneja alarmas con diferentes niveles, Nivel 1,2 y 3 cada nivel tiene una forma de ser identificado en cabina, mediante indicadores de luces y alarmas sonoras que informan al operador sobre la ocurrencia de un evento. En el caso de las variables monitoreadas en el motor cada nivel indica la salida de la variable de un rango específico y se verá reflejado en una pérdida de potencia a partir de alarmas tipo nivel 2 como se indica en la Tabla 3.

En los camiones 777F de Mina la Jagua se tienen históricos de aumento de alarmas de nivel 2 y eventos de pérdidas de potencia asociados a fallas en turbos e inyectores a partir de las 13000 horas de operación, por lo tanto, los componentes de los sistemas de aire (admisión, escape) y de

suministro de combustible, al que pertenecen turbos e inyectores estarán incluidos como los componentes con mayor influencia en la combustión. Adicionalmente Caterpillar, en su manual de mantenimiento sugiere en equipos con un factor de carga del 40% a las 7500 horas de operación (Horas vida media del motor para factor de carga 40%) la ejecución de las siguientes tareas:

- Inyectores (cambio)
- Turbos (cambio)
- Bomba de agua (inspección).

De esta forma el sistema de refrigeración con su mayor representante la bomba de agua entra en la selección de los componentes a intervenir durante el MVMM, es decir en resumen el MVMM tendrá énfasis en los componentes de los sistemas de aire, combustión y refrigeración.

Tabla 3

Variables de control de potencia usadas en ECM motor

Variables Control de Potencia	Condicional Operativo	Unidades Rango	Alarma Nivel 1	Alarma Nivel 2	Alarma Nivel 3	Perdida de Potencia Alarma Nivel 2	Alarma Nivel 3 motor se apaga
			Rango	Rango	Rango		
Temperatura refrigerante		°C	110 - 111	111 - 114		20% - 100%	
Temperatura gases de admision		°C	82 - 86	86 - 92		3% - 20%	
Temperatura gases de escape		°C	760 - 805	805 - 840		10% - 75%	
Presion de aceite motor	RPM (Motor) >1600	Psi	presion < 22		presion < 15	35%	X
Restriccion aire de admision	30 segundos	Kpa	7,5 - 9,0	9,0 - 16,0		20%	
Temperatura de combustible		°C	90 - 91	91,0 - 92,2		25%	
Restriccion filtros de combustibles	Temp. diesel >30°C	Psi	20 (4 horas)	20 (5 horas)		35%	

Nota: Esta tabla es un resumen de información tomada de (Caterpillar, Service Training Meeting Guide, 2007) y los manuales de operación de sistemas, pruebas y ajustes del camión 777F. Se utilizan imágenes sin restricciones de manuales Cat.

Para el plan MVMM planteado en esta monografía se realiza una revisión en maquina y motor de los componentes que afectan las variables que controla el ECM de acuerdo al funcionamiento de los sistemas de motor, teniendo en cuenta la descripción del funcionamiento descrita en el marco teórico de esta monografía. Ver Funcionamiento en general del motor Funcionamiento en general del motor pag.26.

El mantenimiento vida media planteado se realizará en los talleres de la Mina por lo tanto no incluye tareas que requieran la remoción total del motor (actividades de overhaul). De igual manera se tiene en cuenta las horas estimadas para cambio de componentes que se manejan en Mina la Jagua. De esta forma se estructuro la Tabla 4, donde se visualizan los componentes de los diferentes sistemas del motor, cuyo funcionamiento influye en la correcta operación de las variables de control descritos en la Tabla 3: Presiones y temperaturas de admisión, escape combustible y refrigerante.

Para cada componente seleccionado se tomaron las horas de cambio establecidas en el Proyecto Mina la Jagua para establecer que componentes deben ser cambiados y el concepto por el cual se cambia (Overhaul, Vida media, PM, por condición). Adicional a los componentes recomendados por históricos de fallas a las 13000 horas y el manual, se realizó una evaluación general de componentes del motor.

Selección de componentes

La selección de componentes queda resumida en la Tabla 4 de todos los sistemas del motor Refrigerante, combustible, admisión, escape, lubricación, motor básico, arranque, accesorios se listaron los componentes principales se identificó su ubicación en la maquina o motor, y las variables de control de la combustión que afectan, siendo este el criterio principal de selección,

luego se verificaron sus horas de cambio y se definió el tipo de tarea a ejecutar (cambio y evaluación).

Con los componentes que afectan las variables de control de la combustión identificados y las tareas ejecutar en ellos durante el MVMM se realizó el proceso de selección, resumido a continuación.

Tabla 4*Resumen Proceso de Selección componentes a intervenir MVMM C32*

Componente	Ubicación (Motor /Maquina)	Sistema al que pertenece	Variable que afecta en sistema	Horas Para Cambio	concepto del cambio	Tipo de Tarea a Ejecutar	
						Cambio	Evaluacion
Bomba de agua	Motor	Refrigerante	Temperatura	26000	Overhaul		x
Termostato	Motor		Temperatura	13000	Vida Media	x	
Radiador	Maquina		Temperatura	26000	Overhaul		x
Inyectores	Motor	Combustible	Presion / Temperatura	13000	Vida Media	x	
filtros	Motor		Presion	250	PM	x	
Conjunto balancin inyector	Motor		presion	26000	Overhaul		x
Bomba de transferencia	Motor		presion	26000	Overhaul		x
Líneas	Maquina/ Motor		presion	13000	Vida Media	x	
Valvula Retorno	Motor		presion	26000	Overhaul		x
Turbo	Motor		Admision	Presion/Temperatura	13000	Vida Media	x
Post Enfriador	Maquina	Temperatura		26000	Overhaul		x
filtros	Maquina	presion		250	PM	x	
Valvulas	Motor	presion		26000	Overhaul		x
Ductos / Mangueras	Maquina/Motor	presion			por condicion		x
Ductos / Mangueras	Maquina/Motor	Temperatura			por condicion		x
Escape	Maquina	Escape	Temperatura		por condicion		x
Valvulas	Motor		Presion	26000	Overhaul		x
Bomba de aceite	Motor		Lubricacion	Presion	26000	Overhaul	
Intercambiador	Motor	Temperatura		26000	Overhaul		x
Filtros	Motor	Presion		500	PM	x	
Eje cigüeñal	Motor	Motor basico	N/A	26000	Overhaul		
Arbol de levas	Motor		N/A	26000	Overhaul		
Pistones	Motor		N/A	26000	Overhaul		
bielas	Motor		N/A	26000	Overhaul		
Bloque motor	Motor		N/A	26000	Overhaul		
culata	Motor		N/A	26000	Overhaul		
carter	Motor		N/A	26000	Overhaul		
Damper	Motor		N/A	26000	Overhaul		
correas de distribucion	Motor		Temperatura		por condicion		x
Baterías	Motor		Arranque	N/A	4000	PM	
Alternador	Motor	N/A		8000	PM		
Motor de arranque	Motor	N/A		8000	PM		
Compresor	Maquina/Motor	Accesorios	N/A	15000	PM		

Nota: Tabla elaborada para esta Monografía

4.3 Determinación del alcance del MVMM en cada componente seleccionado

En esta fase se agruparon solo componentes seleccionados para al plan de mantenimiento, es decir aquellos que con su funcionamiento condicionan el comportamiento de las variables que se monitorean en el ECM para el control de la combustión y desempeño del motor.

La pérdida de la funcionalidad de estos componentes afecta directamente los tres elementos (aire, combustible, temperatura) necesarios para la combustión interna del motor, la **Tabla 5**

Para programar el técnico debe diligenciar el formato de backlog donde describe el evento encontrado, la acción a ejecutar para solucionarlo, el listado de repuestos, y las herramientas necesarias. Este formato debe ser entregado al supervisor para su autorización y enviado a planeación para su programación futura.

Tabla 5 resume la información de los manuales pruebas, ajustes y operación sobre las variables funcionales de los componentes seleccionados y sus rangos de operación máximos y mínimos. Durante MVMM se verificarán estos rangos y se define el alcance del mantenimiento a ejecutar durante el MVMM el cual consiste en tareas de cambio, evaluación y programación definidas a continuación.

Cambio: Durante la planificación del MVMM algunos componentes a intervenir tendrán su vida útil cumplida es decir estarán en periodo de cambio por horas, el planeador verificará e identificará estos componentes y los programara para cambio en el plan. De igual forma durante la ejecución de la evaluación de un componente se llega a la conclusión de que su condición no es reparable y su estado actual compromete seguridad del equipo y la del operador se debe realizar el

cambio de este durante el MVMM. Previa autorización del supervisor y superintendente de mantenimiento.

Evaluación

Consiste en el proceso de medición, revisión y ajuste de las variables de funcionamiento de los componentes seleccionados. Todos los componentes seleccionados tienen unas variables que deben ser **medidas**, registradas y comparadas con sus valores máximos y mínimos especificados por fábrica. Para la medición de cada variable se utilizan pruebas y herramientas específicas, esta medición permite saber si el componente se encuentra desarrollando correctamente sus funciones, en caso de encontrarse variables fuera del rango se debe ejecutar una **revisión**, esta consiste en verificar la causa por la cual el componente ha perdido su función, una vez identificada la causa se procede a realizar ajustes o cambios de acuerdo a criterio técnico. **Los Ajustes** consisten en realizar: Calibraciones, reemplazo de empaquetaduras, y reparación de elementos afectados, para lograr recuperar la funcionalidad del componente, si con los ajustes no es posible recuperar la funcionalidad del componente y esto afecta el equipo y puede comprometer la seguridad del operador, se procederá a realizar el cambio.

Programación

La ruta crítica del MVMM debe seguirse para el cumplimiento de los tiempos del plan, por lo tanto, no se podrán ejecutar todas las correcciones de condiciones subestándar encontradas durante las evaluaciones realizadas durante la ejecución del plan. Los componentes cuyas variables de funcionamiento se encuentren fuera de especificaciones y su condición no se considere crítica y

comprometa la seguridad del operador y la máquina. Pueden ser programados, mediante la creación de un formato Backlog⁶ (formato de reserva) para su reparación futura.

Para programar el técnico debe diligenciar el formato de backlog donde describe el evento encontrado, la acción a ejecutar para solucionarlo, el listado de repuestos, y las herramientas necesarias. Este formato debe ser entregado al supervisor para su autorización y enviado a planeación para su programación futura.

Tabla 5

Rangos Max y Min. De las variables en componentes seleccionados y alcance del MVMM

⁶Formato Backlog, Formato de reserva para solicitar partes de eventos que deben programarse a futuro.

Componente	Herramienta		Estado del Equipo	Variable	Especificacion Fabrica	Cambio	Evaluacion			Programar
	Descripcion	P/N					Medicion	Revision	Ajuste	
Bomba de agua	Manometro de aire	6V7775	Operativo	Presion interna Bomba de agua	Minimo 100 kPa (15 lb/pulg2) a 700 RPM					
Radiador	Pirometro	164-3310	Operativo	Delta de temperatura radiador	Entre 4,5° a 11° C					
	Bomba de presion	9S-8140	Apagado	Estanquidad del Radiador	Cero fugas Externas a Presion de 20 Kpa a (3 lib /pulg2) por encima de la presion de apertura valvula alivio del radiador					
Termostato	Pirometro y recipiente	164-3310	Apagado	Temperatura de apertura Maxima	Apertura maxima 92 °C					
Inyector	ET software+ comunicador	478-0235	Apagado	Funcionamiento circuito electrico y solenoide (Continuidad)	Pruebas activacion Solenoides ET (ok -not ok)					
	ET software+ comunicador	478-0236	Operativo	Funcionamiento Mecanico del inyector (entrega de combustible)	Pruebas cortes de cilindros ET (ok -not ok)					
			Apagado	Estado fisico del inyector	Señales de Oxidacion, sellos desgastados, excesivo Hollin, decoloracion excesiva en cuerpo inyector					
	Calibrador de inyector	9U-7227	Apagado	Altura del inyector	78,0 ± 0,2 mm (3,07 ± 0,01 pulg)					
Filtros, ductos , Bomba de combustible y valvula de retorno					Bajas Rpm en vacio 538 Kpa (78 lb/Pulg 2)	Filtros				
	Manometro digital	198-4240	Operativo	Presion de combustible	Altas RPM en vacio 641 Kpa(93 lb/ Pulg 2) Presion minima no debe ser inferior a 241 Kpa (35 lb / pulg 2)					
Turbo	Manometro digital	198-4240	Operativo	Presion de Refuerzo	Min Altas RPM 203,2 Kpa Min Bajas RPM 150,0 Kpa					
			Apagado	Funcionamiento mecanico compresor (Holgura entre caja y rueda compresora	La rueda compresora debe girar sin rozar la carcaza (giro libre)					
			Apagado	Funcionamiento mecanico turbina (holgura entre caja e impellers de la turbina)	las aspas de la turbina no deben rozar la carcaza (giro libre)					
			Apagado	Estanquidad de aceite	Carcasas de turbina y compresor no deben presentar lodos de aceites al igual que el postenfriador					
Filtros y ductos de aire entre	Grupo presion Motor	1U-54 70	Operativo	Restriccion filtro usado	Max 6,2 kPa (15 pulg de H2 O)	Filtros				
				Restriccion filtro nuevo	Max 3,7 kPa (15 pulg de H2 O)					
Postenfriador	Grupo presion Motor	1U-54 70	Operativo	Caida de presion Post enfriador y ductos	Caida maxima de presion 15,2 Kpa (4,5 pulg hg)					
Valvula de admision	Calibrador de laminas	1U-7234	Apagado	Juego Valvula de admision	0,38 ± 0,08 mm (0,015 ± 0,003 pulg)					
Ductos de escape silenciador y convertidor Filtros	Grupo presion Motor	1U-54 70	Operativo	Contrapresion de escape Silenciador Estandar	Max 10,0 kPa (40 pulg de H2 O)					
				Contrapresion de escape Silenciador Catalitico	Max 12,4 kPa (50 pulg de H2 O)					
	Termometro Infrarojo	164-3310	operativo	Contrapresion de escape Temperatura de escape	Max 25 kPa (100 pulg de H2 O) Max 760°C					
Valvula de Escape	Calibrador de laminas	1U-7234	Apagado	Juego Valvula de Escape	0,76 ± 0,08 mm (0,030 ± 0,003 pulg)					
Sistema de lubricacion Filtros Bomba y Vlvula	Grupo presion Motor	1U-5470	Operativo	Presion del sistema	100 Kpa (15 psi) a 600 Kpa (88psi) de acuerdo a RPM Motor	Filtros				
Correas de Distribucion				Condicion fisica	No se debe encontrar desgaste irregular, grietas desilamiento					
Lineas y Ductos				Condicion fisica	Verificar ausencia de Grietas, ajuste de abrazaderas, desgaste externo					

Nota: En la tabla se observa para los diferentes componentes, variables y especificaciones de fábrica que serán verificadas en el equipo, adicionalmente se registra con que herramienta se puede medir la variable, en que condición debe estar el equipo para su prueba y se resalta en verde las posibles tareas a ejecutar en el componente.

Con la información definidas en la Tabla 5 adicionalmente

Para programar el técnico debe diligenciar el formato de backlog donde describe el evento encontrado, la acción a ejecutar para solucionarlo, el listado de repuestos, y las herramientas necesarias. Este formato debe ser entregado al supervisor para su autorización y enviado a planeación para su programación futura.

Tabla 5 podemos identificar las variables a medir, los instrumentos de medición necesarios, herramientas especiales y condiciones operativas del equipo y los tipos de tareas que definen el alcance del MVMM, con esta información podemos dar paso a la creación de la hoja de ruta del plan.

4.4 Creación de la hoja de ruta para el Plan MVMM C32 en camiones 777F

El diseño de el plan MVMM del motor C32, se estructura en una hoja de ruta donde se describirán las secuencias de operaciones necesarias y donde se determinarán todos los recursos e información necesaria para su ejecución. La hoja de ruta es diseñada en formato Excel y la información base para su diseño en el MVMM son: el título la justificación y las operaciones los cuales describiremos a continuación:

Título del plan:

Diseño Plan de Mantenimiento Vida Media en Motor C32 para Camión 777F CAT

Justificación.

Después de alcanzar un consumo de combustible de 568.500 Litros a un factor de carga de 24% en los motores C32 de los camiones 777F de mina la Jagua, los equipos acumularan un valor aproximado de 13.000 horas lo que definimos como vida media del motor , en este momento

es necesario verificar que los parámetros de presión y temperatura para el aire, combustible y refrigerante en el motor estén dentro de lo especificado para garantizar una combustión eficiente que continúe hasta su fin de vida. Esta verificación se realizará mediante un plan MVMM que se centrará en componentes del sistema motor cuyo funcionamiento influye directamente sobre las variables mencionadas. Este plan contemplará el estado actual de cada componente (horas de usos) y las variables máximas y mínimas que regulan su funcionamiento para realizar actividades de cambio, evaluación y programación encaminadas en mantener las variables de control de la combustión que regula el ECM dentro de lo especificado para mantener la potencia y el consumo de combustible en condiciones óptimas.

La mitad de la vida del motor para los 777F coincide con las frecuencias de cambios de componentes como turbos, inyectores y termostatos, el desgaste de estos componentes los ubica en límite de falla y compromete el desempeño de los sistemas del motor, al llegar al grado de disminuir la confiabilidad del equipo si no se toman acciones. Por este motivo El MVMM de manera estratégica establece un plan de acción sobre estos componentes. y los sistemas del motor en general para consolidar una detención realizable en los talleres de La mina.

Listado de operaciones a realizar durante el mantenimiento.

El listado de actividades es definido en la planificación del MVMM se centra en 5 tareas principales, cada una con un subgrupo de tareas dispuestas en serie o paralelo organizadas en el por el planeador y descritas a continuación.

Planificación Actividad preliminar del MVMM

La planificación del MVMM es llevada a cabo por el planeador, con la ayuda del programador y el analista de confiabilidad. Una vez finalizado, es autorizado por el superintendente encargado del mantenimiento del equipo. La tarea planificación consiste en crear el diagrama de Gantt con la ruta crítica donde se incluyen todas las tareas a ejecutar (cambio /Evaluación) y los recursos necesarios para su ejecución. La planificación termina y da paso a la ejecución cuando el plan es aprobado y todos los recursos están disponibles en sitio para llevar a cabo el MVMM. La organización y solicitud previa de recursos condiciona la planificación y el inicio del proyecto, en Mina la Jagua esta actividad suele durar aproximadamente 45 días teniendo en cuenta que algunos repuestos deben ser solicitados y el tiempo transcurrido entre solicitud y entrega en el departamento de compras es de 30 días para solicitudes normales.

Acondicionamiento del equipo para ingreso al MVMM

Consiste en actividades de limpieza inspección y bloqueo realizadas al equipo para verificar que existan condiciones estándar para el ingreso al taller; este paso busca asegurar la seguridad de las personas y el equipo en el taller.

Ejecución de evaluaciones con equipo operativo

Durante esta tarea principal se agrupan las mediciones de parámetros físicos, presiones y temperaturas que deben ser realizadas con el equipo operativo y motor encendido, adicionalmente se realiza el barrido o limpieza del sistema de refrigeración.

Cambios y Evaluación de componentes equipo apagado

Esta tarea principal agrupa todas las sub tareas que se ejecutan con la máquina desenergizada y el motor apagado consiste en inspecciones, cambio de filtros, componentes planeados y por condición evidenciada durante las pruebas. Al finalizar este paso el equipo queda armado listo para recibir los fluidos (aceite y refrigerante).

Pruebas y entrega de equipo

Una vez realizadas las evaluaciones y las tareas de cambio, el equipo se encuentra listo para recibir el refrigerante y la adición de combustible y aceite necesaria. Una vez completado los niveles se realiza el encendido del equipo y se verifica que no existan fugas, se comprueban las RPM y la ausencia de alarmas en los sistemas del motor, para finalmente entregarlo operativo.

Diseño de la hoja de ruta

La hoja de ruta, lista las operaciones que se realizarán y en el orden en que serán ejecutadas durante el MVMM. Para cada una de estas tareas se incluye el tipo de operación (limpieza, evaluación cambio, calibración ...), el número de técnicos que intervienen y su especialidad, horas de duración de la operación, costos de obra labor, manuales, formatos, insumos, herramientas y la cantidad de repuestos necesarias para la labor.

Los manuales usados para el MVMM son los siguientes: SSNR9937 (Pruebas y ajustes), SEBP5024 (Manual de partes), SEBU7790 (Manual de Operación y mantenimiento), SEBD0518 (conocimiento sistema de refrigeración), RENR9577 (Arme y desarme), SEBD6729 (Measuring Exhaust Back Pressure), SEBU6250 (Recomendación fluidos motores CAT), RENR8307 (plano eléctrico).

Costo obra labor

Para el costo obra labor se tomó el total del salario de cada especialidad Mecánico, electricista y operador (\$5.000.000), técnico Lavador (\$3.000.000) y se calculó el valor de una hora de labor para cada uno (mecánico, electricista operador \$20.833/lavador \$12,500), el costo labor se calcula multiplicando la duración de la tarea por las horas de labor de cada especialidad.

Tabla 6
Hoja de ruta MVMM C32 Camión 777F

HOJA DE RUTA PARA MVMM C32 Camión 777F													
<i>Operación</i>	<i>Tipo de operación</i>	<i>N° Técnico</i>	<i>Especialidad</i>	<i>Horas operación</i>	<i>hora s labor</i>	<i>Costo Obra labor</i>	<i>Manual</i>	<i>Formato</i>	<i>Insumos</i>	<i>Herramientas</i>	<i>Repuestos</i>	<i>P/N</i>	<i>Cant.</i>
Acondicionamiento del equipo para el ingreso al MVMM													
Lavado	01 limpieza	2	Lavador	2	4	50.000			Detergente desengrasante industrial elementos de limpieza cepillos trapos	Máquina de presurización de agua rango de presión 25 a 30 psi			
Inspección de motor	02 revisión	2	Mecánico	2	4	83.332		Lista de verificación ítems del 1 al 17		Caterpillar ET			
		1	Electricista		2	41.666							
Ingreso al taller / bloqueo de seguridad	03 bloqueo Energías	2	Mecánico	0,33	0,66	13.749			Cuñas de Bloqueo 2 Candado 1 por cada técnico Tijeras y etiquetas de bloqueo 1				
		1	Electricista		0,33	6.874							
		1	Operador		0,33	6.874							

Ejecución de evaluaciones equipo operativo												
Calentamiento del equipo (temperatura de operación).	04 evaluación equipo operativo	1	Mecánico	2	2	41.666		Lista de Verificación ver nota ítems del 19 al 23		Caterpillar ET		
		1	Electricista	1	1	20.833						
		1	Operador	2	2	41.666						
Presión interna bomba de agua	04 evaluación equipo operativo	2	Mecánico	0,5	1	20.833	SSNR993 7	Lista de verificación ítem 24		Manómetro de Aire 6V7775		
presión de combustible/ Bomba filtros válvulas	04 evaluación equipo operativo	2	Mecánico	0,5	1	20.833	SSNR993 7	Lista de verificación ítem 25		Manómetro Digital 198-4240		
Diferencia de presión / Filtros de admisión	04 evaluación equipo operativo	2	Mecánico	1	2	41.666	SSNR993 7	Lista de verificación ítem 26		Grupo presión Motor 1U-5470		
presión de refuerzo /Turbo Derecho	04 evaluación equipo operativo	2	Mecánico	0,5	1	20.833	TMI	Lista de verificación ítems 27 y 28		Manómetro digital 198-4240		
presión de Refuerzo /Turbo Izquierdo	04Evaluación equipo operativo	2	Mecánico	0,5	1	20.833	TMI			Manómetro digital 198-4240		
presión Diferencial / Postenfriador	04 evaluación equipo operativo	2	Mecánico	0,5	1	20.833	SEBD672 9	Lista de Verificación ítem 29		Grupo presión Motor 1U-5470		
presión Diferencial/ Escape (Silenciador)	04 evaluación equipo operativo	2	Mecánico	0,5	1	20.833	SEBD672 9	Lista de Verificación ítem 30		Grupo presión Motor 1U-5470		

Presión Diferencial/ Escape (Filtros de partículas)	04 evaluación equipo operativo	2	Mecánico	0,5	1	20.833	SEBD6729	Lista de Verificación n ítem 31		Grupo presión Motor 1U-5470			
Delta Temperatura / Radiador	04 evaluación equipo operativo	2	Mecánico	0,5	1	20.833	SEBD0518-09	Lista de verificación n ítem 32		Termómetro Infrarrojo 1643310			
Presión / Bomba filtros válvulas de lubricación	04 evaluación equipo operativo	2	Mecánico	2	4	83.332	SSNR9937	Lista de verificación n ítem 33		Grupo presión Motor 1U5470			
Funcionamiento Electromecánico de Inyectores	04 evaluación equipo operativo	1	Electricista	2	2	41.666	SSNR9937	Lista de verificación n ítems 34 y 35		Caterpillar ET			
Revisión fugas sistema de enfriamiento	05 cambios y Evaluaciones equipo apagado	2	Mecánico	3	6	124.998	SSNR9937	Lista de verificación n ítem 36		Bomba 9S8140			
Ejecución Limpieza sistema de refrigeración	04 evaluación equipo operativo	2	Mecánico	3	6	124.998	SEBU7790	SEBU6250	210 litros de agua (55 gal). caneca de 55 gal vacía cant 2. limpiador Cat para método limpieza rápida P/N 4C4612 cant. 1. P/N 4C4611 cant. 1	Cajas de Herramientas básicas			

Cambios y Evaluación de componentes equipo apagado													
Drenaje de Niveles	05 cambios y Evaluaciones equipo apagado	2	Mecánico	2	4	83.332	SEBU7790		Caneca de 55 gal vacía cant.1	Cajas de Herramientas básicas			
Cambio y/o evaluación de Termostatos	05 cambios y Evaluaciones equipo apagado	2	Mecánico	2	4	83.332	SSNR9937	Lista de verificación ítem 37	Agua Calentador recipiente de aluminio	Termómetro infrarrojo 1643310	Termostatos	2485513	2
											Sello	1075769	2
											Sello de labio	3S9643	2
											sello	1090076	2
Evaluación y Cambio de Turbos derecho e izquierdo	05 cambios y Evaluaciones equipo apagado	2	Mecánico	5	10	208.330	SSNR9937	Lista de Verificación ítem 38 y39		Cajas de Herramientas básicas	Turbo	2506904	2
											Empaque	1S4295	2
											Tornillo	2N2765	8
											Tuerca	2N2766	8
											Buje	1149223	4
											Abrazadera	1616963	4
Abrazadera	9N1941	4											
Evaluación y /o Reparación de bomba de agua	05 cambios y evaluación equipo apagado	2	Mecánico	5	10	208.330	SSNR9937	Cambio RENR 9577		Cajas de Herramientas básicas	Bomba de agua	2160657	1
											Tuerca	9S8752	4
											perno	1A2029	1
											Sello	9X7371	1

											Kit de reparación	1386744	1
Evaluación Mecánica y/o Cambio de inyector	05 cambios y evaluación equipo apagado	2	Mecánico	3	6	124.998	Evaluación SSNR9937	Cambio RENR9577		Caterpillar ET 9U6891 grupo instalación y remoción de camisa	Inyector	2530615	12
											Sleeve	1662904	12
											sello	9x7430	12
											sello	2303775	12
											sello	2303728	12
											sello	9x7317	12
											perno	8S9191	12
Calibración de válvulas admisión, escape e inyectores	06 ajuste /calibración	2	Mecánico	4	8	166.664	SSNR9937	Formato calibración ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia .		Calibrador de láminas 1U-7234			
											Calibrador de láminas 1U-7235		
											Calibrador de inyector 9U-7227		
Evaluación y /o cambio correas de distribución	05 cambios y evaluación equipo apagado	2	Mecánico	2	4	83.332	Evaluación SSNR9937	Lista de Verificación		Cajas de Herramientas básicas	Grupo correas V	8N6710	1
Instalación sellos y armado de tapa válvulas		2	Mecánico	2	4	83.332		RENR9577			Kit Sellos	2247506	12
Inspección de ductos y cambio de filtros													

Admisión	07 cambio de filtros	2	Mecánico	1	2	41.666	SEBU7790	SEBP5024		Cajas de Herramientas básicas	Filtro primario	2465009	2
											Filtro secundario	2465010	2
											Líneas de aire	2435147	Grupo
Escape	07 cambio de filtros	2	Mecánico	1	2	41.666	SEBU7790	SEBP5024		Cajas de Herramientas básicas	Líneas de aire escape	2435171	Grupo
											Grupo mofle	2569394	Grupo
Combustible	07 cambio de filtros	2	Mecánico	1	2	41.666	SEBU7790	SEBP5024		Cajas de Herramientas básicas	Filtro de combustible	1R0755	1
											Filtro separador de agua	1908977	1
											Líneas de combustible	2487695	Grupo
											Filtro de aceite	1R0706	2
											Líneas de lubricación	2310211	Grupo
Lubricación	07 cambio de filtros	2	Mecánico	1	2	41.666	SEBU7790	SEBP5024		Cajas de Herramientas básicas	Líneas de refrigerant e grupo enfriadores	2532635	Grupo
											Líneas de refrigerant e grupo motor	2387590	Grupo
											Líneas de refrigerant e grupo radiador	2435149	Grupo
Refrigeración	07 cambio de filtros	2	Mecánico	1	2	41.666	SEBU7790	SEBP5024		Cajas de Herramientas básicas			

Pruebas y Entrega del equipo													
Completar Niveles		2	Mecánico	2	4	83.332	SEBU7790		Aceite motor Sae. 15 W 40 cant. 31 gal. Cat ELC 61 gal	Cajas de Herramientas Básicas			
Inspección final		2	Mecánico	3	6	124.998		Lista de verificación ítem 42					
		1	Electricista	3	3	62.499							

Nota: Tabla elaborada para esta Monografía, resume las operaciones y la información necesaria para la ejecución del MVMM en motores C32 para camiones 777F, en Mina la Jagua, para replicar en otros proyectos se debe evaluar la duración en horas de cada operación de acuerdo a los tiempos históricos manejados en la ejecución del sitio en donde se planea realizar.

El listado de herramientas básicas de los mecánicos y electricistas puede ser visto en **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Información técnica formatos a usar durante el MVMM

La hoja de ruta incluye información de los formatos que deben usarse y los repuestos a necesitar para posibles cambios. Los repuestos que en su columna de cantidad contienen la palabra grupo, indican que con una solicitud del parte número (cantidad 1.) se recibe un grupo de repuestos referentes al sistema para el cual se solicita, si no es necesario solicitar todo el grupo, el técnico debe buscar en el manual cuál de los repuestos del grupo necesitará y solicitarlo.

Para los requerimientos de formatos técnicos, se elaboró una lista de verificación y un formato de calibración. La lista de verificación Tabla 7, contiene una guía técnica para la elaboración de las actividades y el registro de resultados encontrados durante la evaluación. El formato de calibración contiene las especificaciones de fábrica para la verificación de la calibración de inyectores y válvulas de admisión y escape para su registro.

Lista de verificación y Acciones realizadas por el personal técnico

Durante la ejecución de evaluaciones con el equipo operativo y apagado, se verificarán variables físicas de presión y temperatura en diferentes componentes, la lista de verificación cuenta con un espacio para registrar los valores encontrados en las mediciones y otro para los valores de las variables después de ajustes en caso de ser necesario. El formato cuenta con una información sobre el que hacer en caso de encontrar variables fuera de especificación, esta información es extraída y soportadas en los manuales de fábrica.

En las columnas del grupo Acción realizada se cuenta con los ítems: Cambio planeado, reparación, cambio por condición, programación de cambio. En cada una de estas se debe anotar la orden de trabajo donde se registra la información de ejecución de la acción durante el MVMM.

Tabla 7

Listado de verificaciones y acciones realizadas durante MVMM

Formato Listado de Verificaciones MVMM			
	Identificación del equipo _____	Nombre técnico Mecánico _____	
	Horómetro _____	Nombre técnico Mecánico _____	
	Fecha _____	Nombre técnico Electricista _____	
	Serie del Motor _____		
Acondicionamiento de equipo para ingreso al MVMM			
Ítem			
1	Inspección de Motor		
		Combustible Ok _____	
2	Inspección de niveles	Nivel Ok ____ No Ok ____ Adición _____	refrigerante Ok ____ No Ok ____ Adición _____
3	Tomar Muestra de aceite	Realizado _____	
4	Inspección ajuste y condición		
5	Inspección de líneas de admisión	Abrazaderas sin ajuste Si ____ No ____	Mangueras agrietadas Si ____ No ____ Ductos aplastados Si ____ No ____
6	Inspección Ductos de escape	Ductos aplastados Si ____ No ____	Abrazaderas sin ajuste Si ____ No ____ Mofle agrietado Si ____ No ____
7	Inspección líneas de combustible	Clips ajustados Si ____ No ____	Cuerpo de mangueras libre de roces Si ____ No ____ Mangueras bien enrutadas Si ____ No ____

8	Inspección Líneas de Refrigeración	Clips ajustados Si___ No___	Cuerpo de mangueras libre de roces Si___ No___	Mangueras bien enrutadas Si___ No___					
9	Inspección de Correas y poleas	Desgaste anormal Si___ No___	Alineación Si___ No___						
10	Inspección por fugas								
11	Fugas de refrigerante	Bomba de agua Si___ No___	Radiador Si___ No___	Bloque motor Si___ No___					
12	Fugas de combustible	Bomba y filtros Si___ No___	Tanque Si___ No___	Líneas Si___ No___					
13	Fugas de aceite	Bloque motor Si___ No___	Líneas Si___ No___	Accesorios Si___ No___					
14	Inspección Eléctrica								
15	Condición de arnés	Conectores ajustados Si___ No___	Buen Enrutamiento Si___ No___						
16	Verificación de códigos de alarmas	Alarmas activas Si___ No___							
17	Descargar reporte estado del producto	Realizado_____							
18	Evaluación con Equipo Operativo								
	Temperatura de operación (refrigerante) debe estar en 110°C. (opere el equipo por 15 min aproximadamente y verifique la temperatura)								
	Prueba	Condición del equipo	Valor especificado	Herramienta	Manual	Valor encontrado	Valor Ajustado	Acción recomendada en caso de encontrar valor fuera de especificación	Acción realizada
									1 cambio programado 2 reparación 3 cambio por condición 4 programación de cambio

19	Comprobar Temperatura de refrigerante	Operativo	80-110 °C	Caterpillar ET Termómetros Infrarrojo 1643310	REN8307	ET _____ Termómetro _____	Si temperatura de ET y del termómetro no son iguales verificar estado del sensor en equipo Si temperatura de ET y del termómetro no son iguales verificar estado del sensor en equipo
20	Comprobar Temperatura aire de admisión	Operativo	75°C a 82°C	Caterpillar ET termómetro Infrarrojo 1643310	REN8307	ET _____ termómetro _____	Si temperatura de ET y del termómetro no son iguales verificar estado del sensor en equipo
21	Comprobar Temperatura de escape	Operativo	650°c a 760°C	Caterpillar ET termómetro Infrarrojo 1643310	REN8307	ET _____ Termómetro _____	Si temperatura de ET y del termómetro no son iguales verificar estado del sensor en equipo
22	Comprobar RPM	Altas en vacío	2000	Caterpillar ET			
23	Comprobar RPM	Bajas en vacío	700	Caterpillar ET			
24	Presión interna / bomba de agua	Bajas RPM en vacío	Min 100Kpa 15Psi	Manómetro de Aire 6V7775	SSNR9937		Inspeccionar rodete -Resellar Si Presión a Altas RPM sobrepasa el valor especificado:
25	Presión de combustible/ Bomba filtros válvulas	Altas RPM en vacío	641 KPa (93 Psi)	Manómetro digital 198-4240	SSNR9937		verificar tuberías de retorno (aplastada), verificar Válvulas de retención y reguladora presión atascada (reparar)

		Bajas RPM en vacío	538 KPa (78 Psi) La presión de combustible no puede estar por debajo de 241 KPa (35Psi)	Manómetro digital 198-4240	SSNR9937	Presión a bajas RPM no alcanza el valor especificado: Cambiar filtros de combustible, verificar tuberías y/o mangueras aplastadas, Válvulas de retención y/o reguladora de presión desgastada
26	Diferencia de presión / Filtros de admisión	Operativo con Filtros nuevos	Max restricción 3,7 kPa (15 pulg. de H2 O)	Grupo presión Motor 1U-5470	SSNR9937	Verificar carcasa de filtros
		Operativo con Filtros usados	Max restricción 6,2 kPa (15 pulg de H2 O)			Cambiar Filtros
27	Presión de refuerzo /Turbo Derecho	Altas RPM en vacío	203,2 KPa 29 psi	Manómetro digital 198-4240	TMI	Inspeccionar tuberías y turbos internamente
		Bajas RPM en vacío	150,0 KPa 22 Psi			
28	Presión de refuerzo /Turbo Izquierdo	Altas RPM en vacío	203,2 KPa 29 psi	Manómetro digital 198-4240	TMI	
		Bajas RPM en vacío	150,0 KPa 22 Psi			
29	Presión diferencia / Postenfriador	Operativo	Max restricción 15,2 KPa (4,5 pulg Hg)	Grupo presión Motor 1U-5470	SEBD6729	Limpiar postenfriador, evaluar por posibles fugas
30	Presión diferencial/ Escape (Silenciador)	Operativo	Max restricción 10,0 kPa (40 pulg de H2 O)	Grupo presión Motor 1U-5470		Remplazar
		Operativo	Max restricción 12,4 kPa (50 pulg de H2 O)		SEBD6729	Remplazar
31	Presión diferencial/ Escape	Operativo	Max restricción 25 kPa (100 pulg de H2 O)	Grupo presión Motor 1U-5470	SEBD6729	Limpiar Filtro

	(Filtros de partículas)					
32	Delta Temperatura / Radiador	Operativo, temperatura del refrigerante 110°C	Delta de temperatura (4,5 - 11,0) °C	Termómetros Infrarrojo 1643310	SEBD0518 -09	Realizar limpieza externa y flushing interno del radiador de acuerdo a resultado de inspección visual
33	Presión / Bomba filtros válvulas de lubricación	Operativo, temperatura del aceite no debe ser mayor a 115°C	100 KPa (15 psi) a 600 KPa (88psi) de acuerdo a Rpm Motor	Grupo presión Motor 1U5470	SSNR9937 ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.	Revisar filtros y, válvulas de derivación
	Test de continuidad en solenoide y arnés inyector 1		OK_____ -Not OK _____			
	Test de continuidad en solenoide y arnés inyector 2		OK_____ -Not OK _____			
34	Test de continuidad en solenoide y arnés inyector 3	Equipo apagado switch abierto	OK_____ -Not OK _____	Caterpillar ET	REN8307 SSNR9937	No Ok revise continuidad de acuerdo a esquema REN8307corrija falsos contactos conectores, arnés apertura de línea, falla del funcionamiento del solenoide para este último ítem proceda cambiando el inyector
	Test de continuidad en solenoide y arnés inyector 4		OK_____ -Not OK _____			
	Test de continuidad en solenoide y arnés inyector 5		OK_____ -Not OK _____			
	Test de continuidad en		OK_____ -Not OK _____			

	solenoide y arnés inyector 6				
	Test de continuidad en solenoide y arnés inyector 7	OK_____ -Not OK _____			
	Test de continuidad en solenoide y arnés inyector 8	OK_____ -Not OK _____			
	Test de continuidad en solenoide y arnés inyector 9	OK_____ -Not OK _____			
	Test de continuidad en solenoide y arnés inyector 10	OK_____ -Not OK _____			
	Test de continuidad en solenoide y arnés inyector 11	OK_____ -Not OK _____			
	Test de continuidad en solenoide y arnés inyector 12	OK_____ -Not OK _____			
	Funcionamiento Electromecánico Inyector 1	OK - Not OK			
35	Funcionamiento Electromecánico Inyector 2	Operativo Prueba automática y manual	OK - Not OK	Caterpillar ET	SSNR9937
	Funcionamiento Electromecánico Inyector 3		OK - Not OK		
	Funcionamiento Electromecánico Inyector 4		OK - Not OK		
					NOT OK realice procedimiento prueba inyector unitario descrito en el manual SSNR9937

	Funcionamiento Electromecánico Inyector 5		OK - Not OK			
	Funcionamiento Electromecánico Inyector 6		OK - Not OK			
	Funcionamiento Electromecánico Inyector 7		OK - Not OK			
	Funcionamiento Electromecánico Inyector 8		OK - Not OK			
	Funcionamiento Electromecánico Inyector 9		OK - Not OK			
	Funcionamiento Electromecánico Inyector 10		OK - Not OK			
	Funcionamiento Electromecánico Inyector 11		OK - Not OK			
	Funcionamiento Electromecánico Inyector 12		OK - Not OK			
Pruebas Motor apagado						
36	Fugas sistema de Enfriamiento / Radiador líneas	Equipo apagado/ sistema presurizado a 20kpa 3psi por encima de la apertura del atapa de radiador	Cero fugas / Presión del sistema no Disminuye	Bomba 9S81 40	SSNR9937	Identifique área de la fuga repare. O prográmelo
37	Apertura /Termostato	Equipo apagado	Cambiar termostatos con 10.000 o más horas de instalación en el motor, si no ha cumplido su vida útil por un cambio	Termómetro Infrarrojo 1643310	SSNR9937	Si no abre completamente a los 92 °C cambiar

			previo probar apertura a 92°C				
38	Funcionamiento mecánico /Turbocompresor Derecho	Equipo apagado	la Rueda compresora y turbinas deben girar sin rozar carcazas (giro libre) no deben presentar desgastes ni picaduras puntuales, carcazas de turbina y compresor no debe presentar lodos de aceite	Inspección Visual	SSNR9937		Cambio
39	Funcionamiento Mecánico /Turbocompresor Izquierdo	Equipo apagado	la Rueda compresora y turbinas deben girar sin rozar contra las carcasas (giro libre) no deben presentar desgastes ni picaduras puntuales, carcazas de turbina y compresor no debe presentar lodos de aceite	Inspección Visual	SSNR9937		Cambio
40	Evaluación Estado físico / Inyectores	Equipo apagado	Señales de Oxidación, sellos desgastados, excesivo Hollín, decoloración excesiva en cuerpo inyector	Inspección visual	SSNR9937		Cambio
41	Calibración de válvulas de admisión	Equipo apagado	0,38 ± 0,08 mm (0,015 ± 0,003 pulg)	Calibrador de láminas 1U-7234	SSNR9937	Usar formato de calibración	Ajuste
	Calibración de Válvulas de Escape	Equipo apagado	0,76 ± 0,08 mm (0,030 ± 0,003 pulg)	Calibrador de láminas 1U-7235	SSNR9937		Ajuste

	Calibración altura del inyector	Equipo apagado	78,0 ± 0,2 mm (3,07 ± 0,01 pulg)	Calibrador de inyector 9U-7227	SSNR9937	Ajuste
42	Entrega de equipo					
	Aceite Ok - _____ Inspección de niveles No Ok _____ Inspección por fugas Adición _____ Fugas de refrigerante Bomba de agua Si _____ No _____ Fugas de combustible Bomba y filtros Si _____ No _____ Fugas de Aceite Bloque motor Si _____ No _____ Comprobar RPM Altas en vacío _____ Comprobar RPM Bajas en vacío _____ Inspección eléctrica Verificación de códigos de alarmas Alarmas activas Si _____ No _____ Descargar reporte estado del producto Realizado _____ Combustible Ok _____ refrigerante Ok _____ No Ok _____ No Ok _____ Adición _____ Adición _____ Radiador Bloque motor Si _____ No _____ Tanque Si _____ Líneas Si _____ No _____ No _____ Líneas Si _____ Accesorios Si _____ No _____ No _____					

Nota: Tabla elaborada para esta Monografía, resume la información de las mediciones a realizar en los componentes, las especificaciones de fábrica para las variables medidas y las posibles acciones a ejecutar en los componentes. Información tomada de los manuales referenciados.

5. Conclusiones

Los camiones 777F a pesar de ser operados y mantenidos correctamente en Mina la Jagua, acumulan en sus componentes principales, desgastes que comprometen el rendimiento del motor. Para establecer en qué momento se debe intervenir el motor antes de que su rendimiento se vea afectado, Caterpillar establece que, al alcanzar un consumo de 568.500 litros de combustible durante la operación, los equipos presentan deterioros en algunos componentes principales. El tiempo en que demora el motor en alcanzar a un consumo de 568.500 litros de Diesel depende del factor de carga, el correcto uso y mantenimiento del equipo. En mina la jagua se identificó mediante la tecnología de control de la combustión en el ECM del motor C32 que el factor de carga para los motores C32 de los camiones 777F es de 24 % lo que indica que los equipos funcionan a un peso continuo bruto medio menor del recomendado, los caminos de acarreo son excelentes, sin sobrecarga, y se realiza una correcta rutina de mantenimiento. Con este factor de carga se calculó que los camiones 777F logran alcanzar el consumo de 568.500 litros de combustible a las 13.000 horas aproximadamente, momento en el cual se plantea realizar el MVMM.

Por experiencia de mantenimiento en mina y de acuerdo al manual de Caterpillar los componentes a intervenir en la mitad de la vida del motor son los turbos, inyectores y la bomba de agua, estos componentes hacen parte fundamental de los sistemas de admisión, escape, combustible y refrigeración, claves para mantener una combustión eficiente y dentro de los parámetros de emisiones establecidos por las normas tier2. El MVMM tiene como objetivo mantener la potencia del motor hasta el final de su ciclo de vida mediante la intervención de

componentes que al igual que los turbos, inyectores y bomba, afecten la combustión y la potencia. Los componentes a intervenir están comprendidos, por aquellos que han alcanzado sus horas de uso y deben ser cambiados a las 13000 horas, y aquellos que al perder sus funciones por deterioro en los diferentes sistemas del motor afecten las variables monitoreadas por el ECM para el ajuste y control de la inyección de combustible. El MVMM está pensado para ser ejecutado en talleres de la mina por lo tanto no incluye intervenciones en componentes que requieren de grandes desarmes (overhaul) para ser intervenidos.

El Alcance del MVMM está definido de la siguiente forma: Cambio, evaluación y programación. Los componentes que cumplan su vida útil a la hora de programar el plan serán notificados para cambio, el resto de componentes se les aplicara un proceso de evaluación, que consiste en medición, revisión y ajuste. Los detalles o eventos adicionales encontrados por los técnicos durante la ejecución de las tareas y que por alguna razón no puedan ser realizados durante el tiempo del MVMM, pueden ser programados si su condición no compromete la seguridad de las personas y el desempeño de la máquina. Esta programación debe ser autorizada por el supervisor que recibirá la máquina.

La estructura de la hoja de ruta del MVMM permite identificar todos los recursos necesarios para la ejecución en Mina la Jagua, de sus cuatro operaciones principales con 117 horas de labor, planeadas para ser realizadas con la mano de obra de dos mecánicos especializados en motores, un electricista, dos técnicos de lavado y un operador dando un valor de obra labor de \$ 2.410.795,00, El personal técnico descrito es el asignado a la flota de camiones para la ejecución de proyectos. Las herramientas especiales, insumos, manuales, repuestos listados en la hoja de ruta deben estar disponibles en la cantidad necesaria antes de dar inicio a la ejecución de un MVMM.

6. Recomendaciones

La planeación del MVMM en motores C32 de los camiones Caterpillar 777F debe ser contemplada desde que se decide comprar el activo, e incluida en el presupuesto del mantenimiento en el ciclo de vida del equipo. Para estimar en qué momento debe ser ejecutado, el método establecido en esta monografía se fundamenta en el factor de carga y el tiempo en que el equipo alcanzará un consumo de combustible de 568.000 litros. El factor de carga debe ser identificado para cada proyecto, en este caso en Mina la Jagua se tiene conocimiento por experiencia que el factor de carga en camiones 777F es de 24 % y se ha confirmado con la tecnología del equipo. Los factores de carga para los motores en camiones CAT se estiman en un rango de (20% a 50%), a medida que aumenta el factor de carga las condiciones de operación del equipo se consideran más exigentes con respecto a ciclos de trabajos con constante sobrecarga y caminos de acarreo con pendientes poco favorables. Un porcentaje de factor de carga bajo, asegura una mayor vida útil en el equipo, por lo tanto, se debe coordinar con producción y mantenimiento las condiciones de operación y manutención del equipo para lograr el mejor aprovechamiento del camión y su motor.

Referencias Bibliográficas

- Carpio, B., & Granizo, L. G. (05 de 11 de 2015). Detección temprana de fallas en motores de combustión interna a diesel mediante la técnica de análisis de aceite . *CIENCIA UNEMI*, 8(15), 84-95. doi: <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol8iss15.2015pp84-95p>
- Caterpillar. (Enero de 2007). Service Training Meeting Guide. *Technical Presentation 777F of Highway Truck, I*. USA: Caterpillar inc.
- Caterpillar. (01 de enero de 2008). *Sis.cat.com*, 05. Obtenido de https://sis.cat.com/sisweb/sisweb/techdoc/techdoc_print_page.jsp?returnurl=/sisweb/sisw
- Caterpillar. (2009). Fuel System. *Improving Component Durability*, 7-17.
- Caterpillar. (2010). *Manual de Rendimiento Caterpillar* (Vol. 40). Peoria Illinois USA: Caterpillar INC. Obtenido de www.academia.edu
- Caterpillar. (2017). *S.O.S. Service* (Vol. 2). Caterpillar copyright.
- Caterpillar. (2017). *Spec log for 777F Off Highway Truck*. USA: Caterpillar. Obtenido de <https://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/C307504>
- Caterpillar. (2019). *Manual de Operacion y Mantenimiento Camion fuera de carretera 777F*. USA: CAT inc. Obtenido de Publications. CAT.com
- Caterpillar. (s.f.). *parts.cat.com*. Obtenido de <https://parts.cat.com/es/catcorp/20R-0674>
- Cummins. (s.f.). *CUMMINS ENGINE OVERHAULS*. Obtenido de <https://www.cummins.com/cummins-engine-overhauls>

- EPA. (2016). *Nonroad Compression-Ignition Engines: Exhaust Emission Standards*. USA: EPA Inc. Obtenido de <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockey=P100OA05.pdf>
- Gutierrez, A. M. (2009). *Mantenimiento.Planeacion,ejecucion y control* (Primera ed., Vol. 1). (A. G. Mexico, Ed.) Mexico: Alfaomega. Obtenido de <http://www.alfaomega.com.mx>
- M.Sc. Elio Rafael Hidalgo Batista, D. C. (2015). Relación entre los fallos y las variables de diagnóstico en motores diesel. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(2), 53-60. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93234170009>
- Mario Klanfar, T. K. (2016). Fuel consumption and engine load factors of equipment in quarrying of crushed stone. *Technical Gazette*, 23(1), 163-169. doi:10.17559/TV-20141027115647
- Martin, J. (2013). *Diagnostico de la combustion en motores diesel de inyeccion directa* (Edicion en E-book (1) ed.). Editorial Reverte . Obtenido de www.reverte.com
- Moscoso, L. (28 de 03 de 2011). Diesel Engine Failure Indicators. *Truck diesel engine Maintenance*, 3. (D. t. CAAt, Ed., & L. Moscoso, Recopilador) Soledad Atlántico.
- Recinos, A. (julio de 2014). Análisis de aceite como propuesta para la implementación de mantenimiento predictivo en el departamento de taller agrícola y automotriz de la compañía agrícola industrial ingenio palo gordo s. a. *Trabajo de Graduacion*, 56-59. Guatemala.
- Uscategui, J. L. (Agosto de 2009). Instruccion Tecnica. *Manual de estudiante Instruccion Tecnica Motor C32 , 1*. Barranquilla , Colombia : Gecolsa CAT .

Apéndices

Apéndice A. Presión de Neumáticos Camiones de Construcción y Minería

CAMIONES DE CONSTRUCCIÓN Y MINERÍA — Neumáticos radiales

Modelo	Tamaño de neumáticos	Índice de resistencia	Presión de inflado									
			Michelin		Goodyear		Bridgestone					
			Delanteros	Traseros	Delanteros	Traseros	Delanteros	Traseros				
			kPa lb/pulg ²	kPa lb/pulg ²	kPa lb/pulg ²	kPa lb/pulg ²	kPa lb/pulg ²	kPa lb/pulg ²	kPa lb/pulg ²	kPa lb/pulg ²		
770	18.00R33	★★, ★★★	752	109	752	109	800	116	800	116	800	116
772	21.00R33	★★	703	102	703	102	703	102	703	102	689	100
773F	24.00R35	★★	703	102	703	102	676	98	600	87	689	100
775F	24.00R35	★★	703	102	703	102	703	102	703	102	689	100
777D	27.00R49	★★	703	102	703	102	724	105	724	105	689	100
777F	27.00R49	★★	703	102	703	102	724	105	724	105	689	100
785C	33.00R51	★★	703	102	703	102	800	116	800	116	724	105
785D	33.00R51	★★	703	102	703	102	800	116	800	116	724	105
789C	37.00R57	★★	655	95	655	95	752	109	752	109	724	105
793D	40.00R57	★★	703	102	752	109	752	109	752	109	724	105
	46/90R57	★★					752	109	752	109	689	100
793F	40.00R57	★★	752	109	752	109						
	46/90R57	★★					772	112	724	105	689	100
	50/80R57	★★	655	95	655	95						
797F	59/80R63	★★	703	102	703	102					Consulte a Bridgestone	

Nota: Tomado de manual de desempeño (Caterpillar, 2010). Se utilizan imágenes sin restricciones de manuales Cat.

Apéndice B. Recomendación de fluidos camión 777F.

Maintenance Section
 Fluids Recommendations

Table 4

Lubricant Viscosities for Ambient Temperatures						
Compartment or System	Oil Type and Performance Requirements	Oil Viscosities	°C		°F	
			Min	Max	Min	Max
Engine Crankcase	Cat DEO-ULS Cold Weather	SAE 0W-40	-40	40	-40	104
	Cat DEO-ULS SYN Cat DEO SYN	SAE 5W-40	-30	50	-22	122
	Cat DEO-ULS Cat DEO	SAE 10W-30	-18	40	0	104
	Cat DEO-ULS Cat DEO	SAE 15W-40	-9.5	50	15	122

Diesel Fuel Recommendations

Diesel fuel must meet "Caterpillar Specification for Distillate Fuel" and the latest versions of "ASTM D975" or "EN 590" in order to ensure optimum engine performance.

The preferred fuels are distillate fuels. These fuels are commonly called diesel fuel, furnace oil, gas oil, or kerosene. These fuels must meet the "Caterpillar Specification for Distillate Diesel Fuel for Off-Highway Diesel Engines". Diesel Fuels that meet the Caterpillar specification will help provide maximum engine service life and performance.

Coolant Information

The following two types of coolants may be used in Cat diesel engines:

Preferred – Cat ELC (Extended Life Coolant)

Acceptable – Cat DEAC (Diesel Engine Antifreeze/Coolant)

NOTICE

Never use water alone as a coolant. Water alone is corrosive at engine operating temperatures. In addition, water alone does not provide adequate protection against boiling or freezing.

Reference: Refer to Special Publication, SEBU6250, "Caterpillar Machine Fluids Recommendations" for additional information about coolant. This manual may be found on the Web at Safety.Cat.com.

Apéndice C. Cajas de Herramientas básicas mecánico y electricista.

CANTIDAD	TIPO DE HERRAMIENTA
1	Multímetro Digital
1	Caja de Conectores CAT
1	Ponchadora de Cables
1	Corta Frio
1	Destornillador de Pala
1	Destornillador de Estrías
1	Juego de llaves Allen
1	Juego de llaves Torch
1	Ratchet de 1/2
1	Ratchet de 3/8
1	Juego de Dados de ½ en pulgadas (3/8 a 15/16)
1	Juego de Dados de 3/8 en pulgadas (3/8 a ¾)
1	Juego de llaves Mixtas en pulgadas de 3/8 a 15/16
1	Juego de llaves Milimétricas de 6mm a 24mm
1	Llave Expansiva de 8"
1	Llave Expansiva de 12"
1	Hombre Solo
1	Palanca Mecánica de 1/2
1	Pinza Punta Ajustable

CANTIDAD	TIPO DE HERRAMIENTA
1	Juego de llaves Mixtas en pulgadas de 3/8 a 1 1/4
1	Juego de llaves Milimétricas de 6mm a 32mm
1	Ratchet de 1/2
1	Juego de Dados de ½ en Pulgadas (3/8 a 1 1/4)
1	Juego de Dados de ½ Milimétricos (6mm a 32mm)
1	Destornillador de Estrías
1	Juego de llaves Allen
1	Juego de llaves Torch
1	Corta Frio
1	Llave Expansiva de 8"
1	Llave Expansiva de 12"
1	Hombre Solo
1	Palanca Mecánica de 1/2
1	Pinza de Puntas
1	Pinza Punta Ajustable
1	Llave para Tuberías de 12"
1	Bombín Para toma de Muestras
1	Llave de Cadena
1	Mona de Bronce de 3 kg

Nota: Elaborado para esta Monografía

Apéndice D . Formato de calibración motor

ID DE EQUIPO :					SMU :					FECHA :				
NRO SERIE :					REALIZADO POR :					VoBo supervisor :				

BANCO IZQUIERDO										BANCO DERECHO											
Cil	ADMISION		PUENTE		ESCAPE		PUENTE		INYECTOR		Cil	ADMISION		PUENTE		ESCAPE		PUENTE		INYECTOR	
	Act	Ajust	Act	Ajust	Act	Ajust	Act	Ajust	Act	Ajust		Act	Ajust	Act	Ajust	Act	Ajust	Act	Ajust	Act	Ajust
2											1										
4											3										
6											5										
8											7										
10											9										
12											11										

Chequeo Ajuste Motor Parado	
Admision	0.015" ± 0,003"
Escape	0.030" ± 0,003"
Inyector	78,0 ± 0,2 mm

Especificaciones de luz Motor Parado	
Admision	0.015"
Escape	0.030"

Torque Ajuste de Tuercas de valvulas

Valvulas (22+/- 5 lb Ft)

Inyector (75+/- 7 lb Ft)

VALVULAS DE ADMISION	VALVULAS DE ESCAPE	INYECTORES
1, 2, 3, 7, 8, 10	1, 2, 5, 6, 9, 10	4, 5, 6, 9, 11, 12
VALVULAS DE ADMISION	VALVULAS DE ESCAPE	INYECTORES
4, 5, 6, 9, 11, 12	3, 4, 7, 8, 11, 12	1, 2, 3, 7, 8, 10
SECUENCIA DE ENCENDIDO		
1-10-9-6-5-12-11-4-3-8-7-2		

PISTON NRO 1 EN EL PUNTO MUERTO SUPERIOR, EN COMPRESION

PISTON NRO 11 EN PUNTO MUERTO SUPERIOR, EN COMPRESION

NOTA : Según SENR9937-05, Use medidor altura del inyector P/N 9U-7227 para motor C32

Apéndice E. Presión de lubricación motor Vs. Rpm motor (rango aceptable)

