Recibido: 22/07/2022 Aprobado: 13/08/2022

APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONDICIÓN (MBC) PARA OBTENER LA PERDIDA DE POTENCIA DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DIÉSEL (MCID) EN EL SISTEMA CILINDRO - LUBRICANTE - PISTÓN (SCP)

Ing. Jaime Villafuerte Garabito
jvillafuerteg@uto.edu.bo
Universidad Técnica De Oruro
Facultad Técnica
Carrera De Mecánica Automotriz

RESUMEN

En la investigación se verá los tópicos de tribología, pero no se responderá y referirá al desgaste y fricción del equipo, veremos cual importante es el MBC., en la aplicación de la técnica del análisis del lubricante con el viscosímetro de rotación Brockfield en un periodo de un cambio de aceite motor, se desarrollar 25 mediciones no recomendadas por el fabricante, que servirá para responder a la investigación, del objeto de estudio que es e MCID. ACERT del equipo de camión fuera de carretera CAT 793D, el trabajo de ensayo de toma de datos de la viscosidad se realizara en la Facultad técnica de la ciudad de Oruro, dependiente de a Universidad técnica de Oruro, propiamente en el laboratorio de combustibles y lubricantes, de la carrera de mecánica automotriz ya que cuenta con los equipos necesarios para desarrollar el MBC. Se desarrollar la evaluación teórica del perfil de velocidades, la tensión de corte del lubricante del cual se obtendrán importantes conclusiones, para aterrizar en la evaluación de la potencia que absorbe el lubricante. No se tomara en cuenta la termodinámica del MCID., el análisis de vibración , ni la trasferencia de calor que también influyen en el desempeño de este sistema, para este estudio investigativo, por lo tanto solo nos dedicaremos a análisis de lubricante llevados al modelo matemático realizado por Navier Stokes, se desarrollaron hechos trabajos para esta investigación pero con las ecuaciones de Reynolds la cual se verifica en regencias nacionales y/o internacionales, y muy poco la que desarrollamos en este trabajo de investigación.

Palabras Clave: modelo matemático basado en la aplicación del mbc, obtenida por el análisis de lubricante, que expresa la potencia absorbida por la lubricación del sistema cilindro - lubricante - pistón

APPLICATION OF CONDITION-BASED MAINTENANCE (CBM) TO OBTAIN THE POWER LOSS OF THE DIESEL INTERNAL COMBUSTION ENGINE (MCID) IN THE CYLINDER - LUBRICANT - PISTON (SCP) SYSTEM

ABSTRACT

In the research, tribology topics will be addressed, but wear and friction of the equipment will not be covered or referred to. Instead, the focus will be on the importance of MBC (Minimum Bearing Clearance) in the application of lubricant analysis techniques using the Brookfield rotational viscometer over a motor oil change period. Twenty-five measurements not recommended by the manufacturer will be developed to respond to the research on the object of study, the MCID (Mechanical-Chemical Induced Degradation) ACERT of the CAT 793D off-road truck equipment. The viscosity data collection tests will be conducted at the Technical Faculty in the city of Oruro, dependent on the Technical University of Oruro, specifically in the fuels and lubricants laboratory of the Automotive Mechanics program, which has the necessary equipment to develop the MBC. Theoretical evaluations of the velocity profile and the shear stress of the lubricant will be conducted, yielding important conclusions to ultimately evaluate the power absorbed by the lubricant. Thermodynamics of the MCID, vibration analysis, and heat transfer, which also influence the performance of this system, will not be considered in this study. Therefore, the focus will solely be on lubricant analysis using the mathematical model developed by Navier-Stokes. Previous work for this research has been done using Reynolds equations, which are verified in national and/or international regulations, but the approach developed in this research will be unique.

Keywords: mathematical model based on the application of mbc, obtained through lubricant analysis, expressing the power absorbed by the lubrication of the cylinder-lubricant-piston system

INTRODUCCIÓN

Veremos en esta teoría tres áreas del conocimiento, como ser la tribología como el estudio del deslizamiento y rozamiento. El significado más amplio es el estudio de la fricción, la lubricación y el desgaste “tribología”.

Mecánica de sólidos que se ven las tensiones de contacto y temperaturas de la superficie debidas al deslizamiento y rozamiento.

Fenómenos de Transporte, específicamente la mecánica de fluidos basado en la aplicación del lenguaje matemático del comportamiento del lubricante líquido para varias formas de superficies deslizantes. El trabajo en esta área es el más avanzado de todos los esfuerzos para modelar eventos en la interfaz deslizante para casos de películas gruesas en relación con la rugosidad de las superficies. También se realiza algún trabajo sobre la influencia de la temperatura, la rugosidad de la superficie sólida verificando el espesor de la película del fluido y el movimiento viscoso.

La investigación se basará particularmente en el conocimiento de fenómenos de transporte, y el principio de balance de materia, aplicada al MCID., en particular al SCP., por considerarse al lubricante como un fluido Newtoniano, por una de sus propiedades fundamentales de este fluido que es su viscosidad, considerares como un valor constante, dad por su complejidad en el análisis y aplicación del modelo matemático de Navier – Stokes.

Antecedentes

Los fabricantes y los textos solo dan conocer una información de la potencia y torque máximo en función a la rotación, no así la perdida de potencia en el SCP., que influye la lubricación en este sector.

La evaluación de la potencia que se pierde por la lubricación del sistema cilindro pistón, que vamos a basarnos en la propiedad fundamental de un lubricante como es la viscosidad, que consideraremos una constante, para los cálculos absolutos de los perfiles de velocidad y tensiones de corte del lubricante, con la ecuación de Navier - Stokes.

Queremos lograr partiendo de los datos del motor ACERT, para equipo pesado CATERPILLAR que será el objeto de estudio potencia – rpm y torque – rpm máximos que nos prescriben los fabricantes, verificaremos con la aplicación del manteamiento basado en la condición, con la técnica de análisis de aceite particularmente la medición de la viscosidad dinámica o absoluta midiendo en el transcurso da un periodo de cambio de aceite lubricante y filtros del MCID, que es la aplicación del MP. Del lubricante que se realiza a los 250 hrs. en equipo pesado medidos por un horómetro, se medirá cada 50 hrs. Por lo tanto, se tendrá 10 lecturas de viscosidad, con los cual se evaluará en el modelo matemático obtenido en el sistema cilindro pistón, se mantendrá invariables los parámetros de espesor de película y los diámetros del cilindro anillas.

La muy relativa información de la pérdida potencia en el MCID. en el SCP.

Se medirá las viscosidades absolutas de la viscosidad del lubricante del MCID.

Se utilizará el equipo de medición de la viscosidad del lubricante del Motor Acert con el viscosímetro Brockfiel.

La medición será periódica en el trascurso de cambios de aceite lubricante SAE 15/49 CM.

De los datos de medición de la viscosidad del lubricante se procederá uno al cálculo estadístico para obtener el modelo matemático para el análisis de la potencia que se pierde en la fricción del SCP.

El objeto de estudio será el SCP. Del MCID. Acert.

Simultáneamente de medirá la temperatura del lubricante SAE 15 W/ 40 CM.

La técnica será la aplicación del MBC., con la técnica del análisis del aceite lubricante SAE 15W/ 40 CM.

Con esta investigación pretendemos describir los parámetros como ser la potencia que absorbe el lubricante en el MCID.

El perfil de velocidades y las tenciones tangenciales del lubricante SAE 15W/40.

Con el fin de verificar con bastante aproximación el desempeño de la perdida de potencia por lubricación que es aproximadamente mucho menor al 5%, en la aplicación del MBC., con la técnica análisis de lubricante.

Que es inherente a tres pilares del MBC., quien realiza la planificación, quien diagnóstico, otro personal ejecutara las tareas del mantenimiento correctivo (MC) y/o MP. Si es necesario.

Así podremos responder aproximadamente la evaluación técnica atravesó de la aplicación del MBC., de la técnica del análisis del lubricante en la perdida de potencia del sistema cilindro pistón.

Propuesta

la presente investigación es determinar los parámetros que influyen en la perdida de potencia; debido a la degradación dinámica del lubricante en el incremento de la viscosidad, incidiendo directamente en el funcionamiento del motor en su potencia efectiva.

La pérdida de potencia en el sistema cilindro pistón independientemente del desgaste por: la vibración, transmisión de calor y la termodinámica del MCID., solo por la afectación de la lubricación limite.

La potencia de lubricación límite del sistema cilindro pistón, con las mediciones de la viscosidad del lubricante antes del mantenimiento preventivo (MP) del MCID.

Los perfiles de tensión tangencial del lubricante SAE 15W/ 40 CM., para el cálculo de perdida de potencia en el SCP.

La degradación de la viscosidad del lubricante provoca la disminución de la potencia en EL SCP., en un valor mucho menor al 7 % (según diagrama de Sankey) que otorga EL MCID.

¿Cuáles son las causas para que la viscosidad incida en el rendimiento del motor, en el sistema cilindro pistón?

¿Qué relación existe entre la velocidad y la perdida de potencia por la lubricación en el SCP??

¿Qué relación existe entre el perfil de esfuerzo cortante en la perdida de potencia en el SCP??

RESULTADOS

El diseño será experimental, con la técnica de estadística que nos va permitir cuantificar los datos, el método descriptivo, nos va a describir el comportamiento del fenómeno, explicando el fenómeno desde el punto de vista cualitativo.

Los procedimientos empleados para descubrir el proceso de investigación, para desentrañar y profundizar en este tema de la aplicación del MBC., en la técnica del análisis de lubricante será evaluar los parámetros que corresponden a la potencia absorbida por el lubricante, fundamentalmente de la viscosidad y la evaluación con el modelo matemático teórico para verificar cuanto de potencia absorbe el lubricante en el sistema cilindro pistón.

El método científico será la deducción de la ecuación de Navier Stoke, de los datos de ensayo de la viscosidad con ciertas limitaciones, señalar que el método se desprende de la teoría, nos indica que el objeto de estudio tiene tales características y que por lo tanto debemos abordarlo de determinada manera, permitir su adecuada aplicación al objeto de estudio que es el MCID.

Flujo en tubos concéntricos con un cilindro interior que se mueve axialmente (véase la figura 1 MCI).

Una anilla cilíndrica de radio kR se mueve axialmente con velocidad v = vo a lo largo del eje de una cavidad cilíndrica de radio R como se observa en la figura 2 La presión en ambos extremos de la cavidad es la misma, de modo que el fluido se mueve a través de la región anular solamente debido al movimiento de las anillas.

El problema de flujo viscoso en coordenadas cilíndricas; a saber, el flujo axial en estado estacionario de un líquido incompresible en una región anular entre dos cilindros coaxiales de radios kR y R como se muestra en la figura MCI. El fluido circula en el tubo, en dirección opuesta a la acción de la gravedad. Pero las anillas impiden ese desplazamiento, se hace un balance de cantidad de movimiento sobre una delgada envoltura cilíndrica del líquido y para hallar la distribución de velocidad Esfuerzo cortante, debemos de calcular:

a) Encontrar la distribución de velocidad en la región anular estrecha modificada.

b) Obtener la fuerza viscosa que actúa en la anilla sobre la longitud L = s

c) obtener el esfuerzo cortante del fluido.

d) Obtener la potencia que absorbe el lubricante.

Fig. 1 Sistema cilindro - lubricante – pistón (elaboración propia)

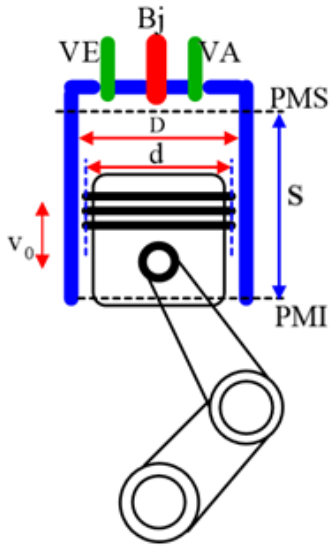
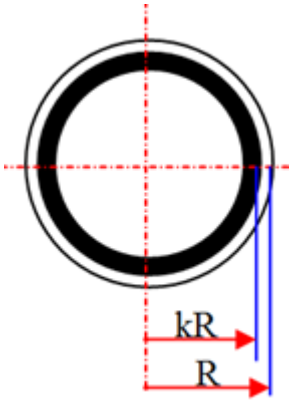


Fig. 2 Una anilla cilíndrica de radio kR se mueve axialmente con velocidad vz = vo



$$\rho\cdot\left(\frac{\partial v_z}{\partial t}+v_r\cdot\frac{\partial v_z}{\partial r}+\frac{v_\theta}{r}\cdot\frac{\partial v_z}{\partial \theta}+v_z\cdot\frac{\partial v_z}{\partial z}\right)=-\left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)+\mu\cdot\left[\frac{1}{r}\cdot\frac{\partial}{\partial r}\cdot\left(r\cdot\frac{\partial v_z}{\partial r}\right)+\frac{1}{r^2}\cdot\frac{\partial^2 v_z}{\partial \theta^2}+\frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2}\right]+\rho\cdot g_z$$

$$v_r = 0$$

$$v_\theta = 0$$

$$v_z = ?$$

$$\mu\cdot\left[\frac{1}{r}\cdot\frac{\partial}{\partial r}\cdot\left(r\cdot\frac{\partial v_z}{\partial r}\right)\right]=0$$

$$\mu \cdot \frac{1}{r} \cdot \left(\frac{d}{dr}.\right) \cdot \left[r \cdot \left(\frac{d}{dr} v_z\right)\right] = 0$$

$$\left(\frac{d}{dr}.\right) \cdot \left[r \cdot \left(\frac{d}{dr} v_z\right)\right] = 0$$

integrandc

$$\int \; . d\left[r \cdot \left(\frac{d}{dr} v_z\right)\right] = 0 \int \; . dr$$

$$r \cdot \left(\frac{d}{dr} v_z\right) = C_1$$

Integrando nuevamente

$$\int \; . dv_z = \int \; \frac{C_1}{r} dr$$

$$v_z = C_1 \cdot \ln(r) + C_2$$

Condiciones de frontera

$$r = k \cdot R$$

$$v_z = V_{máx}$$

$$v_z = C_1 \cdot \ln(r) + C_2 \rightarrow V_{máx} = C_2 + C_1 \cdot \ln(R \cdot k)$$

$$r = R$$

$$v_z = 0$$

$$v_z = C_1 \cdot \ln(r) + C_2 \rightarrow 0 = C_2 + C_1 \cdot \ln(R)$$

Dadc

$$C_2 + C_1 \cdot \ln(k \cdot R) = V_{máx}$$

$$C_2 + C_1 \cdot \ln(R) = 0$$

$$\text{Find}(C_1, C_2) \rightarrow \begin{pmatrix} \dfrac{V_{máx}}{\ln(R \cdot k) - \ln(R)} \\ -\dfrac{V_{máx} \cdot \ln(R)}{\ln(R \cdot k) - \ln(R)} \end{pmatrix}$$

$$C_1 = \frac{V_{máx}}{\ln(k)}$$

$$C_2 = -\frac{V_{máx} \cdot \ln(R)}{\ln(k)}$$

$$v_{.z} = C_1 \cdot \ln(r) + C_2 \rightarrow v_{.z} = \frac{V_{máx} \cdot \ln(r)}{\ln(k)} - \frac{V_{máx} \cdot \ln(R)}{\ln(k)}$$

$$v_z = \frac{V_{máx}}{\ln(k)} \cdot \ln(r) - \frac{V_{máx} \cdot \ln(R)}{\ln(k)}$$

$$v_z = \frac{V_{máx}}{\ln(k)} \cdot (\ln(r) - \ln(R))$$

$$v_z = \frac{V_{máx}}{\ln(k)} \cdot \ln\left(\frac{r}{R}\right)$$

$$V_{máx} = v_0$$

$$v_{.z} = \frac{V_{máx}}{\ln(k)} \cdot \ln\left(\frac{r}{R}\right) \rightarrow v_{.z} = \frac{v_0 \cdot \ln\left(\frac{r}{R}\right)}{\ln(k)}$$

$$R = 100.25 \cdot mm$$

$$k \cdot R = 100 \cdot mm$$

$$k = \frac{100 \cdot mm}{R} = 0.998$$

$$L = 0.10 \cdot m$$

$$\mu = 0.081 \cdot \frac{N \cdot s}{m^2}$$

$$v_0 = 10 \cdot \frac{m}{s}$$

$$v_z = \frac{v_0 \cdot \ln\left(\frac{r}{R}\right)}{\ln(k)}$$

$$v_z = \frac{v_0 \cdot \ln\left(\frac{r}{R}\right)}{\ln(k)} = -\frac{4994.0 \cdot m \cdot \ln\left(\frac{0.00998 \cdot r}{mm}\right)}{s}$$

$$\lim_{r \to 100 \cdot mm} -\frac{4994.0 \cdot m \cdot \ln\left(\frac{0.00998 \cdot r}{mm}\right)}{s} = \frac{9.978 \cdot m}{s}$$

$$\lim_{r \to 100.25 \cdot mm} -\frac{4994.0 \cdot m \cdot \ln\left(\frac{0.00998 \cdot r}{mm}\right)}{s} = -\frac{2.491 \cdot m}{s}$$

$$-4994.0 \cdot \ln(0.00998 \cdot r) \left| \begin{array}{l} \text{simplificar} \\ \text{flotante},4 \end{array} \right. \rightarrow -4994.0 \cdot \ln(r) + 23008.0$$

Fig. 3 Diagrama perfil de velocidades logarítmica

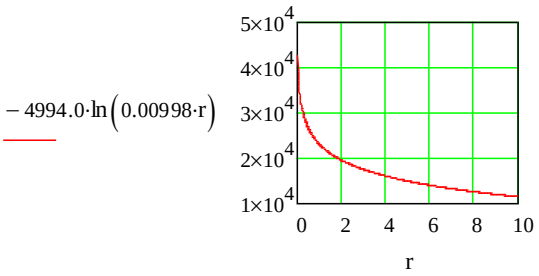
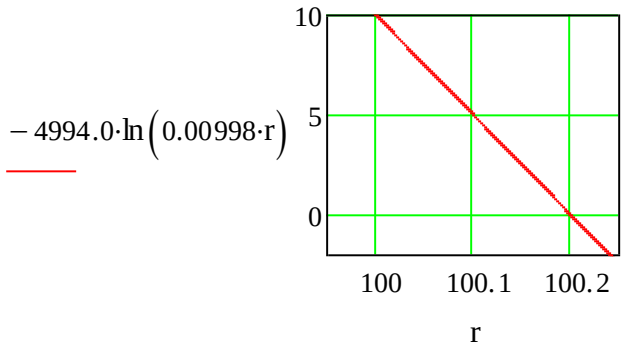


Fig. 4 Diagrama perfil de velocidades logarítmica ajustada



Cálculo del esfuerzo de corte, aplicando la ecuación de Newton

$$\tau_{rz} = -\mu \cdot \left[\frac{d}{dr}(v_z)\right]$$

$$\tau_{rz} = -\mu \cdot \left[\frac{d}{dr}\left(\frac{v_0 \cdot \ln\left(\frac{r}{R}\right)}{\ln(k)}\right)\right]$$

$$\tau_{rz} = -\mu \cdot \left[\frac{d}{dr}\left(\frac{v_0 \cdot \ln\left(\frac{r}{R}\right)}{\ln(k)}\right)\right] \rightarrow \tau_{rz} = \frac{405.0 \cdot N}{m \cdot r}$$

$$\tau_{rz} := \frac{799.0 \cdot N}{m \cdot r}$$

$$\lim_{r \to 0.100 \cdot m} \frac{799 \cdot N}{m \cdot r} \rightarrow \begin{cases} \frac{7990.0 \cdot N}{m^2} & \text{if } m \neq 0.0 \\ \text{undefined} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\lim_{r \to 0.10025 \cdot m} \frac{799 \cdot N}{m \cdot r} \rightarrow \begin{cases} \frac{7970.0748119354248047 \cdot N}{m^2} & \text{if } m \neq 0.0 \\ \text{undefined} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Fig. 5 Diagrama perfil de esfuerzo de corte hiperbólica

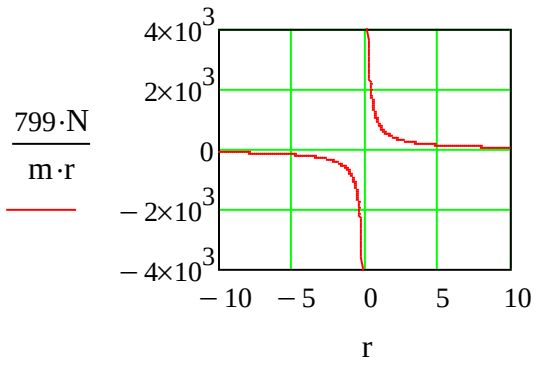
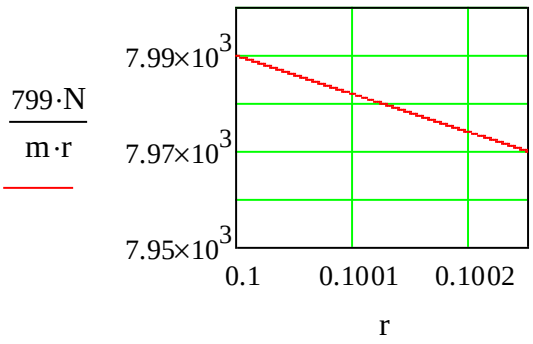


Fig. 6 Diagrama perfil de esfuerzo de corte hiperbólica ajustada



$$F_z = \tau_{rz} \cdot A_{rz}$$

$$\tau_{rz} = -\frac{\mu \cdot v_0}{r \cdot \ln(k)}$$

$$A_{rz} = 2 \cdot \pi \cdot L \cdot r$$

$$F_z = \tau_{rz} \cdot A_{rz} = 254.0 \cdot N$$

$$F_z = 254\ N$$

$$\ln(1) = 0$$

$$F_z := -\frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot \mu \cdot v_0}{\ln(1) - \ln(k)}$$

$$F_z = -\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot \mu \cdot v_0}{\ln\left(\frac{1}{k}\right)}\right) = -254.0 \cdot N$$

$$F_z = -254\ N$$

Aplicando la serie de Taylor

$$k = 1 - \varepsilon$$

$$\varepsilon \cdot \ln\left(\frac{1}{1-\varepsilon}\right)^{-1} = 1 - \frac{\varepsilon}{2} - \frac{\varepsilon^2}{12} - \frac{\varepsilon^3}{24} - \frac{19 \cdot \varepsilon^4}{720} - \frac{3 \cdot \varepsilon^5}{160}$$

$$F_z := -\left(\frac{2\cdot\pi\cdot L\cdot\mu\cdot v_0}{\varepsilon}\right)\cdot\left(\varepsilon\cdot\ln\left(\frac{1}{1-\varepsilon}\right)^{-1}\right)$$

$$\varepsilon = 1 - k = 0.002$$

$$F_z := -\left(\frac{2\cdot\pi\cdot L\cdot\mu\cdot v_0}{\varepsilon}\right)\cdot\left(1 - \frac{\varepsilon}{2} - \frac{\varepsilon^2}{12} - \frac{\varepsilon^3}{24} - \frac{19\cdot\varepsilon^4}{720} - \frac{3\cdot\varepsilon^5}{160}\right) = -254.0\cdot N$$

$$F_z = -254\ N$$

$$F_z = -\left(\frac{2\cdot\pi\cdot L\cdot\mu\cdot v_0}{\ln\left(\frac{1}{k}\right)}\right)$$

La potencia absorbida por el lubricante en el sistema pistón será

$$N_L = \left|F_z\right|\cdot v_0$$

$$N_L = \left|-\frac{2\cdot\pi\cdot L\cdot\mu\cdot v_0^2}{\ln\left(\frac{1}{k}\right)}\right| \rightarrow N_L = \frac{2542.0\cdot\left|N\cdot m\right|}{\left|s\right|}$$

$$N_L := \left|-\frac{2\cdot\pi\cdot L\cdot\mu\cdot v_0^2}{\ln\left(\frac{1}{k}\right)}\right|$$

$$N_L = 2.542\times 10^3 W$$

$$N_{L.} = 2.54\cdot kW$$

CONCLUSIONES

La investigación concluye qu las perdidas de potencia por desgaste de cilindro y anillas durante su vida útil es del 3 a 7 % de la potencia nominal, a consecuencia del envejecimiento periódico del aceite lubricante de MCI, dos aspectos influyen también, co contaminación interna gracias al desgaste de los elementos móviles y estáticos, como son el pistón y anillas y las camisas del cilindro.

Por otro lado, la contaminación externa, que ingresa por los filtros de alimentación de aire.

Recomendaciones, Trabajos Futuros.

También recomendamos para trabajos futuros se ha en todos los cojinetes del MCI que se lubrican con aceite lubricante, tanto para puños del cigüeñal, brazos de biela, apoyos de árbol de levas y levas propiamente, para así completar todas las zonas donde se lleva acabo la lubricación, para saber aproximadamente la potencia total perdida por la lubricación de estos elementos, así aproximarnos a los calculo reales.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Bird, R. B. (2006). Fenómenos de transporte,Transport phenomena. México: Limusa Wiley, 2a. ed.

Manual de servicio y mantenimiento camión fuera de carretera 793D Caterpillar Gestión del Mantenimiento de Maquinarias - Rendimiento y Producción.

Transport Phenomena chemical Reactor design Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 1997.

M.A. Nicholls, T. Do, P.R. Norton, M. Kasrai, G.M. Bancroft, Review of the lubrication of metallic surfaces by zinc dialkyl-dithiophosphates. Tribol. Int. 38, 15–39 (2005)