



Efecto de los Aditivos Lubricantes Cuando se Prueba en Régimen de Lubricación hidrodinámica (motores)

Effect of Lubricant Additives when Tested in Hydrodynamic Lubrication Regime (Engines)

Efeito de aditivos lubrificantes quando testados em regime de lubrificação hidrodinâmica (motores)

Jairo Edison Guasumba-Maila^I
jguasumba@tecnoecuadoriano.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-0533-0397>

Diego David Oramas-Proaño^{II}
doramas@tecnoecuadoriano.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-4103-6571>

Erick Joel Sáez-Erazo^{III}
jhoelsaez@outlook.com
<https://orcid.org/0000-0003-3189-074X>

Cesar Augusto Granda-Fuel^{IV}
grandacesar10@outlook.com
<https://orcid.org/0000-0002-3087-5161>

Correspondencia: jguasumba@tecnoecuadoriano.edu.ec

Ciencias de la salud
Artículos de investigación

***Recibido:** 19 de junio de 2021 ***Aceptado:** 15 de julio de 2021 * **Publicado:** 10 de agosto de 2021

- I. Magister en Diseño Mecánico, Docente Investigador, Coordinador de Carrera de Mecánica Y Electromecánica Automotriz, Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuadoriano, Ecuador.
- II. Analista en sistemas, Licenciado en Ciencias de la Educación Especialidad Inglés, Magister en Gerencia Educativa, Docente Investigador, Director Prácticas Pre Profesionales. Director del Área de Inglés, Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuadoriano, Ecuador.
- III. Participante Investigador, Estudiante Tecnología Superior en Electromecánica Automotriz. Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuadoriano, Ecuador.
- IV. Participante Investigador, Estudiante Tecnología Superior en Electromecánica Automotriz. Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuadoriano, Ecuador.

Resumen

El sector del transporte es un consumidor principal de diferentes recursos energéticos, por lo que reducir el consumo de recursos energéticos vitales es fundamental en los automóviles. La evolución de los lubricantes para motores de combustión interna desde el inicio del diseño de estos componentes hasta la actualidad se busca aprovechar la energía provocada por las oscilaciones de su trabajo normal. Por todo aquello se están desarrollando aditivos para mejorar las propiedades de desgaste de los componentes del motor, la eficiencia del combustible y para reducir las emisiones de carbono, ya que estos componentes influyen sobre varias propiedades del lubricante como es la fricción, la temperatura y otros más que son prioridad en la aplicación práctica de aceites comerciales. En este trabajo también se aprecia cual es el comportamiento de la fricción hidrodinámica, la fricción límite y su relación con la viscosidad del aceite para los diseños de ciertos componentes como el pistón, el cigüeñal que son donde se concentra un gran porcentaje de pérdidas en el motor. En conclusión, se menciona que las películas de aceite generadas en los contactos con la adición de los aditivos evitan eficazmente el contacto directo entre las asperezas metálicas y redujeron el desgaste de la superficie desgastada provocada por la fricción en los componentes del motor derivando en un menor consumo de combustible y por tanto de energía.

Palabras clave: Lubricantes para automóviles; formulación de aditivos; fricción; motor; propiedades tribológicas.

Abstract

The transport sector is a major consumer of different energy resources, so reducing the consumption of vital energy resources is essential in automobiles. The evolution of lubricants for internal combustion engines from the beginning of the design of these components to the present seeks to take advantage of the energy caused by the oscillations of their normal work. For all that, additives are being developed to improve the wear properties of engine components, fuel efficiency and to reduce carbon emissions, since these components influence various properties of the lubricant such as friction, temperature, and others. more than they are priority in the practical application of commercial oils. In this work it is also appreciated what is the behavior of hydrodynamic friction, limit friction and its relationship with oil viscosity for the designs of certain components such as the piston, the crankshaft, which are where a large percentage of losses is concentrated in the motor. In conclusion, it is mentioned that the oil films generated on the contacts

with the addition of additives effectively prevent direct contact between metallic roughness and reduced wear on the worn surface caused by friction on engine components, resulting in less consumption of fuel and therefore energy.

Keywords: Automotive lubricants; additive formulation; friction; engine; tribological properties.

Resumo

O setor de transportes é um grande consumidor de diferentes recursos energéticos, portanto, reduzir o consumo de recursos energéticos vitais é essencial nos automóveis. A evolução dos lubrificantes para motores de combustão interna desde o início do projeto desses componentes até a atualidade busca aproveitar a energia provocada pelas oscilações de seu funcionamento normal. Por tudo isso, aditivos estão sendo desenvolvidos para melhorar as propriedades de desgaste dos componentes do motor, a eficiência do combustível e reduzir as emissões de carbono, uma vez que esses componentes influenciam várias propriedades do lubrificante como fricção, temperatura e outras. Mais do que prioridade na prática aplicação de óleos comerciais. Este trabalho também mostra qual é o comportamento do atrito hidrodinâmico, atrito limite e sua relação com a viscosidade do óleo para os projetos de determinados componentes como o pistão, o virabrequim, que são onde grande parte das perdas se concentra no motor. Em conclusão, cita-se que as películas de óleo geradas nos contatos com a adição de aditivos evitam efetivamente o contato direto entre a rugosidade metálica e o desgaste reduzido da superfície desgastada pelo atrito nos componentes do motor, resultando em menor consumo de combustível e, portanto, de energia.

Palavras-chave: Lubrificantes automotivos; formulação de aditivos; atrito; motor; propriedades tribológicas.

Introducción

Desde los tiempos como el Neolítico en Mesopotamia, Egipto, y Asiria se han encontrado encajes en roca para ejes de puertas, ruedas de alfareros en madera y roca, así como cojinetes. En la Edad de Hierro emergen los primeros cojinetes insertadas en recursos de madera, de aceites vegetales y grasas de procedencia animal. En las metas técnico-económicas de la Tribología se establecen tres importantes: Ahorro de energía; Ahorro de materiales primas; explotación óptima de los sistemas tribológicos (Herrera y Cunalata, 2019). Uno de los entornos más exigentes en

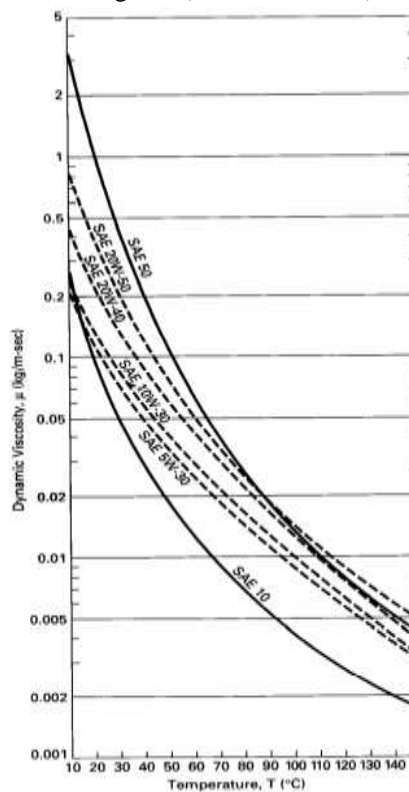
aplicaciones como las de los vehículos de alto rendimiento son las áreas de alta fricción, desgaste y contacto del motor y del tren de válvulas, como el árbol de levas y demás componentes donde hay alta presión de contacto y velocidades de deslizamiento (Broitman y Zhou, 2019).

Los lubricantes generalmente se pueden clasificar como orgánicos naturales u orgánicos sintéticos (Bhushan, 1990). Los lubricantes orgánicos naturales incluyen los obtenidos de recursos naturales, como animales, vegetales y minerales, mientras que los lubricantes sintéticos son aquellos fabricados y personalizados para aplicaciones específicas (por ejemplo, hidrocarburos sintéticos y ésteres) (Palacios y Bhushan, 2010). La polialfaolefina (PAO), que es un aceite sintético del Grupo IV del Instituto Americano del Petróleo (API), es uno de los aceites base más utilizados junto con el aceite mineral parafínico (M), el aceite API Grupo I (AI), el aceite API Grupo II (A-II), aceite API Grupo III (A-III), así como algunos aceites de base biológica [es decir, aceite de colza (RO), aceite de girasol (SO)]. Los aceites aplicados en motores totalmente formulados disponibles comercialmente, como Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) 5W30, SAE 5W20, SAE 75W85, SAE 0W40 y SAE 40, que contienen paquetes completos de aditivos, principalmente optimizado para interactuar con superficies ferrosas (Zahid et al., 2015). Los aceites mono grados como SAE 10, o SAE 50 se comparan en la figura 1. El lubricante es un elemento fundamental para la operación del motor de combustión interna, este es afectado con respecto a su vida útil, así como también la condición operativa del vehículo, por los procesos de combustión y el combustible. Para esto se han generado los aditivos, los cuales son encargados maximizar el rendimiento del lubricante base; potencian las propiedades que ya posee, y añade otras que complementan y eliminando así a las que no son válidas. Otras funciones de los aditivos son, que protegen al lubricante de la oxidación, ralentizar el desgaste, mejorar la fluidez del lubricante base, proteger a los sistemas de los procesos de combustión o posibles fallas del lubricante (Delfin, 2018).

Existe una gran variedad de aditivos, los cuales se ajustan a las necesidades de cada vehículo, por lo general estos se están utilizando mucho más en la actualidad en motores modernos (Haas et al., 1991). A continuación, se presenta los tipos de aditivos: Aditivos antioxidantes; Aditivos anticorrosivos; Aditivos antiespumantes; Aditivos detergentes; Aditivos antidispersantes; Aditivos antidesgaste; Aditivos espesantes; Aditivos diluyentes (Wong & Tung, 2016). Algunos de los aditivos lubricantes que se aplican más ampliamente en combinación con diferentes aceites básicos incluyen modificadores de la fricción [como monooleato de glicerol (OGM) y ditiocarbamato de

molibdeno (MoDTC)] y aditivos antidesgaste [como el dialquilditiofosfato de zinc (ZDDP)] y aditivos de extrema presión en algunos de los estudios. Algunos otros aditivos, como el fosforotionato de trifenilo butilado (b-TPPT), los aminofosfatos (AP) y el diéster de amina sulfúrico-fosfato (T307), también se utilizan (Zahid et al., 2015). Por este motivo se propone analizar las consecuencias de la aplicación y los factores que influyen en la vida útil de los lubricantes.

Figura 1: Viscosidad Dinámica En Función De La Temperatura Para Motores con Aceites Comunes Mono grado y Multigrado (Pulkrabek, 2013).



Lubricación en el pistón del motor

La lubricación mixta unidimensional en el espesor de la película de aceite y la fricción en la cabeza y anillos del pistón. Se aplica un modelo donde se consideran tres modos de lubricación, a saber, lubricación pura hidrodinámica, mixta y de límite pura. Todas estas consideraciones son cruciales para estudiar el transporte de aceite, especialmente en la región del punto muerto superior (TDC), donde el anillo de control de aceite no puede llegar, esto en un motor diésel monocilíndrico ya que sus características de baja velocidad y alta presión del cilindro crean condiciones de lubricación

severas para el paquete de anillos. De esto se encuentra que la rugosidad de la superficie tiene un impacto importante en este mecanismo de transporte de petróleo. Posteriormente, los resultados del espesor mínimo de la película de aceite y la fricción total se muestran en la Figura 2 para estos tres aceites. El anillo de control de aceite del motorgasolina es significativamente más afilado que el motor Caterpillar. Esta cara de anillo más afilada proporciona menos fuerza de compresión del aceite y, por lo tanto, más contacto de aspereza alrededor de los puntos muertos que se puede ver en la Figura desde los picos de fricción incluso alrededor de las regiones BDC. Además, el grosor de la película de aceite de los dos anillos superiores solo se reduce ligeramente durante las carreras de expansión y escape. Las fluctuaciones de fricción alrededor del TDC son hidrodinámicas y ocurren cuando el anillo superior pasa las ubicaciones del TDC del anillo raspador y el anillo de control de aceite y cuando el anillo raspador pasa el TDC del anillo de control de aceite. Para esta misma condición de funcionamiento al respecto del espesor mínimo de la película de aceite, el motor gasolina no se eleva a la misma magnitud que la del diésel Caterpillar debido a la menor presión del cilindro y la mayor velocidad del motor(Tian et al., 1996)

Figura 2: Predicciones del espesor mínimo de la película de aceite y la fricción para un motor Kohler a 2500 rpm, carga completa y temperatura 100°C(Tian et al., 1996)

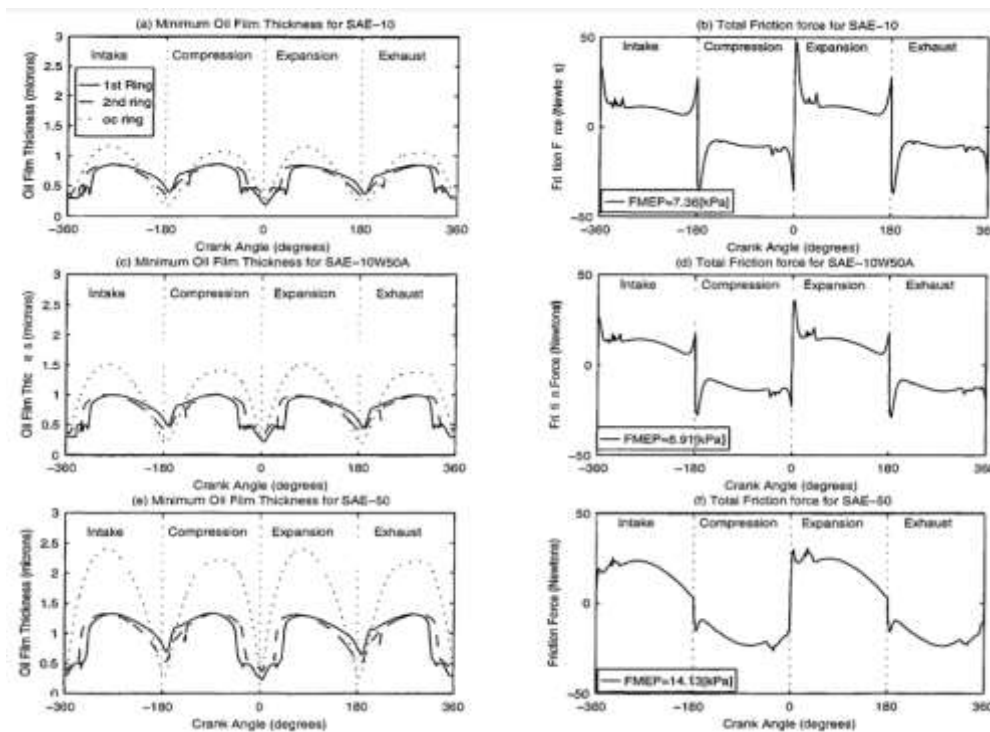
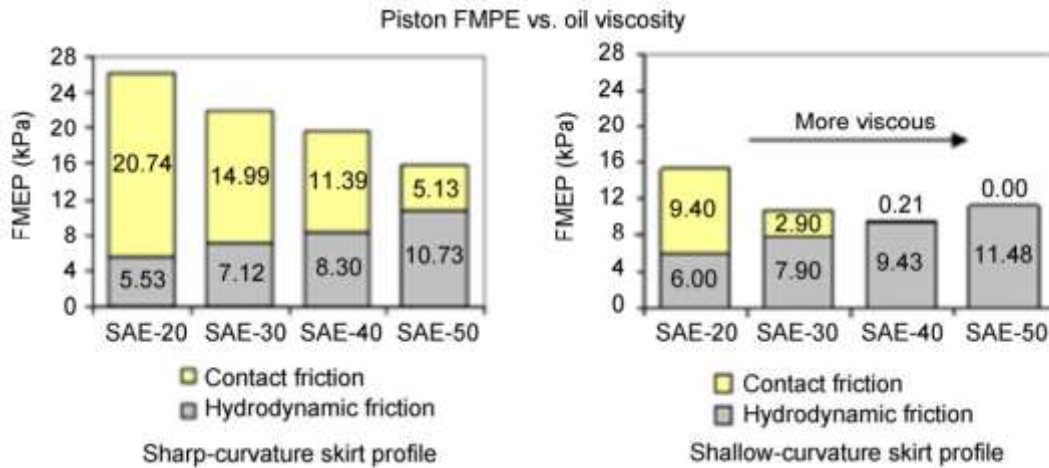


Figura 3: Cálculos informáticos que muestran los efectos de la viscosidad del aceite en la fricción del pistón-faldón / camisa, que ilustran la dependencia del grado de lubricación mixta / límite: (izquierda) lubricación significativa de límite mixto; (derecha) lubricación moderada de límite mixto (Moughon, 2006)



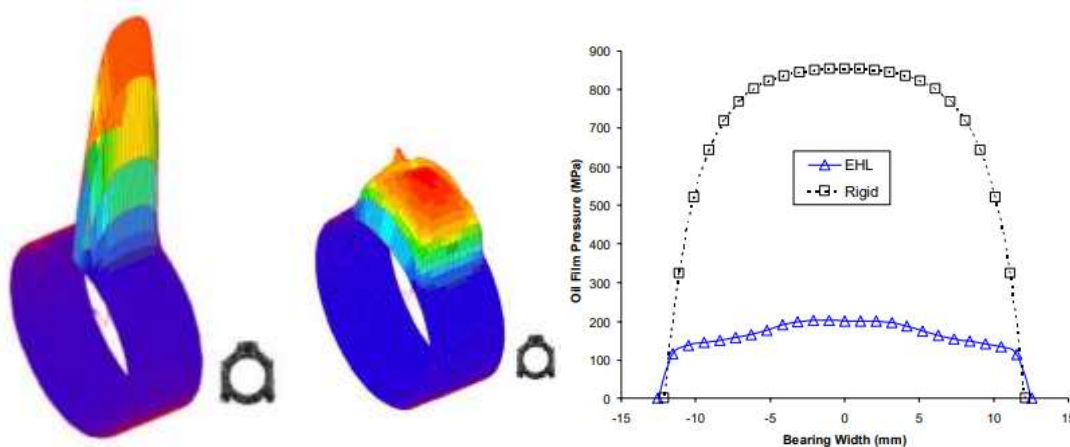
La Figura 3 ilustra los efectos conceptualmente típicos del aumento de la viscosidad en la fricción del pistón-falda, donde la fricción hidrodinámica aumenta y la fricción límite disminuye al aumentar la viscosidad del aceite para un diseño de falda con una buena cantidad de lubricación límite. En este caso, un aceite más espeso mantiene una mayor separación entre el faldón y el revestimiento y reduce constantemente la fricción. Sin embargo, en la figura también, en un diseño de faldón diferente con menos lubricación límite, el aumento de la viscosidad del aceite aumentaría la fricción más allá de un punto óptimo, ya que la lubricación hidrodinámica se vuelve dominante y una viscosidad más baja disminuiría la fricción. La clave para reducir la fricción entre el faldón y el revestimiento del pistón radica en mantener la lubricación hidrodinámica del faldón. Con un suministro de aceite adecuado al faldón, desaparecerían la mayoría de los otros problemas del diseño del perfil del faldón y las características de la superficie que afectan la lubricación del límite (Wong & Tung, 2016).

Lubricación hidrodinámica en el cigüeñal

El análisis de lubricación del cojinete principal considerando el movimiento axial del cigüeñal y la deformación del cigüeñal bajo carga se basan en el modelo de lubricación hidrodinámica tridimensional (Zia et al., 2017). La lubricación del cojinete principal del cigüeñal se analiza mediante un método dinámico. El resultado muestra que la trayectoria del centro del muñón del

cojinete principal del cigüeñal es una curva espacial no cerrada y tridimensional cuando se considera el movimiento axial del cigüeñal y el espesor mínimo de la película de aceite, la presión máxima de la película de aceite, la pérdida de potencia por fricción y el flujo de fuga final. La tasa del cojinete principal se cambia obviamente en algunos momentos del ciclo de trabajo de un motor de combustión interna en comparación con no considerar el movimiento axial (Mian et al., 2002). Por lo tanto, para ser más razonables y más cercanos a la realidad, es necesario tener en cuenta la influencia del movimiento axial del cigüeñal en el análisis del rendimiento de lubricación del cojinete principal del cigüeñal (Li et al., 2019). Haciendo una sección en la misma circunferencia posición en los modelos mostrados en las figuras, es posible comparar directamente la forma del campo de presión hidrodinámico en el ancho del rodamiento dirección. La Figura lo muestra para la posición donde se aplica la carga más alta ($X = 0$) (Zottin & Lopez, 2000).

Figura 4: Perfil de presión hidrodinámica axial, rígido y caso EHL



Se identificaron los principales mecanismos de fricción como el conjunto del pistón, incluidos los aros y la falda del pistón, el sistema de tren de válvulas, el sistema de manivela y cojinetes para el (motores de cigüeñal) CSE y el generador eléctrico lineal para el (motores de pistón libre) FPE. Se estimó y discutió la pérdida por fricción de cada mecanismo de fricción (Jia et al., 2018). Se utilizó un diagrama de Stribeck para simular la fricción del anillo del pistón durante la lubricación hidrodinámica, la lubricación mixta y la condición de contorno. Se observa que la tendencia cambiante de la fuerza de fricción del segmento de pistón está de acuerdo con la de la presión del cilindro. La fuerza de fricción del anillo del pistón es mínima durante el proceso de lubricación hidrodinámica a pesar de la alta velocidad del pistón, mientras que una alta presión del cilindro

reducirá el parámetro de trabajo, lo que llevará la condición de lubricación a la lubricación mixta de la lubricación hidrodinámica. En la Figura 5 y 6 como resultado, se incrementará tanto la carga que actúa sobre el segmento del pistón como el coeficiente de fricción, lo que aumentará significativamente la fuerza de fricción (Jia et al., 2018).

Figura 5: Viscosidad El parámetro de servicio y el valor absoluto de la fuerza de fricción del anillo del pistón superior del FPE (Jia et al., 2018).

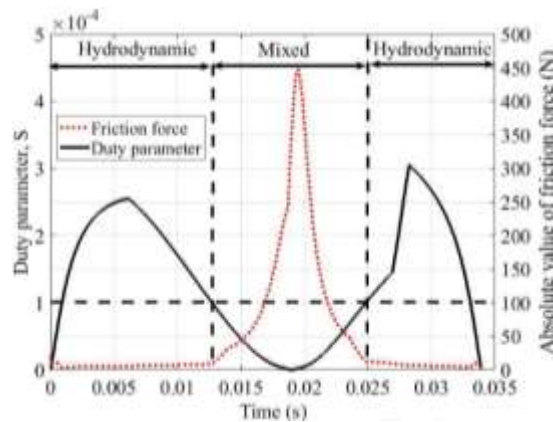


Figura 6: El desplazamiento del pistón y el valor absoluto de la velocidad del pistón del FPE (Jia et al., 2018).

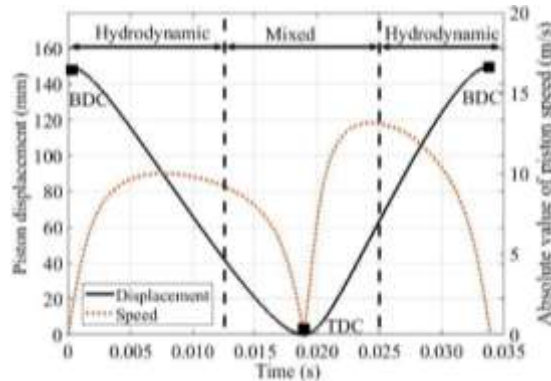


Figura 7: El desplazamiento mecanismo de fricción, y las pérdidas por fricción en los mecanismos (Jia et al., 2018).

Parameters [Unit]	CSE	FPE
Piston rings frictional loss [W]	2299.4	2489.0
Piston skirt frictional loss [W]	810.2	0
Crank and bearing frictional loss [W]	1508.9	0.0
Valve train system [W]	1724.4	1724.4
Linear electric generator frictional loss [W]	0.0	265.4
Total frictional loss [W]	6342.9	4478.8
Engine indicated power [W]	44070.0	50064.0

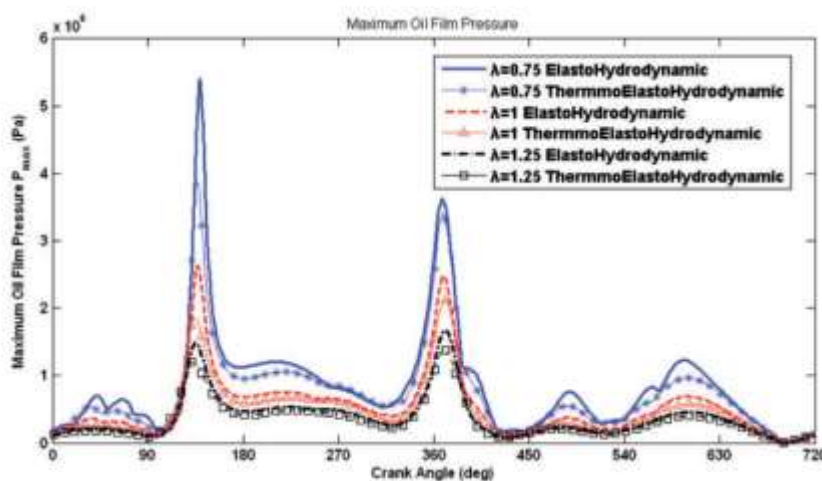
Se discuten los modelos de simulación para cada mecanismo de fricción, y las pérdidas por fricción se calculan y comparan en la figura 7. Se observa que la potencia indicada del motor del FPE es algo mayor que la del CSE, que también se puede encontrar a partir de la presión-desplazamiento. El FPE no muestra ventajas en la fuerza de fricción del segmento del pistón sobre el CSE, y la pérdida por fricción del segmento del pistón es aún mayor. Sin embargo, la eliminación del sistema de cigüeñal reduce la pérdida por fricción del FPE, y la pérdida total por fricción del FPE es casi la mitad del CSE. Se encuentra que el FPE no muestra ventajas en la fuerza de fricción del anillo del pistón sobre el CSE, y la pérdida por fricción del anillo del pistón es aún mayor. Mientras que la eliminación del sistema de cigüeñal reduce la pérdida por fricción del FPE, y la pérdida total por fricción del FPE es casi la mitad del CSE (Jia et al., 2018).

En suma, con el fin de mejorar la característica de lubricación de los cojinetes principales de un motor diesel después de mejorar su salida de potencia, se estableció un modelo de análisis de lubricación de los cojinetes. Las influencias de las diferentes tasas de equilibrio en el rendimiento de la lubricación del cigüeñal se analizaron de acuerdo con las teorías de la lubricación elastohidrodinámico (EHD) y la dinámica de los rodamientos. Los resultados muestran que la tasa de equilibrio del cigüeñal tiene una gran influencia en el rendimiento de lubricación de los cojinetes principales. Los pesos de influencia del espesor mínimo de la película de aceite, la presión máxima de la película de aceite y la presión de contacto de aspereza máxima son cercanos a los del juego radial, pero menores que los del ancho del rodamiento. Además, la tasa de equilibrio tiene la mayor influencia en la pérdida media por fricción. En comparación con los factores de influencia del ancho del rodamiento, el juego radial y otros, el factor de influencia de la tasa de equilibrio del cigüeñal también debe considerarse durante la etapa de diseño de lubricación de los

rodamientos principales cuando se intensifica la potencia del motor (Zhang et al., 2020). Así mismo, los cojinetes de deslizamiento de los motores diésel de alto par se utilizan para atender cargas de combustión elevadas que se aplican de forma intermitente. El calentamiento por cizallamiento reduce la viscosidad del lubricante que, en última instancia, reduce la capacidad de carga del cojinete de deslizamiento. Ofrece un contacto físico y reduce la vida útil del cigüeñal. Los resultados muestran que el aceite con alta viscosidad produce altas presiones hidrodinámicas en comparación con el aceite que tiene baja viscosidad. La temperatura de cizallamiento viscoso reduce las presiones hidrodinámicas, pero aún el aceite lubricante de alta viscosidad tiene presiones suficientes para elevar el eje después de incorporar los efectos de calentamiento por cizallamiento. Este estudio determina la presión hidrodinámica y la variación de densidad, viscosidad y conductividad térmica con la temperatura para tres aceites lubricantes diferentes. Estos análisis facilitarán la selección del lubricante apropiado para motores diésel de baja velocidad de alto par con el fin de mejorar la vida útil del cigüeñal (Naseer et al., 2018). Por otro lado, la lubricación de un cojinete de biela y sus cojinetes principales adyacentes de un motor de gasolina de cuatro tiempos, en el que se introducen el criterio de Kirchoff y la ecuación de Bernoulli para analizar el flujo de aceite en los conductos de aceite del cigüeñal y se construye un modelo de cavitación para simular la cavitación en los conductos de aceite. Los resultados muestran que considerar el flujo de aceite en el paso de aceite tiene efectos significativos en los resultados del análisis de la lubricación en el cojinete de biela. Teniendo en cuenta el flujo de aceite en el paso de aceite, las condiciones límite de la lubricación en el cojinete de la biela cambian, lo que lleva al aumento de la presión máxima de la película de aceite, la disminución del espesor mínimo de la película de aceite y el aumento de la fuga final del flujo de aceite. y el pico de potencia de pérdida por fricción. Por lo tanto, este análisis del flujo de aceite en los conductos de aceite tiene un significado importante para predecir la cavitación en el conducto de aceite y el ajuste adecuado de las condiciones límite para la lubricación del cojinete de biela (Pan et al., 2018). Las características de desempeño de los cojinetes principales del motor bajo cargas hidrodinámicas en un motor diésel de seis cilindros en línea. Se analiza desde el comportamiento de los cojinetes principales del motor bajo carga dinámica. Como resultado la presión máxima de la película de aceite P_{max} en diferentes λ se muestran en las figuras 8, Los resultados muestran que el lubricante se ve afectado por λ bajo compresión y la expansión viva. Como se indica en la

figura 8, bajo las cargas dinámicas, la presión máxima de la película de aceite disminuye mientras que lambda aumenta. La temperatura afecta al máximo presión de la película de aceite y hace que disminuya(Hatami et al., 2020).

Figura 8: Comparación de la presión máxima de la película de aceite del cojinete principal en diferentes grados(Hatami et al., 2020).



Aditivos de aceite de motor gasolina

Mejorar el comportamiento tribológico utilizando un nano lubricante de grafeno (Gr) diseñado para ahorrar energía y reducir las emisiones de escape en los motores de los automóviles. Para esto se vincula las pruebas tribológicas con el rendimiento real del motor, el rendimiento del motor se evaluó utilizando un dinamómetro AVL según el Nuevo ciclo de conducción europeo (NEDC). Los resultados tribológicos mostraron que la lubricación a través del nano lubricante Gr mejora las propiedades antifricción y anti-desgaste en un 29–35% y un 22–29%, respectivamente, durante el sistema de lubricación límite. La lubricación del motor con nano lubricante Gr reveló una reducción de la masa de combustible acumulada consumida en un 17% con la simulación de carga en carretera durante la prueba NEDC. Además, las emisiones de escape (CO, CO₂, HC y NO_x) se redujeron entre un 2,79 y un 5,42%, en comparación con el aceite de referencia(Ali, Xianjun, et al., 2018). En el mismo sentido los motores económicos con alta eficiencia se logran aplicando las nanopartículas híbridas de Al₂O₃ / TiO₂ como nano lubricantes. Las características de rendimiento del motor de gasolina se evaluaron experimentalmente utilizando un dinamómetro AVL en diferentes condiciones de funcionamiento, los resultados mostraron que el uso de nano

lubricantes Al_2O_3 / TiO_2 aumenta la potencia de frenado, el par y la eficiencia mecánica, mientras que el consumo de combustible específico del freno (BSFC) se redujo debido a que la eficiencia mecánica del motor mejoró en un 1,7-2,5%, en comparación con el aceite sin nanopartículas (Ali, Fuming, et al., 2018).

La degradación térmica de los aceites lubricantes se realizó utilizando un analizador térmico simultáneo (TGA / DTG / DSC). Los resultados de TGA mostraron que la temperatura de inicio de oxidación y la temperatura de quemado de los nano lubricantes híbridos Al_2O_3 / TiO_2 podrían retrasarse $54,9^\circ C$ y $38,7^\circ C$, respectivamente, en comparación con el aceite de referencia (5W-30). Los nano lubricantes Al_2O_3 / TiO_2 presentaron una mejora de las características de transporte de calor y la eficiencia térmica del freno en un 9–14% y un 3,9–8,6%, respectivamente, en comparación con el aceite de referencia como se presenta en la figura 9 y 10. Por lo tanto, la alta estabilidad térmica de los nano lubricantes Al_2O_3 / TiO_2 permite su uso en un amplio rango de temperaturas con una mayor economía de combustible, optimizar los intervalos de cambio de aceite lubricante y reducir los costos de mantenimiento en los vehículos (Ali & Xianjun, 2020).

Figura 9: Comportamiento del par motor durante NEDC utilizando nano lubricantes y aceite lubricante (5W-30)

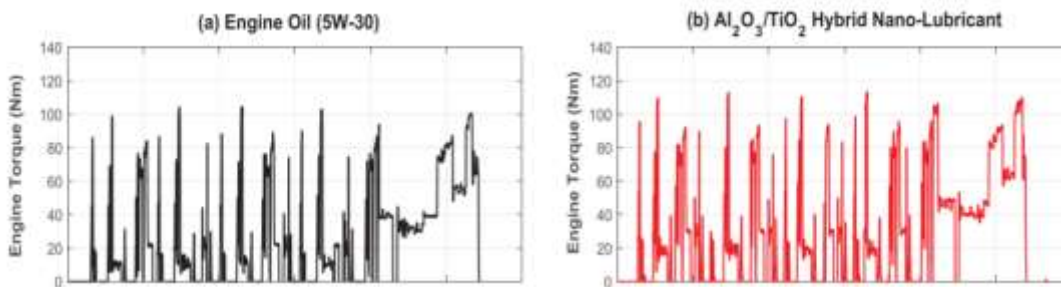
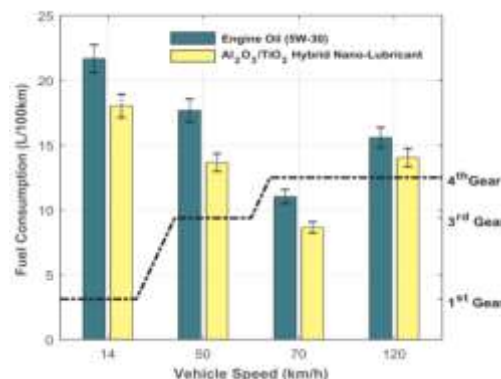


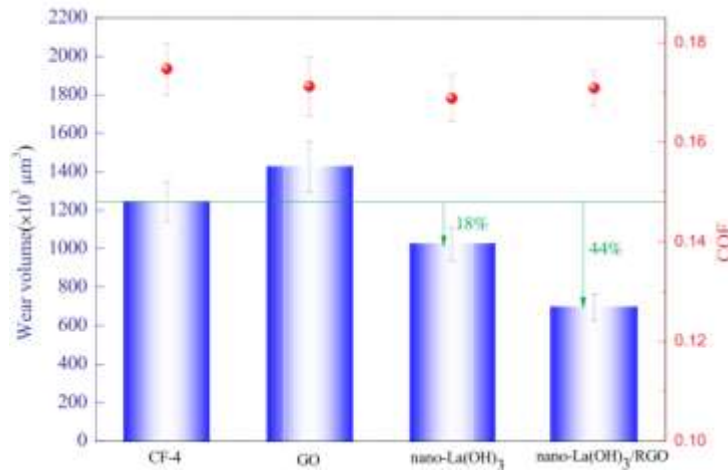
Figura 10: Consumo de combustible frente a la velocidad del vehículo tanto para el aceite lubricante (5W-30) como para Al_2O_3 / TiO_2



Aditivos de aceite de motor diésel

El mecanismo anti-desgaste para aceite de motor diésel de los compuestos nano-La (OH) 3 / RGO se estudió simultáneamente comparándolo con el comportamiento tribológico del óxido de grafeno y las partículas puras nano-La (OH) 3. Los resultados indican que los compuestos nano-La (OH) 3 / RGO pueden mejorar notablemente el rendimiento anti-desgaste del aceite de motor diésel en condiciones de lubricación límite. En particular, el rendimiento anti desgaste del aceite de motor diésel aumentó en un 44% después de agregar compuestos al 0,1% en peso a una temperatura de 80 ° C y una presión de contacto de 1,62 GPacomo se aprecia en la figura 11 (Wu et al., 2020). Así mismo se requieren nuevos aditivos antifricción y anti-desgaste mejorados para mejorar el ahorro de combustible y reducir la emisión de gases de efecto invernadero. La inclusión de nanopartículas conocidas como lubricantes sólidos en los motores de combustión interna (fullerenos inorgánicos MoS₂ y WS₂). El nano-lubricante permitió demostrar en el Nuevo Ciclo de Conducción Europeo (NEDC) una reducción del 0,9% del consumo de combustible con respecto al lubricante de referencia SAE 5 W30 (SgROI et al., 2017). Además, la eficiencia de estimulación de emisiones del DOC y DPF reduce los gases y contaminantes sólidos obtenidos con el aceite aditivado con MoS₂ a niveles equivalentes a los alcanzados con el aceite de referencia. Una prueba de resistencia de 100 h (equivalente a 10.000 km) demostró la estabilidad del sistema catalítico y la idoneidad de los catalizadores comerciales de postratamiento para hacer frente a las modificaciones de las emisiones inducidas por la inclusión de nano aditivos en la matriz del aceite (Castillo Marcano et al., 2014). Por otro lado, la viscosidad y densidad de los nano lubricantes resultantes se determinaron variando tanto la fracción de volumen de nanopartículas como la temperatura. se evaluó experimentalmente el rendimiento de un motor diésel de 4 tiempos al agregar nanopartículas de Al₂O₃ o SiO₂ al aceite del motor (SAE15W40). Se evaluó el rendimiento de estos nano lubricantes en un banco de pruebas de motor diésel de 4 tiempos y se observaron las mayores mejoras en el comportamiento tribológico y el rendimiento del motor al emplear 0,3% en volumen de Al₂O₃ y un BSFC más bajo.(Kotia et al., 2018).

Figura 11: Comparación del rendimiento tribológico GO, nano-La (OH) 3 y nano-La (OH) 3 / RGO (Wu et al., 2020).



Componentes del motor y sus actuales aditivos

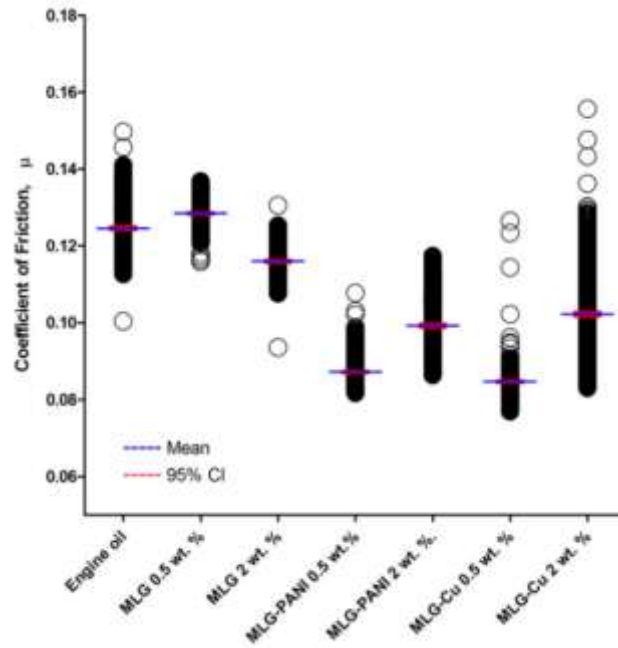
Para comenzar, los recubrimientos de carbono tipo diamante (DLC) son materiales de carbono amorfo que exhiben propiedades típicas del diamante, como dureza y bajo coeficiente de fricción. Este revestimiento se puede aplicar al componente del motor de un automóvil en un intento de proporcionar eficiencia energética al reducir la fricción y el desgaste. Entre las propiedades tribológicas y mecánicas de las películas DLC, está la adhesión, generalmente las películas DLC enfrentan dificultades con la adhesión, debido a la alta tensión de compresión interna, que acompaña al crecimiento de las películas. Ahora, recubrimientos DLC dopado con tungsteno y el molibdeno, estos elementos comúnmente son usados para recubrir piezas de motores de automóviles para mejorar la estabilidad térmica. Según un estudio de comportamiento tribológico de DLC-W en Aluminio que se ha llevado a cabo en condiciones lubricadas mostro un coeficiente de fricción bajo y una tasa de desgaste de $0.51 \times 10^{-5} \text{mm}^3/\text{Nm}$, que se debió a la presencia de disulfuro de tungsteno. En la película DLC se implementan diferentes nanopartículas de forma controlada ya que esto es de gran importancia. Es por eso por lo que los DLC tiene que estar dopados de elementos metálicos como Si para que una mejor adhesión y una baja fricción entre los elementos mecánicos. Pero como avanza las investigaciones es recomendable usar un dopaje con nanopartículas en las películas de DLC con trióxido de tungsteno que este nos da una mejor adherencia, entre la película y sustrato metálico, y también nos ayuda a tener un bajo índice de fricción por lo que el aguante en los elementos mecánicos es mucho mayor (Olaitan Kolawole et al., 2020).

Adicionalmente, se mide la potencia de fricción del motor en una amplia gama de condiciones de funcionamiento. Se agregó un accionamiento auxiliar hidrostático a un banco de pruebas convencional con algunas modificaciones en el uso de los instrumentos de medición. Se llevaron a cabo dos series de pruebas de motor: Aceite de referencia API SE, SAE 20W-50; y Aceite de referencia con coloides de PTFE aditivo para aceite de motor (politetrafluoroetileno). Se muestra que en determinadas condiciones de funcionamiento se puede lograr una reducción de hasta un 4 por ciento en el consumo específico de combustible (Gutman & Stotter, 1985). Se habla de una reducción del coeficiente de fricción en un 47,61% bajo el régimen de lubricación límite cuando se utilizan nano lubricantes híbridos Al₂O₃ / TiO₂ en comparación con el aceite de motor sin nanopartículas. Además, la reducción de COF de nano-MoS₂-ZDDP sin ninguno fue del 35,3% en comparación con el aceite de parafina, mientras que fue solo del 12,2% cuando se añadió 3% en peso (Olaitan Kolawole et al., 2020). En otro estudio se observó una gran reducción de la fricción para el aceite de motor con 0.5% en peso y 2% en peso de MLG-Cu como 33% y 43%, respectivamente debido a que las nanopartículas de cobre actúan como elementos espaciadores entre las tribocapas formadas por grafema y en consecuencia formando una tribo-capa más gruesa que los regímenes de lubricación mixta y límite (Ramón-Raygoza et al., 2016). También informaron las reducciones de desgaste del aceite de motor agregado con MLG en 0.5% en peso y 2% en peso, aproximadamente 20% y 30%, respectivamente. Indicaron que el aumento de la concentración de MLG reduce el desgaste debido a la mayor cantidad de nanopartículas tribo-sinterizadas que protegen la superficie de desgaste. Además se describió el efecto de la velocidad de corte en la disminución de la viscosidad, cuando la velocidad de corte aumenta las nanopartículas y varían su posición en la dirección de corte y aumenta la velocidad de corte (Ramón-Raygoza et al., 2016; Hatami et al., 2020).

Se estudia nano lubricantes añadidos con grafeno multicapa (MLG), grafeno multicapa impregnado con cobre (MLG-Cu) y grafeno multicapa impregnado con poli anilina (MLG-PANI) para aplicaciones en motores de automoción. Estos nano fluidos se prepararon utilizando aceite de motor comercial (SAE 25 W-50) como fluido base. Las propiedades tribológicas se midieron a 100 ° C y se encontraron reducciones significativas en el coeficiente de fricción y desgaste. Las concentraciones utilizadas fueron 0,5% y 2% en peso, obteniendo reducciones en el coeficiente de fricción y desgaste de hasta 43% y 63%, respectivamente, en el caso de aceite de motor con grafeno impregnado de cobre como se aprecia en la figura 12. Todas las formulaciones de MLG, MLG-Cu

y MLG-PANI no mostraron sedimentación cuando se dispersaron en aceite de motor(Ramón-Raygoza et al., 2016).

Figura 12: Coeficiente de fricción promedio de pruebas de deslizamiento con un nivel de confianza (CI) del 95% en función del tipo nano aditivo(Ramón-Raygoza et al., 2016).



Por otro lado, se están desarrollando aditivos para mejorar las propiedades de desgaste de los componentes del motor, la eficiencia del combustible y para reducir las emisiones de carbono de los automóviles y vehículos comerciales al reducir la fricción, existe una necesidad cada vez mayor de mostrar la contribución de los aditivos lubricantes a la industria del automóvil, el consumidor y el impacto en el medio ambiente (Tonk, 2021). Así mismo los nano fluidos son la nanotecnología más utilizable en motores para mejorar su eficiencia. Se intenta encontrar aditivos de nanopartículas adecuados para obtener los máximos beneficios desde aspectos tribológicos y de eficiencia térmica. Entonces, los efectos del tipo de nanopartículas sobre tribológicas, térmicas y las propiedades reológicas de los nanos lubricantes se realizan para introducir las nanopartículas más eficientes en estas aplicaciones. Como resultado principal, se introdujeron los nano fluidos de TiO₂ y Al₂O₃-SAE40 como los más eficientes nano-lubricantes debido a una reducción máxima del 86% en el coeficiente de fricción (COF), reducción del desgaste del 29% y reducción del 51%

de las pérdidas de potencia por fricción, mientras que Gr tuvo las mejores reducciones de BSFC (17%) y emisiones (5,42%), así que usandonanopartículas híbridas (como Al₂O₃-Gr) (Hatami et al., 2020).

Las nanopartículas de óxido junto con el aditivo representativo (dialquil ditiofosfato de zinc, ZDDP) en el aceite de motor formulado. Los resultados revelaron bien que la adición de nanopartículas de óxido proporcionó la lubricidad mejorada del aceite de motor y una resistencia significativa al desgaste. La nanopartícula de Al₂O₃ proporcionó específicamente una capacidad tribológica superior en comparación con otras nanopartículas. Además, los diferenciales de mecanismo de uso, película lubricante y jerarquía de interfaz se aclararon mediante la observación morfológica y la caracterización composicional (Ma, 2021).

La creciente demanda de aceite de motor de baja viscosidad es necesario analizarse la influencia de los aditivos modernos como el ácido ciclopropanocarboxílico (CPCa) y las nanopartículas de Ni sobre el rendimiento tribológico del ZDDP para la aplicación práctica de aceites comerciales. Según los resultados experimentales, las nanopartículas de Ni formaron una película protectora que exhibió un efecto sinérgico con ZDDP. Se detectó una concentración significativamente mayor de azufre en la capa lubricante en comparación con el ZDDP por sí mismo, que fue responsable de una pérdida por desgaste un 27,6% menor. Mientras tanto, un efecto competitivo entre CPCa y ZDDP resultó en un aumento dramático en la fricción y un desempeño antidesgaste inestable. Esto sugiere además un nuevo enfoque para aumentar la eficiencia del rendimiento tribológico de ZDDP en los procesos de arranque en frío (Huynh et al., 2021).

Conclusiones y recomendaciones

En este artículo presentamos las aplicaciones, las pruebas, los problemas de fricción y desgaste impactan en la eficiencia energética de los motores, por lo tanto, es un desarrollo importante del lubricante base y sus aditivos, para ahorrar energía y sus desarrollos futuros.

Existe diferentes parámetros objetivos, equilibrando la energía, el diseño y costo del sistema lubricantederivado de las perdidas por fricción donde la creciente demanda de aceite de motor mejorado con la influencia de los aditivos modernos como ácidos y las nanopartículas están mostrando sus frutos para la aplicación práctica de aceites comerciales en relación con el consumo de combustible de los vehículos.

Los aditivos lubricantes que se aplican más ampliamente en combinación con diferentes aceites básicos incluyen modificadores de la fricción, aditivos antidesgaste y aditivos de extrema presión donde es necesario el estudio de las influencias de la lubricación del cigüeñal, el pistón y zonas de máximo desgaste, a través de las teorías de la lubricación elastohidrodinámico y la dinámica de los rodamientos. Donde se dice que el espesor mínimo de la película de aceite, la presión máxima de la película de aceite y la presión de contacto de aspereza máxima son cercanos a los del juego radial, pero menores que los del ancho del rodamiento y se debe cuidarse cuando se intensifica la potencia del motor.

Referentes bibliográficos

1. Ali, M. K. A., Fuming, P., Younus, H. A., Abdelkareem, M. A. A., Essa, F. A., Elagouz, A., & Xianjun, H. (2018). Fuel economy in gasoline engines using Al₂O₃/TiO₂ nanomaterials as nanolubricant additives. *Applied Energy*, 211, 461–478. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.11.013>
2. Ali, M. K. A., & Xianjun, H. (2020). Improving the heat transfer capability and thermal stability of vehicle engine oils using Al₂O₃/TiO₂ nanomaterials. *Powder Technology*, 363. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.12.051>
3. Ali, M. K. A., Xianjun, H., Abdelkareem, M. A. A., Gulzar, M., & Elsheikh, A. H. (2018). Novel approach of the graphene nanolubricant for energy saving via anti-friction/wear in automobile engines. *Tribology International*, 124, 209–229. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2018.04.004>
4. Broitman, E., & Zhou, X. B. (2019) El Uso de Recubrimientos DLC en Rodamientos de Acero para Generadores Eólicos.
5. Bhushan, B.: Friction. In: *Tribology and Mechanics of Magnetic Storage Devices*, pp. 231–365. Springer, Berlin (1990). doi:10.1007/978-1-4684-0335-068.
6. Castillo Marcano, S. J., Bensaid, S., Deorsola, F. A., Russo, N., & Fino, D. (2014). Nanolubricants for diesel engines: Related emissions and compatibility with the after-treatment catalysts. *Tribology International*, 72, 198–207. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2013.10.018>
7. Delfin, F. A. (2018). Influencia de los parámetros de proceso en la estructura y

- propiedades tribológicas de los recubrimientos tipo DLC.
8. Gutman, M., & Stotter, A. (1985). INFLUENCE OF OIL ADDITIVES ON ENGINE FRICTION AND FUEL CONSUMPTION. *Lubrication Engineering*, 41(3), 150–154.
 9. Haas, A., Esch, T., Fahl, E., Kreuter, P., & Pischinger, F. (1991). Optimized design of the lubrication system of modern combustion engines. *SAE Technical Papers*. <https://doi.org/10.4271/912407>
 10. Hatami, M., Hasanpour, M., & Jing, D. (2020). Recent developments of nanoparticles additives to the consumables liquids in internal combustion engines: Part I: Nano-fuels. In *Journal of Molecular Liquids* (Vol. 318). <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114250>
 11. Herrera, W. P. C., & Cunalata, O. G. T. (2019). Principios de tribología aplicados en la ingeniería mecánica. <http://doi.org/10.17993/IngyTec.2019.57>
 12. Huynh, K. K., Tieu, K. A., & Pham, S. T. (2021). Synergistic and Competitive Effects between Zinc Dialkyldithiophosphates and Modern Generation of Additives in Engine Oil. *Lubricants*, 9(4), 35. <https://doi.org/10.3390/lubricants9040035>
 13. Jia, B., Mikalsen, R., Smallbone, A., & Roskilly, A. P. (2018). A study and comparison of frictional losses in free-piston engine and crankshaft engines. *Applied Thermal Engineering*, 140, 217-224.
 14. Kotia, A., Borkakoti, S., & Ghosh, S. K. (2018). Wear and performance analysis of a 4-stroke diesel engine employing nanolubricants. *Particuology*, 37, 54–63. <https://doi.org/10.1016/j.partic.2017.05.016>
 15. Li, B., Sun, J., Zhu, S., Liu, G., Miao, E., Li, Y., & Zhu, G. (2019). Lubrication Analysis of Main Bearing for Internal Combustion Engine Considering Axial Movement of Crankshaft. *Jixie Gongcheng Xuebao/Journal of Mechanical Engineering*, 55(17), 94–101. <https://doi.org/10.3901/JME.2019.17.094>
 16. Mian, O., Merritt, D., & Wang, D. (2002). The Effect of crankshaft flexibility on the EHL of connecting rod bearings. *SAE Technical Papers*. <https://doi.org/10.4271/2002-01-0295>
 17. Moughon L. (2006) Effects of piston design and lubricant selection on reciprocating engine friction. M.S. Thesis. Department of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.

18. Naseer, S., Azim, R. A., Qasim, S. A., & Malik, K. I. (2018). Analyzing the shear heating effects in modeling the hydrodynamic lubrication of high torque low speed diesel engine by considering different viscosity-grade lubricants. *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings (IMECE)*, 7. <https://doi.org/10.1115/IMECE201888238>
19. Olaitan Kolawole, F., Kolade Kolawole, S., Bernardo Varela, L., Felix Owa, A., Antonio Ramirez, M., & Paulo Tschiptschin, A. (2020). Diamond-Like Carbon (DLC) Coatings for Automobile Applications. In *Engineering Applications of Diamond [Working Title]*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.95063>
20. Pan, J., Yang, J., Liu, W., Liu, K., & Feng, R. (2018). Elastohydrodynamic Lubrication Analysis of Crankshaft and Connecting Rod Bearings with Consideration of Oil Flow in Oil Passage. *Qiche Gongcheng/Automotive Engineering*, 40(4), 382–388. <https://doi.org/10.19562/j.chinasae.qcgc.2018.04.002>
21. Palacio, M., Bhushan, B.: A review of ionic liquids for greenmolecular lubrication in nanotechnology. *Tribol. Lett.*40(2),247–268 (2010). doi:10.1007/s11249-010-9671-869.
22. Pulkrabek, W. W. (2013). *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine: Pearson New International Edition PDF eBook*. Pearson Higher Ed.
23. Ramón-Raygoza, E. D., Rivera-Solorio, C. I., Giménez-Torres, E., Maldonado-Cortés, D., Cardenas-Alemán, E., & Cué-Sampedro, R. (2016). Development of nanolubricant based on impregnated multilayer graphene for automotive applications: Analysis of tribological properties. *Powder Technology*, 302, 363–371. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.08.072>
24. Sgroi, M. F., Asti, M., Gili, F., Deorsola, F. A., Bensaid, S., Fino, D., Kraft, G., Garcia, I., & Dassenoy, F. (2017). Engine bench and road testing of an engine oil containing MoS₂ particles as nano-additive for friction reduction. *Tribology International*, 105, 317–325. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2016.10.013>
25. Tian, T., Wong, V. W., & Heywood, J. B. (1996). A piston ring-pack film thickness and friction model for multigrade oils and rough surfaces. *SAE Technical Papers*. <https://doi.org/10.4271/962032>

26. Tonk, R. (2021). The science and technology of using nano-materials in engine oil as a lubricant additives. *Materials Today: Proceedings*, 37, 3475-3479.
27. Wong, V. W., & Tung, S. C. (2016). Overview of automotive engine friction and reduction trends—Effects of surface, material, and lubricant-additive technologies. In *Friction* (Vol. 4, Issue 1). <https://doi.org/10.1007/s40544-016-0107-9>
28. Wu, B., Song, H., Li, C., Song, R., Zhang, T., & Hu, X. (2020). Enhanced tribological properties of diesel engine oil with Nano-Lanthanum hydroxide/reduced graphene oxide composites. *Tribology International*, 141. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2019.105951>
29. Zahid, R., Masjuki, H. H., Varman, M., Mufti, R. A., Kalam, M. A., & Gulzar, M. (2015). Effect of lubricant formulations on the tribological performance of self-mated doped DLC contacts: a review. *Tribology Letters*, 58(2), 1-28.
30. Zhang, C., Zhao, J., Zhu, G., Li, H., & Li, Z. (2020). Effects of the Crankshaft Balance Rate on the Lubrication Characteristics of Main Bearings. *Neiranji Xuebao/Transactions of CSICE (Chinese Society for Internal Combustion Engines)*, 38(2), 178–184. <https://doi.org/10.16236/j.cnki.nrjxb.202002024>
31. Zia, T., Qasim, S. A., & Azim, R. A. (2017). Modeling the viscoelastic effects in the hydrodynamic lubrication of journal bearing in a high-torque low-speed diesel engine. *American Society of Mechanical Engineers, Fluids Engineering Division (Publication) FEDSM*, 1A-2017. <https://doi.org/10.1115/FEDSM2017-69306>
32. Zottin, W., & Lopez, L. M. V. (2000). Bearings performance simulation with elasto-hydrodynamic lubrication (EHL) model. *SAE Technical Papers*. <https://doi.org/10.4271/2000-01-3299>