

Análisis tribológico de un motor MEP en las ciudades de Quito y Santo Domingo con diferentes grados de viscosidad de aceite

Tribological Analysis of an ICE Engine in the Cities of Quito and Santo Domingo with Different Oil Viscosity Grades

<http://doi.org/10.53358/ideas.v7i1.948>

Ignacio Benavides¹, Nury Moncayo¹, Víctor Hidalgo², Carlos Mafla¹, Paúl Hernández¹

¹ Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador

² Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador

¹{ibbenavides, nrmoncayot, cnmafla, ephernandez}@utn.edu.ec, ²victor.hidalgo@epn.edu.ec

Fecha de envío, agosto 8/2023 - Fecha de aceptación, mayo 20/2024 - Fecha de publicación, enero 30/2025

Resumen: El objetivo de este estudio es analizar el desgaste de motores MEP con aceites de diferente viscosidad en las ciudades de Quito (2850 m.s.n.m) y Santo Domingo (655 m.s.n.m), con el propósito de identificar el desgaste de los elementos internos del motor mediante pruebas tribológicas. Para ello se empleó un vehículo Nissan Sentra B15 año 2002 y gasolina extra de 87 octanos, varios filtros de aceite para cada ensayo, lubricantes con grados de viscosidad SAE 10W30 y 20W50. De esta manera, se realizaron mediciones a diferentes regímenes del motor, como es 1500 y 2500 rpm. Los datos obtenidos de los gases contaminantes permitieron observar que, el aceite 10W30 genera mayores emisiones contaminantes y mayores costes de mantenimiento. En conclusión, los resultados de las pruebas tribológicas demuestran que aceites con la misma especificación, pero diferente presión atmosférica y grado de viscosidad, generan diferentes niveles de desgastes en los componentes internos de motores MEP.

Palabras Clave: Tribología, desgaste, motor MEP, lubricantes, viscosidad.

Abstract: The objective of this study is to analyze the wear of MEP engines with oils of different viscosities in the cities of Quito (2850 m.a.s.l.) and Santo Domingo (655 m.a.s.l.), with the purpose of identifying the wear of the internal elements of the engine through tribological tests. For this, a 2002 Nissan Sentra B15 vehicle was used and extra 87 octane gasoline, several oil filters for each test, and lubricants with SAE 10W30 and 20W50 viscosity grades. In this way, measurements were made at different engine speeds, such as 1500 and 2500 rpm. The data obtained from the polluting gases allowed us to observe that 10W30 oil generates higher polluting emissions and higher maintenance costs. In conclusion, the results of the tribological tests demonstrate that oils with the same specification, but different atmospheric pressure and viscosity grade, generate different levels of wear in the internal components of MEP.

Key words: Tribology, wear, SI engine, lubricants, viscosity.

Autor de correspondencia:

Ignacio Benavides, ibbenavides@utn.edu.ec



Introducción

En la industria automotriz actual, hay una variedad de lubricantes para motores de encendido provocado (MEP), que están disponibles con características y propiedades distintas, que no solo mitigan el desgaste de los elementos internos, sino también, limpian y evitan la corrosión. La tribología es la ciencia que estudia las áreas de los componentes en desplazamiento y en contacto. El propósito del lubricante es actuar como un agente lubricador entre dos componentes móviles, lo que permite reducir la temperatura y el desgaste de los elementos internos del motor [1],[2].

El desgaste representa un fenómeno muy importante en la industria automotriz. Por esta razón, en este campo, los motores han experimentado mejoras constantemente a lo largo de los años, enfocadas en optimizar la eficiencia de los procesos, reducir las emisiones y disminuir el consumo de combustible [3],[4]. En este sentido, se analiza el desgaste y las propiedades de lubricidad de los aceites en el correcto funcionamiento del motor con diferentes índices de viscosidad y a distintas alturas geográficas, con el fin de determinar las concentraciones de partículas presentes en el lubricante, y así generar un registro exacto de los elementos con mayor o menor grado de desgaste.

Las muestras de aceites tomadas se utilizaron para determinar el estado de los componentes internos y qué pueden causar problemas operativos a corto o largo plazo si no son reemplazadas a tiempo. El uso adecuado del lubricante permite alargar la vida útil del motor y de sus elementos internos, evitando el desgaste prematuro de las partes fijas y móviles del vehículo y así, reducir la contaminación del aire.

En el ámbito de la tribología se abordan elementos rodantes o deslizantes comunes, como cojinetes de rodillos, cojinetes lisos, engranajes, levas, frenos y sellos. Estos componentes de propósito general se aplican en una amplia variedad de maquinarias que tienen movimiento relativo y requieren deslizamiento o rotación. Este enfoque inicial de mejorar la rentabilidad y la vida útil de la maquinaria industrial se ha expandido a muchas otras aplicaciones altamente efectivas [5].

El análisis de aceite se considera una técnica importante en el campo de la industria automotriz, puesto que permite saber qué sucede en el motor, ayuda a identificar y corregir en el menor tiempo posible los problemas existentes que están relacionados con el desgaste de los elementos internos del motor y la contaminación del aceite lubricante. El número de concentración de partículas presentes en el aceite muestra si el desgaste de los elementos del motor es normal, progresivo o acelerado. Por lo general, el método de análisis de aceite debe complementarse con una serie de análisis periódicos y continuos para determinar la tendencia de desgaste de los elementos [4]-[6].

Bajo esa premisa, es vital determinar el aceite que contribuye con un menor desgaste de las piezas o elementos, menores emisiones y consecuentemente menores costes de mantenimiento, todo ello aprovechando las diferentes localidades y por ende variaciones de presión atmosférica presentes en el Ecuador.

Este artículo compara la investigación tribológica del comportamiento de diferentes aceites utilizados en los motores de ciclo Otto expuestos a diferentes condiciones ambientales en las ciudades de Quito y Santo Domingo. El análisis tribológico de los aceites API SN 10W30 y 20W50 proporciona una base objetiva para el desgaste del motor con cada lubricante, estimando así la tasa de desgaste de los componentes del motor.

El análisis tribológico del aceite usado permite predecir el estado de los componentes y partes de los motores de combustión interna. Los resultados del comportamiento del motor MEP se obtienen a partir del análisis tribológico de aceites, realizados en un laboratorio químico certificado, que cuantifican el número de partículas presentes en muestras de diferentes tipos de lubricantes. Dicho estudio puede realizarse con muestras de aceites, obtenidas en diferentes alturas geográficas, con el fin de analizar el aumento o no de partículas metálicas presentes en las muestras de los lubricantes, en su mayoría provenientes de componentes sometidos a mayores esfuerzos [7].

Posteriormente se procede a diagnosticar la condición de los componentes del motor de combustión interna y el consumo de aceite, por ser este un tema de controversia entre los usuarios y el servicio, debido a las propiedades y comportamiento de los aceites con diferentes grados de viscosidad, especialmente en áreas con altitudes elevadas. Elegir el aceite de motor adecuado es de gran importancia para extender la vida útil de sus componentes y del vehículo, el alcance y el grado de desgaste dependen de la naturaleza y el procesamiento de las piezas, los materiales intermedios, las influencias ambientales y las condiciones de funcionamiento [8].

Según la condición del motor y las variaciones de lubricante existentes, se puede determinar qué aceite es el más adecuado para disminuir costos de mantenimiento, además de alargar la vida útil y reducir las emisiones contaminantes de acuerdo con las reglamentaciones vigentes del país [9].

La tribología incluye los procesos de fricción, desgaste y lubricación de los elementos de contacto, fenómenos de tensión que han sido analizados por separado en la práctica de la ingeniería y que recientemente han hecho una contribución significativa al desarrollo de sistemas mecánicos. El sistema tribológico consiste en las áreas de dos elementos móviles que están en contacto entre sí y con el medio ambiente [4].

Materiales y Métodos

Se empleó una metodología experimental, caracterizada por permitir la manipulación y control de las variables de estudio, el objetivo principal fue investigar las relaciones dentro del método científico. En este sistema se seleccionaron valores para comparar varias medidas de comportamiento de un conjunto, con los resultados de un grupo experimental. Tal como detalla la figura 1, se inició con la inspección del motor del vehículo en cuestión, la selección de los lubricantes, elección de las rutas, la toma de muestras, para posteriormente realizar los ensayos en un laboratorio certificado, analizar y comparar los resultados.



Fig. 1. Proceso de desarrollo.

El propósito del estudio fue examinar qué tipo de aceite es el adecuado para un motor con una vida útil determinada, que mantenga un funcionamiento óptimo y permita alargar el tiempo de vida prolongada para disminuir el desgaste entre sus componentes fijos y móviles, y así disminuir las emisiones de gases contaminantes.

Las pruebas se realizaron en un vehículo Nissan Sentra B15 de 1769 cm³ de cilindrada del año 2002, con un kilometraje de 317920 km, el cual fue utilizado para las pruebas de trayecto con gasolina Extra de 89 octanos. La primera prueba se realizó en la ciudad de Quito, se encuentra a una altura de 2850 m s. n. m. y temperaturas promedio entre 10 y 25 °C. La segunda ruta fue trazada en la ciudad de Santo Domingo a una altura de 655 m s. n. m. y temperatura promedio de 22,9 °C. En las dos ciudades se empleó dos tipos de aceite 10W30 y 20W50, con cada aceite se recorrió un trayecto de 2 000 kilómetros.

Una vez alcanzado el kilometraje propuesto, se procedió a extraer el aceite, para posteriormente enviar a un laboratorio certificado y realizar el respectivo análisis tribológico de los lubricantes.

Se realizó el cambio de lubricante a temperatura de operación, mientras se drena el aceite a través del tapón del cárter, se tomó una muestra de aceite para su posterior análisis en un recipiente de 100 ml completamente limpio según la especificación del laboratorio.

Tomada la primera muestra de aceite se procedió a ejecutar las determinadas trayectorias con el siguiente aceite lubricante en la ciudad de Quito y luego realizar lo mismo en la ciudad de Santo Domingo con los dos lubricantes mencionados.

Los ensayos se llevaron a cabo siguiendo procedimientos estandarizados y metodologías reconocidas en la industria. (Contenido de partículas ASTM-D6595 y conteo de partículas ISO 4406), que se siguieron para garantizar la consistencia y fiabilidad de los resultados [10] [11] [12]. Se implementaron estrictos controles de calidad durante todo el proceso experimental. Esto incluye el manejo cuidadoso del aceite antes, durante y después de las pruebas para evitar la contaminación. Se llevó a cabo un exhaustivo registro de todas las actividades ejecutadas durante los ensayos, desde el manejo de los aceites, sus propiedades se detallan en la Tabla 1. Además, se registraron todas las incidencias que pudieran haber afectado la integridad del proceso. Este enfoque garantiza una trazabilidad completa de los procedimientos, lo que facilita la identificación y resolución de posibles problemas de contaminación.

Tabla 1. Especificación del aceite.

Especificaciones		SAE 10W30	SAE 20W50
Prueba	Unidad	Valor Típico	
Viscosidad @ 100 °C	cSt	10.5	18
Viscosidad @ 40 °C	cSt	70	170
Punto de escurrimiento	°C Max	-39	-36
Punto de inflamación PMCC	°C min	215	235
Densidad relativa @ 15 °C	kg/l	0,85	0,87

Resultados y Discusión

Todos los análisis de aceites usados de un motor revelan la presencia de partículas, provenientes de los materiales de desgaste. Según Viteri y Jaramillo [6] la cantidad o acumulación de moléculas metálicas en suspensión (concentración) en el aceite lubricante determinará si el desgaste en el motor es normal, progresivo o acelerado. No obstante, el proceso de estudio de los distintos tipos de lubricantes debe soportar la zona del motor donde se pueda identificar el crecimiento del desgaste y registrar de manera estadística el desgaste generado.

Por lo general, los desperfectos relacionados con el aceite son causados por contaminación, desgaste del motor o la falta de lubricación en algunos componentes. El objetivo primordial del aceite del motor como composición de aceite base y aditivos químicos, es lubricar las piezas móviles para reducir la fricción y el desgaste, además de prevenir la corrosión. En la tabla 2 se detallan los materiales presentes en los lubricantes con diferentes grados de viscosidad, los cuales fueron sometidos a diferentes cargas y regímenes durante un recorrido de 2000 kilómetros.

Considerando que los aceites usados pueden contener una gran variedad de elementos como Plata; Aluminio; Boro; Bario; Calcio; Cromo; Cobre; Hierro; Potasio; Litio; Magnesio; Manganeso; Molibdeno; Sodio; Níquel; Fósforo; Plomo; Antimonio; Silicio; Estaño; Titanio; Vanadio y Zinc, resulta evidente la importancia de analizar el contenido de estos componentes en los aceites usados en las ciudades de Quito y Santo Domingo. En cuanto a la Plata, Bario, Cadmio y Estaño el análisis realizado, revela que, tanto para el aceite nuevo como para los aceites usados, los valores en contenidos de estos materiales son de 0 mg/kg, para las tres muestras. Es relevante destacar que la mayoría de los motores no tienen partes o elementos compuestos por Plata, Bario, Cadmio y Estaño, lo que muestra que el motor se encuentra en condiciones normales de funcionamiento, lo que sugiere que, la potencia y el torque no se ven afectados y las emisiones están dentro de los límites establecidos.

Tabla 2. Materiales presentes en los lubricantes.

Item	10W30 (0 km)	10W30 Quito (2000 km)	10W30 Sto. Dgo. (2000 km)	20W50 (0 km)	20W50 Quito (2000 km)	20W50 Sto. Dgo. (2000 km)
mg/kg						
Plata	0	0	0	0	0	0
Aluminio	0,71	1,42	1,55	3,47	1,61	1,54
Boro	98,77	69,9	36,41	2,81	64,21	49,06
Bario	0	0	0	0,55	0,15	1,57
Calcio	445,62	426,64	1432	2791	491,76	434,94
Cadmio	0	0	0	0	0	0
Cromo	0	0,11	0,25	0	0,3	0
Cobre	0,12	0,4	0,58	0,03	0,43	0,55
Hierro	1,73	6,68	4,98	1,39	8,04	4,55
Potasio	0,11	0,21	1,5	2,85	0,58	0,47
Litio	0	0	0,39	0	0	0
Magnesio	749,25	573,42	164,4	27,86	444,36	491,53

Manganeso	0,57	0,43	0,53	0,56	0,66	0,99
Molibdeno	55,67	39,15	10,06	0	33,53	38,22
Sodio	1,19	3,34	8,36	2,57	4,53	4,95
Níquel	0,24	0,41	0,65	0,09	0,59	0,36
Fósforo	597,83	538,96	656,09	1041	527,57	486,55
Plomo	0,7	1,17	1,12	0,36	0,29	0
Antimonio	0	0	0,18	0	0,25	0
Silicio	0	0	0,35	5,74	0	0
Estaño	1,45	0,44	0,15	0	0,98	0,95
Titanio	0	0	0	0	0	0
Vanadio	14,02	12,87	0,31	0,29	11,77	0,19
Zinc	866,98	876,05	804,3	1207	839,13	803,26

Elementos presentes en las muestras

A continuación, se presentan los elementos que más prevalecen dentro del análisis del aceite:

Cobre

Las muestras de aceite 10W30 y 20W50 con 2000 km de recorrido evidencian un aumento de la presencia de cobre con respecto al aceite nuevo, esto debido al desgaste de ciertos elementos como cojinetes, bujes, enfriador de aceite, arandela de empuje, guías de válvulas y bujes de bielas. La existencia de este elemento en el lubricante es un indicativo de que el aceite está contaminado, o es de baja calidad y este empieza a carbonizarse, causando el aumento de cobre en los análisis y alto consumo de aceite.

La figura 2 muestra los porcentajes de cobre presente en las diferentes muestras y en las dos ciudades.

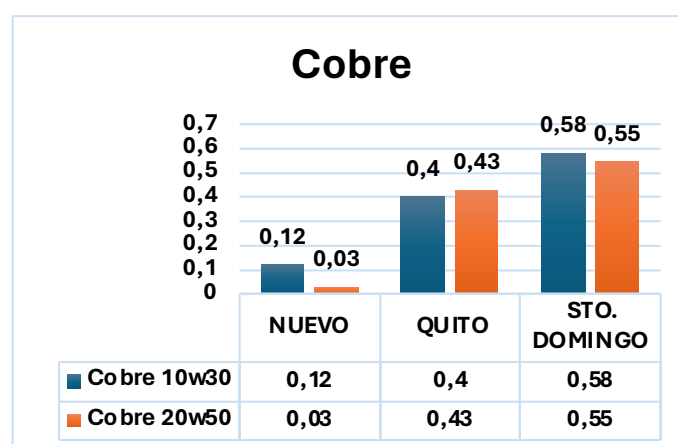


Fig. 2. Presencia del Cobre.

Estaño

La presencia de estaño en los análisis de aceite proviene de las aleaciones de metales en los cojinetes y bujes y volandas de empuje, los cuales dependen 100% de la lubricación hidrodinámica. Este tipo de desgaste surge de la degradación de la viscosidad del aceite debido a su uso, lo que resulta una reducción de lubricación hidrodinámica para proporcionar una lubricación límite, es un aviso de que el aceite está contaminado y que no está generando su respectiva función, que es la correcta lubricación del motor.

Sin embargo, los resultados muestran que el aceite 10W30 presentó mayor porcentaje en relación con el 20W50, evidenciando así que el motor en cuestión alcanza una mejor lubricación hidrodinámica con el aceite con mayor grado de viscosidad, debido al kilometraje que presenta el motor. La figura 3 muestra los porcentajes de estaño presente en las diferentes muestras en las dos ciudades.

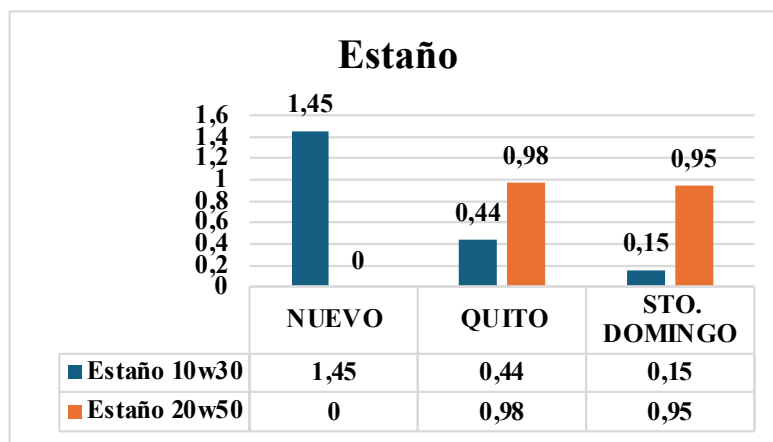


Fig. 3. Presencia del Estaño.

Hierro

El contenido de hierro en el análisis de aceite proviene de la fricción entre las paredes de los cilindros, anillos, árbol de levas, cigüeñal, válvulas, cojinetes, bomba de aceite, engranajes de la cadena, guías de válvulas o bielas. La existencia de este elemento en el lubricante es un indicativo de que el aceite está impuro debido a su uso, además se considera que el kilometraje recorrido no es tan amplio para obtener desgastes significativos de los materiales y elementos que componen el motor del vehículo.

La figura 4 muestra los porcentajes de hierro presente en las diferentes muestras y en las dos ciudades.

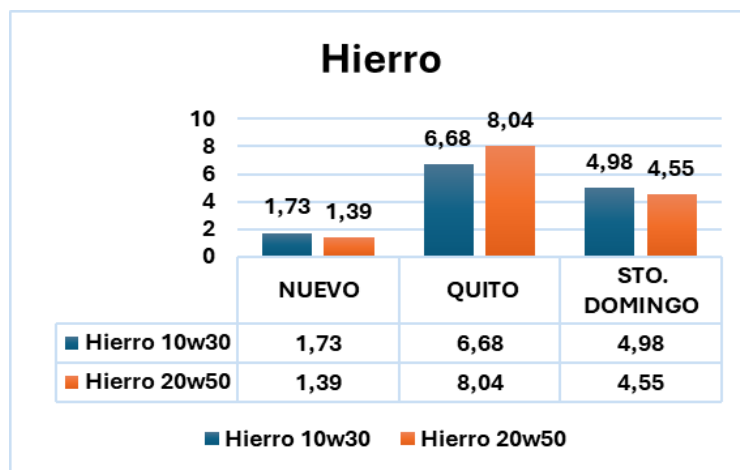


Fig. 4. Presencia del Hierro.

Níquel

Las muestras de aceite 10W30 y 20W50 para las ciudades de Quito y Santo Domingo muestran un aumento de la presencia de Níquel con respecto al aceite nuevo, esto debido al desgaste de ciertos elementos como cojinetes y tren de válvulas. La existencia de este elemento en el lubricante es un indicativo que el aceite está impuro debido a su uso y la pérdida de las características que componen el lubricante.

La figura 5 muestra los porcentajes de níquel presente en las diferentes muestras y en las dos ciudades.

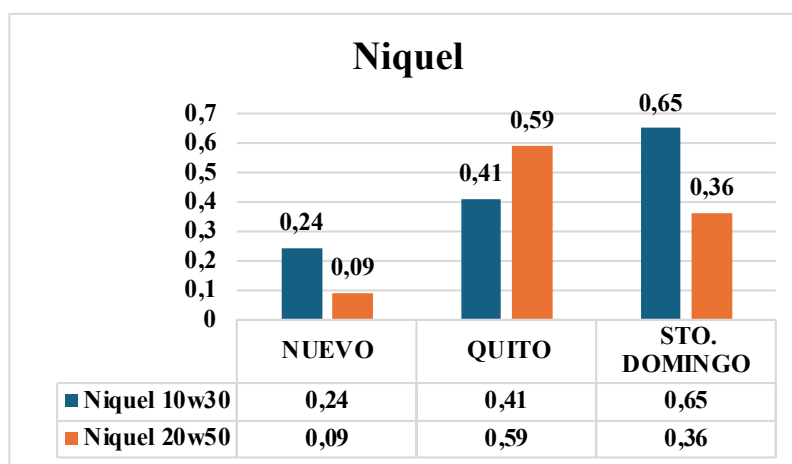


Fig. 5. Presencia del Níquel.

Aluminio

La presencia de aluminio puede presentarse por la existencia de impurezas, contaminado por el aceite anterior y debido a la presencia de desgaste de pistones, bielas, cojinetes de biela, cojinetes de árbol de levas y bancada, o también por la entrada de aire contaminado por suciedad y polvo que se introduce en el motor a través del sistema de admisión de aire. El aceite 20W50 muestra una reducción en comparación con el contenido presente en la muestra del aceite nuevo, lo que se atribuye al deterioro de la viscosidad de este elemento, producto de su uso, lo que resulta en una disminución del contenido de materiales en el lubricante.

Boro

El contenido de boro en la muestra de aceite 10W30 para las dos ciudades, determinó que existe un aumento de la presencia de este elemento, no se debe precisamente al desgaste de componentes del motor, sino que ejecuta como un aditivo antidesgaste y modificador de fricción. Existen también aceites con formulaciones sin Boro, pero frecuentemente son utilizados para mejorar los aceites básicos y de esa manera cumplir con las normas, por lo que, el aceite nuevo tiene mayor presencia de boro, según recorre el vehículo, este se desgasta. Y para la muestra de aceite 20W50 existe un aumento, debido al funcionamiento del motor por la presencia de aditivos en el aceite lubricante.

Calcio

El Calcio es un elemento utilizado para combatir el hollín y mantener las impurezas y lodos flotantes hasta llegar al filtro, previniendo que se aglomeren o se unan a las superficies metálicas. Para el aceite con grado de viscosidad 20W50 indica una disminución con respecto a la muestra de referencia debido al uso y deterioro del aceite y las propiedades que están conformados los aceites lubricantes.

Cromo

El contenido de Cromo en el lubricante puede presentarse por la existencia de impurezas del anterior aceite y el segundo por la presencia de desgaste de camisas, válvulas de escape, anillos y cojinetes. Su presencia normalmente se origina como un indicador de suciedad en el lubricante, la proporción de moléculas de Cromo en el aceite, por lo general no presenta gravedad, pero en el caso de que exista exceso de contaminación el motor puede presentar ciertos problemas como ralenti irregular, disminución de presión de aceite, consumo excesivo de aceite, aceleración deficiente, pérdida de potencia del motor y luz de advertencia en el tablero indicando que el lubricante está deteriorado y no cumple con su debida función.

Potasio

La presencia de este elemento en el aceite lubricante está relacionado con el aditivo del refrigerante; el potasio a veces puede ingresar al motor a través de la humedad del aire, pero más comúnmente es agua residual que puede entrar por algún tipo de junta o empaquetadura "soplada", bloque perforado, o simplemente lavando el motor con agua a alta presión; también puede ingresar por la varilla de medición de aceite.

Magnesio

El magnesio está presente en los aditivos detergentes/dispersantes. Es utilizado para combatir el hollín, mantener las impurezas y lodos flotantes hasta llegar al filtro, previniendo que se aglomeren o se unan a las superficies metálicas. La presencia de magnesio baja su porcentaje a mayor recorrido del motor, a cuanto más ácido se produzca debido a la condición del combustible, la baja temperatura del motor o la combustión incompleta, con mayor ligereza se degradará el detergente/dispersante. Estos aditivos funcionan bien para este propósito, pero el Magnesio deja un 45% más de cenizas de sulfato cuando se quema, lo que causa problemas en las válvulas y el motor. por este motivo, se recomienda sólo calcio o una mezcla de hasta un 30% de magnesio/dispersante detergente.

Manganeso

El contenido de manganeso en el lubricante se debe al desgaste de ciertos componentes como los cojinetes, bujes, arandelas de presión y tubos enfriadores de aceite. En el momento que existen partículas en el aceite, se perjudica por completo el funcionamiento del motor, por ejemplo, los ruidos, producidos por la deficiencia de lubricación en el motor, a causa de ello se origina además una baja potencia y torque del motor; no obstante, mientras los valores estén dentro de lo permisible el motor estará en perfectas condiciones de operación.

Fósforo

El fósforo junto con el zinc se incorpora en el lubricante para desempeñar ciertas funciones antidesgastantes y su concentración depende del tipo de fabricante, uso y aplicación. Los niveles de fósforo que se indican en las muestras de referencia pueden atribuirse al uso y aditivos del aceite nuevo, sin embargo, ciertas combinaciones de zinc y fósforo residen en áreas críticas del motor para ser gastados durante lubricación límite cuando falla la lubricación hidrodinámica y no cumple con los requisitos de fricción y presión.

Plomo

La presencia de plomo se debe a la corrosión en los cojinetes del motor, generalmente cuando ha estado almacenado durante un mes o más con aceite parcialmente usado o contaminado. Este tipo de desgaste surge de la degradación de la viscosidad del aceite debido a su uso, lo que resulta en una reducción de la lubricación hidrodinámica para proporcionar una lubricación límite, es un aviso de que el aceite está contaminado y que no está generando su respectiva función que es la correcta lubricación del motor, generando reducción de potencia a altas temperaturas en el motor, por otra parte, el resultado de las emisiones está dentro del límite.

Antimonio

La muestra de aceites nuevos 10w30 y 20w50 como se indica que no existe partículas de antimonio, pero en las muestras del aceite usado ya existen partículas de este elemento debido al desgaste de ciertos elementos como cojinetes, bujes, enfriador de aceite, guías de válvulas y bujes de bielas. La existencia de este elemento en el lubricante es un indicativo que el aceite está sucio debido a su uso, también se debe considerar que el kilometraje recorrido no es tan amplio para obtener desgastes significativos de los materiales y elementos que componen el motor del vehículo.

Análisis de gases en las ciudades de Quito y Santo Domingo

Dióxido de Carbono (CO)

La tabla 3 muestra valores para el aceite 10W30, los cuales se encuentran dentro del límite de referencia para las ciudades de Quito y Santo Domingo, en altas (2500 rpm) y bajas (ralentí); los parámetros para vehículos del año 2000 en adelante es de 1% en contenido CO y cumplen con los límites máximos establecidos para las emisiones de gases para este grado de viscosidad, al igual que el aceite 20W50, se evidencia que los valores también se encuentran dentro del límite de referencia para las dos ciudades.

Tabla 3. Valores del CO aceite 10W30 y 20W50.

CO (%)	SAE 10W30		SAE 20W50	
	Quito	Sto. Dgo.	Quito	Sto. Dgo.
2500 rpm	0,71	0,76	0,8	0,74
Ralentí	0,27	0,6	0,39	0,55

Dióxido de carbono (CO₂)

Las emisiones CO₂ con el aceite 10W30 constituyen un indicador de la eficacia de la combustión, valores entre un 12% y el 15% reflejan un correcto funcionamiento del motor. En este sentido, en la tabla 4 se evidencia que los valores se encuentran por debajo del 12%, para la ciudad de Quito en altas (2500 rpm) y bajas (ralentí). Por su parte la ciudad de Santo Domingo en ralentí, pero en altas (2500) un valor de 13,2%Vol lo que indica que está dentro de los límites máximos establecidos para emisiones de gases. Valores por debajo del 12% indican un mal proceso de combustión, lo que señala una mala combustión o un encendido defectuoso. Para las emisiones CO₂, con el aceite 20W50 evidencia que los valores se encuentran por encima del 12%, para la ciudad de Quito en altas (2500 rpm) y bajas (ralentí) y la ciudad de Santo Domingo en ralentí, se observan valores de 11,8%Vol y 11,7%Vol para altas (2500 rpm) y bajas (ralentí) lo que indica que está fuera de los valores límites, dando como resultado fallas en la combustión o una mezcla pobre.

Normalmente, los resultados bajos desencadenan el proceso de combustión deficiente o un encendido defectuoso.

Tabla 4. Valores del CO₂ aceites 10W30 y 20W50.

CO ₂	SAE 10W30		SAE 20W50	
	Quito	STO DGO	Quito	STO DGO
2500 rpm	10,9	13,2	15,3	11,8
Ralentí	11,7	11,4	15,8	11,7

Oxígeno (O₂)

Respecto a las emisiones de O₂, con el aceite 10W30 constituyen un indicador de aire sobre el proceso de combustión, normalmente ubicado por debajo del 2%, valor que indica que el motor funciona correctamente. De tal manera como se muestra en la tabla 5, se puede evidenciar que los resultados se encuentran por encima del 2%, para la ciudad de Quito en altas (2500 rpm) y bajas (ralentí) y la ciudad de Santo Domingo en ralentí, pero en altas (2500) un valor de 0,89%Vol, lo que indica que está dentro de los límites máximos establecidos para emisiones de gases, en cambio los valores que son mayores al 2%, indican una mezcla pobre, sin combustión o un escape agrietado. La lectura de O₂ con el aceite 20W50 muestra el 0%, significa que se ha utilizado todo el oxígeno.

Tabla 5. Valores del O₂ aceites 10W30 y 20W50.

O ₂	SAE 10W30		SAE 20W50	
	Quito	STO DGO	Quito	STO DGO
2500 rpm	3,05	0,89	3,05	1,5
Ralentí	3,48	3,68	3,48	2,13

Los resultados anteriormente descritos en las diferentes tablas permiten deducir que el aceite lubricante que genera menores gases contaminantes es el 20W50, aspecto que se evidencia con los valores del carbono dentro del límite de referencia, para las dos ciudades.

El presente estudio se realizó en ciudades de altura, las cuales presentan condiciones únicas que afectan el rendimiento de los motores, como la reducción en la densidad del aire y la presión atmosférica. Estas condiciones pueden influir significativamente en la operación y eficiencia de los motores de combustión interna, lo que hace importante estudiar cómo estos factores interactúan con la viscosidad del aceite. Esto es crucial para garantizar un rendimiento óptimo y duradero en una variedad de situaciones.

En consecuencia, el estudio contribuye a la literatura científica, la investigación en motores de encendido provocado y lubricantes en condiciones de altura puede llenar un vacío en el conocimiento científico actual. Al ampliar esta área, la investigación actual podría representar una contribución significativa tanto para la comunidad académica como para la industria automotriz, debido a la falta de resultados o estudios similares con los cuales contrastar los hallazgos obtenidos.

Asimismo, se podría considerar como una oportunidad para la mejora del diseño y rendimiento de los motores; al estudiar el comportamiento de los motores y los lubricantes en condiciones de altura, se pueden identificar áreas de mejora en el diseño y ajuste de estos motores para optimizar su rendimiento y eficiencia en condiciones desafiantes.

Conclusiones

La Tribología es una rama de la tecnología que se centra en el análisis de la fricción, desgaste y lubricación de diferentes materiales en contacto. En cuanto al aceite lubricante utilizado en motores de vehículos, es cierto que, a pesar de tener una misma especificación entre diferentes marcas, su composición puede cambiar debido a la presencia de contaminantes y metales pesados, lo que puede afectar el rendimiento del motor y causar desgastes en sus componentes internos. Sin embargo, existen medidas como el cambio regular del aceite y el uso de filtros de alta calidad para minimizar estos efectos negativos y maximizar la vida útil del motor.

Las cantidades presentes en las muestras de calcio, cadmio, magnesio, silicio, sodio, zinc y fósforo son combinaciones de aditivos que se añaden para mejorar las características fisicoquímicas de los aceites. El aluminio, hierro, cobre, cromo, estaño y plomo en las muestras analizadas interpretan el desgaste en los cilindros, camisas, cojinetes, cigüeñal, árbol de levas, pistón, bujes, anillos de pistón, tren de válvulas, guías de válvulas, bielas y de la herrumbre. Se observó que el lubricante 10W30 para la ciudad de Santo Domingo, presenta un mayor porcentaje de contaminación con respecto a la ciudad de Quito, debido a las condiciones climáticas y presión atmosférica, dado que la temperatura de esta ciudad es alta, lo que produce humedad y oxidación dentro del motor, que deterioran y aceleran reacciones químicas del lubricante.

El uso eficiente de la tecnología de análisis de aceite para determinar el proceder de todos los mecanismos internos del motor y localizar posibles fallas en los componentes, evita gastos elevados de mantenimientos. Además, puede monitorear la presencia de impurezas externas, que no deberían estar en los lubricantes. Consecuentemente para el aceite 20W50, en la ciudad de Santo Domingo con los valores obtenidos de CO, se logró una menor emisión con un valor de 0,27% Vol en ralentí, para un aceite 10w30 a una altura

de 655 m.s.n.m y 0,94 atm, obteniendo una mejor combustión para el vehículo utilizado en las pruebas.

Las revoluciones y la altitud inciden significativamente en la variable de los valores del CO₂, de acuerdo con las condiciones climáticas, con un aceite de viscosidad 20W50 se obtiene valores de 15,3% Vol y 15,8% Vol en altas (2500rpm) y bajas, respectivamente, lo que indica un excelente indicador de la eficiencia de la combustión a una altura de 2850 m.s.n.m y 0,71 atm de presión atmosférica. Para el aceite 10W30 se obtiene valores de 10,9% Vol y 11,7% Vol en altas(2500rpm) y bajas. En resumen, los valores bajos muestran un mal proceso de combustión, es decir, una mala mezcla o mal encendido.

La altura a la que trabaja el motor ejerce un impacto considerable en las emisiones de oxígeno (O₂), con un valor medido en 0,89 %V a una altitud de 655 m.sn.m. utilizando el lubricante con viscosidad SAE 10W30. Según la normativa ecuatoriana sobre emisiones de escape, el porcentaje de oxígeno debe mantenerse por debajo del 2%. Sin embargo, en términos de costos de mantenimiento, incluso con una mínima diferencia se observa al utilizar un lubricante con una viscosidad SAE 20W50.

Referencias

- [1]. Granizo, J.: La Tribología y sus aplicaciones en la industria. Revista Ciencia Unemi, vol. 3, n° 4, pp. 64-71, (2010)
- [2]. Puente, E.; Remache, A.; Aulestia R.; Noroa M.: Análisis tribológico en un motor de gasolina con dos marcas de lubricantes y la misma especificación. INNOVA Research Journal , vol. 2, n° 3, pp. 150-166, (2017)
- [3]. Barrera, A.; Nieves, C.: Análisis tribológico entre segmento y cilindro del motor Hyundai Avante 1.5L, mediante el método de arrastre para determinar su eficiencia energética. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21172>. Accedido el 14 de Octubre 2023
- [4]. Rojas, D.: Evaluación de desgaste adhesivo para AISI /SAE 1045, 4140 y O1 con diferentes tratamientos térmicos, según la Norma ASTM G99. Séneca Repositorio Insitucional. <https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/c9229ac1-4d51-4cef-acd4-a6662264a47c>. Accedido el 14 de Octubre 2023
- [5]. Martínez, F.: La Tribología Ciencia y Técnica para el Mantenimiento. Limusa S.A. México, pp. 101-134 (2002)
- [6]. Viteri, L.; Jaramillo, J.: Análisis de la degradación de aceites lubricantes y propuesta de planes de mejora para el mantenimiento del equipo pesado del Ilustre Municipio del Cantón Archidona. DSpace ESPOCH. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/947>. Accedido el 14 de Octubre 2023
- [7]. Silva, L.; Quintana, C.: Análisis comparativo del comportamiento de un motor Honda Civic con diferentes grados de viscosidad de aceite a determinados regímenes de funcionamiento. Repositorio Digital Universidad Técnica del Norte. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10995>. Accedido el 14 de Octubre 2023

- [8]. Castillo, W.; Toapanta, O.: Principios de la Tribología Aplicados a la Ingeniería Mecánica. 3ciencias Área de innovación y desarrollo, S.L. (2019)
- [9]. Bonet, C.; Martínez, F.: Diagnóstico a través del aceite a motores de combustión interna. Sitio oficial de la Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría. Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgglefindmkaj/https://ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/public/descargas/Diagnostico.pdf . Accedido el 14 de Octubre 2023
- [10]. Arias, Y.: Monitoreo de la degradación de un aceite lubricante gearbox 320 en un motorreductor. DSpsce ESPOCH. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgglefindmkaj/http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/19203/1/15T00865.pdf. Accedido el 14 de Octubre 2023
- [11]. Mideros, A.: Diseño de un laboratorio de análisis de aceites lubricantes en la ESPOL para sustentar programas de mantenimiento predictivo. DSpace en ESPOL. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgglefindmkaj/https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/89761/D-79784.pdf. Accedido el 14 de Octubre 2023
- [12]. Noria Latín América. La importancia del análisis de aceite y el conteo de partículas. Noria. <https://noria.mx/lube-learn/analisis-de-aceite/la-importancia-del-analisis-de-aceite-y-el-conteo-de-particulas/>. Accedido el 14 de Octubre 2023