

Diagnóstico de la condición de desgaste basado en el análisis de aceite usado. Caso de estudio: Vehículo de servicio de taxi



Wear diagnosis based on the oil analysis. A case study: Public taxi service

Segundo Narciso Cabascango Collahuazo.¹, Jaime Fernando Antamba Guasgua.², Luis Fabricio Corrales Zurita.³ & José Israel Guerra Naranjo.⁴

Recibido: 02-06-2020 / Revisado: 13-06-2020 / Aceptado: 04-07-2020 / Publicado: 04-08-2020

Abstract.

DOI: <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v3i3.2.1399>

The operating conditions of a vehicle engine depend on the fuel, lubricant and components; thus the diagnosis is made directly by continuous monitoring of the lubricant. This project evaluates the condition of engine wear due to ignition caused in a taxi-type public use vehicle, applying the used lubricant analysis technique. The research process is experimental, a baseline of the lubricant and vehicle is raised, for the sampling of every 4000 kilometers of route, in each sample the physical and chemical properties of the lubricant are analyzed, the behavior is established of the viscosity, contaminating particles and metallic particles of the vehicle's SI. The behavior of the PQ index shows a constant tendency for wear, the size of the iron particles are small, the PQ index combined with a low ppm of iron indicates a common wear, and low incidence of abrasive wear on the moving parts of the engine for environment pollution.

Keywords: oils, maintenance engineering, tribology, transportation.

Resumen.

¹Universidad Internacional del Ecuador, Escuela de Ingeniería Automotriz, Quito, Ecuador, nacabascangoco@uide.edu.ec

²Universidad Internacional del Ecuador, Facultad de Ciencias Técnicas, Quito, Ecuador. jferantamba@gmail.com

³Universidad Internacional del Ecuador, Escuela de Ingeniería Automotriz. Quito, Ecuador. lucorraleszu@uide.edu.ec

⁴ Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano, Carrera de Tecnología Automotriz, Quito, Ecuador. iguerra@tecnoecuatoriano.edu.ec

Las condiciones operativas del motor de un vehículo dependen del combustible, lubricante y los componentes, para ello se plantea el diagnóstico directamente por un monitoreo continuo del lubricante. Este proyecto evalúa la condición de desgaste del motor por encendido provocado en un vehículo de uso público tipo taxi, aplicando la técnica de análisis de lubricante usado. El proceso de investigación es experimental, se levanta una línea base del lubricante y vehículo, para la toma de muestras cada 4000 kilómetros de recorrido, en cada muestra se analiza las propiedades físicas y químicas del lubricante, se establece el comportamiento de la viscosidad, partículas contaminantes y partículas metálicas del MEP del vehículo. El comportamiento del índice PQ y partículas metálicas, muestra una tendencia constante para el desgaste, el índice PQ combinado con un bajo número ppm de hierro indica una tendencia de desgaste normal, también, se descarta la contaminación por el ambiente que rodea el funcionamiento del MEP, indicativo de una incidencia leve para desgaste abrasivo en las piezas móviles del motor.

Palabras claves: aceites lubricantes, ingeniería de mantenimiento, tribología, transporte.

Introducción.

El transporte público constituye una alternativa importante al transporte individual, sobre todo en ciudades con alto flujo de vehículos particulares. Argumentos a favor del uso del transporte público con frecuencia se centran en el costo, la disponibilidad y el impacto ambiental (Macián V. , Tormos, Miró, & Pérez, 2016). Las empresas transportistas de servicio público, tienen un interés evidente en monitorear su desempeño para reducir los costos y aumentar la disponibilidad.

El diagnóstico de la condición del motor de encendido provocado (MEP) utilizando las técnicas del análisis del lubricante usado, identifica la problemática del desgaste, favoreciendo la aplicación del mantenimiento preventivo en los vehículos nacionales, la disminución de las actividades de mantenimiento correctivo, brinda mayor confiabilidad acerca del estado real del motor y sus consecuencias en la funcionalidad del vehículo (Antamba, 2018) (Macián V. , Tormos, Olmeda, & Montoro, 2003).

En los motores de combustión interna, donde el combustible es quemado, la lubricación se afecta por los fenómenos de la combustión, generadas por las altas temperaturas, productos de la combustión y residuos que contamina el lubricante y los esfuerzos sometidos (Tormos, B., 2006) (Adams, 2010), por ello, las condiciones operativas del motor de un vehículo, dependen del combustible, lubricante y los componentes, para ello se plantea el diagnóstico con base a escenarios relacionados directamente al monitoreo continuo del lubricante basados en los parámetros y elementos medibles en una muestra de aceites, según estándares internacionales (Bovington, 2019). La norma ISO 17359, establece las directrices para los

procedimientos generales que se deben considerar al establecer un programa de monitorización de condición para cualquier tipo de máquina (Fernández-Feal, Fernández-Feal, Sánchez-Fernández, & Pérez-Prado, 2018).

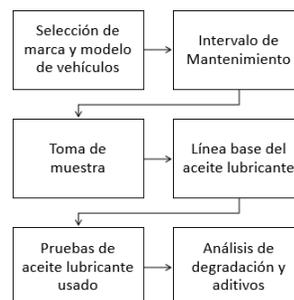
En la ciudad de Quito, el servicio público de taxis, constituye un eje de movilidad. Acorde al Plan Maestro de Movilidad de Quito 2009-2025, constituye un medio de transporte, tanto para la población local y visitantes extranjeros dentro y fuera de la ciudad. El estudio de oferta y demanda de taxis en el DMQ muestra que existe un universo de 29347 vehículos que ofrecen este servicio, de los cuales 16024 (54,6%) son taxis formales y 13323 (45,4%) son informales. Este servicio tiene una demanda de 42000 usuarios y en promedio se realizan 226.000 viajes diarios. Así mismo, tomando en cuenta la población de 2500000 habitantes en Quito, hay un promedio de posibles usuarios de 163 por taxi (Instituto de la Ciudad, 2017). Con base a la información recolectada es importante mejorar la disponibilidad y la reducción del impacto ambiental de este servicio público.

Este proyecto, se orienta en evaluar la condición de desgaste del motor por encendido provocado en un vehículo, aplicando la técnica de análisis de lubricante usado, para la recolección de la información, en un vehículo tipo M1, de uso público tipo taxi, correspondiente a la marca Chevrolet, la más representativa en el país, según la AEADE.

Metodología.

El proceso metodológico se divide en dos etapas: La primera etapa establece la línea base del vehículo de prueba a través del mantenimiento preventivo del vehículo y la medición de gases para la verificación del cumplimiento de la normativa RTE INEN 2204. La segunda etapa corresponde a los procesos de medición y recolección de datos en las muestras de aceites, basados en las normas ASTM de los parámetros de propiedades físicas químicas de los lubricantes. La metodología empleada en este estudio es similar a estudios vinculados desarrollados por Raposo, Saldivia y Tormos aplicable en diferentes tipos de motores de combustión interna. El proceso de investigación experimental se desarrolló, como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Etapas del proceso investigativo experimental.



Fuente: Elaboración propia.

El proceso de investigación vinculado al desgaste del motor y las mejoras en beneficio del medio ambiente se desarrolló, en la ciudad de Quito, ubicada en una zona geográfica de elevación promedio de 2800 metros sobre el nivel del mar.

Vehículo.

Dentro del segmento de automóviles los vehículos más vendidos son el Chevrolet Sail y Aveo Family, siendo estos modelos, parte del segmento de taxis que circulan en la ciudad de Quito (AEADE, 2018). Una selección apropiada constituye elegir una muestra estratificada, categorizada por años de servicio. Para el desarrollo del proyecto se eligió un vehículo Chevrolet Aveo año 2012, de recorrido en kilometraje de aproximadamente 200000 km, el cual se observa en la figura 2.

Figura 2. Vehículo de prueba, tipo taxi



Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros analizados en el vehículo elegido están dados por el kilometraje superior a 200000 kilómetros, aceite lubricante base mineral, común para los vehículos tipo taxi, combustible gasolina tipo Extra y tiempo de trabajo mínimo de 8 horas al día. En la tabla 1, se describe las características del vehículo de prueba.

Tabla 1. Vehículo de prueba

Característica	
Marca	Chevrolet
Modelo	Aveo Family
Motor	4 en línea
Cilindraje	1,5 litros
Combustible	Gasolina Extra
Kilometraje	201000 km

Fuente: Elaboración propia.

Pruebas para muestras de aceite

El análisis del aceite usado de las muestras obtenidas de los MEP del vehículo de pruebas se efectúa en los laboratorios Tribologik (Canadá) bajo la acreditación ISO 17025, por parte del Organismo de Acreditación Ecuatoriano con el código: OAE LE C 10-014. El paquete de análisis de metales y tribología se detalla en la tabla 2.

Tabla 2. Pruebas de análisis de metales y tribología

Prueba	Parámetro determinado	Unidades	Método
Espectrometría ICP	Máximo 22 elementos metálicos y no metálicos	ppm	ASTM D-5185
Espectrometría IR	Calidad y contaminación del lubricante	N/A	JOAP
Contaminación	Agua por Karl Fischer	Ppm	ASTM D-4928
Propiedad química	TBN	mg KOH/g	ASTM D-2896
Conteo de partículas	Partículas > 1µm	Índice de limpieza	ISO 4406

Fuente: Elaboración propia.

La muestra de aceite usado, se obtiene cada 4000 km, en un periodo de seguimiento de 20000 km, considerando los procedimientos recomendados para la toma de muestra.

Lubricante de prueba

Para el estudio, se referencia el lubricante del vehículo de prueba, estableciendo la línea base del lubricante, es decir, se determinan las propiedades físicas y químicas del aceite mineral SAE 20W-50, como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Propiedades de aceite (muestra virgen)

Identificación	20W-50
Elementos	
Fe-Hierro	1
Al-Aluminio	2,2
Mo- Molibdeno	12
Ti-Titanio	66
Si-Silicio	4
Mg-Magnesio	8
B-Boro	115

Na-Sodio	-
Ca-Calcio	1947
P-Fosforo	812
Zn-Zinc	975
Propiedades	
Viscosidad	20,4
TBN	7,72

Fuente: Elaboración propia.

Viscosidad relativa.

La viscosidad relativa (Tormos, 2006), definida por la ecuación 1, establece los datos de viscosidad del lubricante nuevo y el lubricante usado, permite la evaluar la variación de viscosidad independientemente del recorrido del vehículo, según los resultados medidos, para cada medición.

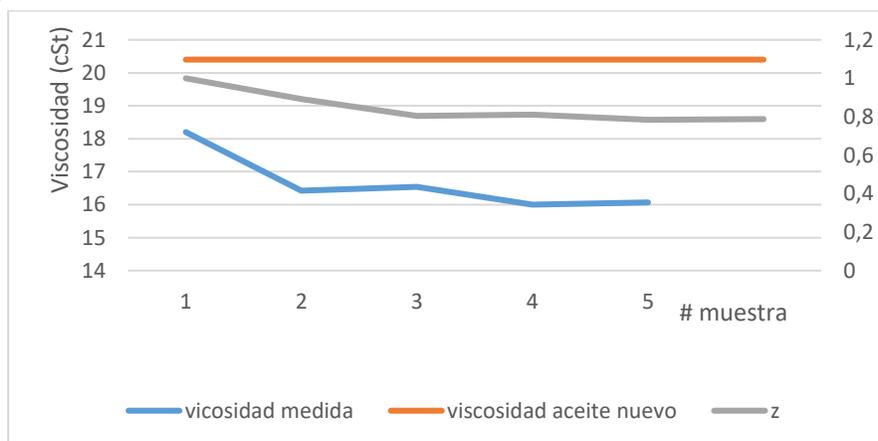
$$Z_{visc} = \frac{\text{Viscosidad medida}}{\text{Viscosidad referencial}} \quad [1]$$

Resultados.

Salud del lubricante.

El parámetro esencial de la salud del lubricante es la viscosidad. Para la comparación apropiada se utiliza la viscosidad relativa. En la figura 3, se muestra la variación de la viscosidad medida y la viscosidad relativa (z).

Figura 3. Variación de viscosidad del aceite SAE 20W-50.



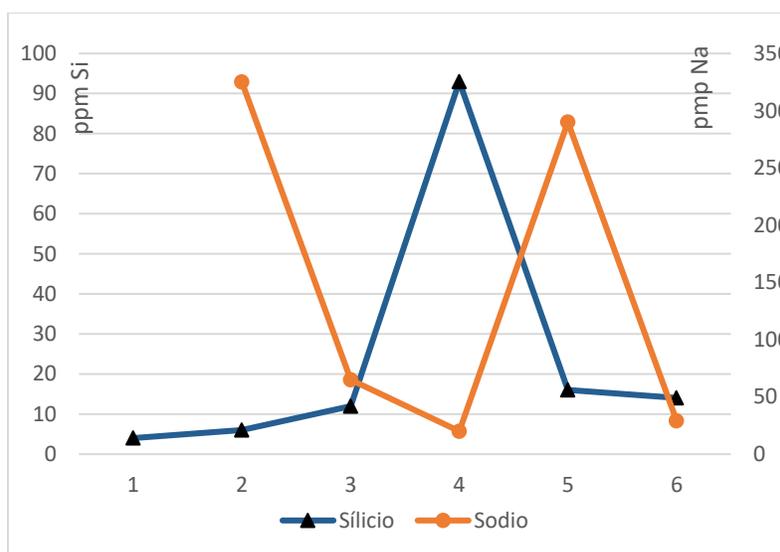
Fuente: Elaboración propia.

En la evaluación de la viscosidad, se observa una degradación similar en cada periodo de cambio, con variación máxima del 3,1 % entre los resultados y una reducción de viscosidad máxima del 22%. La condición del aceite para el intervalo de cambio establecido opera en condiciones apropiadas cercanas al límite permisible.

Desgaste vinculado al aire atmosférico.

La evolución de las concentraciones por partículas contaminantes se muestra en la figura 4., el valor promedio de Silicio es de 28,2 ppm y el sodio de 83,2 ppm, los valores son superiores al estado inicial del lubricante. El sodio es un contaminante que existe en el combustible como un componente natural del crudo, normalmente en concentraciones por debajo de 50 ppm.

Figura 4. Variación de partículas de Si y Na en el aceite SAE 20W-50



Fuente: Elaboración propia.

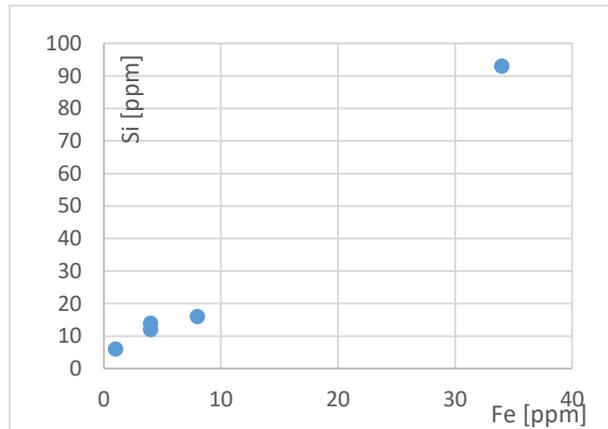
En el caso del silicio se observa una medición seis veces superior al valor límite en la tercera medición, el resto de las mediciones se encuentran dentro de los límites permisibles y críticos. En el caso del sodio, ninguna medición supera el valor crítico y la medición correspondiente en la primera medición y cuarta medición, superan el valor permisible, ya que no existe coincidencia de partículas contaminantes altas.

En este caso, el silicio se vincula con las partículas que ingresan por el aire para la combustión, por ello, se puede descartar una incidencia de desgaste abrasivo, por presencia de partículas contaminantes del aire atmosférico.

Partículas de desgaste.

El comportamiento de las partículas metálicas de hierro, relacionados a elementos tales como el bloque motor, válvulas y otros elementos, con respecto al silicio, se muestran en la figura 5, para el vehículo de prueba.

Figura 5. Relación entre las partículas de Si –Fe para MEP.

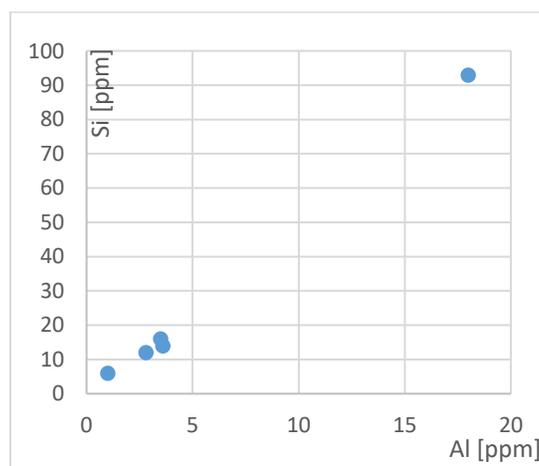


Fuente: Elaboración propia.

En el caso de las partículas de hierro, se observa que la contaminación ambiental no tiene incidencia en la presencia de una mayor cantidad de partículas de hierro, en las muestras obtenidas.

En la figura 6, se observa la relación entre el aluminio y el silicio, en ambos casos, existen mínimas partículas relacionadas a los componentes del motor.

Figura 6. Relación de las partículas de Si y Al

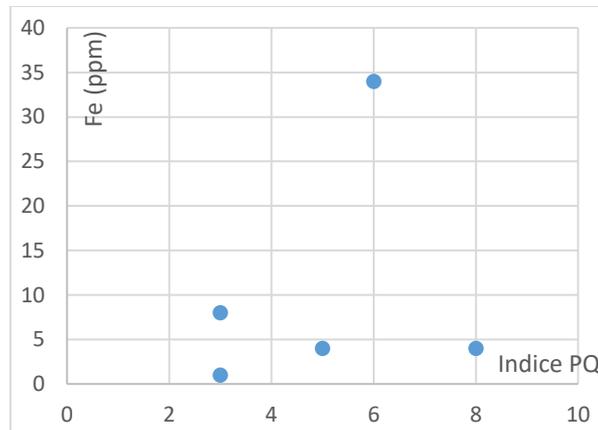


Fuente: Elaboración propia.

En las muestras analizadas, se obtiene valores de 1 a 4 ppm de Aluminio, y un valor atípico de 18 ppm de Aluminio, con base a los resultados no existe una tendencia de desgaste abrasivo producto del trabajo de los elementos del motor.

En la figura 7, se muestra el comportamiento del indicador PQ con respecto a las partículas del hierro.

Figura 7. Relación de las partículas de Fe y el índice PQ.



Fuente: Elaboración propia.

El comportamiento del índice PQ, muestra una tendencia constante, el tamaño de las partículas de hierro son pequeñas, analizándose el índice PQ y el un bajo ppm de hierro, indican una tendencia de desgaste normal. En términos generales no existen partículas grandes de hierro generados por algún tipo de desgaste.

Conclusiones.

- La línea base del estudio, se ha establecido para facilitar la fijación de los límites de las diferentes propiedades medidas, lo que permite la comparación de los cambios presentes en el lubricante, además facilita el cálculo de la variabilidad de las partículas de desgaste y viscosidad.
- Las herramientas aplicadas permiten analizar las propiedades y partículas del aceite usado, la viscosidad del aceite se ve reducida en un 22%, por ello, no se debe exceder el límite de cambio de aceite, en vehículos de este tipo de uso.
- De acuerdo, al análisis del silicio y sodio con relación a las partículas de hierro, se descarta la contaminación por el ambiente que rodea el funcionamiento del MEP y la incidencia en un desgaste abrasivo para las piezas móviles del motor.
- Dado el comportamiento del índice PQ y las partículas de hierro medidas, se establece una tendencia de desgaste normal, para el MEP del vehículo de prueba.
- Se requiere ampliar el plazo de seguimiento para recopilar información que confirmen los datos obtenidos.

Referencias bibliográficas.

- Adams, D. R. (2010). Tribological considerations in internal combustion engines. En *Tribology and Dynamics of Engine and Powertrain* (págs. 251-283). London: Woodhead Publishing.
- AEADE. (2018). Anuario 2018. Quito.
- Antamba, J. F. (2018). Diagnóstico de la condición operativa del motor por encendido provocado (MEP), según el tipo de gasolina empleado en las ciudades de Quito y Esmeraldas. Quito: Tesis posgrado EPN.
- Bovington, C. (2019). *Friction wear and the role of additives*. UK: Springer.
- Distrito Metropolitano de Quito. (2009). Plan Maestro de Movilidad de Quito 2009-2025.
- Fernández-Feal, M. C., Fernández-Feal, M. L., Sánchez-Fernández, L. R., & Pérez-Prado, J. R. (2018). Study of Metal Concentration in Lubricating Oil with Predictive Purposes. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 27(6), 1-12.
- Instituto de la Ciudad. (2017). El DMQ-y-la-dinamica-de-un-servicio-de-taxi-que-evolucionana. Obtenido de <https://www.institutodelaciudad.com.ec/coyuntura-sicoms/169-eldmq-y-la-dinamica-de-un-servicio-de-taxi-que-evolucionana.html>
- Macián, V., Tormos, B., Miró, G., & Pérez, T. (2016). Assessment of low-viscosity oil performance and degradation in a heavy duty engine real-world fleet test. *Proc IMechE Part J: J. Eng. Tribol.*, 230(6), 729-740.
- Macián, V., Tormos, B., Olmeda, P., & Montoro, L. (2003). Analytical approach to wear rate determination for internal combustion engine condition monitoring based on oil analysis. *Tribology International*, 36.
- Raposo, H., Torres Farinha, J., Fonseca, I., & Galar, D. (2019). Predicting condition based on oil analysis – A case study. *Tribology International*, 135, 65-74.
- Saldivia, F. (2013). Aplicación de mantenimiento predictivo. Caso Estudio: análisis de aceite usado en un motor de combustión interna. Obtenido de XI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2013): <http://www.laccei.org/LACCEI2013Cancun/RefereedPapers/RP264.pdf>.
- Tormos, B. (2013). Diagnóstico de motores diésel mediante el análisis del aceite usado. . España: Reverte.

PARA CITAR EL ARTÍCULO INDEXADO.

Cabascango Collahuazo, S. N., Antamba Guasgua, J. F., Corrales Zurita, L. F., & Guerra Naranjo, J. I. (2020). Diagnóstico de la condición de desgaste basado en el análisis de aceite usado. Caso de estudio: Vehículo de servicio de taxi. *ConcienciaDigital*, 3(3.2), 18-28. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v3i3.2.1399>



El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Conciencia Digital**.

El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Conciencia Digital**.

