

Revista Científica y Tecnológica UPSE

Salud del lubricante y comportamiento de los aditivos en vehículos tipo turismo

Degradation oil and additives behavior in spark ignition engine vehicles



(¹)Jaime Fernando Antamba Guasgua* <https://orcid.org/0000-0001-9666-9873>, (²)Álvaro Remache Chimbo <https://orcid.org/0000-0003-3947-5057>, (³)Vanessa Vallejo Moreno, (²)Fabricio Corrales Zurita <https://orcid.org/0000-0001-5010-6194>.

- (1) Investigador independiente.
- (2) Universidad Internacional del Ecuador, Ecuador.
- (3) Universidad Oberta de Cataluña, España.

Resumen

El periodo de vida útil de un motor de combustión es afectado por la calidad de aditivos del lubricante y del intervalo de mantenimiento del vehículo, este es ejecutado acorde al kilometraje recorrido. Este proyecto tuvo como finalidad evaluar la salud del aceite y el comportamiento de los aditivos del lubricante, para anticipar o modificar los periodos de cambio en el mercado nacional. Para las pruebas se utilizó una muestra de cinco vehículos de una marca conocida y de gran acogida en el Ecuador. La metodología utilizada para este proyecto fue un estudio experimental tipo descriptivo y la observación, con base al análisis del aceite usado, se ejecutaron cinco pruebas individuales de medición de las propiedades fisicoquímicas y la determinación de la concentración de partículas del lubricante. Los resultados de la viscosidad mostraron una reducción de hasta un 22% dentro del intervalo de mantenimiento asignado, interpretándose que el aceite se halla al límite de su condición de degradación. Por otro lado, el contenido de aditivos presentó una reducción superior al 40%. Este resultado indica un funcionamiento apropiado del lubricante, ya que la reducción observada responde al alto contenido de azufre en el combustible.

Abstract

The life span of a combustion engine is affected by the quality of lubricant additives and the vehicle's maintenance interval, which is executed according to the mileage traveled. The purpose of this project was to evaluate the health of the oil and the behavior of the lubricant additives, in order to anticipate or modify the change periods in the national market. A sample of five vehicles of a well-known and popular brand in Ecuador was used for the tests. The methodology used for this project was a descriptive experimental study and observation, based on the analysis of the used oil, five individual tests were carried out to measure the physical-chemical properties and determine the concentration of lubricant particles. The viscosity results showed a reduction of up to 22% within the assigned maintenance interval, which means that the oil is at the limit of its degradation condition. On the other hand, the additive content showed a reduction of more than 40%. This result indicates a proper functioning of the lubricant, since the observed reduction responds to the high sulfur content in the fuel. This result indicates a proper functioning of the lubricant since the observed reduction responds to the high sulfur content in the fuel.

Palabras clave:

aceites
lubricantes,
ingeniería de
mantenimiento,
tribología,
transporte

Keywords:

lubricating oils,
maintenance
engineering,
tribology,
transportation

Recibido: agosto 27/2021 **Aceptado:** octubre 13/2021 **Publicado:** diciembre 28/2021

Forma de citar: Antamba Guasgua, J.; Remache Chimbo, A.; Vallejo Moreno, V.; Corrales Zurita, F. (2021). Salud del lubricante y comportamiento de los aditivos en vehículos tipo turismo. Revista Científica y Tecnológica UPSE, 8 (2) pág. 33-39. DOI: 10.26423/rctu.v8i2.620.

* Autor para correspondencia: jferantamba@gmail.com

1. Introducción

En la actualidad, el mercado automotriz nacional ha presentado una nueva pausa de mantenimiento respecto al intervalo referencial de revisión vehicular de 5000 kilómetros. La cantidad de mezcla del motor de encendido provocado (MEP) depende de los siguientes factores: carrera del motor, régimen máximo de giro, flujo másico de aire y rendimiento volumétrico del motor (Payri & Desantes, 2011). Estos factores influyen en las condiciones operativas del motor para los rendimientos máximos previstos, sumándose las condiciones geográficas de operación existentes. Un aspecto importante en la condición operativa de MEP, es el aceite lubricante, por su interacción con la mezcla combustionada, por ello, el análisis y monitoreo del aceite lubricante brinda mayor confiabilidad acerca del estado real del motor y previene fallas y paradas no planificadas (Antamba, 2018; Tormos, 2013).

En el caso del Ecuador, los vehículos con MEP utilizan combustible gasolina con octanaje de 87 y 92 octanos, en estos combustibles, los contenidos de azufre varían entre 300 y 500 ppm, según la norma INEN 935 (2016); la cantidad de azufre interfiere en las condiciones de trabajo del lubricante dentro del motor, afectando la salud, contaminación y desgaste del lubricante (Fernández-Feal et al., 2018), es decir, se puede incidir en el desgaste del motor. La cuantificación del desgaste es un problema complejo y difícil. Este problema puede dividirse en tres partes: en primer lugar, los problemas relacionados con las limitaciones de las técnicas de medición utilizadas para la cuantificación del desgaste; en segundo lugar, los efectos de las condiciones de operación en las mediciones de desgaste y, finalmente, las características particulares del motor (fabricante, edad del motor, condiciones ambientales, tipo de servicio (Fernández-Feal et al., 2018).

Acorde a Saldivia (2013) y Torres et al. (2020), la actividad de cambio del aceite del motor constituye una operación crítica dentro de los procesos de mantenimiento, esta se influye por la calidad del aceite, calidad del combustible y el uso del vehículo. Al trabajar con una mayor cantidad de vehículos, se incrementan los costos de mantenimiento y reparación derivados de esta operación. Para extender la vida útil del lubricante, se debe analizar la condición del aceite, un aspecto vinculado a la composición del aceite lubricante, es decir, la base y los aditivos (Macián et al., 2003).

Este estudio, se orienta en evaluar la salud del lubricante y el comportamiento de sus aditivos en un motor de encendido provocado de vehículos tipo turismo, dentro del periodo de mantenibilidad de 5000 kilómetros, aplicando la técnica de análisis de lubricante usado, para la recolección de la información, considerando un solo intervalo de mantenimiento.

2. Materiales y métodos

Este proceso de investigación corresponde a un estudio experimental tipo descriptivo, en relación al análisis de la degradación y reducción de aditivos del lubricante en los motores de encendido provocado de vehículos tipo turismo, dentro de un periodo de mantenibilidad. Los procesos de medición y recolección de datos estaban basados en las normas internacionales ASTM de los parámetros de propiedades físicas químicas del aceite lubricante usado.

La metodología empleada en este estudio es similar a estudios vinculados, elaborados por Tormos (2013), Macián et al. (2003) y Antamba (2018), y pueden aplicarse en diferentes tipos de motores de combustión interna. La investigación se llevó a cabo en la ciudad de Quito, ubicada en una zona geográfica de elevación a 2800 metros snm.

Durante el 2018, el sector automotor creció un 31 % en relación con el 2017, y cerró el mercado con 137 615 unidades vendidas, cifra similar a la registrada en el 2011 (Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, AEADE, 2019). Esto ocurrió gracias a una mejora de la economía, la expansión del crédito y la eliminación de una serie de restricciones que limitaban la comercialización de vehículos nuevos, en Ecuador. El proceso de investigación experimental se desarrolló, como se muestra en la Figura 1.

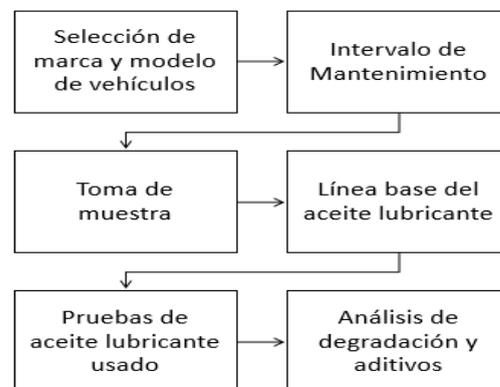


Figura 1. Etapas del proceso investigativo experimental.

Dentro del segmento de vehículo tipo turismo, los vehículos más vendidos corresponden a marcas Chevrolet y Kia. Para este estudio fueron elegidos 5 vehículos de la marca Chevrolet, pero de diferentes modelos, con las siguientes características: Motor MEP en línea, idéntico número de cilindros, rango de cilindraje de $1,5 \pm 0,5$ litros, volumen de aceite lubricante de $1 + \frac{1}{4}$ galón, recorrido inferior a 40000 kms e intervalo de mantenimiento de 5000 kms. Los modelos de vehículos del estudio se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1: Vehículos de pruebas

	Modelo	Kilometraje	Características
Modelo 1	Sail (A)	30327	1.5L,4 cilindros
Modelo 2	G. Vitara	35319	2.0L,4 cilindros
Modelo 3	Beat	10442	1.2L,4 cilindros
Modelo 4	Aveo	10001	1.5L,4 cilindros
Modelo 5	Sail(B)	27501	1.5L,4 cilindros

2.1 Pruebas del aceite lubricante usado

Para las muestras tomadas de los motores de los vehículos analizados, se efectuaron las pruebas de análisis del lubricante usado en los laboratorios de Tribologik (Canadá) bajo la acreditación ISO 17025, por parte del Organismo de Acreditación Ecuatoriano con el código: OAE LE C 10-014, las características de las pruebas de análisis del lubricante se especifican 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 Ficher	ppm	ASTM D-4928
Propiedad química	TBN	mg KOH/g	ASTM D-2896

Laboratorio Tribologik (Canadá)

Antes de la obtención de la muestra de aceite, se evaluó los vehículos basados en las emisiones contaminantes del motor según la norma NTE INEN 2202. La muestra de aceite usado se obtiene en el intervalo de mantenimiento de 5000 km.

2.2 Lubricante de referencia

Para la comparación de los cambios del aceite lubricante, se debe establecer la línea base con el lubricante en estado virgen, es decir, se determinan las propiedades físico-químicas y la determinación de la concentración de un conjunto seleccionado de elementos, expresado en partes por millón (ppm). En la Tabla 3, se detalla los valores obtenidos del aceite

lubricante tipo semisintético SAE 10W-30, utilizado en este estudio para todos los modelos.

Tabla 3. Propiedades SAE 10W-30 (muestra virgen).

Elementos	[ppm]
Fe-Hierro	-
Al-Aluminio	4.1
Mo- Molibdeno	75
Ti-Titanio	66
Si-Silicio	4
Mg-Magnesio	25
B-Boro	8.3
Ca- Calcio	2328
P-Fosforo	1023
Zn-Zinc	1177
PROPIEDADES FÍSICAS	
Viscosidad (cSt)	11,52
TBN	6,72

Laboratorio Tribologik (Canadá)

2.3 Viscosidad relativa

La viscosidad relativa es un parámetro adimensional, que facilita la comparación del comportamiento de la viscosidad, no solo compara la desviación de la tasa de desgaste de referencia del motor, sino que también, al usar la tasa de desgaste de referencia del modelo del motor, compara la situación actual con un comportamiento de la población mayor, como si todos los motores fuesen del mismo modelo. (Tormos, 2013)

Para relacionar la viscosidad, se establece el parámetro de la viscosidad relativa (Z), definida por la ecuación 1, relacionándose los datos de viscosidad del lubricante usado y el lubricante nuevo o de referencia.

$$Z_{visc} = \frac{Viscosidad\ medida}{Viscosidad\ referencial} \quad (1)$$

2.4 Parámetros de análisis y comparación

Cada parámetro medido, expresa una condición del aceite usado, por ello, “ciertos parámetros requieren solamente límites superiores como los niveles de partículas y otros de límites inferiores, tales como, basicidad, metales de aditivos. Otros parámetros requieren de ambos límites, como la viscosidad.” (Noria, 2016). En la Tabla 4, son mostrados los límites de los parámetros medidos para la salud del lubricante.

Tabla 4. Criterios de límites para salud del lubricante

Prueba	Unidad	Criterio de límite de precaución	Criterio de límite crítico
Viscosidad @ 100 °C	cSt	LB + 10% y LB - 5%	LB + 20% y LB - 10%
Número básico, TBN	mgrKOH/gr	50% de LB	20% de LB
FTIR - Oxidación	Abs/cm	LB + 15	LB + 20
FTIR - Nitración	Abs/cm	LB + 15	LB + 20

(Noria, 2016)

3. Discusión y resultados

3.1. Salud del lubricante

La viscosidad del aceite establece su comportamiento para las diferentes condiciones de temperatura, en este estudio para la comparación de viscosidad para cada vehículo de prueba, dentro del intervalo de mantenimiento, se establece la viscosidad relativa. En la Figura 2 se muestran los valores de viscosidad relativa (Z) obtenidos para las cinco muestras de aceite lubricante tomadas de los vehículos empleados en el presente estudio.

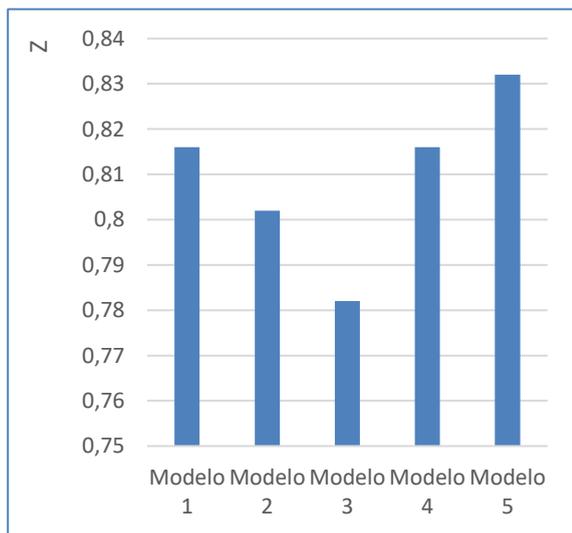


Figura 2.- Viscosidad relativa del aceite SAE 10W-30 para cada modelo.

La figura 2 muestra que, para todas las muestras, la viscosidad relativa obtenida fue menor a 1, lo que significa que han perdido viscosidad con respecto al lubricante virgen. La viscosidad relativa promedio alcanzó a 0,81, con una desviación estándar de 0,02 (n=5). La mayor variación en viscosidad corresponde a

una reducción máxima de 22%. La condición del aceite para el intervalo de cambio establecido opera en condiciones marginales, en algunos casos, es decir, está al límite de su condición de degradación. La reducción supera el límite crítico para la viscosidad, acorde a la Tabla 4.

La salud del lubricante relaciona la viscosidad, oxidación, nitración y el número básico total (TBN), la condición operativa del aceite lubricante degrada las propiedades físicas y químicas, por la acción de la combustión y el combustible. En la Figura. 3, se muestra el comportamiento de estas características para cada modelo analizado

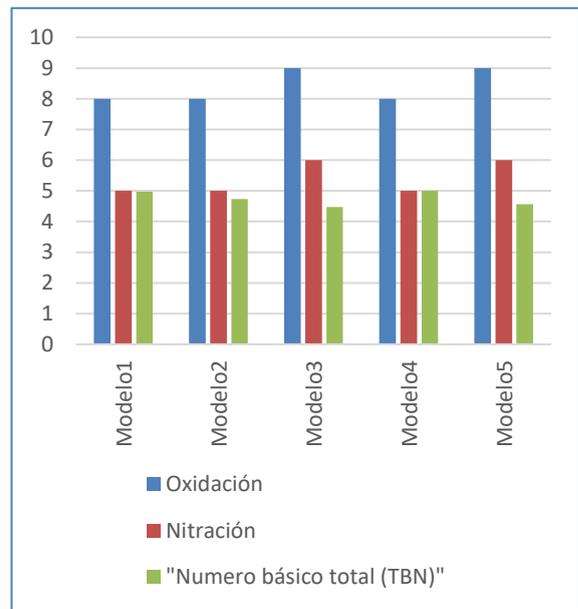


Figura 3.- Variación de las propiedades de la salud del aceite lubricante SAE 10W-30.

El crecimiento de la oxidación es propio del comportamiento del aceite lubricante en operación, se observa un aumento de 4 a 8 y 4 a 9, en las muestras analizadas, con un promedio de 8,4 para el periodo de cambio de aceite. Un aumento acelerado de la oxidación está relacionado con la deficiencia de aditivos antioxidantes y la mala combustión de la mezcla aire combustible.

La nitración crece de 2 a 5 y de 2 a 6, con un promedio de 5,4, evidenciando la presencia de óxidos de nitrógeno, producto de la combustión, relacionándose con la carga del motor y la relación aire-combustible.

3.2. Comportamiento de los aditivos del lubricante

El comportamiento del aditivo antidetergente (calcio), se muestra en la Figura 4, se evidencia la pérdida del calcio dentro del intervalo de mantenimiento, respecto al valor referencial de un contenido de 2328 ppm.

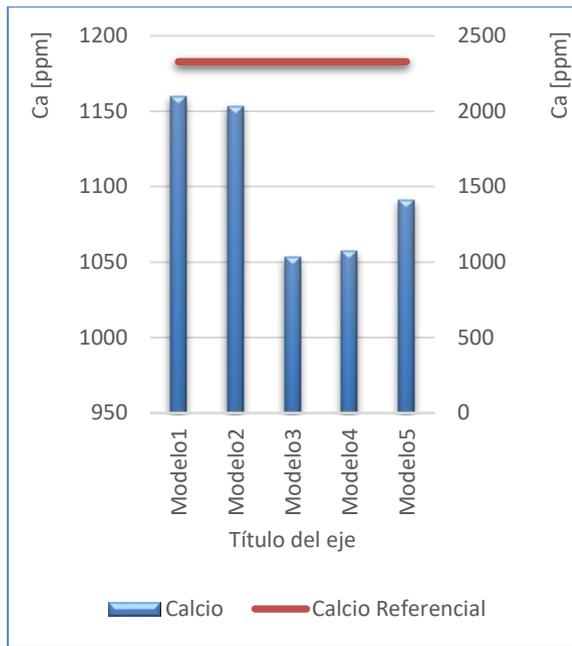


Figura 4. Comportamiento del aditivo anti detergente del aceite lubricante

En el caso de las partículas de calcio, el valor medio es de 1103 ppm, con una desviación estándar de 51,3. Las muestras tienen una reducción del 50% al 54%, con respecto a la referencia inicial, es decir, el aceite cumple con la función anti detergente, dadas las características del combustible ecuatoriano, con altos niveles de azufre, se cumple el trabajo de control de depósitos y la neutralización de ácidos.

El comportamiento del aditivo antioxidante se muestra en la Figura 5, se evidencia la pérdida del fósforo dentro del intervalo de mantenimiento, respecto al valor inicial de 1023 ppm.

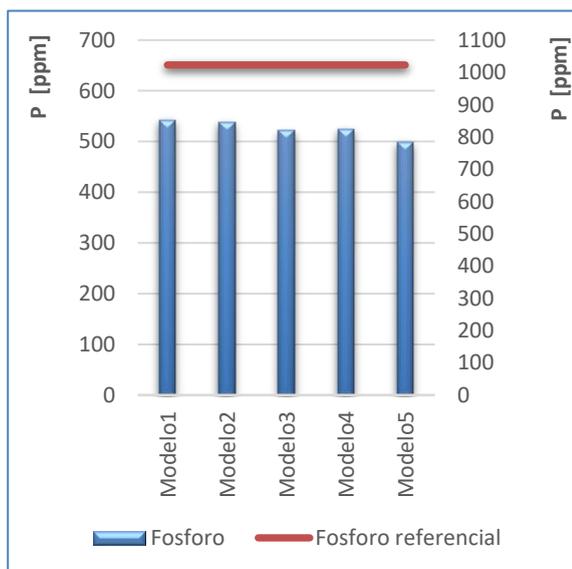


Figura 5. Comportamiento del aditivo antioxidante del aceite lubricante.

En el caso de la concentración del fósforo, se evidencia una reducción entre el 47% y el 51%. El valor promedio de calcio es de 525 ppm y una desviación estándar de 17 ppm, en las muestras examinadas, para los modelos de estudio. Las condiciones que afectan este aditivo están relacionadas a la temperatura de trabajo, calidad de combustible y aire atmosférico. Se evidencia un comportamiento favorable a la oxidación en los motores analizados, por ello, la reducción del aditivo antioxidante.

El comportamiento del aditivo antidesgaste, se muestra en la Figura 6, se evidencia la pérdida del zinc dentro del intervalo de mantenimiento, respecto a la muestra referente de un contenido inicial de 1177 ppm.

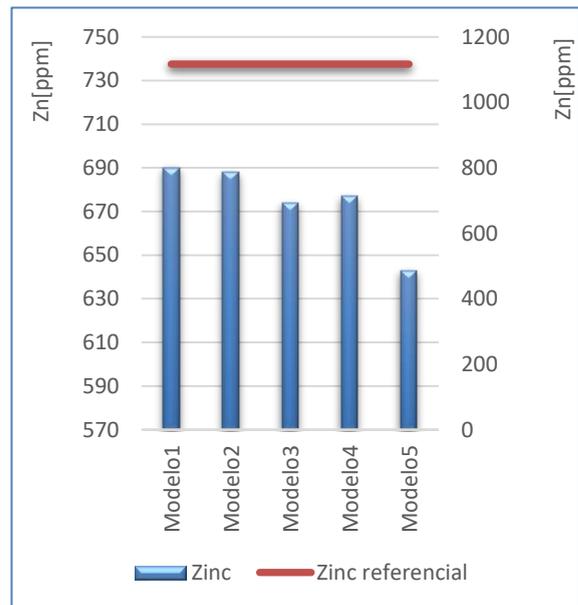


Figura 6. Comportamiento del aditivo anti-desgaste del aceite lubricante.

Los resultados de la cantidad de zinc muestran un valor promedio de 674 ppm y una desviación estándar de 19 ppm, en las muestras examinadas, para los modelos de estudio.

3.3 Análisis de resultados

El TBN, tiene una reducción entre el 25 y el 32%, esta reducción está relacionado a la oxidación, formación de ácidos producto de la calidad del combustible vinculado al contenido de azufre. El límite crítico es del 20% de reducción. Acorde a estudios de Tormos (2013) y Antamba (2018), existe una reducción de las propiedades del lubricante, en especial, si existe la presencia de mayor azufre en el combustible.

Acorde a Fernández-Seal et al (2018), la calidad del combustible afecta en gran medida en la reducción del calcio y el fósforo; así mismo, la calidad del combustible afecta en gran medida la reducción del calcio y magnesio, generándose compuestos ácidos

producto de la mala combustión y bajas temperaturas de operación, razón por la cual, se puede optar por acelerar los cambios de lubricante en los motores.

En este caso, la concentración de zinc, vinculada a las condiciones antidesgaste, se reducen entre un 38% a 42%, está relacionado con la evidencia de reducido partículas de hierro, aluminio y silicio, contado en las muestras de aceite usado de los motores analizados. En este aspecto, el intervalo de mantenimiento es idóneo para los motores, como también las características del aditivo antidesgaste. Las cantidades de zinc y fósforo combinadas reducen el efecto del desgaste químico y la tendencia de desgaste corrosivo y abrasivo. Los estudios desarrollados por Macián et al. (2003), muestran resultados semejantes en el comportamiento de los aditivos de los lubricantes.

4. Conclusiones

El efecto de los cambios de temperatura propios de la operación del motor de encendido provocado se muestra en el comportamiento de la oxidación y la nitración con respecto a la viscosidad, parámetro de la degradación del lubricante, tanto la oxidación y nitración son apropiados mientras la viscosidad está en el límite crítico, similar al TBN:

La viscosidad del aceite se ve reducida en un máximo de 22%, dentro del intervalo de mantenimiento, por ello, la salud del lubricante se encuentra al límite de su condición operativa.

La cantidad de partículas de hierro, aluminio y silicio son reducidas, por ello, la incidencia de desgaste abrasivo o adhesivo para las piezas móviles del motor es reducida.

Los aditivos tienen una reducción superior al 40%, superándose el límite crítico, indica un funcionamiento apropiado del aceite lubricante, el incremento de reducción se afecta por el contenido de azufre del combustible.

Es necesario, efectuar otros seguimientos para recopilar información que confirmen los datos obtenidos en los motores de los modelos analizados.

5. Referencias bibliográficas

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 Tesis posgrado, Quito.

Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador. (2019). Anuario. Quito.

Carpio, L. B., & Granizo, V. G. (2015). Detección temprana de fallas en motores de combustión interna a diésel mediante la técnica de análisis de aceite. *Ciencia Unemi*, 8(15), 84-95.

Espinel Blanco, E. (2014). Distribuciones no Tradicionales para medir Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad (CMD), que se ajustan a varias fases de la Curva de Davies (Master's thesis, Universidad EAFIT).

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. <https://doi.org/10.9734/CJAST/2018/41472>.

INEN, NTEN. 935.(2016). Derivados del petróleo. Gasolina requisitos. Quito

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(10), 771-776. doi:10.1016/s0301-679(03)00060-4.

NORIA (2016). Guía básica de elementos del análisis del aceite usado. USA

Payri, F. & Desantes, J. (2012). Motores de Combustión Interna Alternativos. España: Reverte.

Pozo-Morejón, J. A., Martínez-Jiménez, B. L., Rodríguez-Rico, I. L., Martínez-Martínez, R., Herrera-Artiles, A. M., & Cabral Leite, J. (2014). Análisis de aceite en motores de combustión interna estacionarios de planta de generación de energía eléctrica. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 37(3), 206-212.

Remache, A., Leguisamo, J., Antamba, J., & Azanza, V. (2021). Conducción ecológica: evaluación de los parámetros operacionales del Motor de Encendido Provocado (MEP) en una ruta mixta de la ciudad de Quito. *Revista Científica Y Tecnológica UPSE*, 8(1), 18-24. <https://doi.org/10.26423/rctu.v8i1.55>

Sala, J, Ramirez, C. Tormos, B. & Yago, M. (2007) "An Optimization Approach to Fuzzy Diagnosis: Oil Analysis Application," 2007 IEEE International Fuzzy Systems Conference, London, 2007, pp. 1-6. doi: 10.1109/FUZZY.2007.4295582.

- Saldivia, F. (2013). Aplicación de mantenimiento predictivo. Caso Estudio: análisis de aceite usado en un motor de combustión interna. In XI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2013). México. Documento recuperado de: <http://www.laccei.org/LACCEI2013Cancun/RefereedPapers/RP264.pdf>.
- Tormos, B. (2013). Diagnóstico de motores diésel mediante el análisis del aceite usado. Editorial Reverte: España
- Torres, M., Velázquez, A., Franco, R., Sánchez, E., Franco, F., Peña, Y., & Retureta, J. (2020). Mantenimiento automotriz basado en un diagnóstico tribológico. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo. 10(1).