



Asesorías y Tutorías para la Investigación Científica en la Educación Puig-Salabarría S.C.
José María Pino Suárez 400-2 esq a Lerdo de Tejada. Toluca, Estado de México. 7223898475

RFC: ATI120618V12

Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores.

<http://www.dilemascontemporaneoseduccionpoliticayvalores.com/>

Año: XII Número: 3 Artículo no.: 83 Período: 1 de mayo al 31 de agosto del 2025

TÍTULO: Análisis del aceite Motul 5w40 en un Volkswagen Polo 1.6 MSI: Comparación de parámetros técnicos y resultados de laboratorio en distintos intervalos de operación.

AUTORES:

1. Máster. Juan Diego Zurita Vargas.
2. Máster. Vinicio Sebastián Ribadeneira Ramírez.
3. Máster. Jorge Luis Cepeda Miranda.

RESUMEN: Este estudio evalúa la calidad y desempeño de los aceites de motor para garantizar el funcionamiento óptimo de los vehículos. Se analizaron propiedades clave como el número básico y ácido, y el contenido metálico, lo que permitió identificar los aceites más eficaces para la lubricación y la prolongación de la vida útil del motor. Se subraya la importancia de mantener niveles adecuados de aceite y de seleccionar aditivos que mejoren la resistencia al desgaste y la estabilidad térmica. El estudio proporciona directrices para elegir lubricantes adecuados, asegurando la durabilidad de los sistemas automotrices y el cumplimiento de las especificaciones del fabricante.

PALABRAS CLAVES: calidad, desempeño, aceite de motor, propiedades, cambios de aceite.

TITLE: Analysis of Motul 5w40 oil in a Volkswagen Polo 1.6 MSI: Comparison of technical parameters and laboratory results at different operating intervals.

AUTHORS:

1. Master. Juan Diego Zurita Vargas.
2. Master. Vinicio Sebastián Ribadeneira Ramírez.

3. Master. Jorge Luis Cepeda Miranda.

ABSTRACT: This study evaluates the quality and performance of engine oils to ensure optimal operation of vehicles. Key properties such as basic and acid number, and metallic content were analyzed, allowing the identification of the most effective oils for lubrication and engine life extension. It highlights the importance of maintaining adequate oil levels and selecting additives that improve wear resistance and thermal stability. The study provides guidelines for choosing appropriate lubricants, ensuring durability of automotive systems and compliance with manufacturer's specifications.

KEY WORDS: quality, performance, engine oil, properties, oil changes.

INTRODUCCIÓN.

El análisis de lubricantes automotrices es crucial para comprender la calidad y el rendimiento de estos fluidos esenciales en el funcionamiento de los vehículos (Sreten, 2012). A través de pruebas exhaustivas, se analizan propiedades como el número básico y ácido, junto con el contenido de metales, para revelar información valiosa sobre la eficacia en condiciones reales de operación.

Esos estudios permiten identificar aquellos lubricantes que proporcionan una mejor lubricación y prolongan la vida útil de los componentes del motor (Lee et al., 2020); sin embargo, la selección adecuada en un mercado diversificado puede ser un desafío, y se requiere información detallada para garantizar un rendimiento óptimo del motor y una vida útil prolongada de los componentes (Peng et al., 2022).

La evaluación de los lubricantes automotrices se fundamenta en la comprensión de su comportamiento en condiciones prácticas de uso; por tanto, se hace imprescindible realizar análisis detallados que permitan comparar los resultados obtenidos con las especificaciones establecidas por los fabricantes. Estos análisis no solo proporcionan información sobre la calidad, sino que también identifican posibles áreas de mejora para su rendimiento en diversas condiciones de operación. La eficacia se ve

influenciada por factores como la temperatura y la carga, por lo que es crucial seleccionar un fluido que se adapte a las necesidades del vehículo en general.

Los lubricantes de alta calidad no solo reducen la fricción y el desgaste, sino que también mejoran la estabilidad térmica y protegen contra la corrosión (Sreten, 2012). Esto se traduce en una menor necesidad de mantenimiento, lo que a su vez contribuye a la eficiencia operativa y económica del vehículo.

La investigación se enmarca en lo experimental con un enfoque cuantitativo, lo que permitirá obtener datos precisos y confiables sobre los parámetros reales del lubricante en comparación con los que establece el fabricante. Los resultados obtenidos permitirán evaluar si el lubricante cumple con las normas establecidas y ayudará a tomar decisiones sobre el periodo de mantenimiento preventivo del vehículo, y adicionalmente, analizar los resultados y establecer conclusiones para determinar sobre la importancia de un buen lubricante.

DESARROLLO.

Materiales y métodos.

Para llevar a cabo este experimento de medición de parámetros del lubricante, se examinó la ficha técnica del aceite, en la que se destacan las prestaciones y normas internacionales que cumple el mismo, con un especial énfasis en el TBN o número básico y en el contenido de metales. Conocer estas condiciones ayuda a garantizar la precisión y la comparabilidad de los resultados obtenidos en el experimento.

Aceite a utilizarse: Motul Sae 5w40.

Características técnicas.

- | | | |
|--------------------------|------------|-------|
| • Grado de Viscosidad | SAE J 3005 | W-40 |
| • Densidad a 20°C (68°F) | ASTM D1298 | 0.860 |

• Viscosidad a 100°C (212°F)	ASTM D44513.3	mm ² /s
• Viscosidad a 40°C (104°F)	ASTM D445	76.2 mm ² /s
• Viscosidad HTHS a 150°C (302°F)	ASTM D 4741	3,7 mPa.s
• Índice de Viscosidad	ASTM D2270	177
• Punto de Congelamiento	ASTM D97	-42°C / -43.6°F
• Punto de Inflamación	ASTM D92	233°C / 451.8°F
• Cenizas Sulfatadas	ASTM D874	1.3 % en peso
• TBN	ASTM D2896	11.4 mg KOH/g

Especificaciones.

Especificación: ACEA A3/B4.

API performance SN.

Homologaciones: VW 508 88 509 99.

MOTUL desarrolló este Específico 508.88 & 509.99, lubricante REO (Robust Engine Oil; Lubricante Robusto para Motor), especialmente para intensificar la resistencia contra la oxidación del aceite, evitando la formación de emulsiones, barro en turbos y depósitos en los pistones. Gracias a su exclusiva formulación Technosynthese® y el elevado TBN, ayuda a prevenir la acción corrosiva de los ácidos. Una alta viscosidad HTHS (>3,5 mPa.s) propicia la formación de un film lubricante súper resistente para una mayor protección contra el desgaste, aún en las condiciones de uso más severas. Las normas VW 508.88 509.99 definen productos con tecnología Full SAPS – Fósforo, Azufre y Cenizas sulfatadas – no siendo, por lo tanto, compatibles con sistemas de post-tratamiento de gases de escape.

El análisis de la muestra se le hizo en el Laboratorio de Combustibles, Biocombustibles y Aceites Lubricantes (LACBAL) que posee más de 30 años de experiencia, realizando análisis de laboratorio para el control de calidad en aceites lubricantes, combustibles, biocombustibles e hidrocarburos en general, bajo normativas nacionales e internacionales, garantizando resultados confiables.

Pruebas a realizarse.

- Número básico y número ácido ASTM d286 / d664
- Contenido de metales ASTM d659

Número Básico.

El número básico o TBN indica la cantidad de ácido que puede neutralizarse por una cantidad dada de lubricante antes de que su capacidad neutralizante se agote. Esta propiedad es importante en la evaluación de la capacidad del lubricante para neutralizar los subproductos ácidos generados durante la operación del motor, principalmente debido a la combustión del combustible.

Un alto valor de TBN indica que el lubricante tiene una alta capacidad neutralizante y puede mantener la alcalinidad necesaria para proteger los componentes metálicos del motor contra la corrosión ácida; por otro lado, un bajo valor de TBN sugiere que el lubricante ha perdido su capacidad para neutralizar los ácidos y puede estar cerca de su vida útil, lo que podría aumentar el riesgo de corrosión y desgaste prematuro de los componentes del motor (Puente et al., 2017).

Contenido de metales.

El contenido de metales en un lubricante se refiere a la presencia y la concentración de diversos metales en el fluido. Estos metales pueden provenir de diferentes fuentes, como el desgaste de los componentes del motor, la contaminación externa o los aditivos del lubricante. La medición del contenido de metales es una parte importante del análisis de lubricantes, ya que puede proporcionar información valiosa sobre el desgaste y la degradación de los componentes del motor.

La presencia de ciertos metales, como el hierro, el cobre, el plomo o el aluminio, en concentraciones elevadas, puede indicar un desgaste excesivo de partes específicas del motor; además, el análisis del contenido de metales puede ayudar a identificar la presencia de contaminantes externos, como partículas abrasivas, que pueden contribuir al desgaste prematuro de los componentes del motor; por lo tanto,

monitorear el contenido de metales en el lubricante es fundamental para evaluar la salud y el rendimiento del motor, así como para detectar posibles problemas de desgaste o contaminación que puedan requerir atención (Puente et al., 2017).

Para poder realizar la comparativa es necesario un rango específico, lo que permitirá establecer si los metales encontrados en el lubricante se encuentran o no en rango (Tabla 1).

Tabla 1. Rango de contenido de metales.

Elemento	Rango, mg/kg
Aluminio	0.23-101
Bari	28-115
Boro	0.14-120
Calcio	3.7-11460
Cromo	0.18-152
Cobre	0.47-100
Hierro	4.8-210
Plomo	0.43-101
Magnesio	4.9-1360
Manganeso	0.3-117
Molibdeno	0.21-100
Níquel	0.35-100
Fosforo	52-2572
Potasio	0.35-247
Silicio	3.2-142
Plata	31-102
Sodio	3.6-99.6
Estaño	30-139
Titanio	6.8-103
Vanadio	2.1-101
Zinc	5.3-1345

Fuente: ASTM International, 2016.

Resultados.

Se obtuvo tres muestras, las cuales fueron recolectadas en distintos kilometrajes de funcionamiento, cuando el aceite tiene 0 Km de recorrido, posterior a este se tomó una prueba a los 4748 km de recorrido, y por último, a los 9526 km.

El resultado de la primera muestra se aprecia en la tabla 2.

Tabla 2. Muestra con 0 kilómetros de recorrido.

Identificación de la muestra:							
Información cliente			Código laboratorio		Tipo muestra		
MOTUL 5W-40			1482-01		Aceite lubricante		
Cantidad 946 mililitros							
Condiciones ambientales:							
Temperatura (°C) 15,0 a 22,0		Humedad Relativa (%) 32,0 a 70,0			Presión (KPa) 72,4 a 73,2		
Resultados obtenidos:							
Muestra		Ensayo			Norma Método	Unidades	Valor obtenido
1482-01		Número básico (TBN)			ASTM-D2896	mg KOH/g	11,2
		Contenido de metales	Plata	Ag	ASTM-D6595	mg/kg	0,00
			Aluminio	Al	ASTM-D6595	mg/kg	1,23
			Boro	B	ASTM-D6595	mg/kg	23,93
			Bario	Ba	ASTM-D6595	mg/kg	0,18
			Calcio	Ca	ASTM-D6595	mg/kg	3864,00
			Cadmio	Cd	ASTM-D6595	mg/kg	0,02
			Cromo	Cr	ASTM-D6595	mg/kg	0,33
			Cobre	Cu	ASTM-D6595	mg/kg	0,91
			Hierro	Fe	ASTM-D6595	mg/kg	9,85
			Potasio	K	ASTM-D6595	mg/kg	1,04

		Litio	Li	ASTM-D6595	mg/kg	0,86
		Magnesio	Mg	ASTM-D6595	mg/kg	20,86
		Manganeso	Mn	ASTM-D6595	mg/kg	0,00
		Molibdeno	Mo	ASTM-D6595	mg/kg	7,31
		Sodio	Na	ASTM-D6595	mg/kg	2,43
		Níquel	Ni	ASTM-D6595	mg/kg	0,23
		Fosforo	P	ASTM-D6595	mg/kg	1742,00
		Plomo	Pb	ASTM-D6595	mg/kg	0,00
		Antimonio	Sb	ASTM-D6595	mg/kg	0,00
		Silicio	Si	ASTM-D6595	mg/kg	13,80
		Estaño	Sn	ASTM-D6595	mg/kg	0,00
		Titanio	Ti	ASTM-D6595	mg/kg	0,00
		Vanadio	V	ASTM-D6595	mg/kg	0,73
		Zinc	Zn	ASTM-D6595	mg/kg	1248,87

Fuente: LACBAL, 2024.

Se puede evidenciar, que los valores están dentro de los rangos permitidos, y que de igual manera, cumple con las normas internacionales como son la SAE y la ACEA; sin embargo, el fabricante estipula que la vida útil de este lubricante es de 10000 kilómetros, por lo que se procedió a sacar otra muestra a los 4748km, los resultados se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Resultados a los 4748 kilómetros.

Identificación de la muestra:							
Información cliente			Código laboratorio		Tipo muestra		Cantidad
MOTUL 5W-40			1482-01		Aceite lubricante		989 mililitros
Condiciones ambientales:							
Temperatura (°C) 15,0 a 22,0		Humedad Relativa (%) 32,0 a 70,0			Presión (KPa) 72,4 a 73,2		
Resultados obtenidos:							
Muestra	Ensayo			Norma Método	Unidades	Valor obtenido	
1482-01	Número básico (TBN)			ASTM-D2896	mg KOH/g	8,5	
	Contenido de metales	Plata	Ag	ASTM-D6595	mg/kg	0,00	
		Aluminio	Al	ASTM-D6595	mg/kg	1,95	
		Boro	B	ASTM-D6595	mg/kg	43,54	
		Bario	Ba	ASTM-D6595	mg/kg	0,29	
		Calcio	Ca	ASTM-D6595	mg/kg	1566,00	
		Cadmio	Cd	ASTM-D6595	mg/kg	0,04	
		Cromo	Cr	ASTM-D6595	mg/kg	0,33	
		Cobre	Cu	ASTM-D6595	mg/kg	1,81	
		Hierro	Fe	ASTM-D6595	mg/kg	9,65	
		Potasio	K	ASTM-D6595	mg/kg	1,04	
		Litio	Li	ASTM-D6595	mg/kg	0,36	
		Magnesio	Mg	ASTM-D6595	mg/kg	20,86	
		Manganeso	Mn	ASTM-D6595	mg/kg	0,00	
		Molibdeno	Mo	ASTM-D6595	mg/kg	4,81	
		Sodio	Na	ASTM-D6595	mg/kg	2,43	
Níquel	Ni	ASTM-D6595	mg/kg	0,23			

		Fosforo	P	ASTM-D6595	mg/kg	1375,00
		Plomo	Pb	ASTM-D6595	mg/kg	0,00
		Antimonio	Sb	ASTM-D6595	mg/kg	0,00
		Silicio	Si	ASTM-D6595	mg/kg	14,60
		Estaño	Sn	ASTM-D6595	mg/kg	0,00
		Titanio	Ti	ASTM-D6595	mg/kg	0,00
		Vanadio	V	ASTM-D6595	mg/kg	0,53
		Zinc	Zn	ASTM-D6595	mg/kg	945,87

Fuente: LACBAL, 2024.

Como dato relevante, se observó que el TBN se redujo a un 8,5 y los aditivos importantes como el Fósforo y el Zinc, de igual manera, se vieron afectados en su proporción, lo que indica un desgaste en el lubricante, y a pesar de esto, todavía se encuentra en condiciones normales de trabajo.

Para evaluar si el aceite cumple con las especificaciones del fabricante, se evaluó una última muestra a los 9526 kilómetros; en la tabla 4 se muestran los resultados.

Tabla 4. Muestra a los 9526 kilómetros.

Identificación de la muestra:						
Información cliente			Código laboratorio		Tipo muestra	Cantidad
MOTUL 5W-40			1482-01		Aceite lubricante	919 mililitros
Condiciones ambientales:						
Temperatura (°C) 15,0 a 22,0		Humedad Relativa (%) 32,0 a 70,0			Presión (KPa) 72,4 a 73,2	
Resultados obtenidos:						
Muestra	Ensayo			Norma Método	Unidades	Valor obtenido
	Número básico (TBN)			ASTM-D2896	mg KOH/g	6,8
		Plata	Ag	ASTM-D6595	mg/kg	0,00
		Aluminio	Al	ASTM-D6595	mg/kg	2,06
		Boro	B	ASTM-D6595	mg/kg	62,72
		Bario	Ba	ASTM-D6595	mg/kg	0,18

1482-01	Contenido de metales	Calcio	Ca	ASTM-D6595	mg/kg	828,30
		Cadmio	Cd	ASTM-D6595	mg/kg	0,02
		Cromo	Cr	ASTM-D6595	mg/kg	0,33
		Cobre	Cu	ASTM-D6595	mg/kg	2,04
		Hierro	Fe	ASTM-D6595	mg/kg	9,96
		Potasio	K	ASTM-D6595	mg/kg	,54
		Litio	Li	ASTM-D6595	mg/kg	0,29
		Magnesio	Mg	ASTM-D6595	mg/kg	17,57
		Manganeso	Mn	ASTM-D6595	mg/kg	0,00
		Molibdeno	Mo	ASTM-D6595	mg/kg	2,73
		Sodio	Na	ASTM-D6595	mg/kg	1,92
		Níquel	Ni	ASTM-D6595	mg/kg	0,17
		Fosforo	P	ASTM-D6595	mg/kg	1187,00
		Plomo	Pb	ASTM-D6595	mg/kg	0,00
		Antimonio	Sb	ASTM-D6595	mg/kg	0,00
		Silicio	Si	ASTM-D6595	mg/kg	9,40
		Estaño	Sn	ASTM-D6595	mg/kg	0,00
		Titanio	Ti	ASTM-D6595	mg/kg	0,00
		Vanadio	V	ASTM-D6595	mg/kg	0,28
		Zinc	Zn	ASTM-D6595	mg/kg	743,24

Fuente. LACBAL 2024.

Ante los resultados obtenidos, se observó que tanto el TBN como los metales importantes que sirven como aditivo del aceite, se encuentran en el límite inferior, por lo que se demuestra que el aceite cumpliría su ciclo de funcionamiento en condiciones de operación normales; sin embargo, se tomó en consideración que faltaba 474 kilómetros para completar los 10000km que indica la marca, pero este kilometraje afectaría un mínimo los valores obtenidos.

Comparativa del TBN.

La unidad "mg KOH/g" se refiere a la cantidad de miligramos (mg) de hidróxido de potasio (KOH) necesarios para neutralizar un gramo (g) de muestra de aceite.

Al inicio, la muestra indica que la cantidad inicial de TBN es de 11.2 mg KOH/g, al momento de realizar la prueba de laboratorio a los 4748 Km el resultado fue de 8.5 mg KOH/g, y al realizar la

muestra final, nos arrojó un resultado de 6,8 KOH/g a los 9526 kilómetros, como se aprecia en la figura 1.

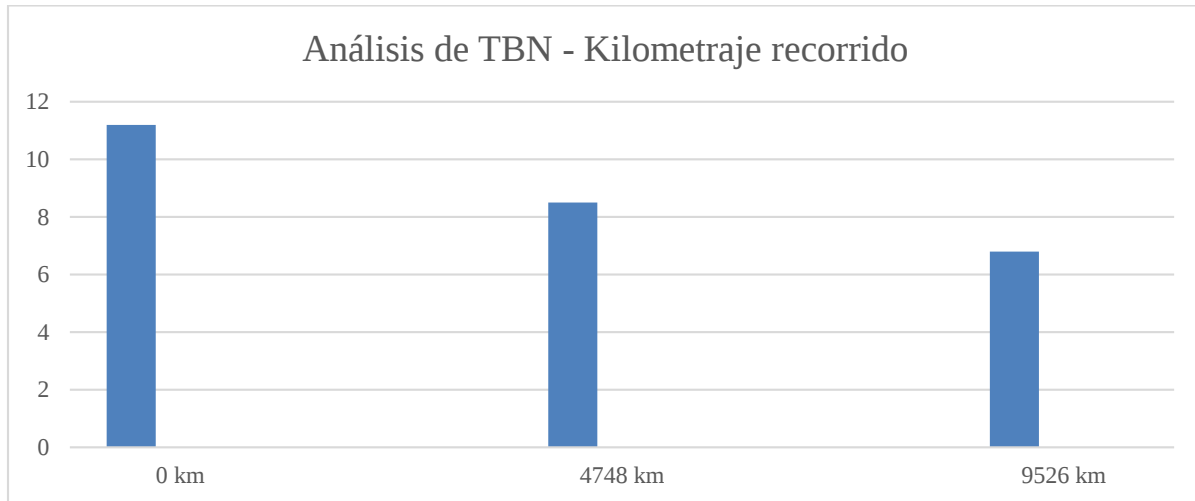


Figura 1: Comparativa TBN. Fuente: Propia, 2024.

Con los resultados obtenidos, se observa que el TBN disminuye un aproximado de 2.7 mg KOH/g cada 5000 Km en este lubricante; a los 10000 Km que es la vida útil del mismo, se tendría un total de 6 mg KOH/g, cumpliendo lo que establece la marca, ya que este se mantiene en sus valores mínimos de uso.

Discusión.

Según la investigación de López (2023), llevado a cabo en motores que utilizan biocombustible, se observó que la basicidad del aceite se mantiene en valores relativamente constantes en un rango aproximado de 9.3 a medida que aumenta el número de horas de funcionamiento del motor. Estos valores se encuentran alejados del valor mínimo permitido, que es de 6, lo que sugiere que la reserva alcalina del aceite lubricante se mantiene adecuadamente.

El análisis se llevó a cabo a las 200 horas de uso del vehículo, lo que representa una comparación relevante con los resultados obtenidos. Se puede inferir que las variaciones en los valores de TBN pueden atribuirse a diferencias en la viscosidad del aceite y a las características específicas del motor, las cuales pueden variar según el tipo de vehículo analizado en cada estudio.

El TAN del lubricante se mantuvo relativamente estable a lo largo del período de análisis; sin embargo, observaron una disminución gradual en el TBN a medida que el lubricante se acercaba al final de su vida útil. Esta disminución en el TBN puede atribuirse a la neutralización de los aditivos alcalinos presentes en el lubricante, debido a la acumulación de ácidos durante la operación del motor.

Una variación significativa en los valores de TAN y TBN en función del tipo de motor y las condiciones de operación, en el estudio, se encontró, que los motores operados a altas temperaturas y cargas pesadas tendían a tener valores más altos de TAN y valores más bajos de TBN en comparación con los motores operados en condiciones más suaves; además, observaron diferencias en el contenido de metales entre los diferentes tipos de motores, con concentraciones más altas de hierro en los motores de alta potencia y concentraciones más altas de cobre en los motores más antiguos.

CONCLUSIONES.

El análisis sugiere que el lubricante empleado demuestra ser adecuado para el tipo de motor bajo estudio. A lo largo de su ciclo de vida, incluso al alcanzar el 50% de su duración estimada, tanto el Total Base Number (TBN) como el contenido de metales permanecen en niveles considerables. Este hallazgo indica, que al recorrer su ciclo completo, el lubricante conservaría suficiente capacidad neutralizante y resistencia al desgaste para no impactar negativamente de manera significativa en el rendimiento del motor.

Se observa una relación inversa entre el grado de desgaste del lubricante y el valor del TBN, lo cual sugiere que a medida que aumenta el desgaste del lubricante, se registra una disminución en el valor del TBN; sin embargo, dado que el TBN permanece en niveles altos, se infiere que el lubricante conserva una capacidad adecuada para neutralizar los ácidos generados durante el proceso de combustión, lo que contribuye a la protección eficaz de los componentes del motor contra la corrosión y el desgaste.

La evaluación y la realización de pruebas periódicas de los lubricantes se revelan como prácticas fundamentales. Proporcionan una visión completa de la condición y el rendimiento del lubricante, lo que

permite detectar signos tempranos de desgaste significativo o deterioro, los cuales podrían conducir a problemas y fallas en el funcionamiento del motor; por lo tanto, se destaca la importancia de mantener un programa regular de monitoreo y análisis de lubricantes para garantizar un rendimiento óptimo del motor y prevenir posibles inconvenientes mecánicos.

Se subraya la necesidad de prestar atención a cualquier cambio repentino en el contenido de metales o una disminución excesiva en el TBN, ya que estos pueden ser indicadores de problemas potenciales en el motor. Dichos cambios podrían sugerir un desgaste anormal o una lubricación insuficiente, lo que resalta la importancia de utilizar el lubricante adecuado y realizar ajustes o mantenimiento preventivo según sea necesario para mantener el buen funcionamiento del motor a lo largo del tiempo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Lee, J., Ni, J., Singh, J., Jiang, B., Azamfar, M., & Feng, J. (2020). Intelligent maintenance systems and predictive manufacturing. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 142(11), 110805.
2. López, S. (2023). Estimación de la vida útil del lubricante empleado en motores que utilizan una mezcla biocombustible. *Revista de Investigación Proyección Científica*, 5(1), 101-112.
<https://revistacusam.com/index.php/revista/article/view/76/74>
3. Peng, H., Zhang, H., Shangguan, L., & Fan, Y. (2022). Review of tribological failure analysis and lubrication technology research of wind power bearings. *Polymers*, 14(15), 3041.
4. Puente, E., Coyago, A., Martínez, R., & Merchan, M. (2017). Análisis tribológico en un motor de gasolina con dos marcas de lubricantes y la misma especificación. *INNOVA Research Journal*, 2(3), 150-166. <http://201.159.222.115/index.php/innova/article/view/191/242>
5. Sreten, P. (2012). Importance of lubricant analysis. *Vojnotehnički glasnik*, 60(2), 156-181.
<https://www.redalyc.org/pdf/6617/661770097006.pdf>

BIBLIOGRAFÍA.

1. Delprete, C., & Razavykia, A. (2020). Piston dynamics, lubrication and tribological performance evaluation: A review. International journal of engine research, 21(5), 725-741.
<https://doi.org/10.1177/1468087418787610>
2. Distaso, E., Amirante, R., Calò, G., De Palma, P., Tamburrano, P., & Reitz, R. D. (2020). Predicting lubricant oil induced pre-ignition phenomena in modern gasoline engines: The reduced GasLube reaction mechanism. Fuel, 281, 118709. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118709>

DATOS DE LOS AUTORES.

1. **Juan Diego Zurita Vargas.** Magister en Diseño Industrial y Procesos. Docente de la Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Matriz Ambato, Ecuador. E-mail: ua.juanzv40@uniandes.edu.ec
2. **Vinicio Sebastián Ribadeneira Ramírez.** Magister en Ingeniería Mecánica Mención en Sistemas de Transporte. Docente de la Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Matriz Ambato, Ecuador. E-mail: ua.viniciorr76@uniandes.edu.ec
3. **Jorge Luis Cepeda Miranda.** Magister en Ingeniería Automotriz. Docente de la Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Matriz Ambato, Ecuador. E-mail: ua.jorgecepeda@uniandes.edu.ec

RECIBIDO: 5 de enero del 2025.

APROBADO: 9 de febrero del 2025.