



Análisis del rediseño y viabilidad económica de un filtro de aceite automotriz: Impacto en eficiencia y costos

Analysis of the redesign and economic feasibility of an automotive oil filter: impact on efficiency and costs

Moreno-Soto, Diego Fernando (Corresponding author)
Posgrado CIATEQ A.C.
Sede Estado de México
E-mail: diegofer_1393@hotmail.com
<https://orcid.org/0009-0000-1830-9223>

Hernández-Hernández, Maricruz
Secihti, InnovaBienestar de México
E-mail: maricruz.hernandez@ciateq.mx
<https://orcid.org/0000-0001-7188-3355>

Del Ángel Monroy, Mayra
CIATEQ A.C., Centro de Tecnología Avanzada
E-mail: mayra.delangel@ciateq.mx
<https://orcid.org/0000-0001-8205-0949>

Resumen

Durante el desarrollo y fabricación de vehículos, se plantean soluciones y especificaciones a través de la ideación y planeación de cada una de las autopartes para el inicio de producción y que no tenga ningún tipo de restricciones. Sin embargo, una vez iniciada su producción se pueden encontrar mejoras en cada uno de los perímetros y de sus respectivas piezas, siempre y cuando se cumplan los estándares de calidad de cada una de las autopartes, sin poner en riesgo la vida de los pasajeros a través de modificar una funcionalidad de la autoparte. La fiabilidad de las autopartes estará determinada por factores de diseño y las respectivas pruebas de resistencia mecánica y química, por la interacción que se tienen con los diferentes componentes automotrices, adicional a las condiciones climáticas a las que están expuestas. Uno de los principales debates en los sistemas de filtración vehicular, es buscar el método correcto para maximizar la filtración y minimizar las posibles fugas para evitar las consecuencias que esto conlleva en los sistemas mencionados. Por lo que desarrollar ideas de costo, pudiera resultar en un reto, sin embargo, de acuerdo con el layout del motor, es posible determinar el mejor método para encontrar los indicadores antes mencionados, así como los materiales indicados con los propósitos que se están buscando. En este trabajo se propone y desarrolla un filtro de aceite utilizando componentes actuales de un filtro base para evitar inversiones o costos adicionales en diseño. Los resultados obtenidos muestran una mejora en la lubricación encima de 3 %, así como un beneficio económico de \$0.29 dólares por filtro.

Descriptores: Rediseño, lubricación, costo, eficiencia, filtro de aceite automotriz.

Abstract

During the development and manufacturing of vehicles are proposed solutions and specifications through the innovation and planning of each of the auto parts for the start of production without any restrictions. However, once production has started, improvements can be found in each of the perimeters and their respective parts, if the quality standards of each one are met and without putting the lives of passengers at risk by modifying an auto part functionality. The reliability of the auto parts will be determined by design factors and the respective mechanical and chemical resistance tests due to their interaction with the different automotive components, plus the climatic conditions to which they are exposed. One of the primary debates in vehicle filtration systems is to find the correct method to maximize filtration and minimize possible leaks to avoid the consequences that this entails in the aforementioned systems. Therefore, developing cost ideas could be a challenge. However, according to the engine layout, it is possible to determine the best method to find the previously mentioned indicators, as well as the indicated materials for the purposes being sought. In this work, an oil filter is proposed and developed using current components to avoid additional investments or costs in design. The results show an improvement in lubrication of over 3 % and an economic benefit of \$0.29 USD per filter.

Keywords: Redesign, lubrication, cost, efficiency, automotive oil filter.

INTRODUCCIÓN

Los materiales de acero al carbono con un recubrimiento de pintura han experimentado un destacado aumento en su demanda dentro de la industria automotriz. Se presentan como una alternativa valiosa al acero inoxidable y, en algunos casos, al aluminio. Esta preferencia se extiende a componentes visuales que no solo proporcionan resistencia y soporte, sino que también añaden un atractivo estético para los usuarios finales. En este contexto, el sistema de filtración vehicular emerge como un conjunto crucial de elementos, abarcando tanto piezas internas como componentes externos. La variabilidad de estos elementos está influenciada por la condición del motor, el tipo de aceite utilizado (ya sea mineral o sintético), así como la calidad del aire y la gasolina que ingresan al motor y la cabina. La presencia de filtros de aire, cabina, aceite y combustible resulta esencial para garantizar el óptimo rendimiento del vehículo.

Cada componente del sistema de filtración debe ser diseñado meticulosamente, teniendo en cuenta la geometría y los materiales que se alineen con los objetivos de funcionalidad, eficiencia y eficacia. Estos materiales deben poseer tanta resistencia mecánica como química, dada su interacción con otros componentes y líquidos. La correcta operación del motor depende en gran medida de la eficacia del sistema de filtración; un rendimiento deficiente podría afectar no solo la eficiencia del motor, sino también poner en riesgo la seguridad de los ocupantes y otros automovilistas. Además, esta estrecha relación conlleva implicaciones ambientales significativas, especialmente en términos de partículas contaminantes o sustancias ajenas al aceite. En este contexto, el sistema de filtración vehicular emerge como un conjunto crucial de elementos, abarcando tantas piezas internas como componentes externos. La variabilidad de estos elementos, ilustrada en la Figura 1, está influenciada por la condición del motor, el tipo de aceite utilizado (ya sea mineral o sintético), así como la calidad del aire y la gasolina que ingresan al motor y la cabina.

En el ámbito de los motores, los filtros de aceite desempeñan un papel crítico en el sistema de lubricación, garantizando la pureza y la eficiencia del aceite mineral o sintético. Su función es vital para mantener el rendimiento óptimo del motor y prevenir el desgaste prematuro de componentes sensibles. Estos filtros actúan como guardianes, atrapando y almacenando partículas contaminantes que podrían dañar el motor y sus elementos clave. Este trabajo se centra específicamente en el filtro de aceite, con énfasis en la importancia del componente de la válvula antirretorno. La válvula antirre-

torno desempeña un papel crucial al evitar que las partículas contaminantes regresen al motor, contribuyendo así a un funcionamiento eficiente y a la extensión de la vida útil del vehículo, sin embargo, en este artículo se propone remover la válvula antirretorno debido al ensamble vertical del filtro en el automotor, más adelante en el artículo se explicará el detalle sobre la ausencia de la válvula antirretorno y sus ventajas.

COMPONENTES DEL FILTRO DE ACEITE

Carcasa/Shell: Es la estructura externa del filtro de aceite. Puede ser metálica o de plástico resistente. La carcasa protege los componentes internos del filtro y proporciona la estructura para la instalación en el sistema de lubricación del motor. Proporciona soporte estructural y protección a los componentes internos del filtro, soporta 3 veces la presión del motor (Anderson, 2012).

Válvula antirretorno: Es una válvula ubicada en la base del filtro. Su función es evitar que el aceite fluya hacia atrás cuando el motor está apagado, lo que ayuda a mantener el aceite en el filtro y evita la pérdida de presión cuando se reinicia el motor. Previene la pérdida de presión del aceite y garantiza que el sistema de lubricación del motor esté lleno de aceite cuando se inicia el vehículo, regula la velocidad del aceite en el filtro y evita el rápido desgaste de los componentes internos del filtro (García & López, 2019).

Spring: Resorte que puede estar ubicado junto a la válvula antirretorno y que proporciona la presión necesaria para que la válvula antirretorno funcione correctamente. Ayuda a mantener cerrada la válvula antirretorno cuando el motor está apagado y facilita su apertura cuando el motor está en funcionamiento, al igual que ayuda a mantener todos los componentes en su posición, adicional de absorber la vibración al momento de la filtración del aceite (Beer, 2013).

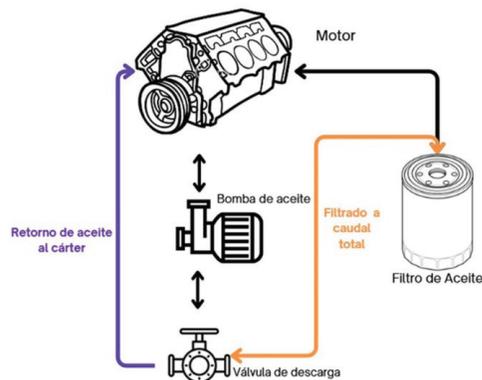


Figura 1. Sistema de funcionamiento de filtración de automotor

Core: Es la estructura interna del filtro que sostiene y protege la media filtrante. Puede estar hecha de materiales como papel, fibra de vidrio o metal, y su forma puede variar según el diseño del filtro. Ofrece soporte estructural y protección a la media filtrante, así como evitar la turbulencia, eliminar las burbujas de aire en el sistema y evitar la deformación de la media filtrante (Hibbeler, 2017).

Válvula de alivio: Es una válvula diseñada para abrirse cuando la presión del aceite excede cierto límite, esto evita que el filtro se dañe en caso de obstrucciones que restrinjan el flujo de aceite. Protege el filtro y el sistema de lubricación al permitir que el aceite fluya incluso cuando la resistencia es alta, evitando daños en el filtro, así como evitar los efectos de saturación y ayudar a regular la presión del aceite hacia el motor (Smith & Jones, 2018).

Media filtrante: Es el material filtrante ubicado en el interior del filtro. Puede ser papel, fibra de vidrio u otros materiales porosos diseñados para atrapar partículas contaminantes en el aceite. Filtra las impurezas del aceite, evitando que partículas dañinas lleguen al motor y reduciendo el desgaste de los componentes internos.

Sello o tipo de Sello: Es la junta o sello que proporciona un sellado hermético entre el filtro y la base del motor, puede ser una junta de goma o un sello de otro material. Evita fugas de aceite alrededor del filtro y asegura que todo el flujo de aceite pase a través del filtro en lugar de escapar alrededor de él. También conocido como Gasket, es una junta o sellado que se encuentra en el extremo del filtro y que se utiliza para sellar el filtro al bloque del motor. Su función principal es evitar las fugas de aceite alrededor del filtro de aceite y garantizar que fluya a través del filtro en lugar de escapar por los bordes (Tunder & Anderson, 2016), (Figura 2).

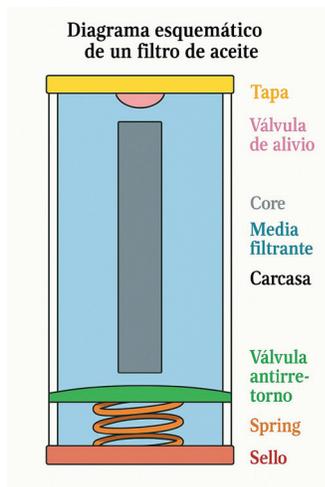


Figura 2. Diagrama esquemático de un filtro de aceite

Existen 2 tipos de filtro de aceite:

1. *Filtro de aceite de línea o calidad OEM:* Un filtro de aceite de línea OEM (Equipo Original del Fabricante) o calidad OEM se refiere a un filtro de aceite que cumple con las especificaciones y estándares establecidos por el fabricante original del vehículo. Cuando se habla de calidad OEM, se hace referencia a la calidad equivalente a la que el fabricante del automóvil utiliza para los componentes originales que se instalan en el vehículo durante su fabricación. Los filtros de aceite de línea OEM están diseñados para cumplir con las especificaciones exactas del fabricante del vehículo y se espera que ofrezcan un rendimiento y una durabilidad similares a los filtros originales instalados en fábrica. Estos filtros suelen ser diseñados específicamente para adaptarse al espacio y los requisitos del motor del automóvil en particular.
2. *Filtro de aceite de post-venta o calidad After sales part (por su denominación en inglés):* Un filtro de aceite de postventa o calidad "aftermarket" se refiere a un filtro de aceite que no es elaborado por el fabricante del equipo original (OEM) del vehículo. Estos filtros son producidos por empresas que no son necesariamente las mismas que fabrican los componentes originales instalados por el fabricante del automóvil durante la producción. Los filtros de aceite de postventa están diseñados para ser compatibles con una variedad de vehículos y pueden ofrecer una alternativa más económica a los filtros OEM sin comprometer la calidad. Es importante señalar que no todos los filtros de postventa son iguales en términos de calidad y rendimiento. Algunos fabricantes de filtros de postventa pueden producir productos de alta calidad que cumplen o superan las especificaciones OEM, mientras que otros pueden ofrecer productos de calidad inferior. Cuando se elige un filtro de aceite de postventa, es recomendable seleccionar marcas y modelos que sean conocidos por su calidad y que estén respaldados por buenas críticas. Algunos fabricantes de filtros de postventa pueden incluso fabricar filtros específicos para ciertos vehículos o aplicaciones.

Como se ha mencionado, el diseño del filtro dependerá de la posición del motor y la base de este (Hibbeler, 2014) adicional a que los materiales seleccionados dependerán del trabajo, presión y esfuerzo que ejecute el motor, por lo que la resistencia química, de presión y mecánica, se vuelven esenciales para un funcionamiento adecuado. Si bien se busca una eficiencia de filtración arriba del 90-95 %, se recomienda cambiarlo cada 8 a 10

mil kilómetros, ya que la eficiencia del filtro disminuye en esas características vehiculares. De igual manera y como se comentó, el filtro ayuda a cumplir las regulaciones ambientales (NOM-041-SEMARNAT-2006, NOM-045-SEMARNAT-2006, NOM-047-SEMARNAT-1999, NOM-050-SEMARNAT-1993, NOM-236-SEMARNAT-2021).

Entre los gases contaminantes específicos que emiten los vehículos debido a un mantenimiento inadecuado del filtro de aceite (Bazarov & Khusanjonov, 2023) y al uso de aceite contaminado se incluyen:

- *Monóxido de carbono (CO)*: El CO es un gas incoloro e inodoro que se produce durante la combustión incompleta del combustible. Si el motor no funciona de manera eficiente debido a un aceite contaminado, podría aumentar la producción de CO.
- *Óxidos de nitrógeno (NOx)*: Los óxidos de nitrógeno son compuestos que se forman durante la combustión a altas temperaturas. Si el motor funciona a temperaturas más altas debido a la fricción adicional causada por un filtro de aceite ineficiente, puede aumentar la producción de NOx.
- *Dióxido de azufre (SO₂)*: Aunque la combustión de aceite en vehículos no es la principal fuente de dióxido de azufre, la presencia de azufre en el aceite y su combustión pueden contribuir a emisiones de SO₂.

Las NOM-041-SEMARNAT-2006, NOM-045-SEMARNAT-2006, NOM-047-SEMARNAT-1999, NOM-050-SEMARNAT-1993 y NOM-236-SEMARNAT-2021, son normas mexicanas emitidas por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) que establecen criterios y límites para la protección del ambiente en diversos aspectos, incluyendo la calidad del aire y las emisiones vehiculares:

- *NOM-041-SEMARNAT-2006*: Esta norma establece los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes para fuentes fijas y móviles. Se aplica a diversas industrias y actividades, incluyendo a los vehículos automotores. Define límites para gases como dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), compuestos orgánicos volátiles (COV) y partículas suspendidas.
- *NOM-045-SEMARNAT-2006*: Esta norma establece los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes para vehículos automotores en circulación. Define límites para gases como CO, NOx, partículas suspendidas, hidrocarburos totales, entre otros. Establece requisitos para la verificación vehicular y la obtención del holograma de verificación.

- *NOM-047-SEMARNAT-1999*: Esta norma establece los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes provenientes de vehículos automotores que utilizan gasolina y diesel. Define límites para CO, NOx, hidrocarburos totales, entre otros. También establece criterios para los procedimientos de medición de emisiones vehiculares.
- *NOM-050-SEMARNAT-1993*: Esta norma establece los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes para vehículos automotores nuevos. Define límites para CO, NOx, partículas suspendidas, entre otros. Se aplica a vehículos nuevos que se comercializan en México.
- *NOM-236-SEMARNAT-2021*: Esta es una norma más reciente que establece los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes provenientes de vehículos automotores en circulación que utilizan diésel. Define límites para NOx, partículas suspendidas, monóxido de carbono, entre otros.

Estas normativas mexicanas establecen los límites máximos permisibles de emisión de diversos contaminantes atmosféricos, muchos de estos contaminantes están relacionados con los gases que pueden generarse debido a un mantenimiento inadecuado del filtro de aceite y al uso de aceite contaminado en vehículos. Es importante cumplir con estas normas para reducir la contaminación del aire y proteger la calidad ambiental.

La relación entre los gases contaminantes, las normas ambientales y el filtro de aceite radica en cómo el estado del filtro de aceite y el mantenimiento del sistema de lubricación pueden influir en el rendimiento del motor y en las emisiones contaminantes de un vehículo:

- **Eficiencia del motor**: Un filtro de aceite en buen estado es esencial para mantener la eficiencia del motor. Si el filtro de aceite no se cambia regularmente, no es el adecuado o se encuentra obstruido, el aceite puede contaminarse y perder su capacidad de lubricación efectiva. Esto puede aumentar la fricción interna en el motor, lo que podría resultar en un funcionamiento menos eficiente y en un aumento en las emisiones contaminantes.
- **Combustión incompleta**: Un sistema de lubricación deficiente puede afectar la calidad del combustible y la combustión en el motor. La combustión incompleta del combustible puede dar lugar a una mayor producción de gases contaminantes como monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y óxidos de nitrógeno (NOx).
- **Desgaste prematuro**: Si el aceite no se filtra adecuadamente debido a un filtro de aceite ineficiente, las partículas y sedimentos pueden causar un desgaste

prematureo de las piezas internas del motor. Este desgaste adicional puede contribuir a la generación de partículas contaminantes y aumentar las emisiones.

- **Cumplimiento de normativas:** Las normativas ambientales establecen límites máximos permisibles para las emisiones de gases contaminantes provenientes de vehículos. El mantenimiento adecuado del sistema de lubricación, que incluye el cambio regular del filtro de aceite, contribuye a que los vehículos cumplan con estas normativas y reduzcan su impacto ambiental.

El estado del filtro de aceite y el mantenimiento adecuado del sistema de lubricación son importantes para preservar la eficiencia del motor, reducir el desgaste prematuro de las piezas y minimizar las emisiones contaminantes, cumplir con las recomendaciones del fabricante para el cambio de aceite y el reemplazo del filtro de aceite es esencial para garantizar un funcionamiento limpio y eficiente del vehículo, en línea con las normativas ambientales aplicables.

REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE-REDISEÑO DE FILTROS DE ACEITE PARA MOTORES DE BAJA CILINDRADA

Investigaciones recientes han abordado la evaluación de filtros de aceite mediante pruebas de laboratorio, buscando mejorar la calidad de los aceites y reducir el impacto ambiental. Un estudio centrado en el monitoreo de la eficiencia de flujo y las características de bombas hidráulicas (Hujo, 2022) destaca la importancia de evaluar la contaminación del aceite antes de su uso mediante propiedades fisicoquímicas. El diagnóstico del estado del aceite se vuelve esencial para prevenir fallas y garantizar un rendimiento óptimo del motor. Otro factor importante es el tipo de sellado utilizado en los filtros de aceite, ya que son componentes críticos que afectan la integridad del sistema. Investigaciones recientes han explorado tecnologías de sellos, como sellos flotantes, y sus beneficios en términos de prevención de fugas y mejor rendimiento en condiciones variables de presión y temperatura (Martínez & García, 2019).

USO DE COMPONENTES DE CILINDRADA MAYOR, SELLOS Y TECNOLOGÍAS DE CIERRE

Este trabajo destaca la necesidad de evaluar los componentes de los filtros de aceite, utilizando pruebas de laboratorio con un dispositivo especializado (Johnson *et al.*, 2017). El dispositivo permite la evaluación simultánea de diferentes tipos de filtros con diferentes niveles de contaminación de aceite. Además, se menciona la importancia de los sellos, señalando la utilización de sellos flotantes y

la tecnología de cierre para prevenir fugas y mejorar el rendimiento en condiciones variables.

La eficiencia de los filtros de aceite se evalúa mediante pruebas de laboratorio estandarizadas. Investigaciones han destacado la importancia de métodos de prueba específicos, como la Norma ISO 4548-12, para evaluar la eficiencia de filtración bajo diversas condiciones operativas (Smith & Jones, 2018).

PRUEBAS DE LABORATORIO Y MÉTODOS UTILIZADOS

El dispositivo de prueba de laboratorio utilizado en este estudio simula cambios en el flujo, temperatura de trabajo y caída de presión según la contaminación del aceite y del filtro. La investigación utiliza tres circuitos hidráulicos para la evaluación de filtros, incluyendo un circuito de medición de referencia y un circuito de control de dispositivos de medición. Las pruebas realizadas a 60 °C durante 60 segundos proporcionaron datos detallados sobre la eficiencia de los filtros.

Las mediciones detalladas revelaron la influencia de diferentes filtros en la caída de presión y el flujo de aceite bajo condiciones de aceite no contaminado y contaminado. Se observaron pequeñas variaciones en la caída de presión y el flujo entre los dos filtros probados (MANN W950/26 y CNH Industrial 2992242), sugiriendo que ambos mantuvieron un rendimiento consistente. Estos resultados resaltan la importancia de evaluar no solo la eficiencia de filtración, sino también la resistencia a la presión y el flujo en condiciones realistas de funcionamiento del motor.

El análisis de fallas comunes en filtros de aceite ha llevado al desarrollo de soluciones innovadoras. Estudios han investigado problemas recurrentes, como la formación de residuos y la pérdida de eficiencia, proponiendo innovaciones en materiales y diseño para abordar estas cuestiones, incluso comparando materiales comunes utilizados en la fabricación de los filtros para determinar cuáles son los mejores dadas cada una de las condiciones en los automotores.

Bazarov & Khusanjonov (2023) en su artículo titulado "Analysis of Common Oil Filters Faults" aborda el análisis de fallas comunes en filtros de aceite, centrándose en la importancia de mantener su rendimiento para evitar daños en el motor. La investigación empleó un análisis sistemático de varios tipos y marcas de filtros, utilizando un protocolo multifacético que incluyó inspección visual, análisis microscópico, análisis de tamaño de partículas, análisis químico, análisis de caída de presión y pruebas de rendimiento. Los resultados revelaron varios fallos comunes, como deformaciones en el medio del filtro, obstrucciones debido a contaminantes, y daños en la carcasa. Estos problemas pueden

llevar a la disminución del rendimiento del motor, dificultades para arrancar el motor, y en casos extremos, daño al motor. La eficacia del filtro disminuyó con el tiempo, especialmente con el uso prolongado, lo que puede resultar en una disminución de la tasa de filtración y caídas de presión. Las fallas comunes se clasificaron en contaminación, fuga y obstrucción.

Su artículo concluye destacando la importancia de chequeos y reemplazos regulares para garantizar el rendimiento óptimo del motor, reduciendo así el riesgo de fallas inesperadas y los costosos reparos asociados. Proporciona información esencial sobre las fallas comunes en filtros de aceite, enfatizando la necesidad de prácticas de mantenimiento regulares para mantener los motores en funcionamiento de manera eficiente y segura.

Determinar la vida útil de un filtro de aceite implica evaluar múltiples factores. Investigaciones han propuesto criterios basados en la capacidad de retención de contaminantes, la eficiencia de filtración y la resistencia estructural del filtro (Martínez & García, 2019). Estos estudios resaltan la complejidad y la importancia de abordar diversos aspectos en el rediseño de filtros de aceite, desde la selección de componentes hasta las pruebas de laboratorio y la consideración de innovaciones para mejorar la eficiencia y la durabilidad.

En la Tabla 1, se menciona una detallada descripción de problemas comunes en filtros de aceite y las correspondientes soluciones para abordarlos. Esta tabla es una referencia rápida y clara para aquellos que buscan resolver problemas específicos relacionados con los filtros de aceite en distintos contextos. Se exploran desde obstrucciones y pérdidas de presión hasta posibles

fugas, ofreciendo soluciones prácticas para mantener un sistema de filtración de aceite eficiente y funcionando correctamente.

DESARROLLO

En el caso específico de este artículo, se está proponiendo la eliminación de la válvula antirretorno, cambio de material, geometría y tipo de sello del filtro para una mayor eficiencia y costo más competitivo, una reducción de costo de más del 15 % por cambio de material. El cambio de material propuesto en la carcasa es acero al carbono con recubrimiento de pintura, en lugar de lámina de acero inoxidable, cuya ventaja es que es un material más resistente a la corrosión debido al cromo y níquel. El cambio de acero inoxidable a acero al carbono es justificable en un filtro de aceite para motores de 1.0 litros, sin comprometer la funcionalidad del filtro en las condiciones típicas de operación del motor, aún si consideramos el recubrimiento de pintura, permitirá que el vaso producido en acero al carbono tenga mayor resistencia a la corrosión, además que el acero al carbono es ideal para filtros que van a ser reemplazados cada 10,000 kilómetros aproximadamente, en cambio, el acero inoxidable es utilizado en vehículos automotores de gama alta o premium.

El material propuesto tiene una dureza de 131 unidades Rockwell con un porcentaje de 0.25 % de carbono en el peso, al igual que una mayor resistencia mecánica, un mayor punto de inflexión, mayor resistencia química y baja resistencia a la tracción. En la Tabla 2, se explican con mayor detalle las propiedades del material propuesto.

Tabla 1. Problemas comunes en filtros de aceite y cómo solucionarlos

Característica	Causas	Resultado	Solución
Violación de la estanqueidad del filtro y la parte donde se instala	<ol style="list-style-type: none"> 1. Violación de la integridad del alojamiento del filtro de aceite (debido a enrollado de baja calidad) 2. Sello de material de baja calidad 3. Inexactitud en la geometría del hilo de fijación 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fuga de aceite bajo presión dentro del filtro de aceite 2. Presión insuficiente debido a bajo nivel de aceite 	Uso de un sello de alta calidad y adecuado para el alojamiento del filtro
Reducción de la permeabilidad del material del filtro	<ol style="list-style-type: none"> 1. El elemento del filtro está obstruido con diversos contaminantes 2. La corrugación del elemento del filtro está doblada 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Partículas metálicas en constante movimiento aumentan la corrosión de las partes del motor 2. Reemplazo completo de aceite y filtro de aceite 3. Limpieza del filtro de aceite mediante presurización con un fluido químico especial 	Uso de componentes con geometría adecuada
Falla de la válvula antirretorno	<ol style="list-style-type: none"> 1. Material de baja calidad y elasticidad de la válvula de goma 2. Pérdida de propiedades del material de la válvula de goma debido a reacción con aditivos químicos en el aceite 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fugas de aceite fuera del alojamiento del filtro de aceite cuando el motor está apagado 2. Riesgo de falta de aceite al arrancar el motor debido a fugas de aceite del filtro 	<p>Uso de filtros de aceite originales y de alta calidad</p> <p>Uso de aceite de alta calidad y adecuado para el clima</p>
Falla de la válvula de derivación	<ol style="list-style-type: none"> 1. Válvula atascada en posición abierta (resorte roto) 2. Válvula atascada en posición cerrada 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Si la válvula de derivación no se cierra en absoluto, el aceite siempre pasará por alto el medio del filtro, sin limpiarse en absoluto 2. Si la válvula de derivación está bloqueada en la posición cerrada, habrá mucha presión en el lado frontal del filtro de aceite, lo que puede provocar su ruptura y, al mismo tiempo, no habrá aceite en el motor (aumento del desgaste de las piezas del motor) 	<p>Uso de filtros de aceite originales y de alta calidad</p> <p>Apagar el motor cuando se encienda la luz de presión de aceite</p>

Tabla 2. Propiedades del material propuesto

Propiedad	Valor
Dureza (Rockwell HRC)	131
Porcentaje de Carbono	0.25 %
Resistencia Mecánica	450 MPa
Temperatura de cedencia	600 °C
Resistencia a la Tracción	580 MPa

Con el rediseño del filtro se busca una eficiencia mayor a 92 % de la filtración del lubricante, con una capacidad de retención mayor a 10 gramos por cada 100 ml durante el flujo de paso de aceite, los metros cúbicos del aceite empleados en el motor dependerán del tamaño,

potencia y cilindros que el motor contenga, en este caso de la potencia que es de 66 CV y 3 cilindros. El rediseño es con el objetivo de aumentar su eficiencia y maximizar la filtración del aceite con un beneficio económico para los filtros de línea y de postventa.

Una de las ventajas del cambio es que la geometría propuesta es más convencional y comercial que la exclusiva geometría actual, y consiste en una disminución de altura de la carcasa de un vaso más alto para un motor más grande y actualmente producido. Los riesgos que podemos considerar al realizar un diseño de filtro de aceite son las fugas de lubricante y la vibración que pudiera tener en la cabina del motor. La ventaja del diseño propuesto es que el vaso ya se produce en masa

para la alianza Renault-Nissan con un motor de mayor potencia y de 4 cilindros, el cual se recorta en altura, por lo que la forma del vaso en realidad no cambia, solamente en altura. Dentro de la visión de la alianza se encuentra producir motores que sean más pequeños y más eficientes para migrar con el paso del tiempo hacia la electrificación.

BASES TEÓRICAS PARA EL DISEÑO

A través del nuevo diseño, habrá ahorro de costos y estandarización de materiales, evitar fugas a través de

una mejor sellabilidad, mayor contacto del filtro con el motor y una mayor filtración y retención de partículas contaminantes, por lo que este cambio no debe representar un problema de calidad o de diseño. Condición actual (Figura 3), Propuesta (Figura 4).

BASE DEL REDISEÑO

En la Figura 5 se muestra que la propuesta se originó a partir de un filtro ya existente y utilizado en los motores de Renault-Nissan ®:

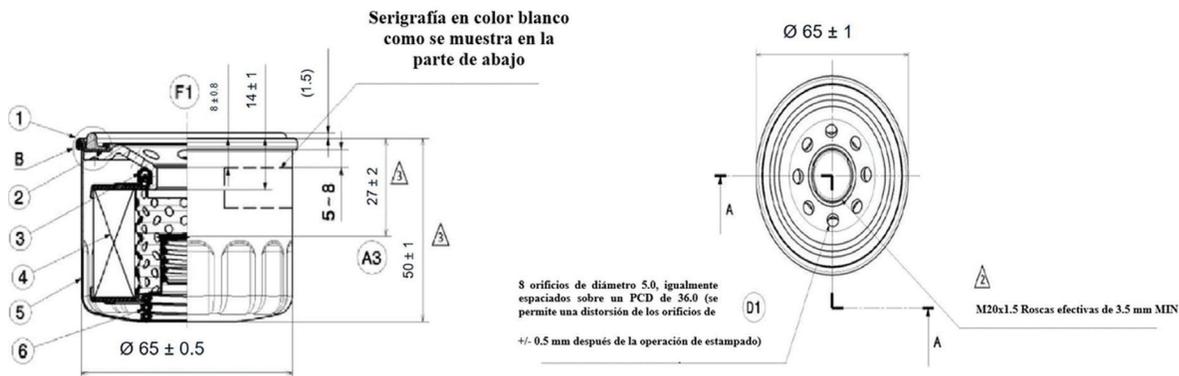


Figura 3. Condición actual del filtro de aceite-dibujo en dos dimensiones

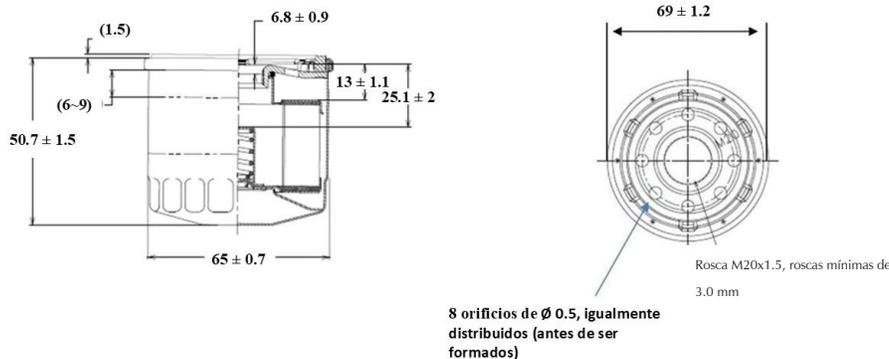


Figura 4. Propuesta de filtro de aceite-dibujo en dos dimensiones

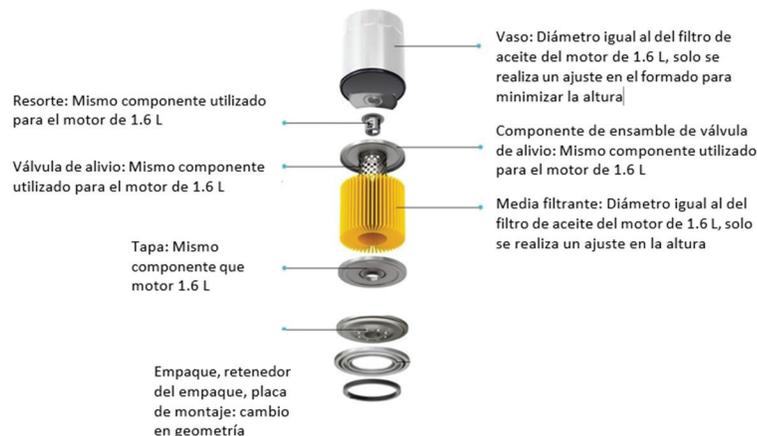


Figura 5. Desglose general de componentes de la propuesta

IMPORTANCIA DE LA EFICIENCIA Y EFICACIA DE LA LUBRICACIÓN EN EL AUTOMOTOR

Micronaje del filtro: La eficiencia de un filtro de aceite se evalúa en gran medida por su capacidad para retener partículas contaminantes presentes en el aceite del motor. El “micronaje” del filtro indica el tamaño de las partículas que puede atrapar. Cuanto menor sea el número de micrones, más pequeñas serán las partículas que el filtro puede retener.

VARIABLES PARA CÁLCULO TEÓRICO

Beta Ratio: El Beta Ratio es una medida de la eficiencia del filtro. Por ejemplo, un filtro con un Beta Ratio de 20 a 1 significa que retiene 95 % de las partículas de un tamaño específico. Cuanto mayor sea el Beta Ratio, mayor será la eficiencia del filtro.

La Figura 6 representa la relación entre el tamaño de partícula y el porcentaje de partículas retenidas por un filtro con un Beta Ratio específico (en este caso, Beta Ratio = 20 a 1). Aquí hay una interpretación básica: Eje X (Tamaño de Partícula): Representa el tamaño de las partículas en micrómetros. Cada punto en la gráfica corresponde a un tamaño de partícula específico en el rango de 1 a 50 micrómetros. Eje Y (Porcentaje de Partículas Retenidas): Indica el porcentaje de partículas que el filtro retendría para cada tamaño de partícula. Cuanto mayor sea el valor en el eje Y, mayor será la eficiencia del filtro para retener partículas de ese tamaño. La tendencia en la gráfica muestra que a medida que el tamaño de la partícula aumenta, el porcentaje de partículas retenidas por el filtro también tiende a aumentar de forma logarítmica. Esto refleja la propiedad esperada de los filtros, donde son más eficientes para retener partículas más grandes en comparación con las más pequeñas.

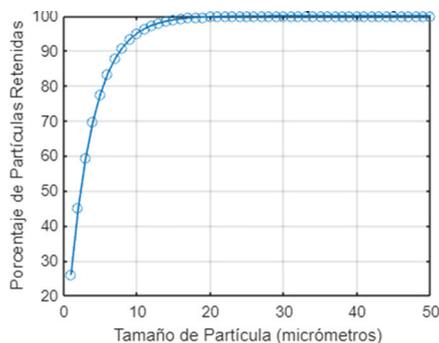


Figura 6. Relación entre el tamaño de partícula y el porcentaje de partículas retenidas por un filtro, análisis en software estadístico MATLAB

El análisis de la gráfica se fundamenta de la siguiente manera:

Relación granulométrica y curvas acumulativas: Este tipo de gráfica es común en análisis granulométricos, como los descritos en la ASTM D422, donde se analiza la distribución del tamaño de partículas en materiales granulares. Las curvas acumulativas permiten interpretar la eficiencia de un filtro o la capacidad de un material para retener partículas.

El comportamiento observado en la gráfica puede contrastarse con análisis de granulometría por tamizado o difracción láser, donde curvas similares han sido reportadas para describir la distribución y retención de partículas en suelos o suspensiones industriales. Estudios como los de Mitchell & Soga han reportado tendencias análogas en la distribución de partículas en función del tamaño y el porcentaje acumulado de retención (Mitchell & Soga, 2005).

CONSIDERACIONES

Capacidad de retención de suciedad: Un buen filtro debe tener una alta capacidad de retención de suciedad antes de alcanzar su límite y necesitar ser reemplazado.

Duración y cambio regular: La duración efectiva del filtro depende del tipo de conducción y las condiciones del motor. Cambiar el filtro de aceite según el intervalo recomendado por el fabricante es esencial para mantener su eficiencia.

IMPORTANCIA DE MEJORAR EL SISTEMA DE LUBRICACIÓN

Reducción del desgaste: Un sistema de lubricación eficiente reduce la fricción entre las piezas móviles del motor, minimizando el desgaste y prolongando la vida útil de los componentes.

Enfriamiento del motor: El aceite también actúa como un medio de enfriamiento al llevar el calor lejos de las partes más calientes del motor, un buen sistema de lubricación ayuda a mantener una temperatura operativa óptima.

Limpieza y eliminación de residuos: El aceite lubricante recoge contaminantes y partículas metálicas generadas por el desgaste. Un sistema de filtración eficiente, incluido el filtro de aceite, ayuda a eliminar estos contaminantes y mantiene limpio el sistema.

Mejora en la eficiencia del combustible: Un motor bien lubricado funciona de manera más eficiente, lo que puede traducirse en un mejor rendimiento de combustible y menores emisiones.

Menos reparaciones y mayor confiabilidad: Mantener un sistema de lubricación en buen estado reduce la probabilidad de averías y aumenta la confiabilidad del vehículo. La eficiencia del filtro de aceite y un sistema de lubricación mejorado son fundamentales para mante-

ner un motor en óptimas condiciones. El cuidado adecuado contribuye a la longevidad del motor, mejora el rendimiento y reduce los costos de mantenimiento a largo plazo.

CÁLCULOS Y CONSIDERACIONES DE LA PROPUESTA

El filtro actual se fabrica y se importa desde India, al no tener tratados comerciales se paga un 18 % de impuesto por la importación sobre el costo total del filtro. Se considera que un valor Beta es un valor de eficiencia en un tamaño de partícula dado. $Beta_3 = 75$, ese valor significa que por cada partícula de 3 micrones que ha escapado a través del filtro, ha habido una retención de 75 partículas de 3 micrones, esto nos ayuda a terminar de calcular la eficiencia:

$$Ef = \left(1 - \left(\frac{1}{75} \right) \right) * 100 = 98.7\% \quad (1)$$

Implicaciones:

- Sello rectangular con sello flotante para un mayor contacto entre la cara del filtro y el motor, favoreciendo la filtración en más de 5 %; filtración actual (92.2 % de eficiencia).
- Aumento del contenido regional del motor en 1.46 %.
- Ahorro de pago de impuestos por importación (18 %).
- Ahorro de \$0.12 USD por filtro producido para línea y equipo original por el rediseño, cambio de material y la ausencia de válvula antirretorno, esta última es removida debido a que el filtro está montado en una posición vertical con la entrada de aceite hacia abajo. La gravedad evitará de manera natural que el aceite fluya de regreso al cárter cuando el motor se encuentra apagado, por lo que la válvula antirretorno no es esencial porque el aceite permanece dentro del filtro debido a la orientación.

ANÁLISIS DE CONTROL Y COSTO BENEFICIO

ESCALABILIDAD DEL DISEÑO

Es importante resaltar que durante este proyecto se utilizaron los componentes de un filtro ya producido actualmente por la alianza Renault-Nissan para un motor 1.6 litros y el filtro propuesto será ensamblado para un vehículo Renault con un motor 1.0 litros, por lo que no habrá costo de desarrollo, diseño o costo de fabricación de herramientas adicionales para la fabricación del filtro. El diseño propuesto, aunque se basa en un filtro

previamente desarrollado, aporta un valor agregado al estandarizar componentes dentro de la misma alianza. Este enfoque no solo optimiza los costos de producción, diseño y desarrollo, sino que también incrementa el volumen de negociación, mejorando la eficiencia y competitividad del proyecto.

VENTAJAS DE ESTANDARIZACIÓN

La estandarización en los componentes automotrices, como los filtros de aceite, conlleva varias ventajas que benefician tanto a los fabricantes como a los consumidores:

Interoperabilidad: La estandarización permite que los filtros de aceite sean intercambiables entre diferentes marcas y modelos de vehículos que cumplen con las mismas especificaciones. Esto facilita la reparación y el mantenimiento, ya que los propietarios pueden utilizar filtros estándar sin preocuparse por la compatibilidad.

Reducción de Costos: La fabricación en masa de componentes estandarizados tiende a ser más eficiente y menos costosa. Los fabricantes automotrices pueden producir grandes cantidades de un diseño específico, lo que lleva a economías de escala y reduce los costos de producción.

Mantenimiento: La estandarización simplifica el proceso de mantenimiento y reparación. Los técnicos y propietarios de vehículos pueden anticipar el tipo de filtro de aceite que necesitan sin tener que preocuparse por especificaciones complicadas, lo que agiliza el proceso de servicio.

Disponibilidad y Accesibilidad: La estandarización aumenta la disponibilidad y accesibilidad de los filtros de aceite en el mercado. Dado que hay una demanda constante de productos estándar, es más probable que estén fácilmente disponibles en tiendas de autopartes, talleres de servicio y otros puntos de venta.

Compatibilidad Global: Los estándares a menudo se aplican a nivel internacional, lo que facilita la producción y distribución de componentes automotrices en mercados globales. Esto es beneficioso tanto para fabricantes que desean exportar productos como para consumidores que pueden encontrar repuestos fácilmente, incluso si el vehículo se fabrica en otro país.

Innovación: Al estandarizar ciertos componentes, los fabricantes pueden centrarse en la innovación y mejora continua de esos elementos particulares. Esto puede conducir a avances tecnológicos y mejoras en la eficiencia sin sacrificar la compatibilidad con modelos más antiguos.

Cumplimiento Normativo: La estandarización a menudo se alinea con regulaciones y normativas de la industria. Esto facilita que los fabricantes cumplan con

los estándares de seguridad y emisiones, ya que los componentes estandarizados suelen estar diseñados para cumplir con estas normativas.

ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

En la Tabla 3, se muestra la comparación entre la propuesta y la condición actual.

Se han evaluado varios aspectos a lo largo de este artículo, incluido el costo del filtro y los gastos asociados con el mantenimiento del herramental exclusivo como el troquel progresivo y el troquel de embutido. Asimismo, evitar el herramental y el herramental de reemplazo de la válvula antirretorno, como la moldeadora y prensa de dicho componente, sumando el desarrollo de componentes igualmente exclusivos.

El objetivo es proporcionar una visión integral de las implicaciones financieras y operativas de adoptar el nuevo filtro de aceite propuesto en comparación con el filtro actual:

Costo del filtro: El filtro de aceite propuesto presenta un atractivo ahorro económico con un costo de \$0.8 USD en comparación con el filtro actual que tiene un precio de \$0.92 USD, la diferencia radica principalmente en el costo de la válvula antirretorno, el cambio y estandarización de materiales. Este aspecto, por sí solo, sugiere un beneficio financiero directo al adoptar el nuevo filtro propuesto.

Costo por mantenimiento de herramental: La diferencia en el costo anual de mantenimiento del herramental es significativa. El filtro de aceite propuesto conlleva un gasto de \$580 USD al año, mientras que el filtro actual implica un desembolso notablemente mayor de \$4,877 USD al año. Este punto es crucial para evaluar la sostenibilidad financiera a largo plazo y sugiere un marcado beneficio económico al optar por el filtro de aceite propuesto. La gran diferencia de costos se debe en gran medida a que el filtro propuesto comparte herramientas con el filtro base, por lo cual, se amortiza entre todo

el volumen producido. En el caso del herramental del diseño planteado, su mantenimiento es significativamente menor, debido a que es un herramental utilizado para componentes estándar y su amortización por el volumen del filtro de 4 cilindros y el filtro propuesto es significativamente mayor al del filtro actual.

Impuestos por importación: La ausencia de impuestos por importación para el filtro de aceite propuesto contrasta con el 18 % de impuestos asociados con el filtro actual. Este elemento contribuye significativamente a la viabilidad financiera del nuevo filtro propuesto, considerando las implicaciones fiscales que afectan directamente los costos totales.

Exclusividad del herramental y desarrollo de partes: El hecho de que el filtro de aceite propuesto no requiera herramental exclusivo ni incurra en costos adicionales por desarrollo y partes exclusivas es un aspecto distintivo. En comparación, el filtro actual impone costos significativos en este sentido. Esta diferencia no solo tiene implicaciones financieras sino también operativas, ya que afecta la flexibilidad y la eficiencia en la producción.

El análisis costo-beneficio revela una clara ventaja económica al adoptar el filtro de aceite propuesto en lugar del filtro actual. Los ahorros directos en el costo del filtro, combinados con los gastos significativamente reducidos en mantenimiento de herramental y la ausencia de impuestos por importación, respaldan la viabilidad financiera del nuevo filtro propuesto. Además, la flexibilidad operativa y la falta de requerimientos exclusivos añaden un valor adicional. En general, este estudio sugiere que la transición al filtro de aceite propuesto es una estrategia financiera y operativa prudente.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se realizó una prueba de hipótesis t de un tamaño de muestra de 380 para confirmar la eficiencia del nuevo filtro de aceite con una eficiencia mínima deseada de 94 %. La visualización incluye un diagrama de caja

Tabla 3. Comparativa de filtro actual y propuesta

Análisis panorámico	Filtro de aceite propuesto	Filtro de aceite actual
Costo del Filtro USD	\$ 0.8	\$ 0.92 + \$0.17 por impuestos de importación = \$1.09
Costo por ahorro de la válvula antirretorno USD	\$ 0	\$0.04
Costo por mantenimiento de herramental USD al año	\$ 580	\$ 4,877
Impuestos por importación USD (18 %)	\$ 0	\$0.17
¿Herramental exclusivo?	No	Sí
¿Costo por desarrollo y partes exclusivas?	No	Sí

(boxplot) que muestra la distribución de los datos y una línea horizontal que representa la eficiencia mínima deseada. La prueba de hipótesis evalúa si la eficiencia es estadísticamente mayor a 94 %. Los resultados de la prueba de hipótesis son los siguientes:

- *Valor p (p-value):* El valor p es 9.5306e-05, que es extremadamente pequeño. Este valor p indica la probabilidad de observar los datos actuales si la hipótesis nula (que la eficiencia del nuevo filtro de aceite es igual o menor a 94 %) fuera verdadera. Dado que el valor p es muy pequeño, podemos concluir que hay evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula.
- *Hipótesis nula rechazada:* La variable h es 1, lo que significa que la hipótesis nula ha sido rechazada. En términos prácticos, esto significa que la eficiencia del nuevo filtro de aceite es estadísticamente mayor a 94 %. Este resultado respalda la afirmación de que el nuevo filtro de aceite tiene una eficiencia superior al umbral de 94 %.

Basándonos en la prueba de hipótesis, hay evidencia suficiente para afirmar que la eficiencia del nuevo filtro de aceite es significativamente mayor a 94 %. Este es un resultado positivo para el nuevo diseño del filtro de aceite (Figura 7).

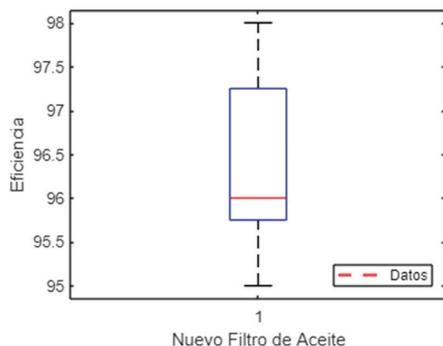


Figura 7. Análisis estadístico demostrando una eficiencia encima de 95 % de la nueva propuesta de filtro. Elaboración propia (análisis en software estadístico MATLAB)

La Figura 7 muestra claramente que todos los datos de eficiencia del nuevo filtro de aceite están por encima de la eficiencia mínima deseada de 94 %. Además, la línea horizontal roja resalta visualmente la eficiencia mínima deseada. En conjunto con los resultados de la prueba de hipótesis (p-value muy bajo y rechazo de la hipótesis nula), la gráfica respalda la afirmación de que la eficiencia del nuevo filtro de aceite es estadísticamente mayor a 94 %. La combinación de análisis estadísticos y visualización ayuda a respaldar de manera más robusta la eficiencia del nuevo diseño del filtro de aceite.

CONCLUSIONES

Las conclusiones del estudio revelan una serie de ventajas significativas al adoptar el nuevo filtro propuesto. No solo se destaca mayor disponibilidad para la demanda de la cadena de suministro y el aumento del contenido regional en motores ensamblados en América para Latinoamérica, sino que también se evidencia una reducción en los costos y una disminución en la complejidad del mantenimiento de herramientas. La eliminación de la necesidad de herramientas exclusivas y la ausencia de costos asociados al desarrollo representan un beneficio económico considerable para la implementación de este filtro innovador. Además, la omisión de la válvula antirretorno con la transición hacia un diseño donde el flujo se rige por la gravedad ofrece ventajas adicionales. Este enfoque no solo conlleva ahorros directos relacionados con la válvula antirretorno, sino que también simplifica el ensamblaje al permitir que el filtro se ubique de manera perpendicular al motor. Esta disposición facilita un mayor contacto durante el ensamblaje, lo que puede traducirse en mejoras tanto en términos de eficiencia operativa como de durabilidad del sistema.

En un contexto más amplio, la adopción de este nuevo diseño de filtro no solo tiene beneficios económicos y de eficiencia, sino que también presenta oportunidades para alinear el producto con las normativas ambientales. Al seguir las pautas establecidas en las normas ambientales clave, como la NOM-041-SEMARNAT-2006, NOM-045-SEMARNAT-2006, NOM-047-SEMARNAT-1999, NOM-050-SEMARNAT-1993 y NOM-236-SEMARNAT-2021, se refuerza el compromiso con prácticas sostenibles y se contribuye positivamente al impacto ambiental. En última instancia, la implementación de este nuevo filtro no solo redefine el paradigma de diseño y funcionalidad, sino que también posiciona a la empresa en el camino hacia la excelencia en términos de eficiencia, sostenibilidad y cumplimiento normativo. Estos aspectos colectivos no solo impulsarán la competitividad en el mercado, sino que también respaldarán una imagen de liderazgo en innovación y responsabilidad ambiental.

REFERENCIAS

Anderson, J. (2012, 5 de julio). AZO Materials. Recuperado el 22 de junio 2021 de <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6115>

- Bazarov, B. I. & Khusanjonov, S. O. (2023). Analysis of common oil filters faults. *Innovative Technological Methodical Research Journal*, 4(3), 39-51.
- Beer, F. P. (2013). *Mecánica de materiales*. Mallorca: McGraw-Hill.
- García, M. L., & López, R. S. (2019). Materials innovation for enhanced oil filtration in automotive engines. *Materials Science Review*, 25(4), 321-340.
- Hibbeler, R. C. (2014). *Mecánica de materiales*. 8a ed. Pearson.
- Hujo, L. (2022). Test of oil filters on laboratory test device. *Strojnický Casopis-Journal of Mechanical Engineering*, 72(3), 27-34. <https://doi.org/10.2478/scjme-2022-0037>
- Johnson, R. et al. (2017). Adapting components from higher displacement engines for small engine oil filters. *Journal of Automotive Engineering*, 12(3), 87-102.
- Martínez, C., & García, M. (2019). Floating seal technology in oil filters: Advantages and applications. *International Journal of Automotive Technology*, 20.
- Mitchell, J. K., & Soga, K. (2005). *Fundamentals of Soil Behavior*. 3ra ed. New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Secretaría de Economía (SE). (2021). NOM-236-SE-2021, Vehículos automotores-Condiciones fisicomecánicas de los vehículos con peso bruto vehicular que no exceda 3,857 kg. Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (1999). NOM-047-SEMARNAT-1999. Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2006). NOM-041-SEMARNAT-2006. Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2006). NOM-045-SEMARNAT-2006. Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2018). NOM-050-SEMARNAT-2018. Establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos. Diario Oficial de la Federación.
- Smith, A. B., & Jones, C. D. (2018). Advancements in oil filter design: A comprehensive review. *Journal of Automotive Engineering*, 10(2), 45-62.
- Turner, J. R., & Anderson, K. L. (2016). Innovative approaches to sustainable oil filter design. *Environmental Engineering Journal*, 8(3), 211-228.
- Orozco, G. M. (2015). Pruebas mecánicas en automotores (Prueba de ruta). Recuperado el 20 de junio 2021 de <https://www.pruebaderuta.com/filtro-de-aceite-de-motor.php>
- Wang, Y., & Chen, Z. (2017). A comparative study of filtration materials for improved oil filter performance. *Journal of Materials Research*, 22(1), 78-95.

BIBLIOGRAFÍA SUGERIDA

- Eurolab. (2017). Pruebas y análisis sectoriales. Recuperado el 20 de junio 2021 de <https://www.eurolab.com.tr/es/sektorel-test-ve-analizler/uygunluk-testleri/kimyasallara-dayanim-testleri>
- Noria. (2014). Eficiencia en filtración de aceite. Recuperado el 21 de junio 2020 de <https://noria.mx/lublearn/http-noria-mx-lublearn-como-verificar-la-eficiencia-de-filtracion-de-aceite/>
- How to cite:**
Moreno-Soto, D. F., Hernández-Hernández, M., & Del Ángel Monroy, M. (2025). Análisis del rediseño y viabilidad económica de un filtro de aceite automotriz: Impacto en eficiencia y costos. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 26(03), 1-13. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2025.26.3.022>