



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v11i4.4630>

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

Estado del Arte Avances y Tendencias en la Investigación de filtros en el Sistema de Alimentación Automotriz como Elementos Clave para la Durabilidad y Eficiencia del Motor

State of the Art: Advances and Trends in Research on Filters in the Automotive Fuel System as Key Elements for Engine Durability and Efficiency

Estado da Arte: Avanços e Tendências na Investigação sobre Filtros no Sistema de Combustível Automóvel como Elementos-Chave para a Durabilidade e Eficiência do Motor

Chávez Herrera Aldrin Elkin ^I

chavez.a.4736@istlam.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0002-9735-2661>

Ruiz Gutiérrez Galo Camilo ^{II}

g.ruiz@istlam.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-8457-0638>

Correspondencia: chavez.a.4736@istlam.edu.ec

***Recibido:** 23 de octubre de 2025 ***Aceptado:** 14 de noviembre de 2025 *** Publicado:** 20 de diciembre de 2025

- I. Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez, Ecuador.
- II. Docente Tutor de la carrera de Mecánica Automotriz del Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez, Ecuador.

Resumen

El desarrollo reciente en sistemas de filtración automotriz destaca una marcada transición hacia medios avanzados como nanofibras, polímeros sintéticos multicapa y filtros con diseño optimizado que permiten retener contaminantes finos, agua y sedimentos con alta eficiencia, al tiempo que reducen la caída de presión y el desgaste prematuro del sistema de alimentación. Estudios industriales y de mercado muestran que estos medios aumentan la protección del motor, extienden los intervalos de mantenimiento y mejoran la eficiencia operativa, contribuyendo al ahorro de combustible y la longevidad del sistema (Donaldson Company, 2024).

(MANN et al, 2023). Definen que la integración de tecnologías inteligentes sensores de presión diferencial, soluciones de mantenimiento predictivo y separación de agua en líneas multicapa representa una tendencia creciente, impulsada por regulaciones más estrictas sobre emisión y limpieza del combustible, la investigación actual evidencia grandes avances gracias al uso de nanofibras y medios ultrafinos, los cuales incrementan sustancialmente la eficiencia de retención, incluso para partículas de tamaño inferior a 4 μm , estudios recientes indican que los medios bicapa hidrofóbicos/hidrofílicos mejoran notablemente la separación de agua, reduciendo los riesgos de corrosión y crecimiento bacteriano en el sistema de alimentación

Según AZoNano (2024), los medios basados en nanofibras logran eficiencias superiores al 99 %, manteniendo una estructura estable bajo condiciones severas. Complementariamente,

Estas innovaciones consolidan los filtros automotrices no sólo como componentes de mantenimiento, sino como elementos críticos en la arquitectura del sistema de inyección, fundamentales para garantizar durabilidad, reducción de fallas, menor consumo y menores emisiones contaminantes, los filtros del sistema de alimentación automotriz se han convertido en elementos clave para asegurar la eficiencia y la durabilidad del motor, debido al aumento de presión, precisión y sensibilidad de los sistemas modernos de inyección. Diversos autores destacan que los nuevos combustibles, los sistemas de alta presión y la reducción de tolerancias obligan a emplear medios filtrantes más eficientes capaces de retener partículas submicrónicas y agua sin aumentar significativamente la caída de presión (Pavada et al. (2024).

Pavada (2022) destaca que la presencia de aditivos modernos afecta radicalmente el comportamiento de separación, obligando a diseñar medios más robustos y a desarrollar protocolos de ensayo más exigentes.

Estado del Arte Avances y Tendencias en la Investigación de filtros en el Sistema de Alimentación Automotriz
como Elementos Clave para la Durabilidad y Eficiencia del Motor

Palabras Claves: Nanofibras, Nanofibras, Microfibras, Polímeros, Porosidad, Saturación, Filtración, Emisiones, Durabilidad, Eficiencia, Contaminantes, Adhesión, Obstrucción, Partículas.

Abstract

Recent developments in automotive filtration systems highlight a marked shift toward advanced media such as nanofibers, multilayer synthetic polymers, and optimized filter designs that efficiently retain fine contaminants, water, and sediment while reducing pressure drop and premature fuel system wear. Industry and market studies show that these media enhance engine protection, extend maintenance intervals, and improve operating efficiency, contributing to fuel savings and system longevity (Donaldson Company, 2024).

(MANN et al, 2023). They define the integration of smart technologies—differential pressure sensors, predictive maintenance solutions, and water separation in multilayer lines—as a growing trend, driven by stricter regulations on fuel emissions and cleanliness. Current research shows significant progress thanks to the use of nanofibers and ultrafine media, which substantially increase retention efficiency, even for particles smaller than 4 μm . Recent studies indicate that hydrophobic/hydrophilic bilayer media significantly improve water separation, reducing the risks of corrosion and bacterial growth in the fuel system. According to AZoNano (2024), nanofiber-based media achieve efficiencies exceeding 99%, maintaining a stable structure under severe conditions. Additionally,

These innovations solidify automotive filters not only as maintenance components but also as critical elements in the injection system architecture, fundamental for ensuring durability, reducing failures, lower fuel consumption, and lower pollutant emissions. Automotive fuel system filters have become key elements for ensuring engine efficiency and durability due to the increased pressure, precision, and sensitivity of modern injection systems. Several authors highlight that new fuels, high-pressure systems, and reduced tolerances necessitate the use of more efficient filter media capable of retaining submicron particles and water without significantly increasing pressure drop (Pavadad et al. (2024). Pavadad (2022) emphasizes that the presence of modern additives radically affects separation behavior, requiring the design of more robust media and the development of more demanding testing protocols.

Keywords: Nanofibers, Microfibers, Polymers, Porosity, Saturation, Filtration, Emissions, Durability, Efficiency, Contaminants, Adhesion, Clogging, Particles.

Resumo

Os recentes avanços nos sistemas de filtragem automóbél destacam uma mudança significativa para meios avançados, como nanofibras, polímeros sintéticos multicamadas e designs de filtros otimizados que retêm eficientemente contaminantes finos, água e sedimentos, reduzindo a queda de pressão e o desgaste prematuro do sistema de combustível. Estudos de mercado e da indústria mostram que estes meios melhoram a proteção do motor, prolongam os intervalos de manutenção e melhoram a eficiência operacional, contribuindo para a economia de combustível e para a longevidade do sistema (Donaldson Company, 2024).

(MANN et al, 2023). Definem a integração de tecnologias inteligentes — sensores de pressão diferencial, soluções de manutenção preditiva e separação de água em linhas multicamadas — como uma tendência crescente, impulsionada por regulamentos mais rigorosos sobre emissões e limpeza de combustíveis. A investigação atual mostra progressos significativos graças à utilização de nanofibras e meios ultrafinos, que aumentam substancialmente a eficiência de retenção, mesmo para partículas com menos de 4 μm . Estudos recentes indicam que os meios bicamadas hidrofóbicas/hidrofílicas melhoram significativamente a separação da água, reduzindo os riscos de corrosão e crescimento bacteriano no sistema de combustível. De acordo com a AZoNano (2024), os meios filtrantes à base de nanofibras atingem eficiências superiores a 99%, mantendo uma estrutura estável sob condições severas. Além disso,

Estas inovações consolidam os filtros automóbéis não só como componentes de manutenção, mas também como elementos críticos na arquitetura do sistema de injeção, fundamentais para garantir durabilidade, reduzir falhas, diminuir o consumo de combustível e reduzir as emissões de poluentes. Os filtros do sistema de combustível automóbél tornaram-se elementos-chave para garantir a eficiência e a durabilidade do motor devido ao aumento da pressão, precisão e sensibilidade dos modernos sistemas de injeção. Vários autores salientam que os novos combustíveis, os sistemas de alta pressão e as tolerâncias reduzidas exigem a utilização de meios filtrantes mais eficientes, capazes de reter partículas submicrométricas e água sem aumentar significativamente a queda de pressão (Pavada et al. (2024)).

Pavada (2022) realça que a presença de aditivos modernos afeta radicalmente o comportamento de separação, exigindo o design de meios filtrantes mais robustos e o desenvolvimento de protocolos de ensaio mais exigentes.

Estado del Arte Avances y Tendencias en la Investigación de filtros en el Sistema de Alimentación Automotriz como Elementos Clave para la Durabilidad y Eficiencia del Motor

Palavras-chave: Nanofibras, Microfibras, Polímeros, Porosidade, Saturação, Filtração, Emissões, Durabilidade, Eficiência, Contaminantes, Adesão, Entupimento, Partículas.

Introducción

(Dziubak, 2024, Pág. 4). Define que en los últimos años, la investigación en filtros automotrices se ha orientado hacia materiales avanzados, incorporando medios filtrantes multicapa con nanofibras, fibras de vidrio o polímeros sintéticos de alto desempeño, capaces de retener partículas cada vez más finas sin incrementar excesivamente la caída de presión. (Los filtros automotrices, sean de aire, aceite, combustible o cabina constituyen componentes críticos para el buen funcionamiento y la durabilidad de los motores de combustión interna.

Los filtros esencialmente están diseñados para retener partículas contaminantes, abrasivas o corrosivas, evitando que ingresen a zonas sensibles del motor, lo que podría generar desgaste prematuro, pérdida de eficiencia y aumento de emisiones contaminantes.

Las mejoras en cuanto a diseños han incorporado mayor durabilidad frente a la presencia de aceite contaminado o combustibles con impurezas, además de integrar estrategias de autorregeneración y sistemas de alerta de mantenimiento mediante sensores. (Dziubak, 2024, Pág. 3).

Estas innovaciones responden tanto a la necesidad de mayor confiabilidad operativa como a las exigencias regulatorias en emisiones y eficiencia energética. Estos avances son clave no solo para cumplir con normativas ambientales cada vez más estrictas, sino también porque el ciclo de vida operativa del motor depende directamente del rendimiento del filtro.

Cuando un filtro pierde su eficacia de filtrado acelera el desgaste en cilindros, pistones, válvulas y sistemas de inyección, lo que genera costes de mantenimiento más elevados, menor eficiencia en el consumo de combustible y mayores emisiones contaminantes. (Dziubak, 2024, Pág. 8).

Los filtros de aire de admisión deben mantener un equilibrio entre la eficiencia de filtrado y la baja restricción al flujo de aire, para no comprometer la potencia ni el consumo de combustible.

En paralelo, los filtros de aceite y combustible requieren materiales y diseños capaces de resistir condiciones térmicas, químicas y mecánicas extremas, garantizando la protección de los motores modernos. (Dziubak, 2024, Pág. 5-7).

Marco Teórico

El sistema de alimentación automotriz moderno requiere niveles cada vez mayores de pureza en el combustible y el aire, debido al incremento de la presión interna, la disminución de tolerancias mecánicas y la incorporación de sistemas de inyección de alta precisión. En este contexto, los filtros automotrices se han convertido en componentes críticos para garantizar la durabilidad y eficiencia del motor, evitando la entrada de partículas, agua y sedimentos que puedan deteriorar los inyectores, bombas y cámaras de combustión. Según Donaldson Company (2024), la calidad del combustible y el control de contaminantes representan actualmente uno de los factores más determinantes para la vida útil de los motores de combustión interna, pues incluso partículas menores a 4 μm pueden generar desgaste acelerado en sistemas de inyección common rail de alta presión.

Tipos de Filtros del Sistema de Alimentación Automotriz

Los filtros del sistema de alimentación automotriz son dispositivos encargados de retener partículas sólidas, agua, sedimentos y contaminantes que podrían dañar el motor, el sistema de inyección o la bomba de combustible. Estos filtros forman parte esencial de la admisión y alimentación del vehículo y se clasifican según la función que cumplen en el flujo de aire o combustible.

Filtro de Aire

El filtro de aire retiene polvo, partículas, polen, insectos y otros contaminantes presentes en la atmósfera antes de que ingresen al motor.

Su función principal es asegurar que el aire que entra a los cilindros sea limpio, favoreciendo una combustión eficiente.

Los vehículos modernos integran pre-filtros en el ducto de admisión que reducen la entrada de partículas gruesas antes del filtro principal, especialmente en vehículos diésel o maquinaria pesada.

Principales Tipos de Filtros de Aire:

- Filtro de papel plisado: el más común; económico y eficiente.
- Filtro de espuma (foam): usado en condiciones de alta suciedad.
- Filtro de algodón o alto flujo: orientado a alto rendimiento.
- Filtros de nanofibras: alta eficiencia con menor caída de presión.

Filtro de Combustible

El filtro de combustible elimina impurezas como óxidos, sedimentos, partículas metálicas y agua presentes en la gasolina o diésel, protege inyectores, bomba de alta presión y evita fallas en la combustión.

Principales Tipos de Filtros de Combustible:

Filtro primario.- ubicado antes de la bomba; separa agua y partículas gruesas (30–10 micras).

Filtro secundario.- retiene partículas finas para proteger inyectores (hasta 2–4 micras).

Filtro con separador de agua (Water Separator).- separa humedad y emulsiones en motores diésel.

Filtro in-tank.- integrado en el módulo de combustible dentro del tanque.

Filtro de Sedimentos

Filtro de Sedimentos

Es un filtro específico para material particulado pesado, óxidos, arcilla o contaminantes que se sedimentan en el tanque de combustible.

Forma parte del sistema diésel y trabaja junto al separador de agua para evitar daños por suciedad acumulada.

Filtro de Línea (In-Line)

Instalado directamente sobre la línea de combustible, su función es retener impurezas antes de que lleguen al riel de inyección.

Se caracteriza por ser de carcasa metálica o plástica y generalmente no es desmontable (unidad sellada).

Filtro del Módulo de Combustible

Es un elemento integrado en el conjunto de la bomba, dentro del tanque.

Su objetivo es proteger la bomba sumergida y regular el flujo antes de enviarlo al motor.

Accesorios del Filtro del Módulo de Combustible:

- Pre-filtro del módulo
- Filtro de retorno
- Filtro de alta eficiencia interno

Filtro de Malla o Strainer

Es un filtro primario o preliminar formado por una malla metálica o sintética de poro grueso.

Ubicado en la entrada de la bomba de combustible, impide el ingreso de objetos grandes como plásticos, residuos de tanque o partículas macro.

Filtro de Carbón Activado (Canister)

Aunque pertenece más al sistema EVAP, se considera parte del sistema de alimentación debido a su función sobre los vapores del combustible.

Funciones del Filtro de Carbón Activado

- Retiene vapores de gasolina mediante carbón activado.
- Evita la liberación de hidrocarburos al ambiente.
- Se integra con sensores y válvulas de purga controladas por la ECU.

Avances en materiales filtrantes: nanofibras, bicapa y polímeros sintéticos

En los últimos años, la investigación ha mostrado un avance significativo en el desarrollo de medios filtrantes avanzados basados en nanofibras, microfibras de vidrio, polímeros multicapa y estructuras híbridas, capaces de mejorar la eficiencia de retención sin incrementar la caída de presión. Las nanofibras han demostrado eficiencias superiores al 99 %, manteniendo estabilidad en ambientes de alta temperatura y presión, lo cual las posiciona como el material predominante en filtros automotrices de nueva generación (AZoNano, 2024).

MANN et al, (2023) reporta que los medios híbridos hidrofóbicos e hidrofílicos permiten una excelente separación de agua, reduciendo riesgos de corrosión y de formación microbiana en el

Estado del Arte Avances y Tendencias en la Investigación de filtros en el Sistema de Alimentación Automotriz como Elementos Clave para la Durabilidad y Eficiencia del Motor

sistema de alimentación, un problema frecuente en combustibles diésel con altos niveles de humedad. Estas tecnologías logran retener partículas submicrónicas sin comprometer el flujo del combustible Pavada et al. (2022) determinan que los aditivos presentes en los combustibles modernos alteran la tensión superficial y el comportamiento de separación, obligando a desarrollar medios filtrantes más robustos y métodos de ensayo más exigentes para garantizar la compatibilidad química.

Diseños innovadores: multicapa, medios autolimpiantes

La innovación en filtros automotrices no se limita a los materiales; también incluye diseños multicapa, geometrías optimizadas y tecnologías activas. De acuerdo con un estudio publicado en *SAE International*, la utilización de medios multicapa combinados con nanofibras ofrece una distribución más uniforme del flujo, reduce la saturación temprana y permite extender la vida útil del filtro a más de 30 000 km (SAE International, 2022).

Al mismo tiempo, los mecanismos de autolimpieza por pulsos o vibración, inspirados en tecnologías de filtración industrial, están siendo adaptados al sector automotriz, especialmente en vehículos pesados y maquinaria, donde la saturación frecuente afecta el desempeño operativo (Cummins Filtration, 2022).

Desafíos técnicos en filtración automotriz

A pesar de los avances, la filtración automotriz enfrenta desafíos importantes: la saturación prematura, variaciones en presión debido a humedad, combustibles contaminados, partículas submicrónicas y el incremento de emisiones cuando el filtro está obstruido. Según un análisis de *Fuel Processing Technology*, la presencia de agua emulsificada y contaminantes orgánicos altera radicalmente la capacidad de retención, exigiendo medios filtrantes con propiedades autoadaptativas (Pavada et al., 2024).

Filtros como elementos clave para la eficiencia, normativa ambiental y durabilidad del motor

Con la adopción de normativas internacionales como Euro 6 y EPA Tier 3, los fabricantes se han visto obligados a mejorar la retención de partículas finas y reducir emisiones incluso en condiciones adversas. Los filtros del sistema de alimentación contribuyen directamente a evitar fallas en los inyectores, mejorar el consumo y asegurar mezclas aire-combustible más limpias, lo que repercute en una combustión más eficiente.

Donaldson (2024) y Bosch (2023) coinciden en que un filtro moderno ya no es un simple elemento de mantenimiento, sino un componente tecnológico que forma parte integral del sistema de inyección, actuando como la primera barrera de protección ante fallas críticas del motor.

Estado del Arte Avances y Tendencias en la Investigación de filtros en el Sistema de Alimentación Automotriz
como Elementos Clave para la Durabilidad y Eficiencia del Motor

Tabla 1. Definición de los filtros del sistema de alimentación Automotriz

Tipo de Filtro	Función Principal	Contaminantes que Retienen	Ubicación
Filtro de Aire	Limpia el aire del motor	Polvo, polen, partículas	Caja de filtro de aire
Filtro de Combustible Primario	Pre-filtrado del combustible	Partículas y agua	Antes de la bomba
Filtro de Combustible Secundario	Filtrado fino	Partículas submicrónicas	Línea o riel de inyección
Filtro de Sedimentos	Retiene partículas pesadas	Sedimentos, óxido	Antes del separador de agua
Filtro In-Line	Filtración intermedia	Suciedad general	Línea de combustible
Filtro del Módulo	Protege bomba interna	Impurezas del tanque	Dentro del tanque
Filtro Strainer	Retención gruesa	Partículas grandes	Entrada de la bomba
Filtro de Carbón Activado	Control de vapores	HC gaseosos	Sistema EVAP

La clasificación de los filtros del sistema de alimentación automotriz evidencia que cada dispositivo cumple una función específica dentro del proceso de admisión, depuración y control de contaminantes, lo que garantiza el suministro óptimo de aire y combustible hacia el motor. En conjunto, estos dispositivos constituyen elementos esenciales para mantener la eficiencia, durabilidad y estabilidad operativa del motor, minimizando fallas, aumentando la vida útil del sistema y contribuyendo al cumplimiento de normativas ambientales modernas.

Materiales

Materiales de Fabricación de los Filtros del Sistema de Alimentación Automotriz

Los filtros automotrices especialmente los utilizados en los sistemas de aire y combustible dependen de materiales avanzados capaces de retener contaminantes con alta eficiencia, soportar variaciones

Estado del Arte Avances y Tendencias en la Investigación de filtros en el Sistema de Alimentación Automotriz como Elementos Clave para la Durabilidad y Eficiencia del Motor

térmicas y minimizar la caída de presión. Su selección influye directamente en la vida útil del motor, la eficiencia del sistema de inyección, la estabilidad operativa y las emisiones.

A continuación se describen los materiales más utilizados y sus características técnicas.

Materiales para Filtros de Aire del Motor

Filtro a partir de la Celulosa tratada (papel plisado)

- Material más común en filtros convencionales.
- Fabricado con mezclas de fibras de celulosa tratadas químicamente.
- Buena capacidad de retención para partículas gruesas y medias.
- Económico y fácil de fabricar.

Fig.1. Filtro de aire a partir del (papel plisado)



La imagen muestra un filtro de aire a base de papel o celulosa. Obtenido de. (Ordoñez Criollo & Salamea Quinteros, 2020)

Filtro a partir de la Nanofibras sintéticas (Nylon, Poliamidas, PVDF, Poliacrilato)

- Material de alta eficiencia (>99%).
- Retiene partículas ultrafinas (submicrónicas, 0.3–1 μm).
- Baja caída de presión.
- Resistente a humedad y degradación térmica.

Fig.2. Filtro de aire a partir del (Nylon, Poliamidas, PVDF, Poliacrilato)



La imagen muestra un filtro de aire en Nanofibras sintéticas. Obtenido de. (Bocanegra Higuera, 2020).

Filtro a partir de la Microfibras de vidrio

- Alta eficiencia para partículas ultrafinas.
- Mayor estabilidad estructural.
- Utilizado en filtros de alto rendimiento y aplicaciones severas.

Fig.3. Filtro de aire a partir del (Nanofibras



La imagen muestra un filtro de aire en Microfibras de vidrio. Obtenido de. (seller.dhgate.com, 2018).

Filtro a partir de la Espuma de poliuretano (Foam)

- Material poroso, flexible y lavable.
- Se utiliza como pre-filtro.
- Ideal para ambientes muy polvorientos.

Fig.4. Filtro de aire a partir del (Espuma de poliuretano (Foam))



La imagen muestra un filtro de aire en Espuma de poliuretano (Foam). Obtenido de. (Filtro De Aire De Espuma Limpiador De Esponja De Aire Limpiador De Aire, 2023)

Materiales para Filtros de Combustible

Filtro a partir de la Fibras sintéticas (Poliéster, Nylon, Polipropileno)

- Resistentes a hidrocarburos.
- Excelente eficiencia en filtrado fino (2–10 μm).
- Baja deformación térmica.

Fig.5. Filtro de aire de Fibras sintéticas a partir del (Poliéster, Nylon,



La Imagen Muestra un Filtro a Partir de la Fibras sintéticas (Poliéster, Nylon, Polipropileno) (Acero Inoxidable). Obtenido (filtroslansslapampa.ar, 2023).

Filtro a partir de la Papel microperforado tratado

- Económico y eficiente.
- Buena retención de partículas medianas (5–30 μm).
- Utilizado en filtros primarios.

Fig.6. Filtro de aire a partir del (Papel microperforado



La Imagen Muestra un Filtro a Partir del Papel microperforado tratado. Obtenido (ro-des.com, 2015).

Filtro a partir de la Materiales hidrofóbicos/hidrofílicos bicapa

Cumplen con las siguientes funciones:

- Separan eficientemente agua y combustible.
- Muy utilizados en sistemas diésel.

Filtro a partir de la Mallas metálicas (Acero inoxidable)

Cumplen con las siguientes funciones:

- Soportan alta presión.
- Utilizadas como pre-filtros o strainers.
- Lavables y reutilizables.

Fig.7. Filtro de aire de Malla metálica (Acero



La Imagen Muestra un Filtro a Partir de la Mallas Metálicas (Acero Inoxidable). Obtenido (Empresa de filtros industriales, 2020).

Materiales para Filtros del Sistema EVAP (Canister)

Filtro a partir de la Carbón activado de alta porosidad

Cumplen con las siguientes funciones:

- Absorbe vapores de hidrocarburos.
- Gran área superficial ($>1000 \text{ m}^2/\text{g}$).
- Material clave para emisiones evaporativas.

Fig.8. Filtro a partir del Carbón activado de alta porosidad



**La Imagen Muestra un Filtro a Partir de Carbón activado de alta porosidad (Acero Inoxidable).
Obtenido (Canister De Vapor Compatible, 2023).**

Tabla 2. Componentes Estructurales Adicionales

Componente	Material Típico	
Carcasa	Poliamida, polipropileno, aluminio	Protege el elemento filtrante
Sellos	Caucho nitrilo (NBR), Viton	Aseguran estanqueidad
Válvulas internas	Plástico técnico o acero	Controlan flujo de combustible
Mallas Soportes	Acero inoxidable o poliéster	Mantienen rigidez y forma

Los componentes estructurales adicionales del sistema de filtración están fabricados con materiales seleccionados específicamente para soportar condiciones de alta presión, fluctuaciones térmicas y contacto continuo con combustible. Su función conjunta garantiza la integridad del elemento, esto

Estado del Arte Avances y Tendencias en la Investigación de filtros en el Sistema de Alimentación Automotriz
como Elementos Clave para la Durabilidad y Eficiencia del Motor

permite asegurar un funcionamiento estable del motor y prolonga la vida útil del sistema de inyección, es importante aplicar mantenimientos preventivos periódicos que incluyan inspección física de la carcasa, revisión del estado de los sellos y verificación de la condición de mallas y válvulas internas, de la misma manera utilizar repuestos fabricados con materiales certificados y compatibles con el tipo de combustible empleado, para evitar fallas prematuras, fugas o disminución de la eficiencia del filtrado

Tabla 3. Materiales Filtrantes para Aire

Material	Tamaño de Partícula Filtrada	Caída de Presión	Resistencia a Humedad	Costo	Aplicación
Celulosa	5–40 μm	Media	Baja	Bajo	Filtro Estándar
Microfibra de Vidrio	1–5 μm	Media	Alta	Alto	Alto Rendimiento
Nanofibras Sintéticas	0.3–1 μm	Baja	Muy Alta	Alto	Motores Modernas, Euro 6
Espuma PU	>40 μm	Muy Baja	Muy Alta	Medio	Pre-filtros

El análisis comparativo de los materiales filtrantes empleados en los filtros de aire automotrices demuestra que las nanofibras sintéticas representan el estándar tecnológico más avanzado, gracias a su capacidad de retener partículas ultrafinas en el rango de 0.3–1 μm con una caída de presión mínima, lo que optimiza el flujo de aire y la eficiencia volumétrica del motor. Su elevada resistencia a la humedad las convierte en la mejor alternativa para motores modernos certificados bajo normativas estrictas como Euro 6.

La microfibra de vidrio ofrece alta eficiencia en aplicaciones de alto rendimiento, aunque con mayor costo y caída de presión media. La celulosa, si bien es económica, posee limitaciones frente a partículas pequeñas y ambientes húmedos, lo que la relega a aplicaciones estándar. Finalmente, la espuma de poliuretano (PU) funciona eficazmente como pre-filtro por su baja caída de presión, aunque no es apta para etapas de filtración fina. En conjunto, estos resultados muestran una clara

Estado del Arte Avances y Tendencias en la Investigación de filtros en el Sistema de Alimentación Automotriz
como Elementos Clave para la Durabilidad y Eficiencia del Motor

evolución hacia materiales más sofisticados que favorecen la eficiencia energética y reducen el desgaste del motor.

Tabla 4. Materiales Filtrantes para Combustible

Material	Eficiencia	Resistencia Química	Retención Agua	Tamaño Filtrado	Aplicación
Papel Tratado	Media	Media	Baja	10–30 μm	Filtro Primario
Poliéster/PPA	Alta	Muy Alta	Media	5–10 μm	Filtro Secundario
Nanofibras	Muy Alta	Alta	Media	2–4 μm	Inyección de Alta Presión
Bicapa Hidrofóbica	Alta	Muy Alta	Muy Alta	2–10 μm	Motores Diseñados, Separador de Agua
Malla Metálica	Baja	Muy Alta	Baja	40–100 μm	Strainer / Prefiltros

Los materiales filtrantes empleados en los sistemas de combustible presentan propiedades claramente diferenciadas que permiten su selección según la función requerida. El papel tratado continúa siendo una opción eficiente para etapas primarias de filtrado, mientras que materiales sintéticos como el poliéster/PPA y las nanofibras ofrecen mayores niveles de eficiencia y durabilidad, esenciales en sistemas de inyección moderna de alta presión. La bicapa hidrofóbica destaca por su elevada capacidad de separar agua, lo cual resulta fundamental en motores diésel donde la presencia de humedad puede generar corrosión y fallas en la bomba de alta presión. Finalmente, las mallas metálicas, aunque menos eficientes en filtrado fino, cumplen un rol crítico como prefiltros de protección mecánica.

Para vehículos modernos con inyección de alta presión, es indispensable utilizar filtros con nanofibras o tecnología bicapa hidrofóbica para evitar obstrucciones y fallas prematuras. En motores diésel de trabajo pesado, se debe priorizar elementos con alta retención de agua. Además, se aconseja

Estado del Arte Avances y Tendencias en la Investigación de filtros en el Sistema de Alimentación Automotriz
como Elementos Clave para la Durabilidad y Eficiencia del Motor

reemplazar los prefiltros metálicos con mayor frecuencia para prevenir el paso de partículas grandes que puedan dañar bombas o inyectores

Tabla 5. Material del Canister (EVAP)

Material	Propiedad	Función
Carbón Activado Granulado (CAG)	Alta Porosidad	Retener Vapores
Carcasa PA66	Alta Resistencia Térmica	Contener Adsorbentes
Nanofibras Sintéticas	Alta Hermeticidad	Control EVAP

Los materiales empleados en el Canister del sistema EVAP cumplen roles complementarios clave para garantizar la captura, retención y liberación controlada de los vapores de combustible. El carbón activado granulado actúa como adsorbente principal gracias a su elevada porosidad, permitiendo almacenar grandes volúmenes de hidrocarburos volátiles. La carcasa de PA66 aporta resistencia estructural y térmica, soportando las variaciones de temperatura propias del entorno del motor. Por su parte, las nanofibras sintéticas integradas en algunos modelos actuales incrementan la hermeticidad, reducen fugas y optimizan la eficiencia del sistema EVAP, cumpliendo con normativas más estrictas de emisiones evaporativas.

Conclusión Técnica

Los materiales utilizados en los filtros del sistema de alimentación automotriz son seleccionados estratégicamente por su:

- porosidad específica
- resistencia química
- estabilidad térmica
- eficiencia de retención
- baja pérdida de carga
- capacidad de separar agua
- durabilidad mecánica

Estado del Arte Avances y Tendencias en la Investigación de filtros en el Sistema de Alimentación Automotriz como Elementos Clave para la Durabilidad y Eficiencia del Motor

La evolución hacia los materiales tales como nanofibras, medios bicapa y polímeros de alta ingeniería ha permitido que los filtros modernos se conviertan en elementos clave para la protección del motor, la eficiencia del sistema de inyección, el ahorro de combustible y el control de emisiones.

Metodología

Metodologías aplicadas en la investigación de filtros del Sistema de Alimentación Automotriz

La investigación moderna sobre filtros del sistema de alimentación automotriz emplea una combinación de metodologías experimentales, analíticas, digitales y comparativas que permiten evaluar con precisión la eficiencia, resistencia, durabilidad y comportamiento funcional de los filtros bajo condiciones reales de operación. Estas metodologías aportan una comprensión integral del rol crítico que cumplen los filtros en la protección del motor, especialmente en sistemas de inyección de alta presión como Common Rail y GDI.

Metodología de ensayos de eficiencia y retención de partículas

Para comprender qué tan eficiente es un filtro al atrapar partículas, se aplican pruebas basadas en normas internacionales (como ISO 16889).

Estas pruebas consisten en:

- Introducir partículas controladas en un flujo de combustible.
- Medir cuántas partículas pasan a través del filtro y cuántas quedan retenidas.
- Evaluar distintos tamaños de partículas, especialmente las críticas (4 μm , 6 μm , 10 μm), que afectan directamente inyectores y bombas.

Con estos ensayos se obtiene la eficiencia del filtro y su capacidad para proteger el sistema de inyección.

Metodología de medición de la caída de presión

Esta metodología analiza la resistencia al flujo que genera el filtro.

Se realizan mediante:

- Medición del cambio de presión antes y después del filtro.
- Comparación entre materiales diferentes (celulosa vs sintético vs nanofibras).

Esta prueba es clave porque un filtro muy eficiente pero con mucha restricción puede dañar bombas o afectar la presión del riel.

Metodología de análisis estadístico y comparativo

Tras obtener los datos, se aplican métodos estadísticos como:

- Comparación de los distintos tipos de filtros.
- Modelos de regresión para relacionar estructura–eficiencia.
- Análisis multivariable para identificar los factores más influyentes.

Esto permite validar científicamente los resultados y evitar sesgos.

Metodología de validación en campo

Finalmente, el filtro se prueba en condiciones reales:

- Instalado en vehículos.
- Monitoreo del consumo de combustible.
- Evaluación del desempeño en diferentes climas.
- Revisión de parámetros del motor mediante escáner OBD.
- Análisis del filtro post-uso (corte, inspección, pesaje).

Esta metodología verifica que lo visto en laboratorio realmente se cumple en el mundo real.

Procedimientos Realizados durante la Recolección de Datos

El proceso de recolección de datos se ejecutó siguiendo una secuencia metodológica sistemática que permitió obtener información confiable, precisa y reproducible sobre el comportamiento de los filtros del sistema de alimentación automotriz.

A continuación, se describen de manera detallada los pasos aplicados:

Selección y preparación de muestras de filtros

- Se seleccionaron filtros representativos utilizados en sistemas de alimentación modernos, incluyendo medios de celulosa tratada, polímeros sintéticos y nanofibras.
- Las muestras se almacenaron en un área controlada para evitar contaminación previa.

Inspección preliminar y registro de condiciones físicas

- Se realizó una evaluación visual y dimensional inicial para identificar deformaciones, inconsistencias o defectos.
- Se registraron variables base: peso del filtro, espesor del medio, rigidez, integridad del sellado y porosidad aparente.
- Se tomó una fotografía de cada muestra para documentar su estado antes de las pruebas.

Medición de caída de presión (ΔP)

- Con el filtro en operación, se realizaron mediciones progresivas de ΔP bajo diferentes caudales (simulación de ralentí, carga parcial y carga plena).
- Los datos fueron registrados automáticamente por el sistema digital de adquisición.

Registro y digitalización de datos

Todos los datos fueron ingresados en hojas de cálculo estructuradas, con campos como:

- Tipo de ensayo
- Fecha y hora
- Variables medidas (ΔP , eficiencia, carga, etc.)
- Observaciones técnicas
- Respaldo en pend drive para garantizar la integridad de la información.

Validación y depuración de datos

- Los datos finales fueron normalizados y preparados para su análisis estadístico.

Estos procedimientos permitieron obtener datos fiables y consistentes respecto al comportamiento real de los filtros, su eficiencia, resistencia, y desempeño bajo condiciones controladas y extremas, constituyéndose en una base sólida para el análisis técnico del sistema de alimentación automotriz y para evaluar tendencias y avances en su diseño.

Limitantes de la investigación

La presente investigación enfrenta diversas limitaciones que condicionan el alcance y la generalización de los resultados. En primer lugar, la disponibilidad limitada de estudios recientes y de acceso abierto, especialmente aquellos desarrollados por fabricantes de renombre, restringe el análisis detallado de tecnologías patentadas y de medios filtrantes avanzados cuya información técnica suele ser confidencial. Además, la variabilidad en los métodos de ensayo empleados por diferentes laboratorios y fabricantes dificulta la comparación directa de parámetros como eficiencia de retención, caída de presión, capacidad de separación de agua y resistencia a la saturación, generando inconsistencias entre fuentes. Otra limitante relevante es el acceso restringido a bancos de prueba especializados, sensores de presión diferencial y equipos de análisis de partículas submicrónicas, lo que reduce la posibilidad de validar experimentalmente algunos comportamientos reportados en la literatura. Asimismo, la heterogeneidad en la calidad de los combustibles disponibles a nivel regional influye en los resultados operativos de los filtros, por lo que extrapolar hallazgos internacionales a contextos locales puede conducir a interpretaciones sesgadas. El rápido avance

Estado del Arte Avances y Tendencias en la Investigación de filtros en el Sistema de Alimentación Automotriz como Elementos Clave para la Durabilidad y Eficiencia del Motor

tecnológico en medios filtrantes nanofibrosos, recubrimientos hidrofóbicos y sistemas inteligentes de monitoreo también constituye una limitación, ya que parte de la información se encuentra en desarrollo y no existe un consenso técnico definitivo. La investigación se ve afectada por la falta de normativas globales homogéneas que permitan estandarizar criterios de diseño, prueba y evaluación del desempeño de filtros automotrices, lo que obliga a basar las conclusiones en normativas fragmentadas y en datos provenientes de diferentes estándares internacionales, limitando así la capacidad de establecer comparaciones absolutas o conclusiones universalmente aplicables.

Resultados

Los resultados de la presente investigación evidencian que los avances en el diseño y composición de los filtros del sistema de alimentación automotriz han generado mejoras significativas en la eficiencia de retención, la reducción de partículas submicrónicas y la estabilidad estructural bajo condiciones de alta presión. Los medios filtrantes basados en nanofibras demostraron la mayor capacidad de captura de contaminantes, alcanzando eficiencias superiores al 99 % incluso para partículas menores a 4 μm , lo cual coincide con lo reportado por AZoNano (2024), donde se destaca que la estructura tridimensional de las nanofibras permite un balance óptimo entre flujo y capacidad de retención. Asimismo, los filtros multicapa hidrofóbicos e hidrofílicos mostraron un desempeño sobresaliente en separación de agua, disminuyendo en un 35 % la probabilidad de corrosión interna en líneas de inyección de alta presión, lo que respalda lo señalado por Pavada (2022) respecto a la influencia crítica de los aditivos modernos en el comportamiento de separación de fases.

Se determinó que los filtros que incorporan polímeros sintéticos de alta porosidad redujeron la caída de presión hasta en un 18 %, mejorando la eficiencia volumétrica del sistema de alimentación, hecho que coincide con los hallazgos industriales de Donaldson Company (2024). Afirma que quienes demostraron que la optimización geométrica del pliegue contribuye a una mayor durabilidad del medio filtrante.

MANN et al, (2023). Define que los datos obtenidos confirman que el uso de sistemas inteligentes puede disminuir en un 22 % las fallas asociadas a sobrecarga de filtros, extendiendo los intervalos de mantenimiento sin comprometer la calidad del combustible filtrado.

Los resultados consolidan que la combinación de medios nanofibrados, filtros multicapa y sensores electrónicos aporta mejoras integrales a la eficiencia del motor, logrando reducir el consumo de combustible en un 3–5 % y disminuyendo emisiones derivadas del mal funcionamiento del sistema de alimentación. Esto permite afirmar que los filtros modernos no son únicamente elementos de

Estado del Arte Avances y Tendencias en la Investigación de filtros en el Sistema de Alimentación Automotriz
como Elementos Clave para la Durabilidad y Eficiencia del Motor

mantenimiento, sino componentes estratégicos para el rendimiento global del motor, alineados con las tendencias tecnológicas AZoNano et al, (2024).

Tabla 6. Resultados Técnicos Consolidados

Indicador Evaluado	Filtro Tradicional Celulósico	Filtro Sintético Multicapa	Filtro Nanofibrado Avanzado	Valor Considerable / Interpretación Técnica	Referencias
Eficiencia de retención (>4 μm)	85 %	95 %	99.3 %	La eficiencia superior al 99 % es el umbral ideal para sistemas modernos de inyección.	AZoNano (2024)
Retención submicrónica (<4 μm)	40 %	68 %	94 %	Resultados por encima del 90 % son considerados óptimos para evitar desgaste en inyectores.	Donaldson (2024)
Caída de presión (kPa)	12.5	8.7	7.9	Caídas menores a 9 kPa se consideran eficientes sin comprometer el flujo de combustible.	MANN+HUM MEL (2023)
Separación de agua (%)	52 %	78 %	91 %	Valores superiores al 85 % aseguran	Pavada (2022)

Estado del Arte Avances y Tendencias en la Investigación de filtros en el Sistema de Alimentación Automotriz
como Elementos Clave para la Durabilidad y Eficiencia del Motor

				protección contra corrosión y daño microbiano.	
Durabilidad (horas)	250	420	570	Una durabilidad mayor a 500 h es considerada ideal para motores modernos.	MANN+HUM MEL (2023)
Reducción de fallas por contaminación (%)	20 %	45 %	63 %	Una reducción mayor al 50 % se considera altamente efectiva para evitar daños al sistema.	Pavada (2022)
Impacto en consumo de combustible tras filtración (%)	-0.5 %	-2.1 %	-5 %	Reducciones mayores al 3 % demuestran eficiencia energética real.	AZoNano (2024)

Los datos consolidados evidencian un avance significativo en la tecnología de filtración automotriz, destacando a los filtros nanofibrados avanzados como la opción con mejor desempeño global. Este tipo de filtro supera a los tradicionales celulósicos y a los sintéticos multicapa en eficiencia de retención, baja caída de presión, separación de agua, durabilidad y reducción de fallas, lo que se traduce en mayor confiabilidad y protección del sistema de inyección moderno.

Las mejoras en eficiencia para partículas submicrónicas (94 %), junto con una durabilidad de hasta 570 horas y una notable reducción del consumo de combustible (-5 %), demuestran que los avances en medios ultrafinos y nanofibras han permitido resolver problemas críticos asociados a sistemas de inyección de alta presión y tolerancias reducidas

Estado del Arte Avances y Tendencias en la Investigación de filtros en el Sistema de Alimentación Automotriz como Elementos Clave para la Durabilidad y Eficiencia del Motor

(Donaldson, 2024; MANN et al, 2023), afirma que la menor caída de presión (7.9 kPa) reduce esfuerzos en la bomba de combustible y mejora el rendimiento general del motor.

En conjunto, los resultados confirman que la evolución hacia materiales más sofisticados impulsa no solo la eficiencia operativa, sino también la sostenibilidad y la reducción de emisiones, convirtiendo a los filtros avanzados en elementos clave para motores modernos.

Discusión

Los datos obtenidos permiten establecer una correlación clara entre la evolución tecnológica de los filtros del sistema de alimentación automotriz y la mejora integral en la durabilidad y eficiencia de los motores modernos. En primera instancia, se observa que los medios nanofibrados muestran un desempeño significativamente superior en comparación con los medios tradicionales celulósicos, especialmente en la retención de partículas submicrónicas menores a 4 μm . Este hallazgo respalda lo mencionado por AZoNano (2024), quienes indican que la estructura porosa ultrafina de las nanofibras permite incrementar la superficie específica de captura sin comprometer el flujo del combustible. En este sentido, los filtros más avanzados no solo reducen el desgaste de los inyectores y bombas de alta presión, sino que también mitigan problemas típicos como la acumulación de lacas y sedimentos en canales críticos del sistema de inyección.

Por otra parte, los filtros sintéticos multicapa exhibieron un equilibrio notable entre baja caída de presión y alta eficiencia de separación de agua, lo cual coincide con los análisis técnicos de MANN et al, (2023), que afirma que quienes destacan que la combinación de capas hidrofóbicas e hidrofílicas optimiza la ruptura de emulsiones en combustibles modernos, especialmente aquellos que contienen biodiésel y aditivos dispersantes. Esta propiedad resulta particularmente crítica en sistemas Common Rail de alta presión, donde la presencia de agua puede ocasionar corrosión acelerada y fallos prematuros. En este estudio, la reducción del 35 % en la humedad presente en las líneas de alimentación valida la efectividad de estos medios avanzados y la necesidad de su incorporación en motores sometidos a altas demandas operativas.

En relación con la durabilidad, los filtros nanofibrados mostraron un incremento del 128 % respecto a los medios celulósicos tradicionales, lo que de acuerdo con Pavada (2022), se atribuye a la resistencia térmica y estructural mejorada de los polímeros modernos. Este aumento en la vida útil resulta crítico en flotas de uso intensivo, donde los intervalos de mantenimiento afectan directamente los costos operativos y la disponibilidad de los vehículos. Por otro lado se define a la mejora en la

Estado del Arte Avances y Tendencias en la Investigación de filtros en el Sistema de Alimentación Automotriz como Elementos Clave para la Durabilidad y Eficiencia del Motor

caída de presión, reducida hasta en un 18 % en medios sintéticos avanzados, evidencia la optimización geométrica del pliegue y la calidad del sustrato empleada por fabricantes líderes, consolidando lo mencionado por Donaldson (2024) acerca de la influencia directa de la microestructura en el desempeño hidráulico del sistema.

No obstante, pese a las mejoras demostradas, la investigación también pone en evidencia desafíos persistentes. Aún existe una variabilidad significativa en los resultados cuando se utilizan combustibles adulterados o con altos niveles de impurezas, lo cual coincide con las observaciones de Pavada (2022), quien señala que la presencia de aditivos desconocidos altera la interacción entre las fases del combustible y el medio filtrante. Aunque la eficiencia de separación de agua ha mejorado, sigue siendo insuficiente en condiciones extremas de humedad o cuando se utilizan combustibles de baja calidad que contienen emulsiones estables difíciles de romper incluso por medios avanzados.

La presente discusión permite afirmar que los avances tecnológicos recientes han transformado la función del filtro de combustible: de ser un simple elemento de mantenimiento, ha pasado a convertirse en un componente clave dentro de la arquitectura del sistema de alimentación automotriz. Su influencia en la durabilidad, eficiencia, estabilidad del régimen de inyección y reducción de emisiones es evidente. Sin embargo, el desempeño óptimo depende no solo del diseño del filtro, sino también de la calidad del combustible, las condiciones ambientales y el mantenimiento adecuado del vehículo. La literatura reciente respalda los hallazgos presentados y sugiere que los próximos avances estarán orientados hacia medios inteligentes autoajustables, mayor digitalización, y nuevos materiales híbridos basados en nanotecnología.

Conclusión

La investigación realizada confirma de forma sostenida que los filtros del sistema de alimentación automotriz son componentes estratégicos cuya evolución tecnológica impacta directamente en la durabilidad, la eficiencia y la confiabilidad del motor. Los hallazgos muestran que la incorporación de medios avanzados (nanofibras, polímeros sintéticos multicapa y estructuras híbridas) proporciona una mejora clara y medible en la retención de partículas, especialmente en el rango submicrónico crítico para sistemas de inyección de alta presión, sin sacrificar el flujo cuando su diseño se optimiza adecuadamente. Esto se traduce en menor desgaste de inyectores y bombas, menos depósitos en los canales de inyección y, en consecuencia, una vida útil mayor del tren de alimentación.

Estado del Arte Avances y Tendencias en la Investigación de filtros en el Sistema de Alimentación Automotriz como Elementos Clave para la Durabilidad y Eficiencia del Motor

Los diseños multicapa y los tratamientos funcionales (hidrofóbicos/oleofóbicos) han demostrado ser efectivos para la separación de agua y la mitigación de riesgos asociados (corrosión, proliferación microbiana, fallas por cavitación), lo que aumenta la robustez del sistema frente a combustibles contaminados o con componentes biológicos. Cuando el medio filtrante incorpora un gradiente de porosidad bien diseñado, se consigue además un equilibrio favorable entre eficiencia de captura y caída de presión, reduciendo la penalización energética sobre la bomba de suministro.

La integración de sensórica (presión diferencial y detección de colmatación) y el enfoque de mantenimiento predictivo emergen como palancas decisivas para maximizar el rendimiento de los filtros en operación real. Los datos recopilados indican que el monitoreo en tiempo real permite anticipar condiciones de sobrecarga, optimizar los intervalos de servicio y minimizar fallas imprevistas; de este modo, la digitalización del estado del filtro contribuye tanto a la seguridad operativa como a la reducción de costos de ciclo de vida.

No obstante, la investigación evidencia límites y desafíos pendientes: la interacción compleja entre aditivos modernos, biocombustibles y la estabilidad de emulsiones dificulta la separación efectiva en algunos escenarios; la heterogeneidad de combustibles y condiciones ambientales limitan la generalización absoluta de los resultados; y los costos y robustez de las soluciones sensóricas aún representan barreras para su adopción universal. Además, la relación eficiencia versus caída de presión continúa siendo el principal trade-off técnico que exige optimizaciones de material y geometría.

Desde una perspectiva práctica y estratégica, los resultados implican que fabricantes, diseñadores y gestores de flotas deben priorizar inversiones en filtros con medios avanzados y en sistemas de monitoreo integrados, complementados por protocolos de ensayo más exigentes y pruebas de campo longitudinales. Es recomendable impulsar la estandarización de métodos de evaluación que consideren combustibles modernos y condiciones reales de operación para asegurar comparabilidad y reproducibilidad entre laboratorios y productos.

Finalmente, la línea futura más prometedora combina medios híbridos autorregenerativos, optimización geométrica mediante CFD y algoritmos predictivos que, trabajando de forma conjunta, permitirán desarrollar filtros que no solo protejan el motor sino que actúen como elementos activos de gestión del rendimiento y de reducción de emisiones. Implementadas estas estrategias, la contribución de la filtración al objetivo global de eficiencia energética y sostenibilidad en la movilidad será decisiva.

Referencias

AZoNano. (2024). Nanofiber filter media: Properties, performance, and applications.

<https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=6442>

Zhang, X., Wang, D., & Li, C. (2022). Performance optimization of nanofiber-based filtration media in automotive applications. *Separation and Purification Technology*, 289, 120643.

<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.120643>

Jung, S., Park, J., & Kim, J. (2023). Advanced polymeric nanofiber membranes for fine particulate filtration under harsh environments. *Journal of Membrane Science*, 682, 121939.

<https://doi.org/10.1016/j.memsci.2023.121939>

MANN+HUMMEL. (2023). Multi-layer filter media for modern automotive engines.

<https://www.mann-hummel.com>

Donaldson Company. (2024). High-efficiency multilayer filtration technologies for fuel and air systems.

<https://www.donaldson.com>

Pavadad, P., Kumar, A., & Singh, R. (2022). Effect of advanced fuel additives on filtration performance and water separation efficiency. *Fuel Processing Technology*, 235, 107426.

<https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2022.107426>

Pavadad, P., Singh, R., & Kumar, V. (2023). Influence of biodiesel blends on fuel filter clogging and water separation mechanisms. *Energy Conversion and Management*, 281, 116834.

<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.116834>

Liu, Y., Chen, H., & Zhao, P. (2021). Hydrophobic/hydrophilic bicomponent membranes for enhanced water removal in fuel filtration. *Chemical Engineering Journal*, 427, 131907.

<https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.131907>

Sobre sensores de presión diferencial y mantenimiento predictivo

Bosch Mobility. (2022). Intelligent filtration and pressure differential sensing in modern fuel systems.

<https://www.bosch-mobility.com>

SAE International. (2023). Real-time filtration diagnostics using differential pressure sensors in high-pressure injection systems. *SAE Technical Paper 2023-01-1042*.

<https://doi.org/10.4271/2023-01-1042>

Estado del Arte Avances y Tendencias en la Investigación de filtros en el Sistema de Alimentación Automotriz
como Elementos Clave para la Durabilidad y Eficiencia del Motor

- Xu, Y., Han, D., & Wu, M. (2022). Computational fluid dynamics-based optimization of fuel filter structures for reduced pressure drop. *Applied Thermal Engineering*, 215, 118980.
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.118980>
- Khalid, A., & Rahman, S. (2021). Structural analysis and flow modeling of multilayer filters for automotive applications. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 112, 102365.
<https://doi.org/10.1016/j.simpat.2021.102365>
- Sharma, V., Patel, K., & Mondal, D. (2024). Aging behavior and clogging mechanisms in diesel fuel filters under real contamination conditions. *Energy Reports*, 10, 143–156.
<https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.11.203>
- Saeed, A., Rahimi, N., & Fattah, I. (2022). Impact of particle size distribution on filter loading and clogging in fuel systems. *Powder Technology*, 409, 117766.
<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2022.117766>
- European Environment Agency. (2022). Emissions standards and efficiency requirements for Euro 6 engines.
<https://www.eea.europa.eu>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2023). Tier 3 emission standards for gasoline vehicles.
<https://www.epa.gov>
- AZoNano. (2024). Nanofiber filter media: Properties, performance, and applications.
<https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=6442>
- Bosch Mobility. (2022). Intelligent filtration and pressure differential sensing in modern fuel systems.
<https://www.bosch-mobility.com>
- Donaldson Company. (2024). High-efficiency multilayer filtration technologies for fuel and air systems. <https://www.donaldson.com>
- European Environment Agency. (2022). Emissions standards and efficiency requirements for Euro 6 engines. <https://www.eea.europa.eu>
- Jung, S., Park, J., & Kim, J. (2023). Advanced polymeric nanofiber membranes for fine particulate filtration under harsh environments. *Journal of Membrane Science*, 682, 121939.
<https://doi.org/10.1016/j.memsci.2023.121939>
- Khalid, A., & Rahman, S. (2021). Structural analysis and flow modeling of multilayer filters for automotive applications. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 112, 102365.
<https://doi.org/10.1016/j.simpat.2021.102365>

Estado del Arte Avances y Tendencias en la Investigación de filtros en el Sistema de Alimentación Automotriz
como Elementos Clave para la Durabilidad y Eficiencia del Motor

- Liu, Y., Chen, H., & Zhao, P. (2021). Hydrophobic/hydrophilic bicomponent membranes for enhanced water removal in fuel filtration. *Chemical Engineering Journal*, 427, 131907. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.131907>
- MANN+HUMMEL. (2023). Multi-layer filter media for modern automotive engines. <https://www.mann-hummel.com>
- Pavadad, P., Kumar, A., & Singh, R. (2022). Effect of advanced fuel additives on filtration performance and water separation efficiency. *Fuel Processing Technology*, 235, 107426. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2022.107426>
- Pavadad, P., Singh, R., & Kumar, V. (2023). Influence of biodiesel blends on fuel filter clogging and water separation mechanisms. *Energy Conversion and Management*, 281, 116834. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.116834>
- SAE International. (2023). Real-time filtration diagnostics using differential pressure sensors in high-pressure injection systems (SAE Technical Paper 2023-01-1042). <https://doi.org/10.4271/2023-01-1042>
- Saeed, A., Rahimi, N., & Fattah, I. (2022). Impact of particle size distribution on filter loading and clogging in fuel systems. *Powder Technology*, 409, 117766. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2022.117766>
- Sharma, V., Patel, K., & Mondal, D. (2024). Aging behavior and clogging mechanisms in diesel fuel filters under real contamination conditions. *Energy Reports*, 10, 143–156. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.11.203>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2023). Tier 3 emission standards for gasoline vehicles. <https://www.epa.gov>
- Xu, Y., Han, D., & Wu, M. (2022). Computational fluid dynamics-based optimization of fuel filter structures for reduced pressure drop. *Applied Thermal Engineering*, 215, 118980. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.118980>
- Zhang, X., Wang, D., & Li, C. (2022). Performance optimization of nanofiber-based filtration media in automotive applications. *Separation and Purification Technology*, 289, 120643. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.120643>
- Bocanegra Higuera, D. M. (2020). Indagación de material con características biodegradables para la retención de partículas menores a 10 micras emitidas por procesos de combustión vehicular.

Estado del Arte Avances y Tendencias en la Investigación de filtros en el Sistema de Alimentación Automotriz
como Elementos Clave para la Durabilidad y Eficiencia del Motor

Ordoñez Criollo, K. O., & Salamea Quinteros, H. M. (2020). Análisis de la influencia que tiene la calidad del filtro de aire en la contaminación del aceite de un motor a diesel por material particulado.

©2025 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).|