



Caracterización tecnológica de los sistemas de emisiones contaminantes de los motores de encendido en vehículos automotrices

Technological characterization of the pollutant emission systems of the ignition engines in automotive vehicles

Caracterização tecnológica dos sistemas de emissão de poluentes dos motores de ignição em veículos automotores

José Israel Guerra-Naranjo^I
iguerra@tecnoecuatoriano.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-9563-3887>

Jairo Edison Guasumba-Maila^{II}
jguasumba@tecnoecuatoriano.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-0533-0397>

Cristopher Alejandro Taipe-Gutierrez^{III}
jfonseca@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-7204-9781>

Cristofer Alexander Vilca-Agila^{III}
vilcacrister7@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-5121-360X>

Correspondencia: iguerra@tecnoecuatoriano.edu.ec

Ciencias de la salud
Artículos de investigación

***Recibido:** 16 de julio de 2021 ***Aceptado:** 30 de agosto de 2021 * **Publicado:** 08 de septiembre de 2021

- I. Magíster en Administración de Empresas, Docente investigador, Instituto Superior Tecnológico, Ecuador.
- II. Magíster en Diseño Mecánico, Docente Investigador, Coordinador de Carrera de Mecánica y Electromecánica Automotriz, Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano, Ecuador.
- III. Participante Investigador, Estudiante Tecnología Superior en Electromecánica Automotriz, Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano, Ecuador.
- IV. Participante Investigador, Estudiante Tecnología Superior en Electromecánica Automotriz, Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano, Ecuador.

Resumen

El efecto invernadero es una de las actividades más desafiantes en la contaminación atmosférica y una de las mayores amenazas ambientales. Los gases de efecto invernadero más importantes son el dióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄), fluoro carbonos (CF) y clorofluorocarbonos (CFC). Se llevaron a cabo el análisis de los sistemas actuales de los reactores catalíticos, los reactores químicos y los filtros de partículas como estrategias de la reducción de las emisiones de los motores, como las partículas y muchos gases más, por la creciente preocupación por el medio ambiente y la regulación gubernamental más estricta sobre las emisiones de escape. Se concluye que en un futuro se deben considerar diferentes parámetros objetivos, como combinación de los componentes analizados, un caso de esto será el catalizador de oxidación diésel (DOC) promueve la oxidación de componentes de escape como CO, hidrocarburos (HC) y NO_x, y el Catalizador SCR que cumple la reducción de NO_x completando un sistema diésel de mitigación de contaminantes.

Palabras clave: vehículo; amortiguador; parámetros de suspensión; EHSA; metodología.

Abstract

The greenhouse effect is one of the most challenging activities in air pollution and one of the greatest environmental threats. The most important greenhouse gases are carbon dioxide (CO₂), nitrous oxide (N₂O), methane (CH₄), fluorocarbons (CF) and chlorofluorocarbons (CFCs). Analysis of the current systems of catalytic reactors, chemical reactors and particulate filters were carried out as strategies to reduce engine emissions, such as particulate matter and many other gases, due to the growing concern for the environment. environment and stricter government regulation on exhaust emissions. It is concluded that in the future different objective parameters should be considered, as a combination of the analyzed components, one case of this will be the diesel oxidation catalyst (DOC) promotes the oxidation of exhaust components such as CO, hydrocarbons (HC) and NO_x, and the SCR Catalyst that achieves NO_x reduction by completing a diesel pollutant mitigation system.

Keywords: vehicle; shock absorber; suspension parameters; EHSA; methodology.

Resumo

O efeito estufa é uma das atividades mais desafiadoras na poluição do ar e uma das maiores ameaças ambientais. Os gases de efeito estufa mais importantes são dióxido de carbono (CO₂), óxido nítrico (NO₂), metano (CH₄), fluorcarbonos (CF) e clorofluorocarbonos (CFCs). As análises dos sistemas atuais de reatores catalíticos, reatores químicos e filtros de partículas foram realizadas como estratégias para reduzir as emissões dos motores, como partículas e muitos outros gases, devido à crescente preocupação com o meio ambiente e regulamentação governamental mais rígida sobre as emissões de escapamento. Conclui-se que no futuro diferentes parâmetros objetivos devem ser considerados, como uma combinação dos componentes analisados, um caso deste será o catalisador de oxidação de diesel (DOC) que promove a oxidação de componentes do escapamento como CO, hidrocarbonetos (HC) e NO_x, e o SCR Catalyst que alcança a redução de NO_x completando um sistema de mitigação de poluente diesel.

Palavras-chave: veículo; amortecedor; parâmetros de suspensão; EHS; metodologia.

Introducción

Un aumento en el tamaño de la población de automóviles ha provocado que las emisiones vehiculares se conviertan en una fuente importante de contaminación atmosférica urbana. Elevar los estándares es un método efectivo para controlar las emisiones vehiculares y mejorar la calidad del aire. Los vehículos ligeros son los principales contribuyentes a las emisiones de HC y CO, ya que constituyen una gran proporción de todos los vehículos. (Lyu et al., 2020). El sector del transporte es una de las principales fuentes de contaminación atmosférica. A lo largo de los años se han implementado diferentes sistemas de postratamiento de gases de escape para controlar las emisiones de contaminantes criterio (Suarez-Bertoa et al., 2020). Con las legislaciones de emisiones cada vez más estrictas, aumenta la presión sobre los sistemas de postratamiento y, más específicamente, los catalizadores de tres vías. Con los desarrollos recientes en las legislaciones sobre emisiones, existe la necesidad de sistemas de postratamiento más complejos y comprensión del proceso de envejecimiento (Irwin, Douglas, et al., 2017).

Una gran parte de la contaminación atmosférica causada se debe a las emisiones vehiculares que están aumentando a un ritmo alarmante. Los diferentes tipos de vehículos, como automóviles,

autobuses, camiones, etc., contribuyen y desempeñan un papel dominante en el aumento de la contaminación del aire. Estos vehículos encuentran su fuente de funcionamiento principalmente a partir de extractos de combustibles fósiles como gasolina, diésel. Los combustibles se someten a combustión para generar energía con el fin de soportar el vehículo para el servicio. La combustión incompleta de los combustibles en el motor allana el camino para la producción de productos como el monóxido de carbono, los hidrocarburos y las partículas (Mukherjee et al., 2016). Los motores de gasolina se han utilizado ampliamente como maquinaria de ingeniería, automóviles y equipos de transporte de energía debido a su excelente capacidad de conducción y economía. Al mismo tiempo, los motores de gasolina son los principales contribuyentes a varios tipos de contaminantes del aire, como el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NOx) y otros compuestos nocivos. Con la creciente preocupación por el medio ambiente y la regulación gubernamental más estricta sobre las emisiones de escape, la reducción de las emisiones de los motores, como las partículas y los NOx, es un objetivo de investigación importante en el desarrollo de motores (Tyagi & Ranjan, 2015). El número de todos los componentes tóxicos en el gas de escape excede los estándares máximos permitidos por decenas y cientos de veces. Una de las formas más fiables de reducir la toxicidad de los gases de escape de los vehículos, los gases y eliminar sustancias nocivas es la oxidación completa de los componentes del escape utilizando composiciones catalíticas sobre soportes de bloques de metal o cerámica (Sassykova et al., 2019)

Los contaminantes significativos que afectan negativamente al medio ambiente, que son el Monóxido de Carbono (CO), Hidrocarburos (HC), Óxidos de nitrógeno (NOx), óxidos de azufre (SOx), dióxido de carbono (CO₂) y partículas. Además, se discuten las emisiones del cárter, el sistema de combustible y el sistema de escape, que se consideran las principales fuentes de contaminación provenientes de un motor de encendido por chispa convencional (Abouemara & Fikry, 2020). Por otro lado, las emisiones de vehículos son una fuente importante de amoníaco (NH₃) en las áreas urbanas. Para abordar mejor el papel de las emisiones de vehículos en las fuentes urbanas de NH₃, el factor de emisión de NH₃ (NH₃-EF) de los vehículos que circulan por las carreteras en condiciones reales (vehículos de carretera) debe actualizarse en consecuencia con los estándares de emisiones de vehículos (Li et al., 2021). Las emisiones de NOx se producen debido al proceso de combustión del motor diésel. Hay tres fuentes principales de formación de NOx denominadas NOx térmico, NOx combustible y NOx inmediato. La

participación del NOx en el combustible y el NOx inmediato en las emisiones totales de NOx es insignificante. Básicamente, el NOx térmico es el principal contribuyente a la formación de NOx durante todo el proceso de combustión. El NOx es muy nocivo, peligroso y produce irritación. Los vehículos de inyección directa de gasolina (GDI) se han identificado recientemente como una fuente importante de aerosoles carbonosos, tanto de origen primario como secundario. Aquí investigamos las emisiones primarias y la formación de aerosoles orgánicos secundarios (SOA) a partir del escape de vehículos GDI para varios vehículos y ciclos de pruebas de manejo, y nuevos sistemas de postratamiento GDI (Pieber et al., 2017).

Los sistemas de concepto de bajas emisiones incluyen: solo reactor térmico, un reactor térmico combinado y un sistema catalizador monolítico de HC / CO, y un sistema que combina colectores de escape de baja inercia térmica con convertidores catalíticos de lecho doble (NOx y HC / CO). Los problemas que se ha demostrado que influyen en el rendimiento de las emisiones o en el funcionamiento del vehículo durante el funcionamiento atípico y normal del vehículo incluyen: la fusión de las estructuras monolíticas utilizadas para soportar los promotores catalíticos de NOx y HC / CO, el efecto perjudicial del contenido de azufre de la gasolina en el rendimiento de catalizadores de NOx granulados, y la pérdida de control de emisiones con componentes del motor que funcionan mal. (Campau et al., 1972). Además las tecnologías más destacadas, actualizadas y efectivas que trabajan sobre la combustión pobre, diseño de un silenciador, sistema automático de admisión de aire caliente, motor relación de compresión, modificación de la cámara de combustión, modificación de los combustibles, tratamiento de los productos de escape de convertidores catalíticos de combustión, de tres y cuatro vías, recirculación de gases de escape (EGR), control total de emisiones paquetes, control de precombustión; (Ventilación positiva del cárter (PCV)) y diseño de engranajes de válvula (Abouemara & Fikry, 2020). En este artículo se estudian los sistemas que reducen significativamente las emisiones en base a los límites de emisión, y como aportan a la operación del motor, de acuerdo con la necesidad tecnológica de control de los sistemas contaminantes.

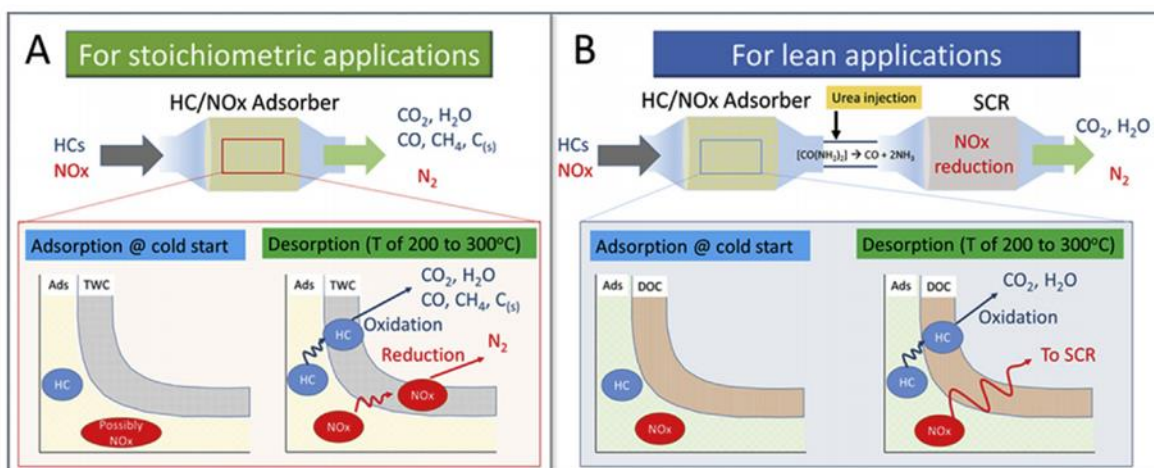
Reactores Catalíticos

Se denomina catalizadores catalíticos, se instalan en el sistema de escape para acelerar las reacciones de oxidación o reducción que no han alcanzado el equilibrio químico a la temperatura

de los gases de salida del cilindro. Este se constituye por tres elementos: el soporte donde se depositarán las sustancias activas y debe estar diseñadas para soportar altas temperaturas, flujos altamente pulsatorios, vibraciones mecánicas, etc.; el recubrimiento (washcoat) es constituido de óxidos inorgánicos con poros cuyo tamaño mínimo puede ser inferior a 1 nm. Para mantener la acción de catalizador, reducir la formación de óxidos de azufre y estabilizar el soporte e inhibir la sinterización de los metales preciosos; el componente catalizador se usan metales preciosos como el platino, paladio o rodio y mezcla de ellos. Para oxidar CO y HC simultáneamente con la reducción del NOx (catalizador de tres vías) (Payri y Desantes, 2011).

El catalizador moderno de tres vías (TWC) es muy eficaz para tratar los hidrocarburos (HC), el monóxido de carbono (CO) y los óxidos de nitrógeno (NOx) de los motores de gasolina estequiométricos una vez que el TWC ha alcanzado su temperatura mínima de funcionamiento por ejemplo entre 200 y 300 °C, dependiendo de la especie de gas. Asimismo, el catalizador de oxidación diésel (DOC), el catalizador de reducción catalítica selectiva (SCR) con inyección de urea y el filtro de partículas diésel (DPF) son eficaces para tratar las emisiones de HC, CO, NOx y materia particulada (PM) de los motores diésel una vez que se calientan los catalizadores, aunque esto puede requerir un período de tiempo significativo (por ejemplo, 1 a 3 min) debido a la temperaturas de escape relativamente bajas de los motores diésel como se aprecia en la figura 1 (Lee et al., 2019).

Figura 1. El catalizador moderno de tres vías (TWC) y el catalizador de reducción catalítica selectiva (SCR) con inyección de urea



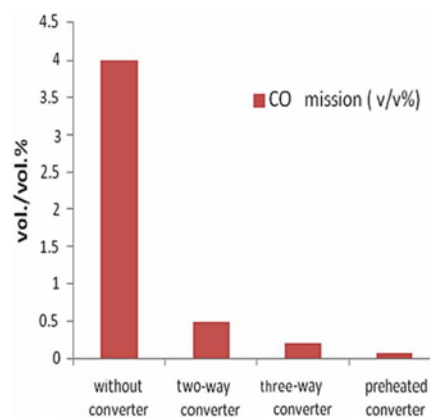
En motores más modernos, se ha probado un vehículo ligero de gasolina Euro6 en el dinamómetro del motor y se han analizado las emisiones aguas arriba y aguas abajo del catalizador de tres vías (TWC) durante un ciclo WLTC. Se han utilizado simulaciones de catalizador para evaluar los procesos dentro del convertidor catalítico utilizando un esquema de reacción basado en 19 reacciones bruto (oxidación y reducción directas, reducciones catalíticas selectivas con CO, C₃H₆ y H₂, reformado con vapor, desplazamiento de agua-gas y ceria a granel también). como reacciones superficiales de ceria). Donde durante el arranque en frío no son evidentes reacciones en el catalizador antes de que la temperatura del gas que entra en el catalizador alcance los 270 ° C. Después de la iluminación, las reacciones predominantes son la oxidación directa, así como las reacciones de ceria de superficie para CO y THC. La reducción de NO durante el arranque en frío se debe a la reacción con el CO y también a la superficie. Durante el funcionamiento del motor en caliente, las rupturas de CO durante los transitorios se deben principalmente a la falta de oxígeno después de períodos cortos en los que la lambda del motor cae por debajo de uno y la mayor parte del CeO₂ de superficie y de volumen ha reaccionado con el Ce₂O₃ de superficie y de volumen (Papetti et al., 2019).

El efecto del calentamiento del convertidor catalítico sobre la característica de emisión de los vehículos automotores en su fase inicial de combustión influye directamente en las emisiones contaminantes. Se muestra en la tabla 1 la mejora de las características de emisión de hidrocarburos de 800 a 15 ppm, CO de 4 a 0,07 (V / V%) y NO_x de 1200 a 115 ppm. Y de forma precisa en la figura 2 la razón de CO. Por lo tanto, al implementar el método de precalentamiento en los convertidores catalíticos, podemos lograr la cantidad deseada de control sobre la contaminación automotriz. Los catalizadores se activan mucho al suministrar suficiente temperatura y, por lo tanto, la velocidad de reacción aumenta desde la fase inicial, lo que optimiza la conversión de emisiones de contaminantes (Tyagi & Ranjan, 2015). En el mismo sentido el convertidor catalítico es una mejor manera de establecer una combustión eficiente en el motor controlador del vehículo. El uso de metales del grupo noble es una forma eficaz de lograr una combustión eficaz, como el metal del grupo del platino es muy útil para reducir los escapes. Con la ayuda de medidas secundarias también se mejora la eficiencia del motor (Mukherjee et al., 2016)

Tabla 1. Datos de emisión obtenidos a través del analizador de gases (Tyagi & Ranjan, 2015).

Tipo de operación	Emisiones de CO (v/v%)	Emisiones de HC (ppm)	Emisiones de NOx (ppm)
sin catalizador	4	800	1200
convertidor catalítico de dos vías	0.5	250	1050
convertidor catalítico de tres vías	0.2	30	200
convertidor catalítico de tres vías precalentado	0.07	16	115

Figura 2. Variación de la emisión CO

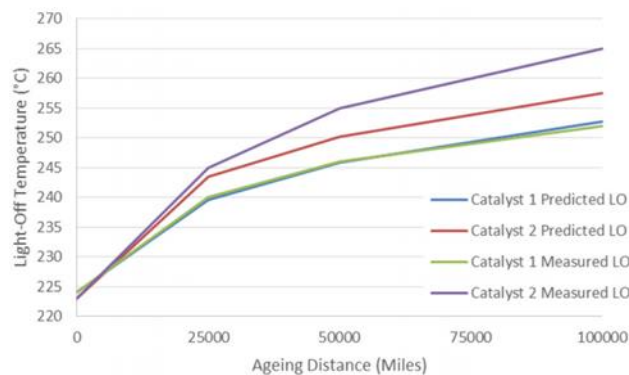


El envejecimiento de los catalizadores no se comprende completamente ya que están sujetos a muchos entornos variables, incluidas la temperatura y las concentraciones de gas. Se reconoce que la concentración de oxígeno tiene una influencia significativa en la velocidad de envejecimiento, pero los algoritmos de envejecimiento actuales no tienen en cuenta completamente el efecto de las concentraciones de gas. Se envejecieron varias muestras de catalizador, utilizando un reactor de gas recirculante, durante un ciclo de temperatura preciso para varios tiempos de envejecimiento y a diferentes concentraciones de oxígeno, mientras se mantenía un caudal constante. Los resultados mencionan existe una clara correlación cuando los parámetros se ajustan para alinear el catalizador uno, que experimentó el entorno de envejecimiento con menos oxígeno. Sin embargo, nuevamente muestra la discrepancia en la temperatura de apagado cuando el catalizador dos se somete a un entorno de envejecimiento con un mayor contenido de oxígeno, aunque esta vez se prevé una menor cantidad de envejecimiento como se aprecia en la figura 3 (Irwin, Stewart, et al., 2017). En suma, el efecto de las concentraciones variables de oxígeno sobre la velocidad de envejecimiento no se comprende

completamente y, por lo tanto, la desactivación total y las eficiencias no se conocen a lo largo de la vida útil del catalizador.

Los algoritmos actuales utilizados en la industria no tienen en cuenta completamente estas variaciones en las concentraciones de oxígeno. Varios catalizadores de tres vías de paladio disponibles comercialmente se envejecieron durante un ciclo de temperatura preciso a concentraciones variables de oxígeno para diferentes tiempos de envejecimiento relacionados con a un kilometraje (Irwin, Douglas, et al., 2017)

Figura 3. Temperaturas de apagado experimentales y previstas el catalizador uno y dos (Irwin, Douglas, et al., 2017).



Se realizó un estudio comparativo entre los catalizadores [(ZB – CuO, Al₂O₃ – MoO₃ – CuO) y (ZJB – CuO, Al₂O₃ – CuO)] y un catalizador comercial con estructura de panal fabricado para su uso en vehículos de gasolina, estos tres catalizadores a partir de óxido de cobre transportado en una matriz de una mezcla de zeolita natural siria, jordana, bentonita siria y Al₂O₃-CuO. Como simulación de la condición del automóvil de campo, se utilizó una buena cantidad de gránulos del catalizador, y los agentes de reacción iniciales fueron los gases de escape del automóvil. Los experimentos catalíticos se llevaron a cabo por medio de un reactor de flujo similar a un micro pulso utilizando los gases emitidos por los gases de escape de los automóviles. Cuando se aplicó el catalizador (ZJB-CuO, Al₂O₃-CuO), la conversión máxima de de-CO se estimó como 60% a 250 °C y 90% para de-CH a 400 °C, mientras que la tasa de de-CH La conversión del catalizador (ZB – CuO, Al₂O₃ – MoO₃ – CuO) fue de hasta 80% a 360 °C y 78% para de-CO a 360 °C. Se alcanzó una tasa de conversión máxima de de-CH en el catalizador (ZB-CuO, Al₂O₃-CuO) a 450

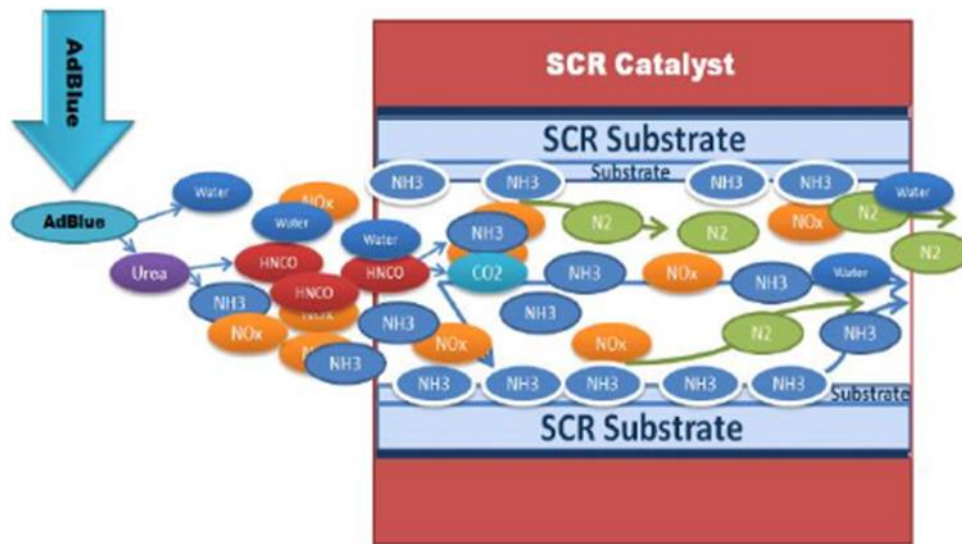
°C. Las medidas de adsorción-desorción de N₂ se llevaron a cabo a (196 °C) (Walid Bizreh et al., 2014)

En consecuencia, el control de las emisiones de vehículos ligeros ha sido el principal medio de prevención de la contaminación del aire. Para esto se implementado varios sistemas como catalizadores de tres vías, filtros de partículas de gasolina y recuperación de vapor de reabastecimiento a bordo en vehículos de gasolina y catalizadores de oxidación diésel, filtros de partículas diésel y reducción selectiva de catalizadores en vehículos diésel que cumplen con los estándares. Además, control de vehículos ligeros basado en diagnósticos a bordo (Lyu et al., 2020).

Reactores químicos

Se proponen disminuir la concentración de ciertos productos contaminantes mediante reacciones químicas en los gases de escape, generalmente incluyendo alguna sustancia que se mezcle con los gases. Los sistemas de reducción catalítica selectiva SCR dedicado a reducir los óxidos de nitrógeno (Payri y Desantes, 2011). A medida que el NO_x se reduce a N₂, entre los rangos de temperatura de 300 a 400 °C, la carga del motor debe ser del 40% o más. El amoníaco (NH₃) comenzará a arder cuando la temperatura de escape del motor supere los 400 °C, lo que hará que el sistema sea ineficaz. La reacción del catalizador SCR se volverá lenta y se producirán reacciones indeseables como la formación de sulfatos de amonio cuando la temperatura desciende por debajo de 270 °C, lo que finalmente destruye el catalizador. Por lo tanto, la reacción de SCR está restringida principalmente por la actividad del catalizador, la concentración de especies y la temperatura de reacción. La figura 4 muestra la representación sistemática del sistema SCR (Ghazanfar, Mehdi Song, Zhou Yuanqing, Zhu Zubair, Ali Shah, Kishore Chand, Raza Waleed Asif, 2019).

Figura 4. Representación sistemática del sistema SCR



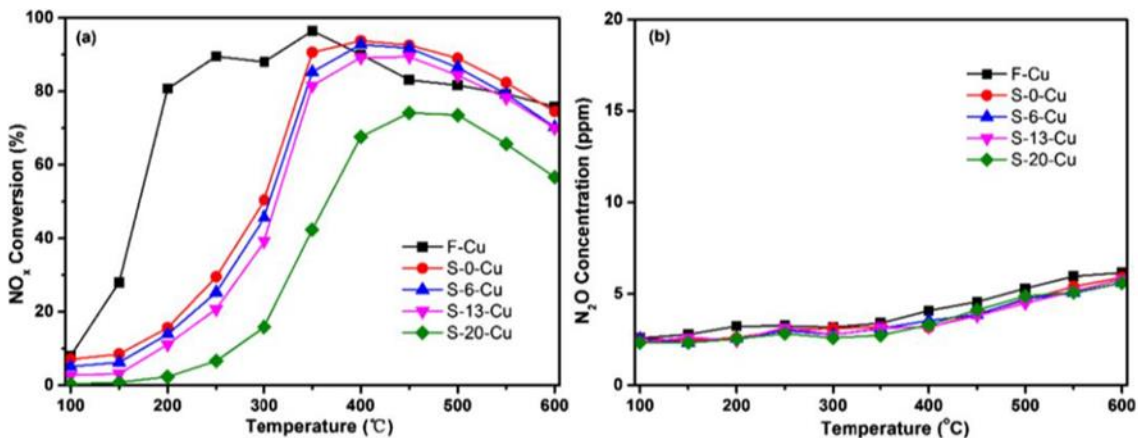
De los catalizadores SCR comunes, las zeolitas de cobre exhiben el mejor rendimiento a baja temperatura en la reacción SCR estándar. Las zeolitas de cobre tienen propiedades de oxidación innatas que ayudan a convertir el NO en NO₂, pero también pueden oxidar el amoníaco a temperaturas más altas. Las zeolitas de hierro y cobre tienen diferentes propiedades y la adición de Fe a la zona de entrada de un catalizador de Cu / zeolita también ayuda a mitigar la formación de N₂O (Johnson & Joshi, 2018).

Las mediciones de NH₃ basadas en la absorción por láser durante una campaña de seis días en 2019 en un túnel urbano concurrido con un flujo de tráfico diario de casi 40,000 vehículos en la región del Delta del Río Pearl (PRD) en el sur de China. La regresión lineal múltiple reveló que los NH₃-EF promedio para vehículos de gasolina (GV), vehículos de gas licuado de petróleo y vehículos diésel de servicio pesado (HDV) fueron de 18,8, 15,6 y 44,2 mg km⁻¹, respectivamente. La aplicación de la reducción catalítica selectiva de urea (SCR) en los HDV hace que sus emisiones de NH₃ sean una preocupación emergente. Por tanto, los HDV pueden contribuir con más del 11% de las emisiones vehiculares de NH₃ (Li et al., 2021). En suma, las emisiones en carretera de una serie de contaminantes no regulados, incluidos NH₃, N₂O, CH₄ y HCHO, medidos con un FTIR portátil de una serie de Vehículos euro 6d, Euro 6c y Euro 6d-TEMP, gasolina diésel y gas natural comprimido (CNG) durante pruebas en el mundo real. Los resultados obtenidos muestran que es posible medir N₂O, NH₃, CH₄ y HCHO durante la

operación en carretera. Los resultados también destacan la importancia de la medición de las emisiones de estos contaminantes durante la conducción en el mundo real, ya que las emisiones de NH₃ (un precursor de material particulado) y las de N₂O y CH₄ (gases de efecto invernadero) pueden ser elevadas de algún vehículo. tecnologías. Las emisiones de NH₃ fueron de hasta 49 mg / km para los turismos de gasolina, hasta 69 mg / km para los vehículos comerciales ligeros GNC y hasta 17 mg / km para los turismos diésel equipados con un sistema de reducción catalítica selectiva (SCR). Por otro lado, las emisiones de N₂O y CH₄ representaron hasta 9,8 g de CO₂ eqv / km para un automóvil de pasajeros diésel equipado con una combinación de catalizadores de oxidación diésel (DOC), trampas pobres de NO_x (LNT), SCR (Suarez-Bertoa et al., 2020). En suma, se utilizó una herramienta de optimización basada en un control óptimo para mejorar la inyección de amoníaco en la reducción catalítica selectiva con diferentes límites de emisión de NO_x. Este control óptimo se puede utilizar de dos formas: una para minimizar la emisión de NO_x y otra para reducir el consumo de amoníaco en la reducción catalítica selectiva. Los resultados mostraron una mejora considerable en el uso de la herramienta de optimización. En comparación con la calibración estándar, la nueva estrategia de inyección para la misma cantidad de inyección de amoníaco redujo las emisiones de NO_x en un 13,7%, y para las mismas emisiones de concentración de NO_x se ahorró un 33,5% del consumo de amoníaco (Pla et al., 2020).

La figura 5 se muestra la reacción de NH₃ SCR que consiste en catalizadores de Cu / SAPO-34 nuevos y sulfatados. En comparación con el F-Cu, se observan disminuciones en la conversión de NO_x de los catalizadores sulfatados cuando aumenta la relación de SO₃ a SO_x. La conversión de NO_x en relación con la temperatura de reacción de los catalizadores sin procesar y sulfatados S-0-Cu = 50 ppm de SO₂ durante 16 h, S-6-Cu = 50 ppm de SO_x (6% SO₃) durante 16 h, S-13-Cu = 50 ppm de SO_x (13% SO₃) durante 16 h y S-20-Cu 50 ppm de SO_x (20% SO₃) durante 16 h (a) y emergencia de N₂O en el curso de la reacción de NH₃ SCR sobre los catalizadores nuevos y sulfatados (b) La ejecución de la reacción se realizó con una mezcla conteniendo NO_x 500 ppm, NH₃ 500 ppm, 7% CO₂, 5% O₂, 3% H₂O y balance N₂ por GHSV = 72.000 h⁻¹ (Shen et al., 2018)

Figura 5. Comportamiento del SCR de la conversión de NOx de los catalizadores sulfatados



Finalmente, en un trabajo fundamental bastante innovador, Paolucci et al. (2017) las mediciones cinéticas transitorias y de estado estacionario combinadas, los iones de Cu son móviles y pueden viajar a través de las ventanas de zeolita para el paso redox de iones de cobre de la reacción SCR (Paolucci et al., 2017). La formación de sitios multinucleares a partir del cobre movilizado representa un fenómeno distinto que cae fuera de los límites convencionales de un catalizador heterogéneo u homogéneo. El modelo ahora puede usarse para ayudar a comprender los efectos del NO₂ y el azufre, la formación de N₂O y el envejecimiento térmico, y probablemente conducirá a catalizadores mucho mejores (Johnson & Joshi, 2018)

Paralelamente, se explica cómo la introducción paulatina de dispositivos de pequeña escala orientados al control de NO_x, como los sistemas de trampas de NO_x lean (LNTs) y, sobre todo, la reducción catalítica selectiva (SCR) de NO_x, permitió la aplicación a los vehículos de transporte por carretera de este ATS. La evolución del nivel de emisiones de NO_x, N₂O y NH₃ con las diversas normas europeas para vehículos ligeros y pesados. Como se observa un aumento obvio en las emisiones de NH₃ y N₂O tanto en vehículos ligeros diésel como de gasolina. Las emisiones de NH₃ medidas en vehículos livianos Euro 6 recientes ascienden a unos pocos mg / km tanto para los motores de gasolina como para los diésel, por lo que las emisiones de N₂O que superan una docena de mg / km solo se han observado en los vehículos diésel (Selleri et al., 2021)

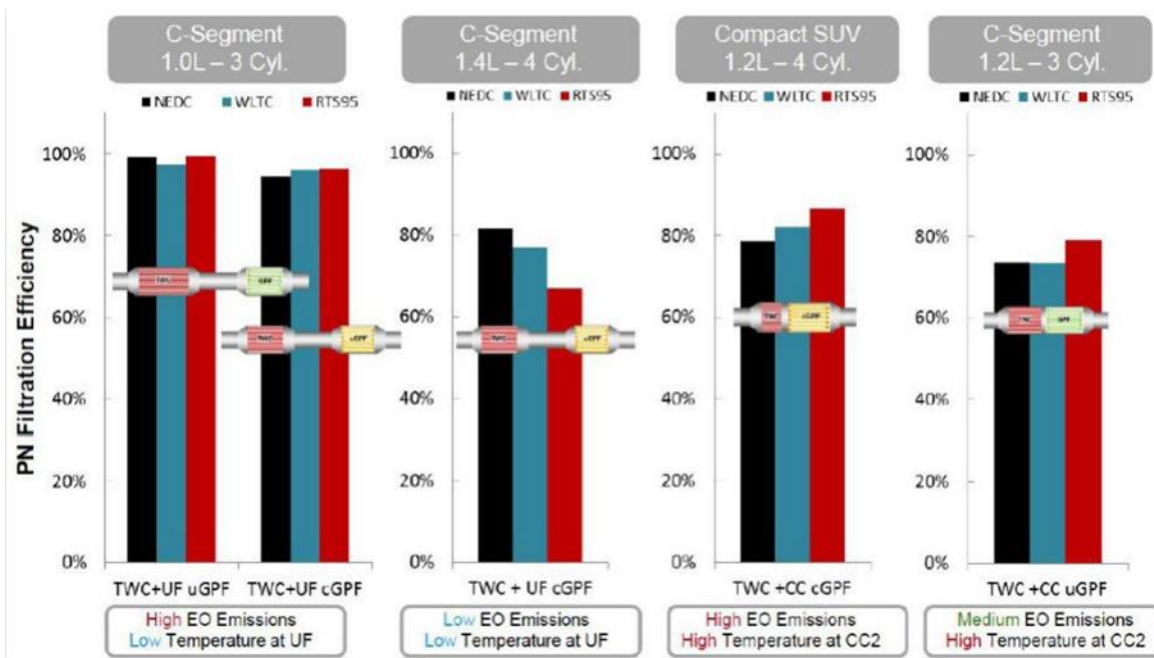
Filtros de partículas

Evalúamos el efecto de los prototipos de filtros de partículas de gasolina (GPF) modernizados en el eBC (carbono negro equivalente) primario, el aerosol orgánico (OA), los NMOC (compuestos orgánicos gaseosos sin metano) y la formación de SOA (sulfuros de amoníaco). Se investigaron dos ciclos de pruebas de conducción reglamentarias y se evaluó la importancia de las 20 fases distintas dentro de estos ciclos (por ejemplo, arranque del motor en frío, arranque del motor en caliente, conducción a alta velocidad) para las emisiones primarias y los productos secundarios. Se encontró que el reacondicionamiento de GPF disminuyó en gran medida la materia particulada primaria (PM) mediante la eliminación de eBC, pero mostró una eliminación parcial limitada de la fracción menor de POA, y no tuvo ningún efecto detectable sobre las emisiones de CONM o la producción de SOA. En todas las pruebas, el arranque en frío del motor, es decir, antes de la activación térmica del sistema de postratamiento catalítico, dominó las emisiones de PM y NMOC primarias y secundarias. Se encontraron diferencias en las propiedades de composición a granel de SOA producidas por el OFR y el SC (relaciones O: C y H: C), mientras que los rendimientos de SOA concuerdan con nuestras incertidumbres, con una tendencia a rendimientos más bajos de SOA en los experimentos de SC. Se encuentra que algunos compuestos aromáticos dominan las emisiones de CONM (principalmente benceno, tolueno, isómeros de xileno y bencenos C3). Una gran fracción (> 0.5) de la producción de SOA fue explicada por esos 30 compuestos, según la investigación de la masa de NMOC reaccionada y la comparación con las curvas de rendimiento de SOA de tolueno, o-xileno y 1,2,4-trimetilbenceno determinadas en nuestro OFR (Pieber et al., 2017)

Las emisiones empeoraron cuando los catalizadores envejecieron hasta alcanzar su plena vida útil, el TWC fueron sustituidos con GPF catalizados con un volumen de 2.5X, pero mismo PGM total, pero con una carga de capa de lavado entre un 30% y un 75% menor. No se encontró impacto en las emisiones de CO₂ o penalización por combustible. Se obtuvieron reducciones significativas para las emisiones de gases y es notable que más de 66 pruebas RDE, no fue un solo caso en el que las emisiones de PN excedieron el límite cuando se utilizó un GPF. Por otro lado, las pruebas se realizaron en cuatro vehículos GDI turboalimentados con motores de 1.6-3.5 litros y emisiones se midieron utilizando tanto el método gravimétrico como instrumentos basados en las propiedades de los aerosoles. Se encontró que los métodos distintos al gravimétrico subestimaron la masa de partículas por un factor de 3. Las altas temperaturas y el

tiempo asociado con el ciclo US06 da como resultado un tiempo limitado para la maduración del hollín, y se encontró que resultan en partículas con un modo de nucleación más grande, y en algunos casos, más pequeño contribución del carbono negro, se aprecia en la figura 6 (Johnson & Joshi, 2018). Xue et al., (2017) concluyó que existe una muy buena correlación entre el gravimétrico método y varias métricas alternativas: carbono negro, total y número de partículas sólidas y área superficial de las partículas (Xue et al., 2017). Por tanto, la mayor masa de PM con el método gravimétrico se explica por su mayor sensibilidad a los hidrocarburos no quemados (HC) y volátiles arrastrados (Johnson & Joshi, 2018)

Figura 6. La eficiencia de filtración de GPF varía según las emisiones del motor, la presencia de recubrimiento TWC y la temperatura en GPF, en función de su ubicación (Johnson & Joshi, 2018)



Por otro lado, el alcance en motores HD ha logrado un 55% de BTE (eficiencia térmica de ruptura) utilizando métodos que pueden comercializarse razonablemente. Se resumen las tecnologías de control Lean NOx, que incluyen SCR (reducción catalítica selectiva), absorbedores y sistemas de NOx. Los fundamentos de la reacción SCR se exploran a nivel atómico. El trabajo del filtro de partículas diésel (DPF) se ha centrado en las relaciones estructura-rendimiento y el comportamiento de las cenizas. Los catalizadores de oxidación de

investigación se están acercando al 90% de eficiencia para la oxidación de hidrocarburos y CO a 160-190 ° C. Las partículas de gasolina son una de las principales temas en el control de emisiones (Johnson & Joshi, 2018)(El-Faroug et al., 2016)

Sistemas combinados

La Figura 7 y 8 resume los cambios que enfrentan las aplicaciones del sistema de emisiones para diésel y gasolina, junto con la introducción de diferentes normas europeas. Como se ilustra, el SCR será un importante componente de los vehículos diésel, y podría potencialmente introducirse también para algunas aplicaciones de gasolina en el futuro. De hecho, se pudieron identificar algunas tendencias comunes, a saber, un estrecho acoplamiento de las unidades catalíticas para acelerar su calentamiento; la necesidad de algunas activas estrategias de calentamiento para dosificar DEF en una etapa temprana o para acelerar el apagado de TWC y la introducción de múltiples DEF puntos de dosificación para aumentar el rendimiento general de eliminación de NOx y garantizar una flexibilidad adicional en el control del sistema (Selleri et al., 2021). Por otro lado, el catalizador de oxidación diésel (DOC) promueve la oxidación de componentes de escape como CO, hidrocarburos (HC) y NOx, utilizando catalizadores basados en metales del grupo del platino (PGM). Este suele ser el primer componente del sistema de control de gases diésel y tiene múltiples funciones. Primero, convierte cualquier especie no quemada como CO y HC en CO₂ y agua. En segundo lugar, las reacciones son exotérmicas y el calor generado se puede utilizar para elevar la temperatura de escape y desencadenar la regeneración del hollín en el filtro de partículas aguas abajo, o para permitir una dosificación más temprana de urea para el SCR (Russell & Epling, 2011). Finalmente, un DOC oxida NO a NO₂, para apoyar tanto la regeneración pasiva del filtro como para aumentar la velocidad de la reacción SCR a través del mecanismo Fast SCR (CSF) (Selleri et al., 2021)

Figura 7. Configuraciones del sistema de postratamiento (ATS) de evolución y recientemente propuesto para LDV de diésel (Selleri et al., 2021)

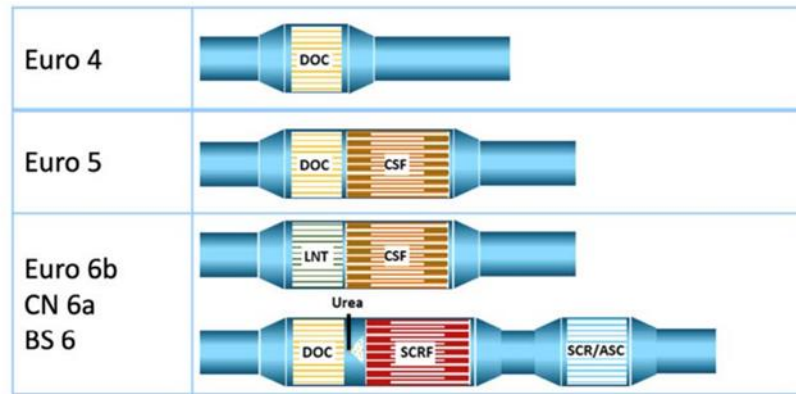
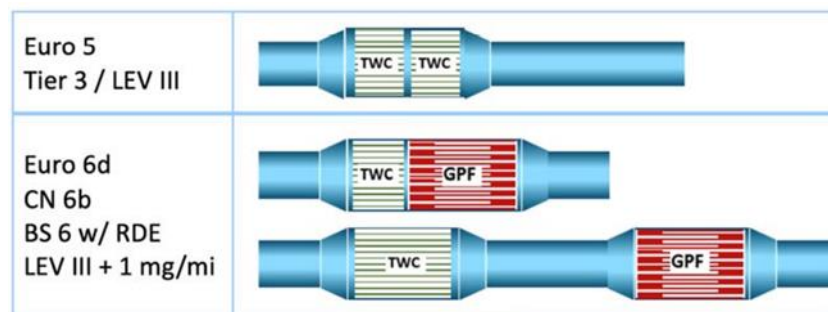


Figura 8. Configuraciones del sistema de postratamiento (ATS) de evolución y recientemente propuesto para LDV de gasolina (Selleri et al., 2021).



Conclusiones y recomendaciones

En este artículo presentamos las aplicaciones, y los resultados del análisis del Reactores Catalíticos representados por los convertidores catalíticos (TWC), los Reactores químicos como componente principal de tratamiento de contaminantes los sistemas de reducción catalítica selectiva (SCR) y los filtros de partículas con un componente representativo el filtro de partículas de gasolina (GPF) toda esta tecnología aporta a mitigar las emisiones contaminantes y se aprecia sus distintas fases de evolución a través del tiempo.

Se determino el comportamiento de catalizadores catalíticos, con una mejor comprensión del rendimiento a baja temperatura, los avances en el control de las emisiones de gasolina de combustión pobre, además del desafío clave son las emisiones de arranque en frío y continúa avanzando para cumplir con las estrictas regulaciones de gas.

Se describe el catalizador SCR de zeolita de cobre que se evidencia el equilibrio de la oxidación de las zeolitas de cobre para formar NO₂ y hollín oxidante, mientras se minimiza la oxidación del NH₃. Además del control para el azufre y los NO_x que son relevantes como resultados de la combustión.

La combinación de los componentes analizados en este trabajo aporta a minimizar las emisiones contaminantes y cumplir las normativas locales e internacionales, el caso del catalizador de oxidación diésel (DOC) promueve la oxidación de componentes de escape como CO, hidrocarburos (HC) y NO_x, y el Catalizador SCR que cumple la reducción de NO_x completando un sistema diésel de mitigación de contaminantes eficiente

Referencias

1. Abouemara, K., & Fikry, S. (2020). Emission Control Technologies in Spark Ignition Engines. *Journal of Student Research*, 9(1). <https://doi.org/10.47611/jsr.v9i1.1101>
2. Campau, R. M., Stefan, A., & Hancock, E. E. (1972). Ford durability experience on low emission concept vehicles. *SAE Technical Papers*. <https://doi.org/10.4271/720488>
3. El-Faroug, M., Yan, F., Luo, M., Fiiifi Turkson, R., El-Faroug, M. O., Yan, F., Luo, M., & Fiiifi Turkson, R. (2016). Spark Ignition Engine Combustion, Performance and Emission Products from Hydrous Ethanol and Its Blends with Gasoline. *Energies*, 9(12), 984. <https://doi.org/10.3390/en9120984>
4. Ghazanfar, Mehdi Song, Zhou Yuanqing, Zhu Zubair, Ali Shah, Kishore Chand, Raza Waleed Asif, R. (2019). Review on SCR catalysts by focusing impacts of sulfur on SCR performance. *Sukkur IBA Journal of Emerging Technologies*, 2(1), 27–44. <https://doi.org/10.30537/sjet.v2i1.384>
5. Irwin, K. J., Douglas, R., Stewart, J., Pedlow, A., Stalker, R. M., & Woods, A. (2017). Further Analysis of the Effect of Oxygen Concentration on the Thermal Aging of Automotive Catalysts. *SAE Technical Papers*, 2017-Septe. <https://doi.org/10.4271/2017-24-0136>
6. Irwin, K. J., Stewart, J., Douglas, R., Woods, A., O'Shaughnessy, R., Pedlow, A., & Stalker, R. M. (2017). Analysis of the Effect of Oxygen Concentration on the Thermal

- Aging of Automotive Catalysts. SAE Technical Papers, 2017-March(March).
<https://doi.org/10.4271/2017-01-0998>
7. Johnson, T., & Joshi, A. (2018). Review of Vehicle Engine Efficiency and Emissions. SAE International Journal of Engines, 11(6), 1307–1330. <https://doi.org/10.4271/2018-01-0329>
 8. Lee, J., Theis, J. R., & Kyriakidou, E. A. (2019). Vehicle emissions trapping materials: Successes, challenges, and the path forward. In Applied Catalysis B: Environmental (Vol. 243, pp. 397–414). <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2018.10.069>
 9. Li, S., Liu, T., Song, W., Pei, C., Huang, Z., Wang, Y., Chen, Y., Yan, J., Zhang, R., Zhang, Y., & Wang, X. (2021). Emission factors of ammonia for on-road vehicles in urban areas from a tunnel study in south China with laser-absorption based measurements. Environmental Pollution, 280. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116972>
 10. Lyu, M., Bao, X., Zhu, R., & Matthews, R. (2020). State-of-the-art outlook for light-duty vehicle emission control standards and technologies in China. In Clean Technologies and Environmental Policy (Vol. 22, Issue 4, pp. 757–771). <https://doi.org/10.1007/s10098-020-01834-x>
 11. Mukherjee, A., Roy, K., Bagchi, J., & Mondal, K. (2016). Emission Catalytic Converter in Automobile Exhaust Emission. Journal for Research, 02(10), 29–33.
 12. Paolucci, C., Khurana, I., Parekh, A. A., Li, S., Shih, A. J., Li, H., Di Iorio, J. R., Albarracin-Caballero, J. D., Yezerets, A., Miller, J. T., Delgass, W. N., Ribeiro, F. H., Schneider, W. F., & Gounder, R. (2017). Dynamic multinuclear sites formed by mobilized copper ions in NO_x selective catalytic reduction. Science, 357(6354), 898–903. <https://doi.org/10.1126/science.aan5630>
 13. Papetti, V., Dimopoulos Eggenschwiler, P., Emmanouil, V., & Koltsakis, G. (2019). Analysis of TWC Characteristics in a Euro6 Gasoline Light Duty Vehicle. SAE Technical Papers, 2019-Sept(September). <https://doi.org/10.4271/2019-24-0162>
 14. Pieber, S., Kumar, N., Klein, F., Comte, P., Bhattu, D., Dommen, J., Bruns, E., Kilic, D., El Haddad, I., Keller, A., Czerwinski, J., Heeb, N., Baltensperger, U., Slowik, J., & Prévôt, A. (2017). Gas phase composition and secondary organic aerosol formation from

- gasoline direct injection vehicles investigated in batch and flow reactors: effects of prototype gasoline particle filters. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 1–41. <https://doi.org/10.5194/acp-2017-942>
15. Pla, B., Bares, P., Sanchis, E., & Aronis, A. (2020). Ammonia injection optimization for selective catalytic reduction aftertreatment systems. *International Journal of Engine Research*. <https://doi.org/10.1177/1468087420933125>
16. Russell, A., & Epling, W. S. (2011). Diesel oxidation catalysts. In *Catalysis Reviews - Science and Engineering* (Vol. 53, Issue 4, pp. 337–423). <https://doi.org/10.1080/01614940.2011.596429>
17. Sassykova, L. R., Aubakirov, Y. A., Sendilvelan, S., Tashmukhambetova, Z. K., Faizullaeva, M. F., Bhaskar, K., Batyrbayeva, A. A., Ryskaliyeva, R. G., Tyussyupova, B. B., Zhakupova, A. A., & Sarybayev, M. A. (2019). The Main Components of Vehicle Exhaust Gases and Their Effective Catalytic Neutralization. *Oriental Journal of Chemistry*, 35(1), 110–127. <https://doi.org/10.13005/ojc/350112>
18. Selleri, T., Melas, A. D., Joshi, A., Manara, D., Perujo, A., & Suarez-Bertoa, R. (2021). An overview of lean exhaust denox aftertreatment technologies and nox emission regulations in the european union. In *Catalysts* (Vol. 11, Issue 3). <https://doi.org/10.3390/catal11030404>
19. Shen, M., Zhang, Y., Wang, J., Wang, C., & Wang, J. (2018). Nature of SO₃ poisoning on Cu/SAPO-34 SCR catalysts. *Journal of Catalysis*, 358, 277–286. <https://doi.org/10.1016/j.jcat.2017.12.008>
20. Suarez-Bertoa, R., Pechout, M., Vojtíšek, M., & Astorga, C. (2020). Regulated and non-regulated emissions from euro 6 diesel, gasoline and CNG vehicles under real-world driving conditions. *Atmosphere*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/atmos11020204>
21. Tyagi, R. K., & Ranjan, R. (2015). Effect of heating the catalytic converter on emission characteristic of gasoline automotive vehicles. *International Journal of Ambient Energy*, 36(5), 235–241. <https://doi.org/10.1080/01430750.2013.853205>
22. Walid Bizreh, Y., Al-Hamoud, L., & AL-Joubeh, M. (2014). A study on the catalytic activity of new catalysts for removal of NO_x, CH and CO emitted from car exhaust. *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences*, 16, 55–63. <https://doi.org/10.1016/j.jaubas.2013.06.001>

23. Xue, J., Li, Y., Quiros, D., Hu, S., Huai, T., Ayala, A., & Jung, H. S. (2017). Investigation of alternative metrics to quantify PM mass emissions from light duty vehicles. *Journal of Aerosol Science*, 113, 85–94. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2017.07.021>
24. Payri González, F., & Desantes Fernández, J. M. (2011). *Motores de combustión interna alternativos*. Editorial Universitat politècnica de valencia.

© 2021 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/>)