

Impactos ambientales y operativos al instalar válvulas de compensación de aire en tractocamiones en Colombia¹

Germán Prieto-Rodríguez², Diego Cabrera-Moya³, Salomón Estupiñán⁴

Resumen

Introducción. Las válvulas de compensación de aire son dispositivos que buscan optimizar el rendimiento y reducir las emisiones contaminantes de los motores diésel de vehículos de carga en condiciones de alta montaña, al compensar el oxígeno que se pierde cuando un vehículo opera a plena carga y en alturas que sobrepasan los 2.000 msnm, condiciones que se presentan con frecuencia en países del área Andina. Sin embargo, no se conocen estudios que cuantifiquen el impacto efectivo de estos dispositivos en una operación real en el territorio colombiano. **Objetivo.** Se analizaron cambios en el consumo

de combustibles y generación de emisiones contaminantes instalando válvulas ecológicas en una flota de tres vehículos tractocamión operados por una empresa generadora de carga en una ruta en Colombia. **Materiales y métodos.** Se aplicó un estudio experimental, determinando la relación entre la instalación de la válvula ecológica Marclais M-300 en tres vehículos de carga similares, realizando mediciones *ex ante* y *ex post* bajo condiciones controladas de ruta y conductores. **Resultados.** La instalación de la válvula no generó una disminución representativa de los galones consumidos y, por tanto, tampoco una disminución en los costos de operación. Se

- 1 Artículo de investigación derivado del proyecto de investigación *Caracterización del sistema de aprovisionamiento de insumos del transporte de carga y pasajeros en Colombia*, financiado por la Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá y ejecutado entre enero de 2019 y junio de 2022.
- 2 Ingeniero civil, magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Ingeniería de Transportes, especialista en Finanzas y doctorando en Modelado de Política Pública. Profesor asociado I de la Escuela de Administración e investigador del grupo de estudios en Administración y Gestión de las Organizaciones (ADGEO) de la Universidad Jorge Tadeo Lozano. Correo: german.prieto@utadeo.edu.co / Orcid: <https://Orcid.Org/0000-0002-1825-0097>.
- 3 Doctor en Ciencias de la Dirección, magíster en Administración, magíster en Dirección, especialista en Gerencia de Mercado y especialista en Entornos Virtuales de Aprendizaje. Ingeniero industrial, profesor asociado II del Área Académica de Administración, Contaduría y Mercadeo e investigador del grupo de estudios en Administración y Gestión de las Organizaciones (ADGEO) de la Universidad Jorge Tadeo Lozano de Bogotá. Correo: diegor.cabreram@utadeo.edu.co / Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8942-4437>.
- 4 Administrador de empresas de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá. Correo: salomon.estupinann@utadeo.edu.co

Autor para Correspondencia: Germán Prieto-Rodríguez. Correo: german.prieto@utadeo.edu.co
Recibido: 19/08/2022 Aceptado: 13/06/2023

*Los autores declaran que no tienen conflicto de interés

encontró una disminución de emisiones contaminantes de 6,25 % y las muestras de aceite no reportan ningún daño mecánico generado por el uso de las válvulas. **Conclusiones.** Se recomienda ampliar la muestra y realizar análisis comparativos con otro tipo de válvulas o complementos con

propuestas de valor similares, incluyendo un análisis de eficiencia en los costos de inversión.

Palabras clave: costos de transporte terrestre de carga, huella de carbono, tecnologías verdes, válvula ecológica.

Environmental and operational impacts when installing air compensation valves in trucks in Colombia

Abstract

Introduction. Air compensation valves are devices that seek to optimize performance and reduce polluting emissions from diesel engines of cargo vehicles in high mountain conditions, by compensating for the oxygen that is lost when a vehicle operates at full load and at high altitude, heights that exceed 2000 meters above sea level, conditions that frequently occur in countries of the Andean area. However, there are no known studies that quantify the effective impact of these devices in a real operation in Colombian territory. **Objective.** Changes in fuel consumption and generation of polluting emissions were analyzed by installing ecological valves in a fleet of 3 tractor-truck vehicles operated by a cargo generating company

on a route in Colombia. **Methodology.** An experimental study was applied, determining the relationship between the installation of the Marclais M-300 ecological valve in 3 similar cargo vehicles, making ex ante and ex post measurements under controlled road and driver conditions. **Results.** The installation of the valve did not generate a representative decrease in gallons consumed and therefore neither a decrease in operating costs. A decrease in polluting emissions of 6.25 % was found and the oil samples do not report any mechanical damage caused using the valves. **Conclusions.** It is recommended to expand the sample and carry out comparative analyzes with other types of valves or accessories with similar value propositions, including an analysis of investment cost efficiency.

Key words: Freight Land Transport Costs, Carbon Footprint, Green Technologies, Ecological Valve.

Impactos ambientales e operacionales na instalación de válvulas de compensaçãode ar em caminhões tratore na Colômbia

Resumo

Introdução. As válvulas de compensação de ar são dispositivos que buscam otimizar o desempenho e reduzir as emissões poluentes dos motores diesel de veículos de carga em condições de alta montanha, compensando o oxigênio perdido quando um veículo opera a plena carga e em altitudes elevadas. 2000 metros acima do nível do mar, condições que ocorrem com frequência em países da área andina. No entanto, não existem estudos conhecidos que quantifiquem o impacto efetivo desses dispositivos em uma operação real em território colombiano. **Objetivo.** Foram analisadas as mudanças no consumo de combustível e a geração de emissões poluentes por meio da instalação de válvulas ecológicas em uma frota de 3 caminhões-trator operados por uma empresa

geradora de carga em uma rota na Colômbia. **Metodologia.** Foi aplicado um estudo experimental, determinando a relação entre a instalação da válvula ecológica Marclais M-300 em 3 veículos de carga similares, fazendo medições ex ante e ex post em condições controladas de estrada e motorista.

Resultados. A instalação da válvula não gerou uma diminuição representativa nos galões consumidos e, portanto, nem uma diminuição nos custos operacionais. Foi encontrada uma diminuição nas emissões poluentes de 6,25 % e as amostras de óleo não relatam nenhum dano mecânico causado pelo uso das válvulas. **Conclusões.** Recomenda-se ampliar a amostra e realizar análises comparativas com outros tipos de válvulas ou acessórios com propostas de valor semelhantes, incluindo uma análise de custo-benefício do investimento.

Palavras chave: custos de transporte de carga terrestre, pegada de carbono, tecnologias verdes, válvula ecológica.

Introducción

En un mundo globalizado, los retos de la logística y del manejo de la cadena de suministro (Supply Chain Management) son cada vez mayores, pues ya no solo es necesario ubicar los bienes y servicios en el lugar, tiempo y condiciones adecuados al menor precio, sino que cada vez más se le exige a la logística que opere bajo condiciones de sostenibilidad para la sociedad, en temas tales como la reducción del consumo de combustibles fósiles y la minimización de

emisiones de gases y la contaminación del medio ambiente (Liu *et al.*, 2019).

En el aspecto del precio, el transporte de carga es el eslabón más importante y decisivo de la cadena de suministros, lo cual redundan en una alta influencia sobre los costos logísticos y, por lo tanto, sobre los costos finales del producto (Moreno-Gamboa *et al.*, 2019). Los costos del transporte terminan siendo entonces definitivos para la competitividad, tanto a nivel de empresa como a nivel de una economía, “el transporte de carga constituye,

sin duda, un pilar fundamental en la dinámica industrial de cualquier país” (Mora, 2014). Esta premisa toma más importancia en países en proceso de desarrollo, puesto que suelen contar con infraestructura vial y portuaria de menor calidad y que generan mayores costos logísticos que en países desarrollados. Y en un país como Colombia, la infraestructura deficiente se ve agravada por unas condiciones topográficas complejas, con altas pendientes y ubicación de ciudades principales en zonas lejanas a los puertos marítimos. Bajo estas circunstancias, el tema de los costos operativos del transporte, y en particular del transporte terrestre, se vuelve más sensible en relación con los costos logísticos de sus productos (Comas Martí *et al.*, 2015). Es así como, al analizar la importancia de los costos del transporte en la competitividad de los productos colombianos, Cárdenas *et al.* (2005) encontraron que una disminución de 1 % en los costos de transporte generaría un incremento de 0,5 % en las importaciones de los Estados Unidos.

De la misma manera, un informe del Banco Interamericano de Desarrollo (2010) mostró que, entre una muestra de veintidós países americanos, los costos de transporte de Colombia tenían una relación de fletes/importaciones del 6,7 % y de fletes/exportaciones del 6 %. Aunque este es un indicador que lo ubica en la parte media de la lista, con un puesto 11 entre los países estudiados, cuando se realiza el análisis comparándolo con la distancia recorrida (costo del flete de exportación vs. distancia recorrida, por ejemplo), arroja unos indicadores de 0,92 % para exportaciones y

1,03 % para importaciones, los cuales son considerablemente altos para el promedio americano, que se encuentran en 0,61 % y 0,7% respectivamente. Más recientemente, según la Encuesta Nacional Logística 2020 (Departamento Nacional de Planeación, 2020), el costo logístico en Colombia con relación al monto de las ventas se calculó en 12,6 %, del cual el 30,7 % corresponde al componente de transporte.

La reducción de costos se reflejaría en incrementos importantes en el comercio internacional, al punto que analistas como la Cámara Colombiana de la Infraestructura calcula que una reducción del 50 % en los costos de transporte podría llegar a incrementar hasta en cinco veces el volumen del comercio exterior del país. La situación es más crítica en Bogotá y las demás ciudades céntricas del país, donde los sobrecostos de transporte pueden llegar a ser de más de USD 2.000 por tonelada, frente a unos cercanos a los USD 600 por tonelada desde la ciudad de Cali, lo cual puede llegar a representar un 18 % del costo final de venta.

Un análisis presentado en el índice de costos del transporte de carga por carretera (ICTC) del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2019) muestra que, de los costos de operación de los vehículos, los principales rubros son el de costos fijos y peajes (45,2 %), el de combustibles (40,2 %), el de insumos (9,79 %) y el de partes, piezas, servicios de mantenimiento y reparación (4,81 %). De esta forma, todas las medidas que permitan reducir el consumo de combustible de la flota de transporte terrestre para la movilización de mercancía, son una prioridad para las

empresas que busquen reducir los costos logísticos totales (Bauer *et al.*, 2017), más aún cuando la reducción de costos y el mejoramiento en el desempeño ambiental y de sostenibilidad de las operaciones se convierten cada vez más en una preocupación para los clientes y en un factor clave para tener una ventaja competitiva empresarial (Marulanda-Grisales, 2021; Rezvani y Fathollahzadeh, 2020).

Por otra parte, los problemas generados por el aporte de las fuentes móviles (vehículos automotores) a la contaminación del aire local y a la emisión de gases efecto invernadero, han generado una creciente presión para la implementación de tecnologías más limpias (Shepherd *et al.*, 2019). En un contexto como el de los Estados Unidos, con vehículos más nuevos y una organización logística más eficiente que en los países latinoamericanos, los vehículos pesados representan cerca del 9 % de las millas transitadas, pero producen cerca del 50 % de NO_x y PM₁₀ de todo el sector transportador (Macharis *et al.*, 2014). Convenios mundiales para la reducción de los efectos sobre el cambio climático, tales como el Acuerdo de París en el año 2015 han llevado a compromisos como los de la Unión Europea, que acordó inicialmente reducir su emisión de gases de efecto invernadero (GEI) en mínimo un 40 % para 2030, respecto al nivel de 1990 (Gómez *et al.*, 2016). De la misma manera, la Organización de las Naciones Unidas ha definido como uno de sus Objetivos de Desarrollo Sustentable el de “Tomar acción urgente para combatir el cambio climático y sus impactos”, correspondiente al ODS 13, para lo cual promueve transformar el sector

de transporte mediante una combinación de migración hacia modos más sostenibles (transporte público y modos activos) y hacia el uso de combustibles menos contaminantes y una mayor eficiencia en el uso de la energía (United Nations, 2019).

Colombia, que para el año 2010 fue responsable del 0,46 % de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel global también se comprometió a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en un 20 % con respecto a las emisiones proyectadas para el 2030 (García, 2016), a partir de diez medidas puntuales que van desde la protección de páramos y bosques hasta la promoción de modos de transporte de carga y pasajeros más sostenibles en el largo plazo.

En este sector transportador se busca alcanzar una *producción más limpia*, entendida como una estrategia preventiva e integrada en los procesos productivos para reducir los riesgos relevantes a los humanos y al medio ambiente (Rocha y Echeverri, 2020). En ese sentido, las medidas del Gobierno colombiano apuntan a tener estándares de rendimiento y conducción verde, renovación de la flota de vehículos de carga, uso de combustibles de menor intensidad de carbono, promoción del transporte público, sistemas públicos de bicicletas, desincentivos al uso del transporte privado, cobro por congestión, transporte multimodal (fluvial y férreo), optimización del transporte de carga e introducción de vehículos con nuevas tecnologías. Dentro de estas últimas, se encuentran las tecnologías verdes, las cuales buscan mejorar la calidad del agua, suelo, aire o solucionar las problemáticas

que mantienen relación con el ruido o los residuos, sistemas que se caracterizan por ser viables en los países en desarrollo, ser aplicables y adaptables, y lo más importante, respetan el medio ambiente (Molano, 2013).

Como una alternativa complementaria al proceso de mejoramiento de la tecnología vehicular desde su diseño de fábrica y a la optimización en la calidad de los combustibles, se encuentra la implementación de tecnologías que se adaptan al vehículo y mejoran su rendimiento, tanto en función de la reducción de la contaminación, el aumento en la eficiencia del uso de la energía proporcionada por los combustibles y el mejoramiento de las características de conducción de los vehículos (Chandrasekar *et al.*, 2022; Kalghatgi, 2019). Una adecuada sinergia entre estos elementos permite un aumento en la eficiencia del motor y un mejoramiento de los procesos de operación y control de las emisiones, redundando en disminución de costos de operación y en el impacto de las emisiones de gases (Rimkus *et al.*, 2022).

Como respuesta a esos dos grandes retos de reducir los costos de operación y las emisiones contaminantes en una flota de transporte de carga, se encuentran en el mercado unas válvulas de compensación de aire o válvulas ecológicas, cuya promesa de valor es la de reducir el consumo de combustible y la emisión de gases contaminantes en la operación de vehículos que operan en condiciones lejanas a las del nivel del mar, que interactúa con los sensores de control del motor diésel sopesando las pérdidas de oxígeno que se presentan en alturas sobre el nivel del mar o a plena carga,

logrando así una combustión más limpia resultado de la remoción de excesos en la mezcla de combustible y aire.

La válvula funciona dependiendo de la rapidez con que se oprima el acelerador y de los cambios en la presión atmosférica que se dan con la variación de altura sobre el nivel del mar. Estos dos factores gobiernan la entrada del aire que pasa a través de la válvula ecológica o compensador de altura. Cuando se pisa fuerte el acelerador en el momento de arrancar o adelantar otro vehículo, usualmente se generan excesos de gasolina, ingresando una mayor cantidad de aire al motor para equilibrar las proporciones de aire y gasolina. En el momento de soltar el acelerador o cuando la mezcla es adecuada se suspende el ingreso adicional de aire al motor.

La presente investigación busca analizar el cambio en el desempeño de una flota de vehículos de carga con la instalación de válvulas de compensación de aire en condiciones controladas de recorrido, modo de conducción, peso y volumen de la carga movilizada, para comparar los desempeños de consumo de combustible, emisiones generadas y efectos sobre el estado de los vehículos antes y después de la implementación del mecanismo.

Metodología

Este documento presenta los resultados de una investigación experimental en la cual se busca estimar la relación entre la instalación de una válvula ecológica presente en el mercado y el desempeño de una flota de vehículos similares en una única ruta

del territorio colombiano. Se utilizaron tres vehículos tipo tractocamión marca International, modelo 9200i Sba 6X4, Motor Cummings isx-450, cilindrada de 14,9 L, potencia 450 hp@1.800 rpm, norma de emisiones EPA98 y combustible diésel.

Las válvulas implementadas son válvulas de compensación de aire marca Marclais (**figura 1**), un equipo de control ambiental que se conecta al sistema de admisión del motor. Para el desarrollo de la prueba se seleccionó el modelo M-300, que se identifica con la patente del Ministerio de Desarrollo n.º 22.734. Este dispositivo está fabricado con aluminio endurecido, acero inoxidable y espuma de poliuretano, con un

compromiso del fabricante de no afectar la sincronización original del vehículo, tener una resistencia al desgaste de 100.000 km y contar con una garantía de seis meses. Es un modelo único para automóviles, buses y camiones tipo mediano. Esta válvula en particular es de fabricación nacional, con un nivel de ventas reportado de más de 30.000 unidades en los mercados de Colombia, Chile, Ecuador, Bolivia y Costa Rica, para una facturación anual reportada de USD 500.000. Esto la convierte en un interesante referente como invento colombiano en el mercado de autopartes, país que tiene como objetivo posicionar este sector industrial en un referente exportador, con un meta objetivo de USD 10 mil millones en ventas.

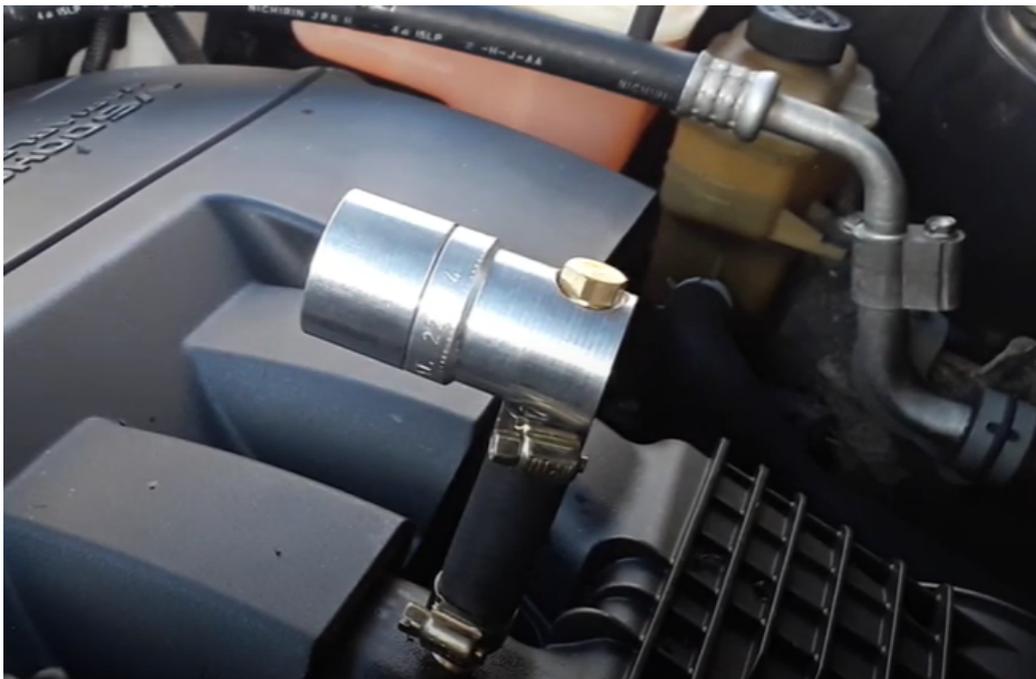


Figura 1. Válvula ecológica Marclais

Nota: tomado de www.marclais.com.

Para el desarrollo del proyecto fue seleccionada la ruta comprendida entre Madrid (Cundinamarca) y Medellín (Antioquia). El perfil de la ruta de la **figura 2** nos muestra que el desplazamiento realizado tiene cambios constantes en altura, lo cual

es característico de la geografía colombiana, tema que afecta el rendimiento del motor tanto por las grandes pendientes en algunos tramos, como por la variación de presión atmosférica en las cuales tiene que operar la máquina.



Figura 2. Perfil de la ruta

Nota: tomado de <https://infotrip.net/home.php>.

Tabla 1. Características de los recorridos realizados con los vehículos de prueba, en cada sentido

Ruta Medellín-Madrid	
Km de recorrido	420
Huella de carbono	840 kg. co2
Tiempo recorrido	19 h
Combustible	110 galones
Costos de combustible	COP 870.000
Ruta Madrid-Medellín	
Km de recorrido	420
Huella de carbono	697 kg. co2
Tiempo recorrido	16 h
Combustible	85 galones
Costos de combustible	COP 739.500
Peso carga promedio	31,9 t
Peso neto vehículo	51 t

Nota: elaboración propia.

Al hacer una categoría de pendientes en el recorrido, se encuentra que el 7,6 % corresponde a más de 4 ° de pendiente (ascenso alto), un 12,5 % a entre 2 ° y 4 ° (ascenso medio), un 11,2 % a descenso medio (entre -2 ° y -4 °) y un 11,4 % a descenso alto (más de 4 ° de pendiente). Es decir, casi el 50 % del recorrido total se realiza en pendientes medias o altas, bien sea en ascenso o en descenso.

La **tabla 1** presenta los valores promedio de tiempo de viaje, huella de carbono, kilómetros recorridos, gasto de combustible

y peso del vehículo y de la carga, aplicados en cada sentido de la ruta (la medición se hizo tanto para el recorrido de ida como el de regreso), una vez realizados varios recorridos, siempre siendo manejado cada vehículo por el mismo conductor para evitar alteraciones por el tipo de conducción si se utilizaran diferentes personas para esa labor. Una vez realizados los recorridos antes de usar el aditivo, se procedió a la instalación de las válvulas en el múltiple de admisión, el cual se encarga de suministrar el aire a la cámara de combustión. La fecha de instalación fue el 10 de febrero de 2019.



Figura 3. Instalación de válvulas en el motor

Nota: imágenes propias.

La propuesta de valor del fabricante es que, una vez instalada en este punto, la válvula puede variar el suministro de aire al motor y generar los flujos deseados en función de las variaciones de altura o cambios en el recorrido del acelerador. Dado que el objetivo de la investigación es el de medir los impactos de la válvula en consumo

de combustible, generación de emisiones contaminantes y afectación sobre el motor, se seleccionaron tres ítems de medición de resultados *ex ante* y *ex post*:

- Consumo de diésel: el cálculo de combustible mide los galones consumidos por los vehículos en cada ruta y se traduce en el costo de

operación para la prueba. Se tomaron como base consumos y rendimientos de combustible históricos realizados por el mismo conductor y con una diferencia de peso inferior a 300 kg.

- Prueba de opacidad: se mide el porcentaje de partículas por millón de una muestra tomada del escape de los vehículos. Este procedimiento fue realizado según la NTC 4983 del Ministerio de Transporte.
- Prueba de residuos en el aceite: mide la presencia de metales en el sistema de lubricación del motor, como manera de determinar si se presenta un desgaste anormal del mismo por la instalación de las válvulas.

El costo total del experimento se calcula en COP 2.218.000, aproximadamente USD 583, con la tasa de cambio de mayo 31 de 2022.

Resultados

Los resultados obtenidos en consumo de combustible no demuestran diferencias representativas entre la situación antes y después de la instalación de las válvulas. Los resultados en consumo de galones y rendimiento de kilómetros por galón se muestran en las **figuras 4 y 5**. En ambos casos se encuentra un consumo de 87 galones y un rendimiento de 4,8 km por galón en el viaje Madrid-Medellín, y de 110 galones y 3,8 km por galón en el viaje Medellín-Madrid, de tal manera que no se encuentran reducciones en el consumo de combustible en ninguno de los dos trayectos.

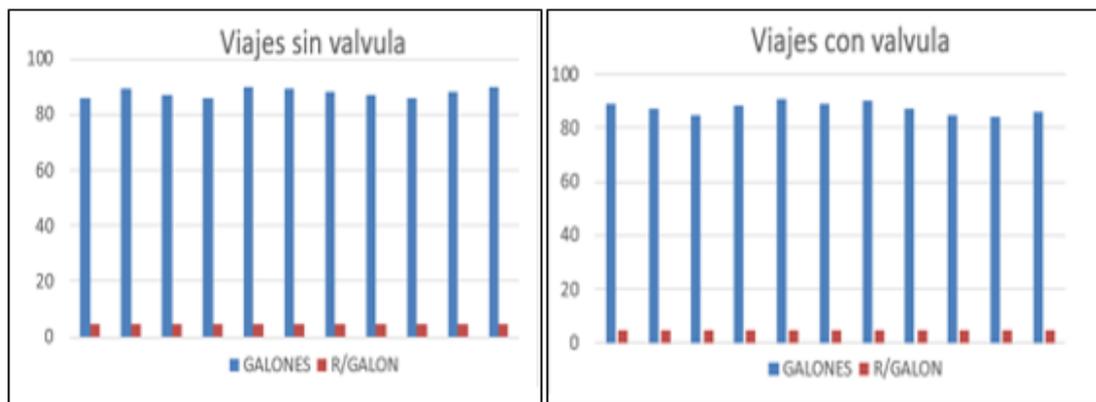


Figura 4. Consumos y rendimientos de combustible promedio en viaje Madrid-Medellín, antes y después de la instalación de la válvula de compensación

Nota: elaboración propia.

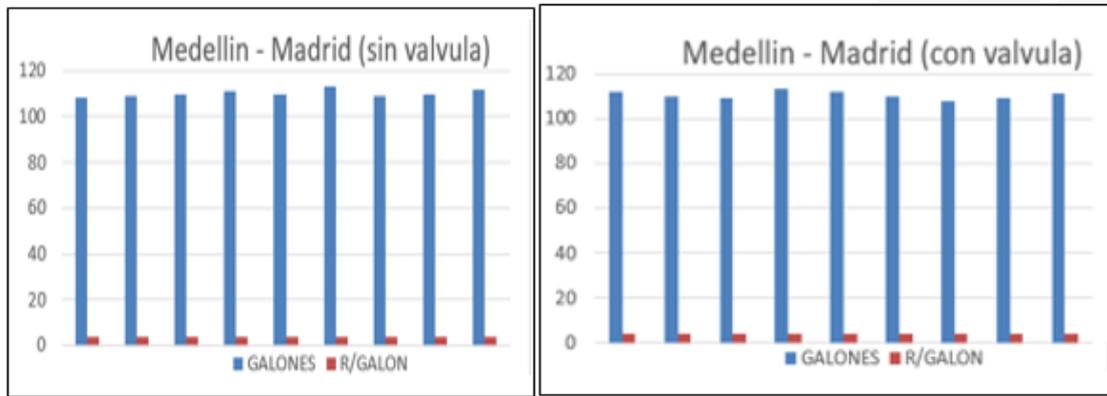


Figura 5. Consumos y rendimientos de combustible promedio en viaje Medellín–Madrid, antes y después de la instalación de la válvula de compensación

Nota: elaboración propia.

Para realizar la evaluación de emisiones de gases, después de un mes de instalar las válvulas se mide el resultado después de cuatro ciclos de aceleración, se da un valor final resultante el cual es el promedio de los cuatro ciclos. Los resultados que se presentan en la **tabla 2** muestran que se encuentra una reducción promedio en los valores de las emisiones, correspondientes a 2,04 puntos porcentuales o un 6,25 % con respecto a los valores iniciales. Se debe resaltar que la prueba de emisiones es una prueba estática y no mide el rendimiento del motor en ruta en cuando está en uso de su potencia cargado.

Tabla 2. Características de los recorridos realizados con los vehículos de prueba, en cada sentido

Prueba	Temperatura	Promedio	Norma
Inicial	72 °C	32,90 %	-35 %
Final	70 °C	30,26 %	-35 %
Inicial	69 °C	31,46 %	-35 %
Final	70 °C	29,69 %	-35 %
Inicial	71 °C	33,38 %	-35 %
Final	67 °C	31,68 %	-35 %

Nota: elaboración propia.

Dada la características de las pruebas de opacidad y de residuos en el aceite y los niveles de cambio de comportamiento en el desempeño de los vehículos relativamente bajo encontrado, se necesitaría realizar mediciones más precisas de los comportamientos de las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx), de monóxido y dióxido de carbono (CO₂ y CO) y de hidrocarburos con equipos más especializados, por ejemplo con un banco de ensayos que permita acoplar el motor a un dinamómetro, aplicando las mediciones en estado estacionario y transitorio, con diferentes regímenes de giro (revoluciones por minuto). Estas mediciones se realizan bajo condiciones de aceleración controlada y con estándares de combustible y demás condiciones constantes, utilizando equipos especializados con tecnologías como la quimioluminiscencia, infrarrojo, electroquímicos, ionización y similares.

En cuanto a la prueba de análisis de aceite de los vehículos para revisar la afectación sobre el estado mecánico del automotor, se encuentra que el contenido de metales (aluminio, cobre, cromo, hierro, plomo y silicio) es inferior a 45,00 partes por millón (ppm) y que la viscosidad se mantiene en los estándares adecuados, lo que muestra que no existe daño en los componentes del motor o un desgaste anormal de sus componentes.

Conclusiones

No se encontró una disminución representativa de consumo de combustible en la ruta seleccionada, a diferencia de la promesa de venta de reducir el consumo de combustible en un 4 % del consumo por trayecto.

En cuanto a las emisiones contaminantes tenemos una reducción en el porcentaje de opacidad de los vehículos de 2 puntos porcentuales en promedio, equivalente a una reducción del 6,25 % con respecto a la situación *ex ante*. Se debe resaltar que la prueba de emisiones es una prueba estática y no mide el rendimiento del motor en ruta o cuando está en uso de su potencia cargado.

Dado este nivel de reducción de emisiones de gases contaminantes, sería interesante un análisis de viabilidad económica por parte de autoridades ambientales para determinar si una inversión con ayuda del Estado en este tipo de dispositivos se vería recompensada con la reducción en factores asociados a la salud y a la emisión de gases de efecto invernadero por parte de los vehículos de carga.

Con base a las pruebas realizadas en residuos de metales en el lubricante del motor no se muestra ningún deterioro a causa de la instalación y prueba de las válvulas en los motores.

Dado que el análisis experimental de la funcionalidad de la válvula de compensación de aire se aplicó solo en tres vehículos y en una ruta determinada, se recomienda realizar más pruebas en otro tipo de vehículos (tanto marcas, como clasificaciones de estos), otro tipo de rutas, con diferentes tipos de conducción y en otras condiciones de terreno.

De la misma manera, se recomienda realizar análisis comparativos con otro tipo de válvulas o complementos que busquen los mismos objetivos de ahorro de combustible y reducción de emisiones contaminantes,

incluyendo un análisis de eficiencia en los costos de inversión.

Referencias

- Bauer, J., Bektaş, T. and Crainic, T. G. (2017). Minimizing greenhouse gas emissions in intermodal freight transport: an application to rail service design. *Journal of the Operational Research Society*, 61(3), 530-542. <http://doi.org/10.1057/jors.2009.102>.
- Cárdenas, M., Gaviria, A. y Meléndez, M. (2005). *La infraestructura de transporte en Colombia*. Fedesarrollo.
- Chandrasekar, K., Sudhakar, S., Rajappan, R., Senthil, S. and Balu, P. (2022). Present developments and the reach of alternative fuel: A review. *Materials Today: Proceedings*, 51, 74-83. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.505>.
- Comas Martí, J., Tancrez, J.-S. and Seifert, R. (2015). Carbon footprint and responsiveness trade-offs in supply chain network design. *International Journal of Production Economics*, 166, 129-142. <http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.04.016>.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. DANE. (22 de enero de 2019). *Boletín técnico. Índice de Costos del Transporte de Carga por Carretera (ICTC). Diciembre de 2018*. <https://bit.ly/45NUcQ8>.
- Departamento Nacional de Planeación. DNP. (2020). *Encuesta Nacional Logística 2020*. <https://bit.ly/3WQKgRX>.
- García, C. (Comp.). (2016). El Acuerdo de París: así actuará Colombia frente al cambio climático. *WWF Colombia*. <https://onx.la/76271>.
- Gómez, M., González, V. y Fernández, A. (2016). El Acuerdo de París. Del compromiso a la acción. *Boletín Económico de ICE*, (3082), 3-14. <https://bit.ly/3WOnSIU>.
- Interamerican Development Bank. (2010). *The Age of Productivity: Transforming Economies from the Bottom Up*. Interamerican Development Bank.
- Kalghatgi, G. (2019). Development of Fuel/Engine Systems—The Way Forward to Sustainable Transport. *Engineering*, 5 (3), 510-518.
- Macharis, C., Melo, S., Woxenius, J. and van Lier, T. (2014). *Sustainable Logistics*. (Vol. 6). Emerald.
- Marulanda-Grisales, N. (2021). Mapping Trends in Strategic Management for Sustainable Production. *Producción + Limpia*, 16(2), 63-91. <https://onx.la/958d9>.
- Molano, R. (2013). *Ensayo. Las tecnologías verdes: un reto para el comercio internacional*. Universidad Militar Nueva Granada. <https://goo.su/UWxhU>.
- Mora, L. (2014). *Logística del transporte y distribución de carga*. ECOE. <https://goo.su/CT1TsF>.
- Moreno-Gamboa, F., Flórez-Serrano, E. G. y Moreno-Contreras, G. (2019). Influencia de productos de la hidrólisis en el desempeño de un

vehículo que opera con gasolina y gas natural en la altura. *INGE CUC*, 15(1), 89-98. <https://goo.su/IBkrCS>.

Rezvani, M. and Fathollahzadeh, Z. (2020). The impact of entrepreneurial marketing on innovative marketing performance in small- and medium-sized companies. *Journal of Strategic Marketing*, 28(2), 136-148. <https://bit.ly/3qt29dC>.

Rimkus, A., Vipartas, T., Kriaučiūnas, D., Matijošius, J. and Ragauskas, T. (2022). The Effect of Intake Valve Timing on Spark-Ignition Engine Performances Fueled by Natural Gas at Low Power. *Energies*, 15(2), 398. <https://doi.org/10.3390/en15020398>.

Rocha, B. y Echeverri, A. (2020). Alternativas de producción más limpia en calidad del aire para el sector alfarero, Sogamoso (Boyacá). *Producción + Limpia*, 15(2), 46-70. <http://revistas.unilasallista.edu.co/index.php/pl/article/view/2457/210210523>.

Shepherd, S., Pfaffenbichler, P. and Bielefeldt, C. (2019). Analysing the causes of long-distance travel in Europe—a system dynamics approach. *Transportmetrica B*, 7(1), 1130-1154. <https://goo.su/iOEEJ>.

United Nations. (2019). *The future is now. Science for achieving sustainable development. Global Sustainable Development Report 2019*. <https://goo.su/zU4HHO>.