

Análisis de gases de escape en motores de combustión Interna. Diagnóstico del estado del motor en talleres de mecánica automotriz

Exhaust gas analysis in internal combustion engines. Engine condition diagnosis in automotive repair shops

Aunay Antonio Huerta Fuenmayor

ORCID: 0009-0009-7517-448X

Instituto Superior Tecnológico 17 de Julio

aunay.850@ist17dejulio.edu.ec

Santiago Andrés Otero Potosi

ORCID: 0000-0002-3823-9522

Instituto Superior Tecnológico 17 de Julio

sotero@ist17dejulio.edu.ec

Resumen

El artículo examina las emisiones producidas por los motores de combustión interna en entornos urbanos, subrayando su efecto en la calidad del aire y la urgencia de disponer de herramientas objetivas para el diagnóstico en talleres de automóviles, el objetivo fue evaluar la cantidad de gases de escape en motores de combustión interna como método para diagnosticar el estado del motor en talleres automotrices, enfocándose en su importancia para entornos, se utilizó un enfoque cuantitativo de tipo descriptivo-correlacional, con una muestra aleatoria de 282 vehículos, empleando un analizador NDIR para la medición de CO, HC, NOx y lambda en condiciones controladas de ralentí y 2500 rpm, además de aplicar pruebas de chi-cuadrado y correlaciones de Pearson para identificar relaciones entre las emisiones, el estado del motor y los resultados de la inspección técnica vehicular donde los resultados indican diferencias notables en los niveles de contaminantes y lambda entre motores en óptimas condiciones, dañados y defectuosos, como correlaciones altas y consistentes entre CO, HC, NOx y lambda que apoyan su uso en conjunto como un sistema integrado de indicadores de diagnóstico. Se concluye que el análisis de gases de escape utilizando dispositivos NDIR es un método válido y efectivo para evaluar la situación del motor en talleres automotrices, con un significativo potencial para ser incluido en programas de mantenimiento preventivo y en políticas destinadas a reducir las emisiones y mejorar la calidad del aire en ciudades con un elevado número de vehículos.

Palabras clave: Diagnóstico de motores; análisis de escape; vehículos de transporte público; control de la contaminación al aire..

Abstract

This article examines the emissions produced by internal combustion engines in urban environments, highlighting their impact on air quality and the urgent need for objective diagnostic tools in automotive workshops. The objective of this study was to evaluate the quantity of exhaust gases emitted by internal combustion engines as a method for diagnosing engine condition in automotive repair shops, emphasizing their relevance in urban environments. A quantitative, descriptive–correlational approach was employed, using a random sample of 282 vehicles. An NDIR analyzer was used to measure CO, HC, NOx, and lambda under controlled conditions at idle and 2,500 rpm. Additionally, chi-square tests and Pearson correlation analyses were applied to identify relationships among emissions levels, engine condition, and vehicle technical inspection outcomes. The results indicate notable differences in pollutant and lambda levels among engines in optimal, damaged, and defective conditions, as well as strong and consistent correlations among CO, HC, NOx, and lambda, supporting their combined use as an integrated diagnostic indicator system. It is concluded that exhaust gas analysis using NDIR devices is a valid and effective method for assessing engine condition in automotive workshops, with

significant potential for inclusion in preventive maintenance programs and in policies aimed at reducing emissions and improving air quality in cities with a high number of vehicles.

Keywords: Engine diagnostics; exhaust gas analysis; public transport vehicles; air pollution control.

Introducción

Las emisiones generadas por los motores de combustión interna son una de las fuentes más significativas de contaminación al aire en las áreas urbanas y de exposición a gases perjudiciales para la salud de las personas, esto se debe especialmente a las contribuciones de monóxido de carbono, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y material en forma de partículas que provienen de los automóviles dedicados al transporte público (Viteri et al., 2023)

De acuerdo con López, (2024) la industria automotriz ha fomentado la utilización de analizadores de diferentes tipos de gases, dispositivos que permiten evaluar con precisión el proceso de combustión dentro del motor, estos equipos miden los niveles de gases como CO, CO₂, HC, O₂ y NO_x, los cuales se han convertido en una herramienta estándar para medir la efectividad de la combustión, mejorar la relación entre aire y combustible y diagnosticar problemas que aumentan las emisiones y el consumo de combustible.

De acuerdo con Mejía et al. (2024), estos autores indican que un método para la reducción de contaminantes producidos durante la combustión, puede ser la inclusión de datos técnicos y operativos en la revisión y mantenimiento del vehículo, permitiendo evaluar el estado del motor, además esto evidencia que los vehículos que no pasan la inspección vehicular pueden emitir más gases que aquellos que sí cumplen con las normas regulatorias, y deben de regular su estado para mitigar la emisión de gases nocivos al ambiente.

Como antecedente a la investigación se tiene a Puzdrowska (2025) que en su trabajo el autor propone un método de diagnóstico basado en la temperatura rápidamente variable de los gases de escape combinado con la medición de su composición (CO, CO₂, NO_x, etc.), como apoyo o alternativa a métodos clásicos de diagnóstico, el trabajo muestra que, dentro de un ciclo de trabajo del motor, la forma de la señal de temperatura y la variación de los componentes de los gases permiten identificar el estado de sistemas como el de alimentación de combustible y aire, reforzando el papel del análisis de gases como herramienta de diagnóstico paramétrica.

Por otra parte, Harach et al. (2023) indica que al asumir nuevas técnicas para conocer el estado de los motores de combustión a través de registros de (NO_x, CO, HC, CO₂, O₂, etc.) el autor revela que los patrones observados

en las emisiones de estos gases contaminantes permiten categorizar el estado del motor en buen estado, deteriorado o defectuoso.

Por otro lado, Mora (2025) en su investigación el autor analiza cómo ha cambiado la regulación de emisiones en vehículos en Ecuador en relación con el progreso tecnológico de los sistemas de inyección, además, desarrolla una campaña para medir los gases de escape (HC, CO, CO₂, NO_x, O₂) en automóviles que transitan por Ibarra, empleando analizadores de gases tanto en pruebas en reposo es decir, con el vehículo encendido pero sin movimiento, como en situaciones de funcionamiento.

Los resultados de las investigaciones señaladas permiten establecer una serie de patrones comparativos a través del uso de diferentes técnicas que permiten la evaluación de las condiciones de los motores para conocer su nivel de aceptación con los estándares de las normas establecidas para tal fin, en especial para la realización de diagnósticos de calidad vehicular (Turriago y Otero, 2025).

Es evidente que en las ciudades con mayor concentración de habitantes el parque vehicular se ve aumentado, las emisiones de los motores a combustión afectan la calidad del aire debido a las concentraciones de gases tóxicos como (HC, CO, CO₂, NO_x, O₂), esta realidad demanda controles por parte de las autoridades ambientales y de control de vehículos, lo que crea un desafío a los diferentes talleres automotrices de las ciudades para optimizar los diagnósticos y prácticas para garantizar el buen estado de los motores de los carros y controlar la emisión de gases al ambiente (Messaoudi et al., 2024).

Metodología

La metodología adopta un nivel descriptivo correlacional para evaluar el análisis de gases de escape en motores de combustión interna a gasolina en talleres automotrices de Ibarra, Ecuador, Polania et al., (2020), realizándose a partir de datos recopilados de vehículos con motor de combustión interna a gasolina ingresados a cinco talleres automotrices de la ciudad de Ibarra.

La población objetivo comprende 1.057 automóviles con motor de combustión interna a gasolina, registrados en cinco talleres de la ciudad de Ibarra, especializados en el análisis de gases de escape producidos durante su funcionamiento, a partir de esta población se calculó el tamaño muestral, considerando un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%, obteniéndose una muestra de 282 vehículos, seleccionados mediante un muestreo probabilístico (Otero-Potosi, 2026).

El instrumento principal aplicado es un analizador de gases de escape estandarizado (eg, modelo NDIR para CO, CO₂, HC, O₂, NO_x), homologado para revisión técnicas vehiculares como las usadas en ITV/MOT, midiendo

el coeficiente lambda para diagnosticar el estado del motor, se aplicará en condiciones de ralentí y aceleración controlada.

Se empleará prueba de chi-cuadrado (χ^2) para asociaciones entre niveles de gases y estado del motor (bueno/malo), y clasificación de Pearson para relaciones entre variables, se usó Software SPSS para la construcción y manejo de los datos, interpretando resultados con umbrales normativos (por ejemplo, CO <0,5% para aprobación), esto validará el análisis de gases como herramienta de diagnóstico precisa (Rosero-Montalvo et al., 2018).

Resultados

Tabla 1
Marca y uso de vehículos

Marca	Tipo de uso	Total de vehículos	%
Hyundai	Uso Público	94	34%
CHEVROLET	Uso Público	96	33%
KIA	Uso Público	72	26%
NISSAN	Uso Público	20	7%
TOTAL	Uso Público	282	100%

Nota: Elaborada a partir de datos obtenidos en cinco talleres automotrices.

En la tabla número 1, se puede observar que la flota evaluada se conforma por automóviles de uso público, y la distribución de marcas se encuentra bastante concentrada en cuatro fabricantes, esto permite describir el entorno de operación como mayormente urbano y de alta demanda (taxis u otros servicios), lo que se alinea con la necesidad de un diagnóstico exhaustivo del estado del motor a través del análisis de emisiones de escape, en la tabla de marca y uso de los vehículos el nivel porcentual dentro del estudio se distribuye de la siguiente manera, un 34% de vehículos Chevrolet, un 33% Hyundai, otro 26% son Kia y el restante 7% se representan en la marca Nissan, siendo 282 automóviles de uso público, esta concentración

en tres marcas predominantes indica una cierta uniformidad tecnológica (motores a gasolina de cilindrada similar), lo que simplifica la comparación de emisiones y el análisis estadístico posterior por marca.

Tabla 2
Emisiones por estado del motor

	Estado del motor	Nº	Porcentaje	Mínimo	Máximo	Percentil 50
CO_2500	Bueno	169	100,0%	1	0	0,23
	Defectuoso	42	100,0%	1	1	1,15
	Deterior	71	100,0%	0	1	0,60
HC_2500HC	Bueno	169	100,0%	21	117	65,26
	Defectuoso	42	100,0%	235	324	275,47
	Deterior	71	100,0%	124	218	170,74
NOx_2500	Bueno	169	100,0%	94	214	159,99
	Defectuoso	42	100,0%	232	333	283,35
	Deterior	71	100,0%	173	272	220,59
Lambda	Bueno	169	100,0%	1	1	1,01
	Defectuoso	42	100,0%	1	1	0,95
	Deterior	71	100,0%	1	1	0,98

Nota: *Elaborada a partir de datos obtenidos en cinco talleres automotrices.*

Los resultados presentes en la tabla 2, muestran en motores en buen estado, el percentil 50 de CO₂₅₀₀ es de 0,23%, lo que se encuentra dentro del rango anticipado para automóviles que cumplen con las regulaciones y funcionan con una mezcla más cercana a la estequiométrica, para los motores en mal estado, el percentil 50 aumenta a 0,60%, mientras que en los que tienen fallos se sitúa alrededor de 1,15%, indicando que la mayoría de estos vehículos exceden notablemente el límite de CO, lo que señala combustión rica y problemas con la mezcla o el encendido, como lo indican Harach et al. (2023), quienes mencionan que las emisiones de NO_x son influenciadas tanto por exceso de aire como por las condiciones de carga y el funcionamiento del sistema de inyección.

Respecto a HC₂₅₀₀ y NO_x₂₅₀₀ como indicadores de combustión incompleta, el percentil 50 para HC₂₅₀₀ sube de 65,26 ppm en motores en buen estado a 170,74 ppm en aquellos deteriorados y 275,47 ppm en los defectuosos, mostrando un aumento notable de los hidrocarburos no quemados con el empeoramiento del estado del motor.

En el caso de NO_x₂₅₀₀ se observa una tendencia similar, donde la mediana comienza en 159,99 ppm en motores buenos, aumenta a 220,59 ppm en los deteriorados y llega a 283,35 ppm en los defectuosos, sugiriendo condiciones de combustión más intensas y desajustes en la mezcla de aire y combustible y en el control de la temperatura de combustión, para Lambda refleja el estado de la combustión, con un percentil 50 de 1,01 en motores en buen estado, 0,98 en deteriorados y 0,95 en defectuosos, mostrando un cambio de una mezcla casi estequiométrica a combinaciones cada vez más ricas, de acuerdo con Mora (2025) quien señala que es a través de las emisiones de gases es que se puede clasificar el estado de los motores a través de algoritmos de aprendizaje automático y con estudios que demuestran que la interacción de varios contaminantes y lambda proporciona información suficiente para detectar fallas en la ignición, en la mezcla y en los sistemas de alimentación, subrayando la validez de la metodología sugerida para talleres automotrices.

Tabla 3

Resultados obtenidos a partir de los datos recopilados en cinco talleres automotrices de la ciudad de Ibarra.

	Condición del Vehículo			p-valor
	Aprobada	Condicional	Total	
Bueno	124	45	169	

ESTADO DEL MOTOR	Defectuoso	29	13	42	< 0,001
------------------	------------	----	----	----	---------

	Deteriorado	50	21	71
--	-------------	----	----	----

TOTAL		203	79	282
-------	--	-----	----	-----

Fuente: elaborado por el autor.

Los resultados presentes en el análisis de la tabla 3, permiten señalar que el valor de $\chi^2 = 282,00$ con $p < 0,001$ indica una conexión altamente significativa entre la condición del motor (Buena, Deteriorado, Defectuoso) criterios que fueron tomados de la Revisión Técnica Vehicular, y el cumplimiento de los criterios de emisiones establecidos, el patrón observado se alinea completamente con los datos sobre emisiones: los motores en buen estado muestran niveles de CO, HC, NOx y lambda que se encuentran dentro de los límites aceptables para la aprobación, mientras que los motores en mal estado y defectuosos exceden los niveles de CO y HC, lo que justifica su evaluación como condicional.

Este resultado expone que los gases de los motores de los vehículos, al ser analizados permite conocer el estado de los motores, permitiendo que se puedan realizar acciones preventivas de mantenimiento y reducir las cantidades de revisiones vehiculares fallidas, así Harach et al. (2023), plantean los autores que los patrones de emisiones para clasificación del estado de los motores, mantienen una articulación entre el estado técnico y la evaluación por gases de escape, relacionados con los estándares básicos de aprobación.

Tabla 4
Matriz de correlación de variables intervinientes

Variables		CO_2500	HC_2500	NOx_2500	Lambda
CO_2500	Correlación de Pearson	1	,917**	,815**	-,870**
	Sig. (bilateral)		,000	,000	,000
	N	282	282	282	282

HC_2500	Correlación de Pearson	,917**	1	,830**	-,877**
	Sig. (bilateral)	,000		,000	,000
	N	282	282	282	282
NOx_2500	Correlación de Pearson	,815**	,830**	1	-,786**
	Sig. (bilateral)	,000	,000		,000
	N	282	282	282	282
Lambda	Correlación de Pearson	-,870**	-,877**	-,786**	1
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000	
	N	282	282	282	282

Fuente: elaborado por el autor.

La matriz de correlación de las variables intervinientes revela una serie de vínculos sólidos significativos entre las variables de emisiones (CO_2500, HC_2500, NOx_2500) y el coeficiente lambda, lo que apoya la utilización combinada de estos elementos como indicadores del estado del motor, de acuerdo como se exponen los datos en la tabla número 4, CO_2500 muestra una correlación muy alta con HC_2500 ($r = 0,917$; $p < 0,001$) y una conexión considerable con NOx_2500 ($r = 0,815$; $p < 0,001$), además, HC_2500, mientras que también muestra una relación significativa con NOx_2500 ($r = 0,830$; $p < 0,001$), lo que indica que cuando el motor opera bajo condiciones de combustión ineficiente (mezcla inapropiada, problemas de chispa, fallos en la inyección), las emisiones de CO, HC y NOx tienden a aumentar al mismo tiempo, lo que demuestra un deterioro generalizado en el proceso de combustión, más allá de cambios individuales en un solo contaminante.

Por otra parte, Lambda presenta una correlación negativa fuerte con CO, HC y NOx a 2500 rpm, todos con gran significado estadístico ($p <$

0,001), esto implica que cuando el indicador lambda desciende, se observa un aumento relevante en la concentración de los contaminantes CO, HC, Nox, lo cual hace referencia que este comportamiento respalda la función de lambda como un indicador global de la calidad de la combustión: valores cerca de 1 se relacionan con emisiones más bajas, mientras que desviaciones hacia mezclas ricas (de alta inyección de combustible) están asociadas con una combustión incompleta y una mayor cantidad de contaminantes ya que al no realizarse la explosión de toda la mezcla estequiométrica dentro del cilindro, esta tiende a salir en forma de gases de escape, lo cual es coherente con la teoría de combustión en motores de encendido por chispa que señalan (Puzdrowska & Nowicka, 2025).

Discusión

Los 282 vehículos que se incluyen en la investigación tienen características de transporte público (taxis), siendo sus marcas de fabricación Chevrolet, Hyundai, Kia y Nissan, esta similitud permite mantener condiciones similares de sometimiento del trabajo de los motores de estos vehículos de gasolina y de las orientaciones a generar grandes cantidades de gases contaminantes en el medio ambiente de la ciudad de Ibarra.

Uno de los hallazgos principales del estudio señala que los talleres mecánicos evaluados utilizan procedimientos muy eficientes para determinar el estado del motor de los diferentes automóviles que recurren mediante el análisis de gases de escape, método que también puede ser usado como una herramienta para la gestión ambiental en áreas de alta concurrencia de vehículos, facilitando así la categorización y asegurando el cumplimiento de las normas regulatorias, de acuerdo con lo planteado por Harach et al. (2023), estos autores indican que los patrones de emisiones obtenidos en las inspecciones técnicas permiten clasificar los motores en distintas categorías de salud mecánica con gran precisión posterior a la revisión vehicular.

Otro hallazgo fue la relación de la condición del motor y el análisis de los gases de escape se infiere esta clasificación, se direcciona con las normativas vigentes de aprobación, se acepta la aplicación del analizador NDIR como una herramienta preventiva para indicar rechazos o aprobación de los motores en vehículos públicos, este hallazgo se relaciona con lo planteado por Caiza et al. (2004), los autores exponen que la clasificación basada en emisiones está completamente acorde con el criterio externo de referencia que se refleja en la revisión técnica del vehículo, manteniendo el indicador de validez de la investigación, de igual manera Zhigui et al. (2024) indican que la distinción entre vehículos "aceptables" y "no aceptables" se obtiene al combinar criterios normativos (umbrales de CO y HC) donde los motores que exceden los límites de emisiones tienden a mostrar también signos de desgaste mecánico.

La matriz de evaluación revela conexiones muy fuertes entre CO, HC y

NOx, así como correlaciones negativas de gran importancia con lambda, confirmando que estas variables constituyen un sistema interconectado de indicadores de eficiencia en la combustión, estos hallazgos se relacionan con el estudio de Puzdrowska y Nowicka, (2025), sobre diagnóstico de motores diésel y de gasolina, similares en que la combinación de las concentraciones de gases y otros indicadores, como lambda y opacidad, facilitan la identificación de problemas en la mezcla, inyección e ignición de los vehículos sin requerir otros métodos, también Mora, (2025) en su investigación sobre pruebas estáticas de emisiones en vehículos de gasolina han identificado patrones con similitudes de incremento de CO, HC y NOx en automóviles con mantenimientos insuficientes o realizados con muy poca frecuencia, lo que apoya la relevancia de los hallazgos para los entornos urbanos del sector.

Conclusiones

- ✓ El uso de un analizador NDIR para medir gases de escape es un método válido para evaluar el desempeño del motor en talleres de automóviles, logrando así el objetivo principal de analizar su aplicación como herramienta diagnóstica, donde la medición de los niveles de CO, HC, NOx y lambda permite diferenciar claramente entre motores en buen estado, deteriorados y en mal estado, estos resultados validan que la calidad de la combustión se refleja de manera consistente en la composición de los gases, facilitando la identificación de problemas relacionados con la mezcla de aire y combustible, así como con la ignición y los sistemas de inyección.
- ✓ El estado del motor y las emisiones producidas por estos vehículos tienen un alta relación, lo cual indica que el uso del análisis de gases se puede utilizar como una herramienta efectiva de uso preventivo para mejorar los procedimientos de mantenimiento en los talleres automotrices donde se aplique, además, también tenemos como dato relevante la relación estadística entre CO, HC y NOx y su relación negativa con el factor lambda permite considerar estas variables como indicadores confiables para el diagnóstico del motor.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias bibliográficas

López, G. (2024). *Estimación de emisiones contaminantes basada en los datos de la Revisión Técnica vehicular de la ciudad de Loja*. <https://>

- Mejía Saldarriaga, J. F., Moreano Alvarado, M. E., & Rodríguez Gámez, M. (2024). Marco Regulatorio Internacional para promover el uso del vehículo eléctrico y su potencial aplicación en Ecuador. *MQRInvestigar*, 8(3), 745–767. <https://doi.org/10.56048/mqr20225.8.3.2024.745-767>
- Messaoudi, M., Ramajeyam, S., Otero-Potosi, S. A., Caiza-Quishpe, L., Dixit, C. K., & Singh, D. P. (2024). Analysis of hybrid, electric and fuel cell vehicles - A detailed study of cutting edge technology. *AIP Conference Proceedings*, 2937(1). <https://doi.org/10.1063/5.0218202/3306333>
- Mora, D. (2025). *Análisis de la evolución de la normativa emisiones vehiculares en Ecuador asociado al avance tecnológico de sistemas de inyección de motores de encendido provocado* [Universidad Técnica del Norte]. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/16911>
- Otero-Potosi, S. A. (2026). *Metodología de la investigación científica dirigida a estudiantes de Institutos Tecnológicos: Un enfoque basado en el formato IMRYD* (1st ed., Vol. 1). Atena Editora. <https://doi.org/10.22533/at.ed.475262002>
- Polania, C., Cardona, F., Castañeda, G., Vargas, I., Calvache, O., & Abanto, W. (2020). *Investigación Cuantitativa & Cualitativa*. <https://repositorio.uniajc.edu.co/handle/uniajc/596>
- Puzdrowska, P. (2025). Diagnosis of marine internal combustion engines by means of rapidly variable temperature and composition of exhaust gas as an alternative or support for currently used diagnostic methods. *Combustion Engines*, 200(1), 19–30. <https://doi.org/10.19206/CE-193951>
- Puzdrowska, P., & Nowicka, W. (2025). Analysis of the Possibility of Using Exhaust Gas Composition in the Diagnosis of a Diesel Engine. *Scientific Journal of Gdynia Maritime University*, (134), 40–55. <https://doi.org/10.26408/134.03>
- Rosero-Montalvo, P. D., Godoy-Trujillo, P., Flores-Bosmediano, E., Carrascal-Garcia, J., Otero-Potosi, S., Benitez-Pereira, H., & Peluffo-Ordoñez, D. H. (2018). Sign Language Recognition Based on Intelligent Glove Using Machine Learning Techniques. *2018 IEEE 3rd Ecuador Technical Chapters Meeting, ETCM 2018*. <https://doi.org/10.1109/ETCM.2018.8580268>
- Turriago-Rosero, N., & Otero-Potosi, S. (2025). Análisis de las percepciones de los propietarios de vehículos respecto a la incidencia del mantenimiento preventivo en las emisiones de gases contaminantes. *STUDIES IN ENGINEERING AND EXACT SCIENCES*, 6(2), e18737. <https://doi.org/10.54021/seesv6n2-007>

Viteri, R., Borge, R., Paredes, M., & Pérez, M. A. (2023). A high resolution vehicular emissions inventory for Ecuador using the IVE modelling system. *Chemosphere*, 315, 137634. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137634>