

Evaluación de dos analizadores de gases para la medición de emisiones en vehículos a gasolina durante la revisión técnica vehicular

Evaluation of two gas analyzers for measuring emissions from gasoline-powered vehicles during vehicle inspections

Milton Quinga Morales¹, Javier Solís Santamaría¹, Rodrigo Moreno Pallares¹,
Ángel Quevedo Ríos¹

¹Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 060155;

milton.solis@esPOCH.edu.ec; rodrigo.moreno@esPOCH.edu.ec; angel.quevedo@esPOCH.edu.ec

*Correspondencia: milton.quina@esPOCH.edu.ec

Citación: Quinga, M.; Solís, J.; Moreno, R. & Quevedo, A., (2026). Evaluación de dos analizadores de gases para la medición de emisiones en vehículos a gasolina durante la revisión técnica vehicular. *Novasinerugia*. 9(1). 103-116.

<https://doi.org/10.37135/ns.01.17.06>

Recibido: 11 junio 2025

Aceptado: 03 septiembre 2025

Publicado: 08 enero 2026

Novasinerugia

ISSN: 2631-2654

Resumen: La contaminación vehicular constituye un factor determinante en la degradación ambiental y la afectación a la salud pública, por lo que la medición precisa de emisiones gaseosas es esencial en la Revisión Técnica Vehicular (RTV). Este estudio comparó el desempeño de dos analizadores de gases, uno homologado y otro no homologado, utilizados en un Centro de Revisión Técnica Vehicular (CRTV) en Ecuador. Se evaluaron las concentraciones de CO, CO₂, O₂ y HC en un total de 242 vehículos con motor a gasolina, bajo condiciones de ralentí y 2500 revoluciones por minuto. Se aplicaron pruebas estadísticas para determinar diferencias significativas entre los equipos. Los resultados evidenciaron discrepancias marcadas en las mediciones de CO, CO₂ y O₂, mientras que para HC las lecturas fueron comparables. El analizador no homologado subestimó el CO en ralentí en un 27,8 %, y sobrestimó el CO₂ en un 18,4 % bajo ambas condiciones. Las mediciones de O₂ presentaron una desviación estándar tres veces mayor respecto al equipo homologado ($\pm 0,71$ % vs. $\pm 0,23$ %), indicando una alta variabilidad. Estos hallazgos destacan la necesidad de utilizar exclusivamente equipos homologados para garantizar la validez técnica de las inspecciones vehiculares. La investigación aporta evidencia empírica que respalda el fortalecimiento de la normativa técnica en Ecuador, promoviendo procedimientos de control ambiental más precisos, transparentes y confiables.

Palabras clave: Análisis de gases; Control ambiental; Emisiones contaminantes; Equipos homologados; Revisión técnica vehicular.

Abstract: Vehicle pollution is a major contributor to environmental degradation and public health risks, making accurate gas emission measurements essential in Vehicle Technical Inspection (VTI). This study compares the performance of two gas analyzers, one homologated and one non-homologated, used in a Vehicle Technical Inspection Center (VTIC) in Ecuador. A total of 242 gasoline-powered vehicles were evaluated under idle and 2500 revolutions per minute (rpm) conditions. Statistical tests were applied to assess significant differences between the two devices. The results revealed marked discrepancies for CO, CO₂, and O₂, while HC measurements showed acceptable consistency. The non-certified analyzer underestimated CO under idle conditions by 27.8%, and overestimated CO₂ by 18.4% in both scenarios. O₂ measurements presented a standard deviation three times greater than the certified device's ($\pm 0.71\%$ vs. $\pm 0.23\%$), indicating high variability. These findings underscore the need for exclusively homologated equipment to ensure technical reliability in emission inspections. This research provides empirical evidence supporting improving technical regulations and inspection protocols in Ecuador, contributing to more accurate, transparent, and effective environmental control mechanisms.

Keywords: Emission analysis; Environmental control; Emissions contaminants; Homologated equipment; Vehicle technical inspection.



Copyright: 2026 derechos otorgados por los autores a Novasinerugia.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de una licencia de Creative Commons Attribution (CC BY NC).

(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introducción

La contaminación vehicular es una de las principales fuentes de degradación ambiental urbana, debido a la emisión de gases contaminantes que incluyen monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos no quemados (HC) y partículas en suspensión (PM) generados por motores de combustión interna, especialmente en vehículos a gasolina [1], [2]. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), estas emisiones contribuyen al deterioro de la calidad del aire y al aumento de enfermedades respiratorias [3].

En este contexto, la Revisión Técnica Vehicular (RTV) se erige como una medida fundamental para controlar y minimizar el impacto ambiental de los vehículos en circulación [4]. A nivel internacional, normas como la UNECE Regulation No. 83, la ISO 3930 y los lineamientos de la Organización Internacional de Metrología Legal (OIML) regulan el uso de equipos homologados y calibrados para garantizar mediciones precisas y repetibles [5], [6]. Países como Alemania, España y Chile han desarrollado estándares técnicos estrictos que exigen la utilización de equipos homologados, calibrados periódicamente y sometidos a auditorías externas para asegurar la transparencia y trazabilidad de las mediciones [7] regulados por organismos como la Organización Internacional de Metrología Legal (OIML) y la International Organization for Standardization (ISO), que aseguran la precisión, exactitud y repetibilidad de las mediciones [8].

En Ecuador, la regulación técnica y legal para la RTV está contenida en la resolución No. 025-ANT-DIR-2019, expedida por la Agencia Nacional de Regulación y Control del Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial (ANT), de allí nace la creación de Centros de Revisión Técnica Vehicular (CRTV) a nivel nacional [9]. Esta normativa establece la obligatoriedad del uso de equipos homologados y certificados por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) para la medición de emisiones, siguiendo protocolos normativos y técnicos establecidos, entre los que destacan la norma NTE INEN 2203:2000 para la determinación de concentración de gases en condiciones de operación vehicular [10].

Los analizadores homologados emplean tecnologías como la espectroscopía infrarroja no dispersiva (NDIR) y celdas electroquímicas, dependen del cumplimiento de estándares técnicos. Estudios internacionales evidencian discrepancias entre las mediciones de emisiones obtenidas con diferentes tipos de analizadores, como equipos homologados y no homologados. A nivel global, el International Council on Clean Transportation (ICCT, 2017) documentó que las emisiones reales de CO₂ y NO_x en vehículos Euro 6 exceden las cifras en pruebas de laboratorio, lo que implica que los métodos y equipos de medición necesitan ser rigurosamente validados y actualizados.

Por ejemplo, Figueroa et al. [11] realizaron una comparación entre analizadores de gases portátiles y estacionarios en Colombia, encontrando diferencias significativas en la calibración, sensibilidad y mantenimiento de los equipos. De igual forma, Montero-Salgado [12] en España, reportaron que los equipos no homologados tendían a sobreestimar HC y CO, llevando a decisiones erróneas en la validación técnica vehicular.

En Latinoamérica, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2020) ha señalado que la falta de homologación y certificación de equipos en varios países limita la

efectividad de las inspecciones vehiculares y la implementación de políticas ambientales. En Ecuador, aunque existen reportes técnicos internos que advierten inconsistencias entre equipos homologados y no homologados, la literatura científica pública es escasa, lo que genera un vacío en la validación empírica de los equipos utilizados en CRTV, principalmente en aquellos implementados antes de la resolución No. 025-ANT-DIR-2019. Este vacío limita la validación técnica del control ambiental vehicular y evidencia la necesidad de estudios que permitan contrastar el desempeño de diferentes tecnologías bajo estándares verificables.

En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo comparar las mediciones de gases contaminantes entre un analizador homologado (MET 6.1) y uno no homologado (MGT5) en un Centro de Revisión Técnica Vehicular (CRTV) en Ecuador. Se busca identificar discrepancias estadísticas en las lecturas de CO, CO₂, O₂ y HC bajo condiciones de ralentí y 2500 rpm, con base en estándares técnicos nacionales. La hipótesis plantea que existen diferencias significativas entre los equipos, lo que afectaría la validez técnica del proceso de inspección. Este trabajo pretende aportar evidencia empírica para fortalecer la normativa vigente y promover un control ambiental más riguroso y confiable.

2. Metodología

El presente estudio adoptó un enfoque cuantitativo, de tipo comparativo y con diseño experimental no controlado, orientado a evaluar la confiabilidad de los resultados obtenidos por dos analizadores de gases distintos: uno certificado conforme a normativa nacional (homologado) y otro operativo sin homologación oficial. Ambos equipos fueron empleados en la medición de emisiones vehiculares en condiciones operativas reales, con el objetivo de identificar diferencias estadísticamente significativas en las concentraciones de CO, dióxido de carbono CO₂, oxígeno O₂ e hidrocarburos no quemados HC, registradas durante la inspección técnica de vehículos con motor a gasolina en un CRTV.

2.1. Materiales utilizados

La investigación se desarrolló en el Centro de Revisión Técnica Vehicular de la Empresa Pública Mancomunada de Tránsito de Tungurahua (EPMTT), ubicado en el cantón San Pedro de Pelileo, a una altitud de 2454 metros sobre el nivel del mar. Para la toma de datos se emplearon dos analizadores de gases:

Equipo A: homologado, con certificado de calibración vigente emitido por entidad acreditada.

Equipo B: no homologado, con certificado de calibración emitido por proveedor privado.

Ambos analizadores funcionan bajo el principio de espectroscopía infrarroja no dispersiva (NDIR) para detectar CO, CO₂ y HC, y utilizan celdas electroquímicas para la medición de O₂. Están integrados a una plataforma digital de gestión y emplean gases patrón certificados (Global Calibration Gases LLC, ISO/IEC 17025:2017) para su calibración periódica. El uso de gases patrón garantiza la trazabilidad metrológica y permite mantener la precisión del sistema de medición durante el periodo de pruebas.

2.2. Configuración experimental y procedimiento

El estudio se desarrolló entre septiembre y diciembre de 2022. Se seleccionó una de las líneas de inspección destinadas exclusivamente a vehículos livianos con motor de gasolina. Esta línea fue equipada con ambos analizadores en configuración paralela para permitir mediciones simultáneas bajo condiciones operativas idénticas. Se evaluaron 242 vehículos, elegidos de manera consecutiva conforme al flujo diario, respetando criterios de inclusión: funcionamiento del motor en régimen estable, ausencia de fugas en el sistema de escape y temperatura de operación normal.

Antes de cada medición, se verificaron las condiciones técnicas del vehículo de acuerdo con la norma NTE INEN 2203:2000. Las sondas de ambos analizadores fueron introducidas simultáneamente en el tubo de escape, y se colocó una pinza inductiva ("trigger") para registrar las revoluciones por minuto (rpm). Se realizaron dos corridas experimentales por vehículo: una en condición de ralentí (vehículo detenido, motor encendido en mínimo régimen) y otra a 2500 rpm, siguiendo el protocolo técnico estandarizado del CRTV.

Durante todo el procedimiento se respetaron las condiciones ambientales del laboratorio de inspección y se evitaron interferencias externas. El personal técnico ejecutó rutinas de autocalibración para ambos equipos antes de cada jornada de medición, garantizando la consistencia de los datos. Esta estrategia de medición simultánea elimina el sesgo por variabilidad intervehicular y permite una comparación directa entre los dispositivos evaluados.

2.3. Protocolo de prueba

El CRTV en estudio dispone de cuatro líneas de revisión vehicular, diseñadas para distintos tipos de unidades motorizadas. Para el presente trabajo, se asignó una línea dedicada exclusivamente al análisis de emisiones en vehículos livianos con motor de gasolina. Ambos analizadores fueron instalados de manera controlada en una estructura modular sin revelar sus marcas ni especificaciones comerciales durante la operación, conforme al principio de objetividad técnica.

Cada ensayo incluyó los siguientes pasos secuenciales:

1. Confirmación de condiciones técnicas del vehículo.
2. Verificación de calibración de los analizadores.
3. Instalación simultánea de sondas en el sistema de escape.
4. Medición en régimen de ralentí.
5. Medición a 2500 rpm.
6. Registro y respaldo digital de las lecturas.

Este protocolo se aplicó de forma uniforme a todos los vehículos, asegurando la reproducibilidad del procedimiento y minimizando variaciones externas. La disposición de los equipos se ilustra en la Figura 1, que representa el montaje técnico realizado en la línea de inspección.



Figura 1. Disposición de los instrumentos de medición en una línea de RTV.

2.4. *Análisis estadístico*

Los datos fueron organizados en Microsoft Excel y procesados mediante IBM SPSS Statistics v25. Se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para cada variable (CO , CO_2 , O_2 , HC) con un nivel de significancia del 5 %. Los resultados mostraron que las distribuciones de CO , CO_2 y O_2 fueron normales ($p > 0.05$), mientras que la variable HC no lo fue ($p < 0.05$).

Por lo tanto, se utilizó la prueba t para muestras relacionadas (paired samples t -test) para CO , CO_2 y O_2 , y la prueba no paramétrica Wilcoxon para HC . Este enfoque estadístico permitió contrastar adecuadamente los datos y evaluar si las diferencias entre ambos dispositivos eran estadísticamente significativas.

3. **Resultados**

Los resultados obtenidos se agrupan por tipo de gas medido, en función de las lecturas registradas con los dos analizadores comparados: uno homologado y otro no homologado. Para cada contaminante, se evaluaron las diferencias bajo dos condiciones de operación: ralentí y 2500 revoluciones por minuto (rpm). El análisis estadístico se realizó mediante una prueba t para muestras relacionadas, con un nivel de confianza del 95 %. Se verificó previamente el cumplimiento de la normalidad para justificar el uso de pruebas paramétricas. Las figuras correspondientes permiten observar la dispersión y comportamiento de los datos.

3.1. *Monóxido de carbono (CO)*

El CO es un gas altamente tóxico producto de la combustión incompleta de hidrocarburos. En condición de ralentí, se identificó una diferencia estadísticamente significativa entre ambos equipos, observándose que el analizador homologado registró valores más altos y consistentes, mientras que el no homologado tendió a subestimar las concentraciones (Figura 2). Esta diferencia puede atribuirse a limitaciones en la sensibilidad

del sensor o a una calibración menos precisa en el equipo no homologado, especialmente en flujos de gases inestables a bajas revoluciones.

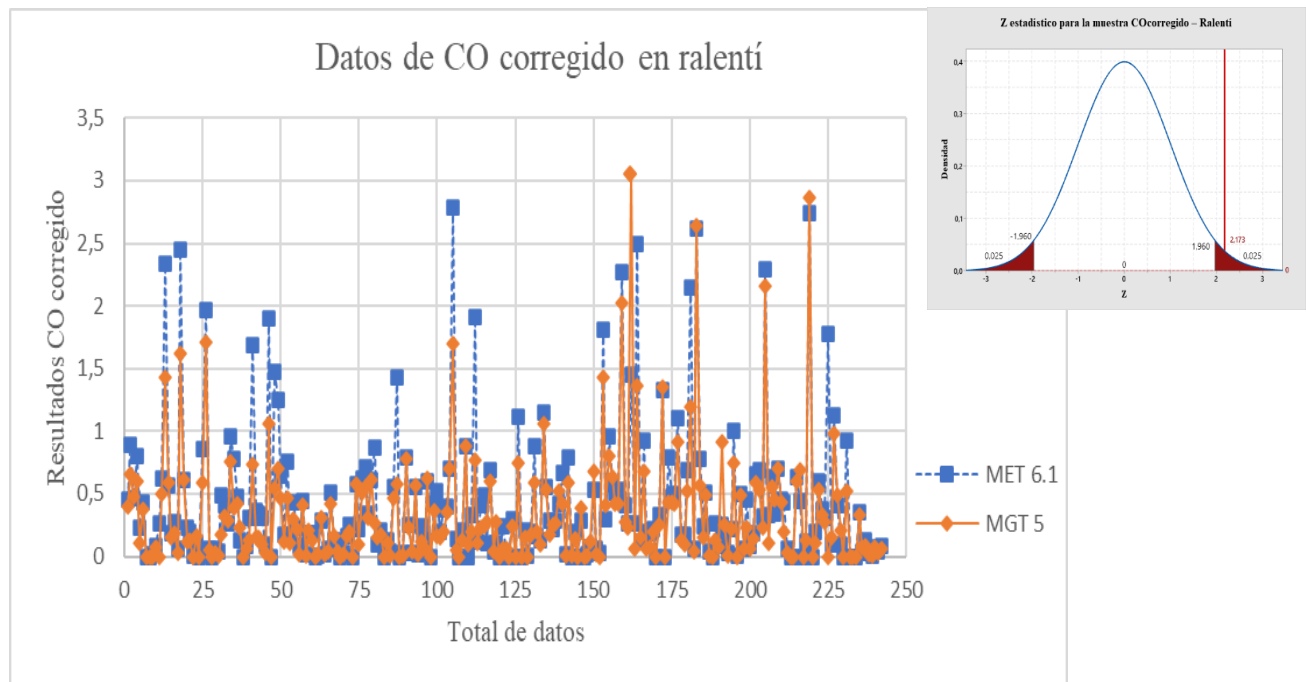


Figura 2. Gráfica comparativa en las mediciones de CO en ralentí.

Por el contrario, en la condición de 2500 rpm no se observaron diferencias estadísticamente significativas (Figura 3), lo que sugiere que, bajo regímenes dinámicos, donde la mezcla aire-combustible es más estable, la respuesta de ambos dispositivos tiende a converger.

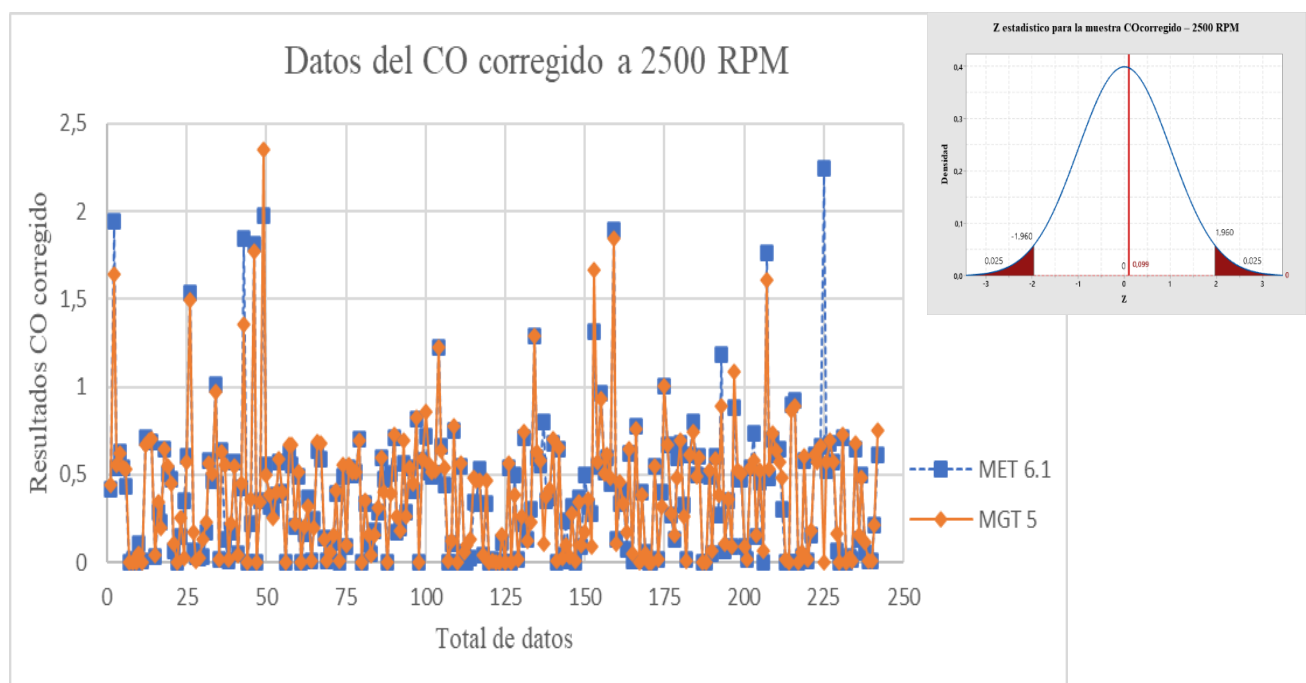


Figura 3. Gráfica comparativa en las mediciones de CO a 2500 rpm.

3.2. Dióxido de carbono (CO_2)

El CO_2 es el principal subproducto de la combustión completa y un indicador directo de la eficiencia térmica del motor. Tanto en ralentí como a 2500 rpm, las lecturas del analizador no homologado fueron consistentemente más altas que las del homologado (Figuras 4 y 5), con diferencias estadísticamente significativas en ambas condiciones.

Esta sobrestimación sistemática podría derivarse de una calibración inadecuada o de la sensibilidad excesiva del sensor infrarrojo del equipo no homologado, generando valores por encima de los reales. Tales desviaciones podrían comprometer la interpretación técnica del rendimiento del motor o conducir a decisiones erróneas en contextos de mantenimiento preventivo.

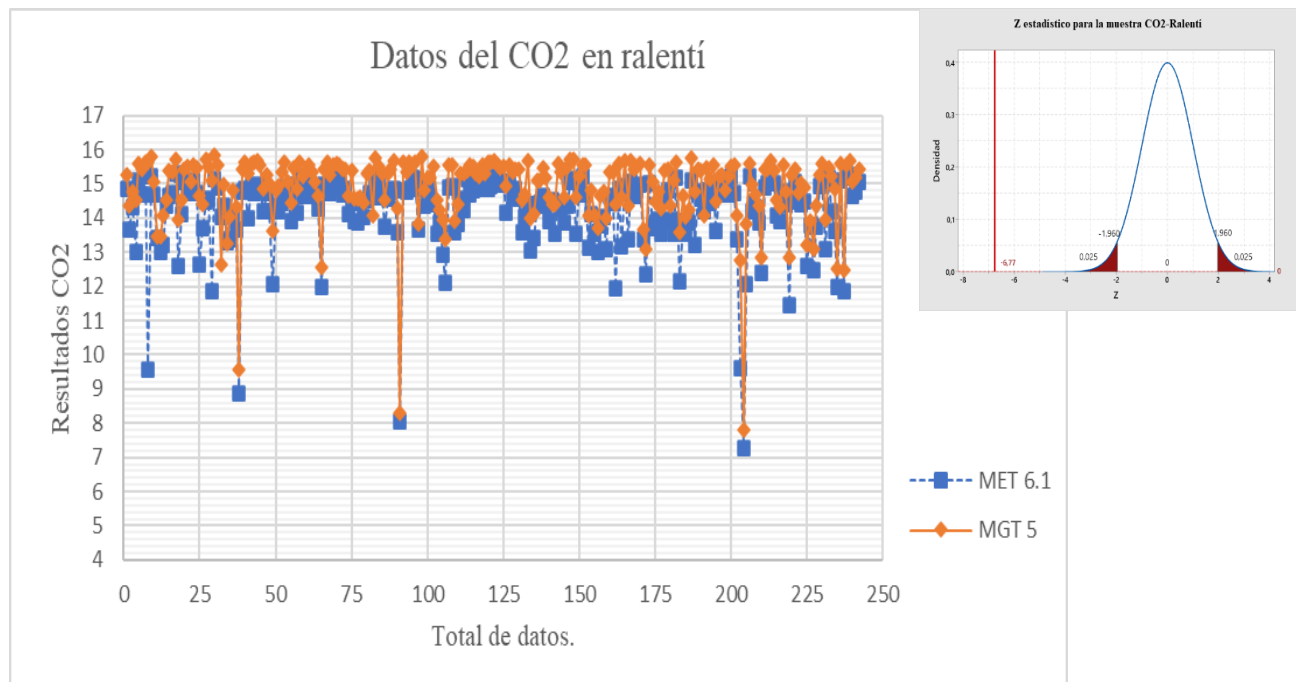


Figura 4. Gráfica comparativa en las mediciones de CO_2 en ralentí.

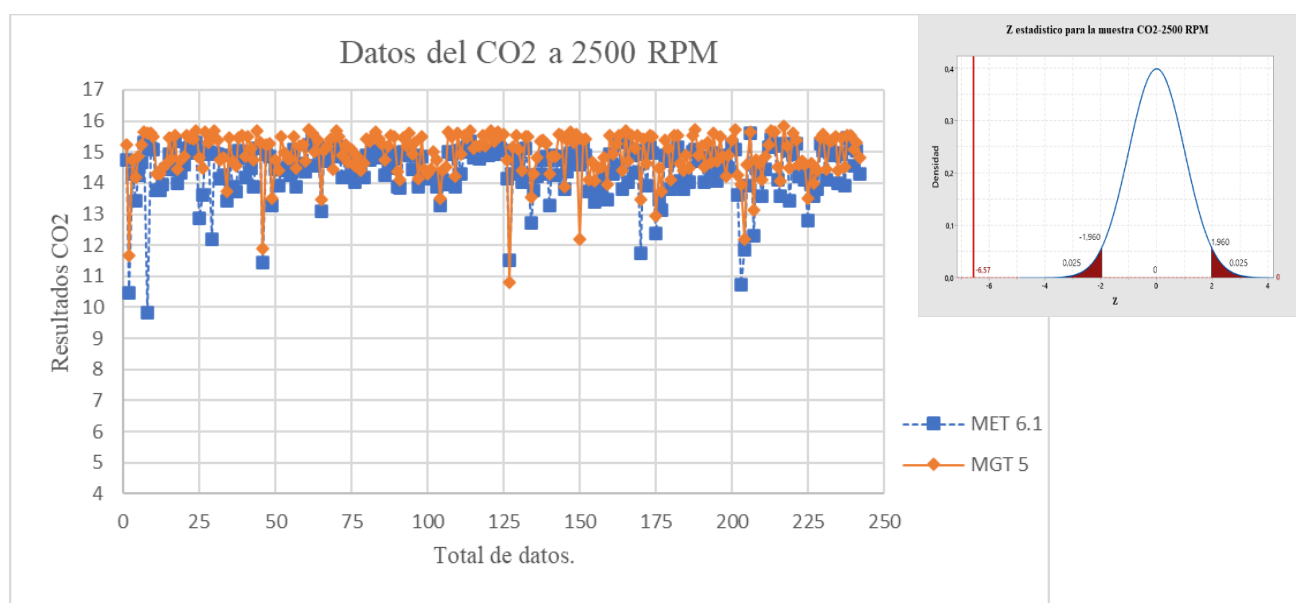


Figura 5. Gráfica comparativa en las mediciones de CO_2 a 2500 rpm.

3.3. Oxígeno (O_2)

En condiciones de operación normal, el oxígeno residual en los gases de escape debe ser mínimo. Su presencia elevada puede asociarse a mezclas pobres o a fugas en el sistema de escape. En ralentí, las mediciones entre ambos analizadores presentaron diferencias estadísticamente significativas, siendo el equipo homologado el que mostró lecturas más estables y dentro de los rangos esperados (Figura 6). El equipo no homologado exhibió una alta dispersión en los datos, sugiriendo posibles interferencias o errores sistemáticos.

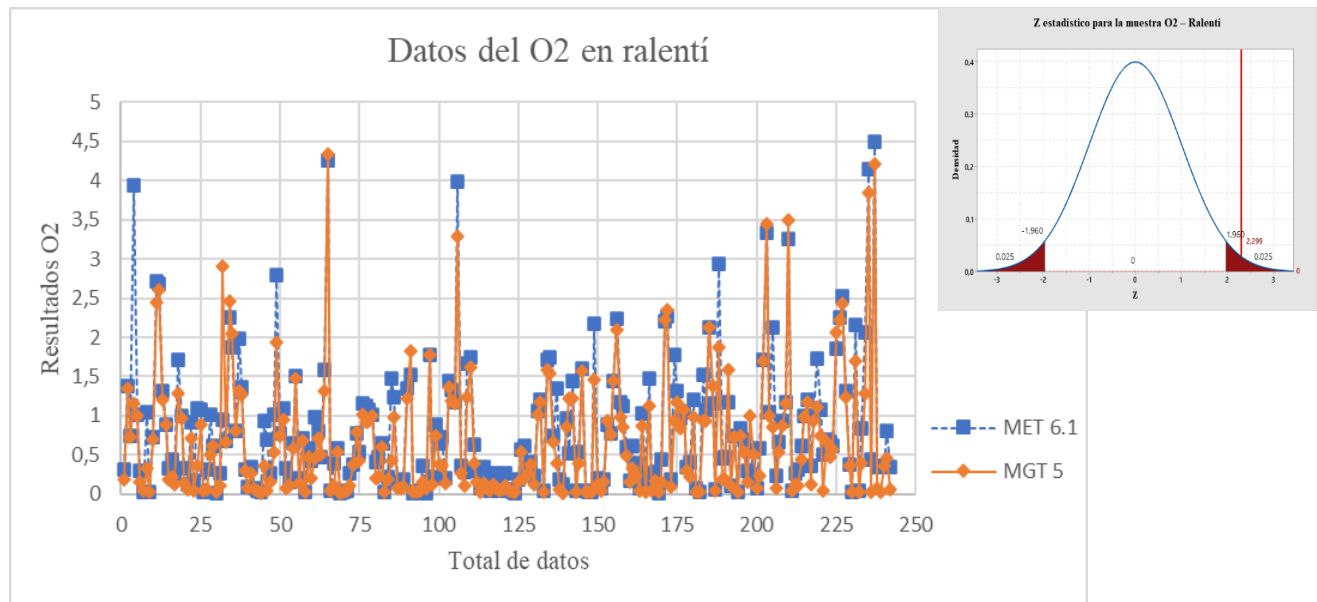


Figura 6. Gráfica comparativa en las mediciones de O2 en ralentí

Este comportamiento se mantuvo a 2500 rpm (Figura 7), lo que confirma la variabilidad del equipo no homologado y su posible imprecisión al medir este gas, crítico para el diagnóstico de la eficiencia de combustión.

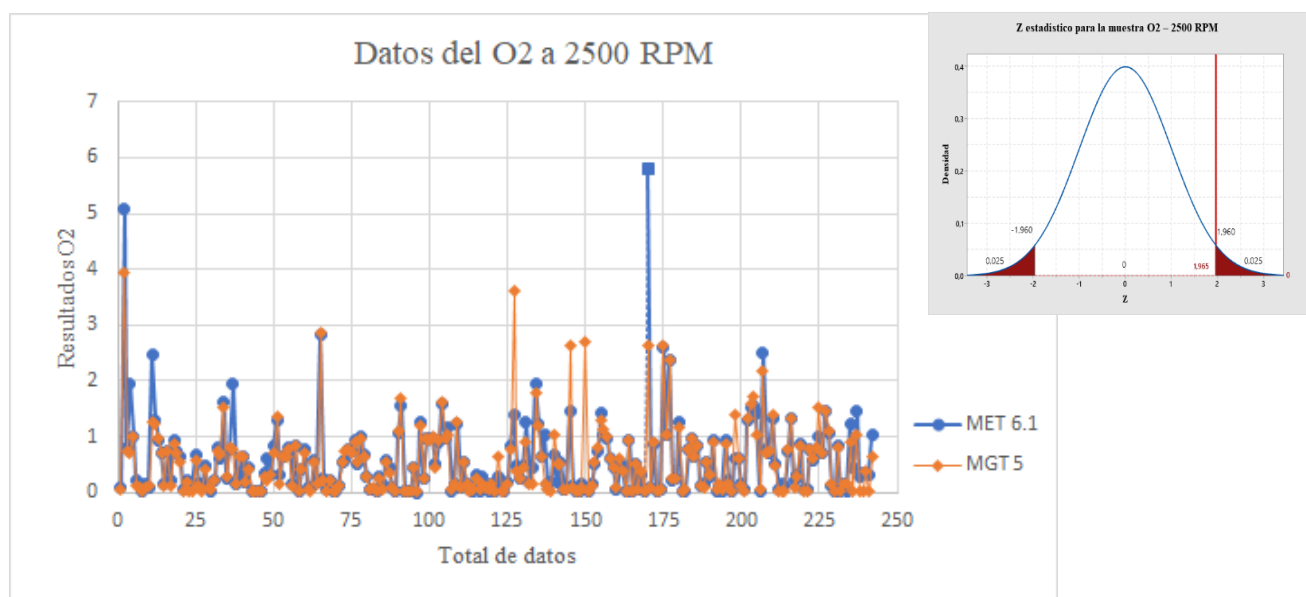


Figura 7. Gráfica comparativa en las mediciones de O2 a 2500 rpm.

3.4. Hidrocarburos no quemados (HC)

Los HC resultan de una combustión incompleta y son sensibles al estado del motor y del sistema de inyección. En este estudio, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los dos analizadores en ninguna de las condiciones evaluadas. Como muestran las Figuras 8 y 9, las mediciones de HC en ralentí y a 2500 rpm fueron comparables y siguieron una tendencia similar, con una reducción general a mayores revoluciones, en coherencia con el aumento de la eficiencia térmica.

Este resultado sugiere que, para este tipo de gas, el equipo no homologado puede ofrecer resultados aceptables, aunque su desempeño en otras variables críticas genera dudas sobre su idoneidad integral.

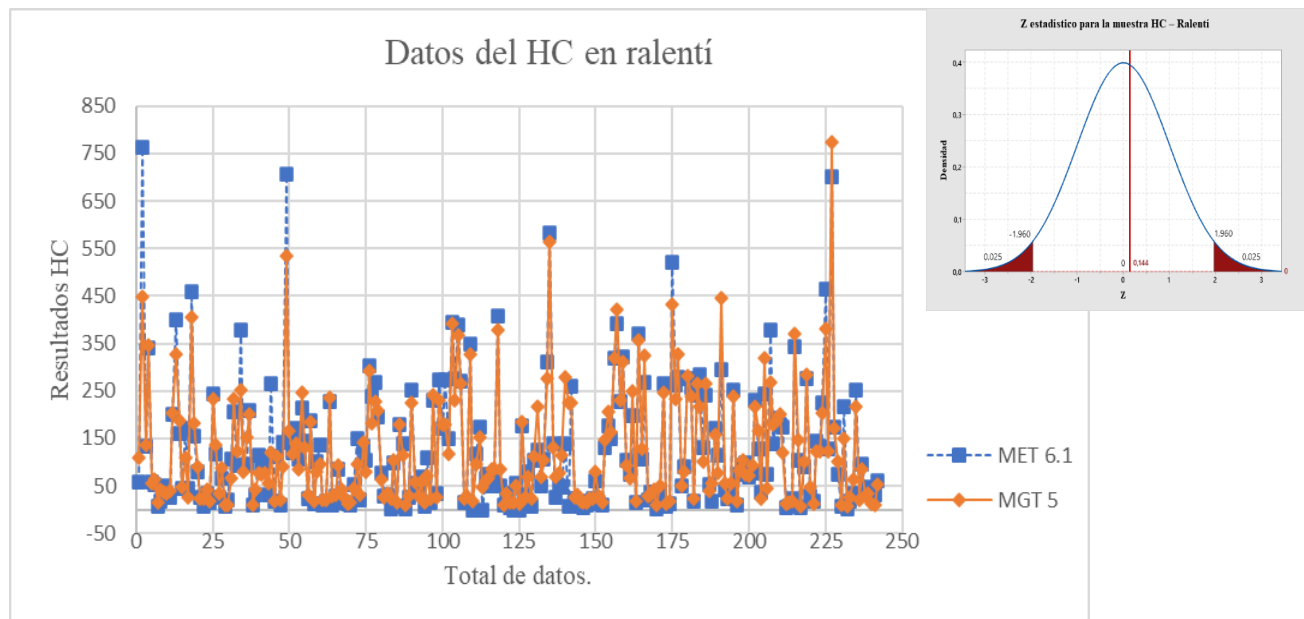


Figura 8. Gráfica comparativa en las mediciones de HC en ralentí.

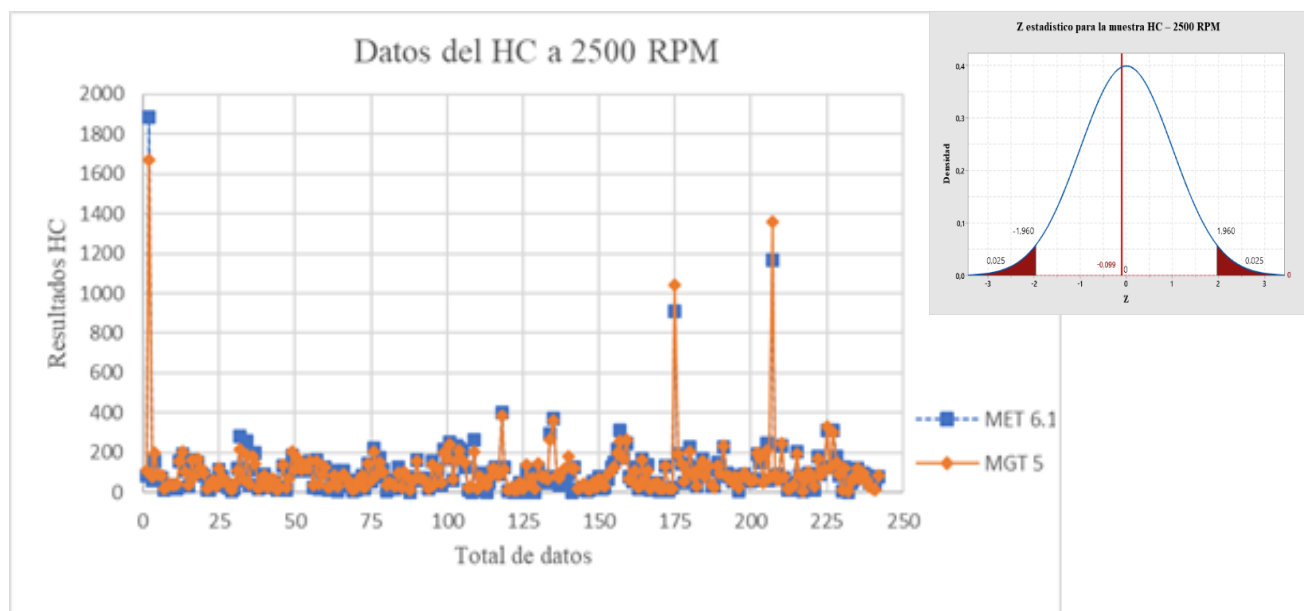


Figura 9. Gráfica comparativa en las mediciones de HC a 2500 rpm.

La Tabla 1 resume los principales hallazgos del estudio, detallando la existencia de diferencias significativas entre los dispositivos para cada gas medido y condición operativa. Se identificaron discrepancias relevantes en las lecturas de CO, CO₂ y O₂, mientras que para HC la concordancia fue aceptable.

Tabla 1. Comparación de resultados por tipo de gas entre equipos analizados

GAS MEDIDO	RALENTÍ ¿DIFERENCIA SIGNIFICATIVA?	2500 RPM ¿DIFERENCIA SIGNIFICATIVA?	TENDENCIA OBSERVADA
CO	Si	No	El equipo no homologado subestima en ralentí
CO ₂	Si	Si	El equipo no homologado sobrestima en ambas condiciones
O ₂	Si	Si	Alta variabilidad en el equipo no homologado
HC	No	No	Concordancia aceptable entre ambos equipos

Nota: CO: Monóxido de carbono; CO₂: Dióxido de carbono; O₂: Oxígeno; HC: Hidrocarburos no quemados; rpm: revoluciones por minuto.

Basado en las condiciones de los estudios, la Figura 10 muestra un montaje experimental implementado en el CRTV, donde los analizadores fueron instalados en configuración paralela mediante un divisor de flujo que permitió extraer de manera simultánea y homogénea los gases del escape.

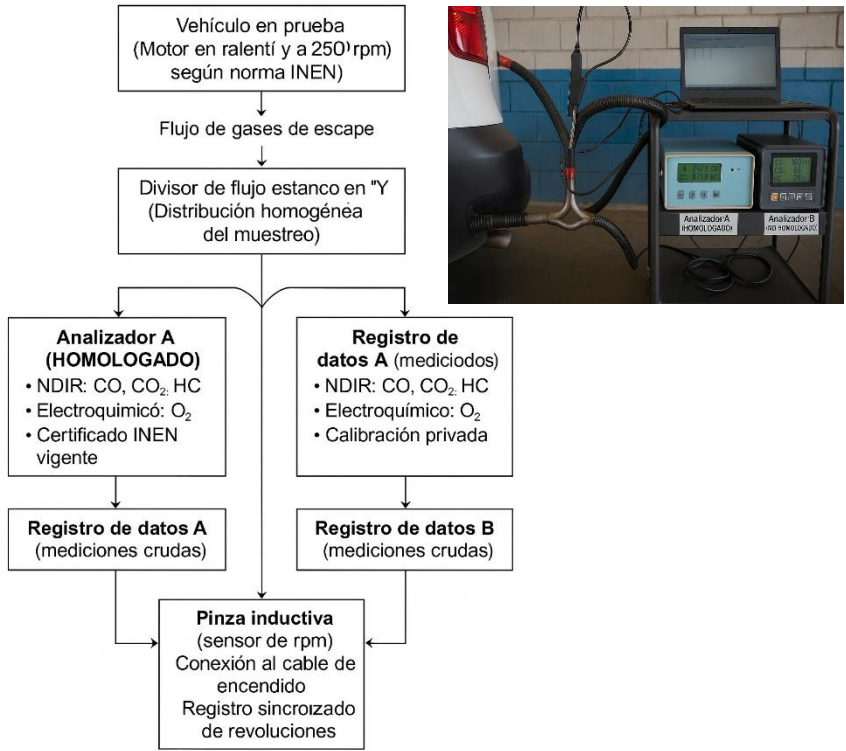


Figura 10. Montaje experimental en el CRTV.

Las sondas de muestreo se introdujeron a igual profundidad, se empleó una pinza inductiva para registrar las rpm del motor en tiempo real, lo que aseguró la reproducibilidad del ensayo

y eliminó la variabilidad intervehicular donde se comparó el desempeño del analizador homologado y no homologado.

4. Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio revelan diferencias significativas en la medición de gases contaminantes entre el analizador homologado (MET 6.1) y el equipo no homologado (MGT5), particularmente en la medición de CO, CO₂ y O, mientras que para HC se observó una concordancia aceptable. Estos hallazgos son relevantes en el contexto del control ambiental vehicular, ya que confirman la hipótesis de trabajo respecto a la existencia de discrepancias técnicas que pueden afectar la objetividad y precisión de las inspecciones realizadas en los CRTV.

En el caso del CO, la subestimación sistemática observada en el equipo no homologado bajo condición de ralentí puede inducir a una falsa percepción de conformidad ambiental, comprometiendo la efectividad del control de emisiones. Esta diferencia tiende a disminuir a 2500 rpm, lo cual es consistente con lo señalado por Montero-Salgado [12] y Figueroa et al. [11] quienes reportaron que sensores de menor calidad tienden a presentar menor sensibilidad en regímenes de baja estabilidad del motor, afectando la precisión de las mediciones.

Respecto al CO₂, la sobrestimación sistemática por parte del equipo no homologado, tanto en ralentí como en régimen acelerado, sugiere problemas de calibración o una sensibilidad excesiva del sensor infrarrojo. Esto coincide con lo documentado por el ICCT (2017), que señala que ciertos dispositivos no calibrados tienden a registrar valores inconsistentes frente a los reales, especialmente bajo condiciones de alto flujo gaseoso. Dado que el CO₂ es un gas indicador clave de la eficiencia de la combustión, estas desviaciones podrían generar interpretaciones erróneas sobre el rendimiento del motor o sobre su impacto ambiental real [13].

La alta variabilidad encontrada en las mediciones de O₂ por parte del equipo no homologado refuerza la necesidad de contar con sistemas de medición rigurosamente calibrados. El oxígeno residual en los gases de escape, en condiciones normales de operación, debería mantenerse dentro de límites estables, por lo que una dispersión significativa, como la observada, puede comprometer el diagnóstico de mezcla aire-combustible y la detección de fugas o fallos en el sistema de escape. Esta conclusión es coherente con lo expuesto por Kučerová et al. [14] quienes resaltan que el análisis del O₂ es altamente sensible a errores sistemáticos cuando no se dispone de sensores con respuesta estabilizada y baja interferencia cruzada.

En contraste, las mediciones de HC no mostraron diferencias significativas entre los equipos, lo cual podría deberse a que los sensores para este tipo de gas poseen una menor variabilidad técnica en su configuración de lectura, o a que la variable en sí misma es menos sensible a los factores de calibración del equipo. No obstante, esta coincidencia no invalida la necesidad de homologación, ya que la validación técnica debe ser integral y no selectiva por tipo de gas. Esta afirmación se ve respaldada por Fernández et al. [15] quienes advierten que la confiabilidad de una inspección técnica debe evaluarse desde una perspectiva multidimensional, considerando la interacción entre gases, sensores, condiciones de prueba y normativas vigentes.

En general, los resultados se alinean con estudios desarrollados en América Latina y Europa que advierten sobre las implicaciones de utilizar equipos sin homologación técnica en procesos de inspección vehicular. En países donde la normativa es débil o carece de mecanismos efectivos de verificación, la calidad de las mediciones puede verse seriamente comprometida, afectando tanto la credibilidad institucional como la salud pública [8], [9].

En consecuencia, este estudio aporta evidencia empírica que respalda la necesidad de exigir el uso exclusivo de equipos homologados en los CRTV del Ecuador, como condición necesaria para asegurar la transparencia, confiabilidad y validez de los datos registrados. Adicionalmente, se plantea la posibilidad de establecer protocolos de revisión, mantenimiento y recalibración periódica para todos los equipos operativos, especialmente aquellos que fueron adquiridos antes de la entrada en vigor de normativas recientes.

Desde una perspectiva técnica y de política pública, los resultados refuerzan la importancia de destinar recursos a la modernización tecnológica de los CRTV, así como a la formación continua del personal operativo. Solo a través de una articulación coherente entre tecnología, normativa y capacitación se podrá garantizar que las inspecciones vehiculares no solo cumplan con los requerimientos formales, sino que constituyan un mecanismo efectivo de protección ambiental, salud colectiva y gobernanza técnica.

5. Conclusiones

El presente estudio evidenció diferencias estadísticamente significativas en la medición de gases contaminantes entre un analizador homologado y otro no homologado, evaluados en condiciones reales de operación en un CRTV en Ecuador. Estas discrepancias fueron más notorias en las mediciones de CO, CO₂ y O₂, mientras que para HC se observó una concordancia técnica aceptable.

Los hallazgos obtenidos confirman la hipótesis planteada y refuerzan la necesidad de garantizar el uso de equipos homologados para asegurar la calidad, precisión y estabilidad de las mediciones realizadas durante las inspecciones vehiculares. El empleo de dispositivos no homologados puede inducir a errores de diagnóstico y afectar la validez del control ambiental, comprometiendo tanto la gestión de emisiones como el cumplimiento de los estándares normativos vigentes.

A partir de estos resultados, las futuras investigaciones en Ecuador deberían centrarse en evaluar la estabilidad de los analizadores en el tiempo, integrar modelos de inteligencia artificial y comparar las tecnologías como NDIR y FTIR. Se concluye que el uso de analizadores homologados debe ser una exigencia técnica y legal en los CRTV del país, respaldada por políticas regulatorias actualizadas. Asimismo, se recomienda la implementación de protocolos rigurosos de calibración, mantenimiento preventivo y verificación metrológica periódica para todos los equipos operativos, con el fin de asegurar la trazabilidad y transparencia del proceso de inspección.

Finalmente, este estudio proporciona una base empírica robusta que puede ser utilizada por las autoridades regulatorias, instituciones técnicas y entidades de control para tomar decisiones fundamentadas en torno a la modernización del sistema de revisión vehicular. Sus aportes resultan clave para fortalecer la gestión ambiental, proteger la salud pública y

consolidar la confianza ciudadana en los mecanismos de control técnico vehicular en el Ecuador.

Contribuciones de los autores

Conceptualización, Q.M. y S.J.; metodología, Q.M.; software, M.R.; validación, Q.M., S.J. y Q.A.; análisis formal, M.R.; investigación, Q.M.; recursos, Q.A.; curación de datos, S.J.; redacción—preparación del borrador original, Q.M.; redacción—revisión y edición, S.J. y Q.A.; visualización, M.R.; supervisión, Q.A.; administración del proyecto, Q.M.; adquisición de financiamiento, S.J. Todos los autores han leído y aprobado la versión publicada del manuscrito.

Agradecimientos

Un agradecimiento especial a los técnicos y directivos de la Empresa Pública Mancomunada de Tránsito de Tungurahua (EPMTT) que brindaron la accesibilidad necesaria para el desarrollo del estudio y la recopilación de datos.

Conflicto de Interés

Los autores no reportan conflictos de interés relacionados con esta investigación.

Declaración sobre el uso de Inteligencia Artificial Generativa

En la preparación de este artículo, se utilizó herramienta de IA para mejorar la redacción del artículo en su fase final. Todo el contenido fue revisado y aprobado por los autores.

Referencias

- [1] J. M. Velepucha-Sánchez y L. F. Sabando-Piguabe, “Emisiones de gases contaminantes en vehículos livianos a gasolina”, *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, vol. 4, no. 8, pp. 78-95, jul. 2021, doi: 10.46296/ig.v4i8.0024.
- [2] C. A. Zhigui Loja, N. A. Jiménez Negrón, y E. F. Espinoza Castillo, “Análisis de gases de escape de vehículos mediante la prueba estática”, *TECH*, no. 2, jun. 2021, doi: 10.59540/tech.vi02.13.
- [3] World Health Organization, “Ambient (outdoor) air pollution”. WHO. Accedido: 28, may. 2025. [En línea]. Disponible en: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- [4] V. D. Pesantes Menéndez, C. A. Ortega Troncoso, J. C. Rubio Terán, y G. G. Reyes Campaña, “Análisis de las normativas locales e internacionales en control de emisiones contaminantes en el DMQ”, *DC*, vol. 7, no. 5, pp. 971-992, sep. 2021, doi: 10.3390/vehicles4040050.
- [5] European Environment Agency, “Air quality in Europe – 2020 report”. Accedido: 1, jun. 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/air-quality-in-europe-2020-report>
- [6] United States Environmental Protection Agency, “Vehicle and Fuel Emissions Testing”. Accedido: 1, jun. 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.epa.gov/vehicle-and-fuel-emissions-testing>
- [7] E. G. Valencia Rodriguez, S. E. Vivanco España, K. D. Moposita Ortega, J. P. Egas Garcia, y D. R. Moposita Ortega, “Technical and economic feasibility of a vehicle inspection center in the canton of Quevedo”, *Ciencia Latina*, vol. 7, no. 2, pp. 3030-3050, abr. 2023, doi: 10.37811/cl_rcm.v7i2.5549.
- [8] X. Liu, S. Cheng, H. Liu, S. Hu, D. Zhang, y H. Ning, “A survey on gas sensing technology”, *Sensors*, vol. 12, no. 7, pp. 9635-9665, jul. 2012, doi: 10.3390/s120709635.

- [9] Á. S. Martínez-Narváez, J. C. Erazo-Álvarez, C. I. Narváez-Zurita, y C. A. Erazo-Álvarez, "Modelo de Gestión para un Centro de revisión técnico vehicular", *CM*, vol. 7, no. 12, pp. 807-837, ene. 2021, doi: 10.35381/cm.v7i12.450.
- [10] Agencia Nacional de Tránsito, "Resolución No. 025-ANT-DIR-2019," ANT, Quito, Ecuador. [En línea]. Disponible en: https://guachapala.gob.ec/wp-content/uploads/2024/04/10-RESOLUCION_No_025-DIR-2019-ANT.pdf
- [11] J. Rocha-Figueroa, D. Zambrano, A. Portilla, G. Erazo, G. Torres y E. Llanes-Cedeño, "Análisis de Gases del Motor de un Vehículo a través de Pruebas Estáticas y Dinámicas", *Revista Ciencia Unemi*, vol. 11, no. 28, pp. 97–108, oct. 2018, doi: 10.29076/issn.2528-7737vol11iss28.2018pp97-108p
- [12] J. P. Montero-Salgado, J. Muñoz-Sanz, B. Arenas-Ramírez y F. Franco-Martínez. (24 Nov. 2022) Análisis de la legislación de las Inspecciones Técnicas Vehiculares en Ecuador. Comparación con España. Presentado en XV Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica. [En línea]. Doi: 10.5944/bicim2022.135.
- [13] J. Z. Curi Aguirre, E. F. Ventocilla Estrella, A. Marcelo Manrique, y E. V. Ramos Peñaloza, "Contaminación del Dióxido de Carbono por el Servicio Auto Colectivo en la Ciudad de Cerro de Pasco", *Ciencia Latina*, vol. 7, no. 6, pp. 3797-3810, ene. 2024, doi: 10.37811/cl_rcm.v7i6.8958.
- [14] K. Kučerová, Z. Machala, y K. Hensel, "Transient Spark Discharge Generated in Various N₂/O₂ Gas Mixtures: Reactive Species in the Gas and Water and Their Antibacterial Effects", *Plasma Chem Plasma Process*, vol. 40, no. 3, pp. 749-773, abr. 2020, doi: 10.1007/s11090-020-10082-2.
- [15] E. Fernández, A. Ortego, A. Valero, y J. J. Alba, "Suitability Assessment of NO_x Emissions Measurements with PTI Equipment", *Vehicles*, vol. 4, no. 4, pp. 917-941, sep. 2022, doi: 10.3390/vehicles4040050.