



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v12i1.4772>

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

***Análisis comparativo de analizadores de gases homologados y convencionales en la
medición de emisiones vehiculares bajo condiciones reales de operación***

***Comparative analysis of approved and conventional gas analyzers in the
measurement of vehicle emissions under real operating conditions***

***Análise comparativa de analisadores de gases homologados e convencionais na
medição de emissões de veículos em condições reais de funcionamento***

Iván Fernando Sinaluisa Lozano ^I
ivan.sinaluisa@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-9786-1397>

Juan Carlos Rocha Hoyos ^{II}
juan.rocha@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-5637-1052>

Ángel José Quevedo Rios ^{III}
angel.quevedo@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-2304-018X>

Correspondencia: ivan.sinaluisa@esPOCH.edu.ec

***Recibido:** 23 de enero de 2026 ***Aceptado:** 27 de febrero de 2026 *** Publicado:** 27 de marzo de 2026

- I. Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- II. Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- III. Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.

Análisis comparativo de analizadores de gases homologados y convencionales en la medición de emisiones
vehiculares bajo condiciones reales de operación

Resumen

La gestión de las emisiones vehiculares en ciudades de gran altitud enfrenta desafíos metroológicos críticos debido a la baja presión atmosférica y la reducción de la densidad del oxígeno, factores que alteran tanto el proceso de combustión como la precisión de los instrumentos de medición. Este estudio evalúa las discrepancias de medición entre un analizador de gases homologado (Capelec CAP 3600 GO, OIML Clase 0) y un dispositivo portátil convencional (Kane 360+) a una altitud de 2750 m s.n.m. en la región andina. A través de un análisis comparativo de parámetros críticos (CO, CO₂, O₂, HC, y factor (λ)) en una muestra de 30 vehículos a gasolina, se emplearon métodos de correlación de Pearson y concordancia de Bland–Altman para determinar la equivalencia entre los equipos. Los resultados demuestran discrepancias significativas, especialmente en la medición de λ , donde el analizador homologado mantuvo lecturas estables (~20-21%), mientras que el equipo convencional exhibió una dispersión errática entre el 6% y el 25%. Esta divergencia se atribuye a la carencia de sistemas robustos de compensación barométrica activa en los dispositivos de menor gama, los cuales interpretan erróneamente la menor densidad del aire como una menor concentración del contaminante. Se concluye que el uso de tecnología certificada OIML Clase 0 es imperativo para garantizar la validez legal de las inspecciones técnicas vehiculares y asegurar la transparencia en los programas de fiscalización ambiental en zonas de altura.

Palabras Claves: Analizador de gases; Altitud; Emisiones vehiculares; Lambda; Revisión Técnica Vehicular.

Abstract

Vehicle emissions management in high-altitude cities faces critical metrological challenges due to low atmospheric pressure and reduced oxygen density, factors that alter both the combustion process and the accuracy of measuring instruments. This study evaluates the measurement discrepancies between a certified gas analyzer (Capelec CAP 3600 GO, OIML Class 0) and a conventional portable device (Kane 360+) at an altitude of 2750 m above sea level in the Andean region. Through a comparative analysis of critical parameters (CO, CO₂, O₂, HC, and the λ factor) in a sample of 30 gasoline-powered vehicles, Pearson correlation and Bland-Altman concordance methods were used to determine the equivalence between the equipment. The results demonstrate significant discrepancies, especially in the measurement of λ , where the certified analyzer maintained stable readings (~20-21%), while the conventional equipment exhibited erratic dispersion

Análisis comparativo de analizadores de gases homologados y convencionales en la medición de emisiones
vehiculares bajo condiciones reales de operación

between 6% and 25%. This divergence is attributed to the lack of robust active barometric compensation systems in the lower-end devices, which misinterpret the lower air density as a lower concentration of the pollutant. It is concluded that the use of OIML Class 0 certified technology is imperative to guarantee the legal validity of vehicle technical inspections and ensure transparency in environmental monitoring programs in high-altitude areas.

Keywords: Gas analyzer; Altitude; Vehicle emissions; Lambda; Vehicle technical inspection.

Resumo

A gestão das emissões dos veículos nas cidades de altitude enfrenta desafios metrológicos críticos devido à baixa pressão atmosférica e à reduzida densidade de oxigénio, fatores que alteram tanto o processo de combustão como a precisão dos instrumentos de medição. Este estudo avalia as discrepâncias de medição entre um analisador de gases certificado (Capelec CAP 3600 GO, Classe 0 da OIML) e um dispositivo portátil convencional (Kane 360+) a uma altitude de 2750 m acima do nível do mar na região andina. Através de uma análise comparativa de parâmetros críticos (CO, CO₂, O₂, HC e o fator λ) numa amostra de 30 veículos movidos a gasolina, foram utilizados os métodos de correlação de Pearson e de concordância de Bland-Altman para determinar a equivalência entre os equipamentos. Os resultados demonstram discrepâncias significativas, especialmente na medição de [valor em falta], onde o analisador certificado manteve leituras estáveis (aproximadamente 20-21%), enquanto o equipamento convencional apresentou uma dispersão errática entre 6% e 25%. Esta divergência é atribuída à inexistência de sistemas robustos de compensação barométrica ativa nos dispositivos de gama inferior, que interpretam erradamente a menor densidade do ar como uma menor concentração do poluente. Conclui-se que a utilização de tecnologia com certificação OIML Classe 0 é essencial para garantir a validade legal das inspeções técnicas de veículos e assegurar a transparência nos programas de monitorização ambiental em zonas de altitude.

Palavras-chave: Analisador de gases; Altitude; Emissões veiculares; Lambda; Inspeção técnica de veículos.

Introducción

El crecimiento sostenido del parque automotor a nivel mundial ha incrementado significativamente las emisiones contaminantes asociadas al transporte terrestre, convirtiéndose en uno de los principales factores que afectan la calidad del aire urbano (Lei et al., 2024). Diversos estudios han demostrado

Análisis comparativo de analizadores de gases homologados y convencionales en la medición de emisiones vehiculares bajo condiciones reales de operación

que el transporte por carretera representa una fracción considerable de las emisiones globales de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos, incluyendo monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NOx) y dióxido de carbono (CO₂), los cuales contribuyen al deterioro ambiental y al cambio climático global (Giechaskiel & Clairotte, 2021; Johnson, 2016; Heywood, 2018; Xia et al., 2021). Estas emisiones también están estrechamente relacionadas con el incremento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares en áreas urbanas densamente pobladas (Giechaskiel & Clairotte, 2021).

Ante este escenario, diferentes organismos internacionales y agencias regulatorias han implementado normativas cada vez más estrictas para limitar las emisiones generadas por vehículos con motores de combustión interna. Regulaciones como las normas Euro en Europa y los estándares establecidos por la Environmental Protection Agency (EPA) en Estados Unidos establecen límites permisibles para las emisiones vehiculares y promueven el desarrollo de tecnologías avanzadas de medición y control de contaminantes (Giechaskiel et al., 2022; Franco et al., 2014; Fontaras et al., 2017). Estas regulaciones han impulsado la implementación de metodologías más representativas de las condiciones reales de operación, incorporando pruebas en carretera y sistemas de medición portátiles de emisiones (PEMS) para mejorar la precisión de los resultados (Giechaskiel et al., 2022a).

En este contexto, los programas de inspección técnica vehicular (ITV) o revisión técnica vehicular (RTV) constituyen una herramienta fundamental para garantizar el cumplimiento de las normativas ambientales y mantener el adecuado funcionamiento del parque automotor. Estos programas incluyen la medición de emisiones de escape como uno de los parámetros principales para evaluar la eficiencia del proceso de combustión y detectar fallas en los sistemas de control de emisiones (Bishop & Stedman, 2008; Carslaw & Rhys-Tyler, 2013). La medición precisa de estos gases permite identificar vehículos altamente contaminantes y contribuir a la reducción de emisiones en zonas urbanas (Kamińska & Urbański, 2025)

Desde el punto de vista tecnológico, los analizadores de gases de escape utilizados en el sector automotriz emplean diferentes principios de medición para determinar la concentración de contaminantes. Entre los métodos más utilizados se encuentran la espectroscopía infrarroja no dispersiva (NDIR) para la medición de CO y CO₂, la detección por ionización de llama (FID) para

Análisis comparativo de analizadores de gases homologados y convencionales en la medición de emisiones
vehiculares bajo condiciones reales de operación

hidrocarburos y los analizadores de quimioluminiscencia (CLD) para óxidos de nitrógeno (NOx) (Usami et al., 1982; Giechaskiel & Clairotte, 2021; Rodríguez et al., 2017). Estos sistemas permiten realizar mediciones precisas de la composición química de los gases de escape en motores de combustión interna, siendo ampliamente utilizados tanto en laboratorios de homologación como en centros de inspección técnica vehicular (Usami et al., 1982)

En los últimos años se ha observado un creciente interés en la utilización de sistemas portátiles de medición de emisiones (PEMS) y analizadores de gases compactos, los cuales permiten realizar mediciones directamente en condiciones reales de operación del vehículo (Leguísamo et al., 2020). Estos sistemas han demostrado ser capaces de proporcionar resultados comparables con los equipos de laboratorio cuando son adecuadamente calibrados, aunque pueden presentar mayores niveles de incertidumbre bajo determinadas condiciones ambientales (Giechaskiel et al., 2022; Dallmann et al., 2019; Baldino et al., 2015). La comparación entre equipos portátiles y analizadores de referencia constituye un tema de investigación relevante para validar su aplicación en programas de control de emisiones (Giechaskiel et al., 2022b)

Otro aspecto relevante en la medición de emisiones vehiculares es la influencia de las condiciones ambientales y geográficas en el desempeño de los sistemas de medición. Factores como la presión atmosférica, la temperatura y la altitud pueden afectar tanto el proceso de combustión del motor como la precisión de los sensores utilizados en los analizadores de gases (Heywood, 2018; Karavalakis et al., 2012). En ciudades ubicadas a gran altitud, la menor densidad del aire modifica la relación aire-combustible del motor, lo que puede generar variaciones en la composición de los gases de escape y en las mediciones obtenidas por los equipos de diagnóstico (Clark et al., 2016; Dallmann et al., 2019).

A pesar de los avances tecnológicos en los sistemas de medición de emisiones, aún existen desafíos relacionados con la comparabilidad de los resultados obtenidos por diferentes analizadores de gases (Dimaratos et al., 2019). Diversos estudios han reportado discrepancias entre instrumentos de laboratorio y equipos portátiles, especialmente cuando se evalúan bajas concentraciones de contaminantes o cuando las mediciones se realizan fuera de condiciones controladas (Giechaskiel et al., 2022; Suarez-Bertoa et al., 2019). Estas diferencias pueden influir en la evaluación del

Análisis comparativo de analizadores de gases homologados y convencionales en la medición de emisiones vehiculares bajo condiciones reales de operación

cumplimiento de las normativas ambientales y en la confiabilidad de los programas de inspección técnica vehicular (Fontaras et al., 2017; Baldino et al., 2015).

En este contexto, resulta necesario evaluar el desempeño metrológico de diferentes analizadores de gases utilizados en procesos de inspección vehicular, particularmente en regiones con condiciones atmosféricas especiales como las zonas de gran altitud. La comparación entre analizadores homologados y equipos portátiles permite identificar posibles desviaciones en las mediciones y determinar la confiabilidad de los resultados obtenidos en programas de control de emisiones (Chen et al., 2020; Giechaskiel et al., 2022).

En Ecuador, el control de emisiones contaminantes provenientes de vehículos automotores está regulado principalmente por las Normas Técnicas Ecuatorianas del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). Entre ellas destaca la NTE INEN 2204, la cual establece los límites máximos permisibles de emisiones producidas por vehículos con motores a gasolina que circulan en el país. Esta normativa es aplicada en los procesos de revisión técnica vehicular (RTV) con el fin de verificar que los vehículos en circulación cumplan con los estándares ambientales establecidos (INEN, 2017). La **Tabla 1** presenta los límites máximos permisibles de emisiones establecidos por la normativa ecuatoriana para vehículos con motor a gasolina durante la prueba estática de emisiones (INEN, 2017).

Tabla 1 Límites máximos permisibles de emisiones para vehículos a gasolina según la norma NTE INEN 2204

Año modelo del vehículo	CO (% volumen) 0–1500 msnm	CO (% volumen) 1500–3000 msnm	HC (ppm) 0–1500 msnm	HC (ppm) 1500–3000 msnm
2000 y posteriores	1.0	1.0	200	200
1990 – 1999	3.5	4.5	650	750
1989 y anteriores	5.5	6.5	1000	1200

Fuente: Adaptado de **Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2204**.

Análisis comparativo de analizadores de gases homologados y convencionales en la medición de emisiones vehiculares bajo condiciones reales de operación

Adicionalmente, la normativa ecuatoriana establece límites para emisiones medidas en pruebas dinámicas, expresadas en gramos por kilómetro (g/km) para contaminantes como CO, HC y NOx, particularmente para vehículos livianos y medianos. Por ejemplo, para vehículos livianos con motor a gasolina se establecen valores máximos aproximados de 2,1 g/km de CO, 0,25 g/km de HC y 0,62 g/km de NOx, valores que se encuentran alineados con estándares internacionales utilizados en los ciclos de prueba FTP-75 (INEN, 2017).

En el ámbito de la metrología y la validación de equipos de diagnóstico vehicular, la determinación de la equivalencia entre dos sistemas de medición requiere de un análisis estadístico robusto que trascienda la simple descripción de los datos. Para evaluar la relación, asociación y concordancia entre los analizadores homologados y convencionales, se emplean herramientas complementarias: los diagramas de dispersión, el coeficiente de correlación de Pearson y el método de Bland–Altman (Frontera Temuco & Manterola Delgado, 2018)

El objetivo de este estudio es comparar el desempeño de un analizador de gases homologado y un analizador portátil convencional utilizados en un centro de revisión técnica vehicular ubicado a 2750 m s.n.m. A través del análisis de parámetros como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), oxígeno (O₂), hidrocarburos (HC) y el coeficiente lambda (λ), se busca determinar las discrepancias existentes entre ambos sistemas de medición y analizar sus implicaciones para la confiabilidad de las evaluaciones de emisiones vehiculares en condiciones de gran altitud.

METODOLOGÍA

El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo con diseño experimental de mediciones pareadas cuyo objetivo metodológico fue determinar diferencias significativas en precisión, dispersión y estabilidad de las mediciones, considerando tanto el comportamiento en altas revoluciones como en régimen de ralentí, escenarios críticos en la evaluación de emisiones de motores a gasolina.(Giavarina, 2015).

El estudio se realizó en un Centro de Revisión Técnica Vehicular ubicado aproximadamente a 2750 m s.n.m., condición geográfica que resulta relevante debido a que la presión atmosférica y la densidad del aire influyen en el proceso de combustión de los motores de combustión interna.

Análisis comparativo de analizadores de gases homologados y convencionales en la medición de emisiones vehiculares bajo condiciones reales de operación

Los pasos que se siguieron para la ejecución de este estudio fueron como los que se detalla en la figura No. 1.



Figura 1 Metodología

2.1 Selección de equipos

Para la realización del estudio se utilizaron dos analizadores de gases de escape empleados en el sector automotriz. El primero corresponde a un analizador homologado Capelec CAP 3600 GO, diseñado para su utilización en centros de inspección técnica vehicular y que cumple con estándares internacionales de medición establecidos por la Organización Internacional de Metrología Legal (OIML R99) y la norma ISO 3930, los cuales establecen requisitos técnicos para analizadores de gases utilizados en vehículos de carretera. Estas certificaciones garantizan la trazabilidad metrológica y la precisión de las mediciones realizadas durante los procesos de inspección vehicular (OIML, 2008, p. 68).

El analizador Capelec emplea tecnología de infrarrojo no dispersivo (NDIR) para la medición de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) e hidrocarburos (HC), mientras que la medición de oxígeno (O₂) se realiza mediante sensores electroquímicos. La tecnología NDIR es ampliamente utilizada en analizadores de gases de combustión debido a su alta selectividad espectral y estabilidad en la medición de compuestos gaseosos presentes en los gases de escape de motores de combustión interna (Capelec, 2019).

Las principales características técnicas de ambos dispositivos se presentan en la **Tabla 2**, donde se comparan los rangos de medición, resolución, tiempos de respuesta y certificaciones normativas de cada equipo.

Análisis comparativo de analizadores de gases homologados y convencionales en la medición de emisiones vehiculares bajo condiciones reales de operación

Tabla 2 Especificaciones técnicas de los analizadores de gases utilizados en el estudio

Característica	Capelec CAP 3600 GO	Kane 360 Plus
Tipo de equipo	Analizador multigás homologado para diagnóstico e inspección técnica vehicular	Analizador portátil para diagnóstico automotriz
Principio de medición	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) para CO, CO ₂ y HC; sensor electroquímico para O ₂	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) para CO, CO ₂ y HC; sensor electroquímico para O ₂
Gases medidos	CO, CO ₂ , HC, O ₂ (opcional NO _x)	CO, CO ₂ , HC, O ₂
Rango de medición CO	0 – 15 % vol	0 – 10 % vol
Rango de medición CO₂	0 – 20 % vol	0 – 20 % vol
Rango de medición HC	0 – 10 000 ppm	0 – 10 000 ppm
Rango de medición O₂	0 – 25 % vol	0 – 21 % vol
Resolución CO	0.01 % vol	0.01 % vol
Resolución HC	1 ppm	1 ppm
Tiempo de respuesta	< 5 s	5 – 10 s
Tiempo de precalentamiento	< 9 min	5 – 10 min
Medición de λ (Lambda)	0 – 9.99	0 – 2
Rango de presión atmosférica	750 – 1150 mbar	compensación automática
Rango de temperatura de operación	–10 °C a 55 °C	0 °C a 45 °C
Normativas y certificaciones	OIML R99 Clase 0, ISO 3930, MID 2014/32/EU	Cumple especificaciones de diagnóstico automotriz
Aplicación principal	Centros de revisión técnica vehicular (CRTV / ITV)	Talleres automotrices y diagnóstico de emisiones
Alimentación	230 V AC	Batería / 110–220 V

Fuente: Adaptado de especificaciones técnicas del fabricante Capelec y manuales técnicos de analizadores de gases automotrices.

El segundo equipo evaluado corresponde a un analizador portátil de gases marca Kane 360 +, utilizado principalmente en talleres automotrices para diagnóstico de motores y evaluación rápida de emisiones. Aunque estos dispositivos presentan ventajas relacionadas con su portabilidad y facilidad de uso, diversos estudios han señalado que los analizadores portátiles pueden presentar mayores niveles de incertidumbre cuando se utilizan en condiciones ambientales variables o cuando no se aplican procedimientos adecuados de calibración y verificación.

Previo al inicio de las mediciones experimentales, ambos equipos fueron sometidos a procesos de verificación y calibración, siguiendo las recomendaciones del fabricante y los protocolos establecidos en los centros de inspección técnica vehicular.

2.2 Selección de la muestra

La muestra experimental estuvo compuesta por 30 vehículos con motor a gasolina, seleccionados de forma aleatoria entre los vehículos que acudieron al centro de revisión técnica vehicular durante el periodo de estudio, para cada vehículo se realizaron mediciones de emisiones utilizando ambos analizadores de gases de forma consecutiva, asegurando que las condiciones de operación del motor se mantuvieran constantes durante el proceso de medición. Este procedimiento permitió obtener pares de datos comparables para cada uno de los parámetros analizados

Las mediciones incluyeron CO (% vol), CO₂ (% vol), O₂ (% vol), HC (ppm) y factor lambda bajo dos condiciones operativas: ralentí estabilizado y 2500 rpm sin carga. Cada vehículo fue medido consecutivamente con ambos equipos, alternando el orden de medición para reducir sesgos térmicos.

2.3 Mediciones pareadas

Las mediciones de emisiones se realizaron siguiendo el procedimiento establecido en la **Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2204**, la cual establece los límites máximos permisibles de emisiones para vehículos con motor a gasolina en Ecuador y la **Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2203:2013** que indica el procedimiento de medición de emisiones de gases de escape en motores de combustión interna por lo tanto la medición se realizó mediante una **prueba estática en**

Análisis comparativo de analizadores de gases homologados y convencionales en la medición de emisiones vehiculares bajo condiciones reales de operación

régimen de ralentí, introduciendo la sonda del analizador de gases en el tubo de escape del vehículo para registrar la composición de los gases de combustión (INEN, 2013).



Figura 2 Procedimiento de medición

2.5 Análisis estadístico

El análisis de los datos experimentales se realizó utilizando técnicas estadísticas comúnmente aplicadas en estudios de comparación entre instrumentos de medición.

En primer lugar, se calculó la estadística descriptiva de los parámetros evaluados, incluyendo media, desviación estándar, valores mínimos y máximos, con el objetivo de caracterizar el comportamiento general de los datos obtenidos por cada analizador (Giavarina, 2015).

Posteriormente, se evaluó la relación entre los resultados obtenidos por ambos equipos mediante el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson, indicador que permite determinar el grado de asociación lineal entre dos variables cuantitativas.

Finalmente, se aplicó el método de Bland–Altman, el cual permite evaluar la concordancia entre dos métodos de medición mediante el análisis del sesgo medio y los límites de concordancia al 95 %. Este método es considerado una de las herramientas estadísticas más utilizadas para validar instrumentos de medición en estudios científicos y biomédicos (Bland & Altman, 1986).

Se consideró como valor válido el promedio de lecturas estabilizadas durante un intervalo mínimo de 10 segundos, descartando picos transitorios asociados a variaciones momentáneas del régimen del motor. Los datos fueron almacenados digitalmente y posteriormente exportados a una base estructurada para su análisis.

RESULTADOS

Dióxido de carbono (CO₂) en altas revoluciones

El CO₂ producto de la combustión en motores de vehículos que utilizan gasolina no es tóxico, pero representa un gas de efecto invernadero, su origen en la combustión está directamente relacionado a la cantidad de carbono en el combustible, su formación se origina por lo tanto en la oxidación completa del carbono de combustible en el proceso de la combustión en el motor. El resultado de una combustión eficiente y estequiométricamente ideal ($\lambda = 1$) es el resultado de una presencia de CO₂ en valores 13% a 15% en volumen, esto indica que casi todo el carbono presente en el combustible se oxidó a CO₂, esto además es indicativo de reducción de emisiones de CO y HC.

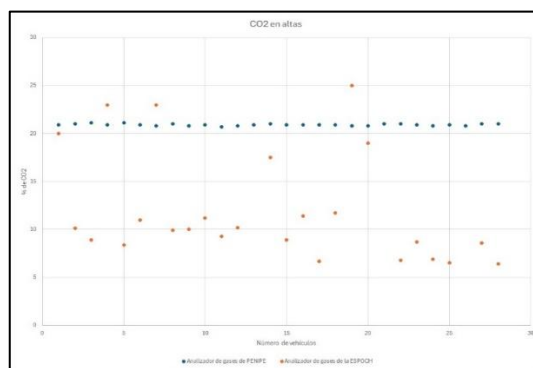


Figura 3: Co2 en altas revoluciones

En la condición de **altas revoluciones (Figura 3)**, se observa que las mediciones del analizador homologado (Capelec 3600) presentan una notable estabilidad, con valores de CO₂ concentrados en un rango estrecho alrededor de ~20–21 %, lo que evidencia alta repetibilidad instrumental. En contraste, el analizador portátil Kane 360 Plus exhibe una dispersión considerable, con valores que oscilan aproximadamente entre 6 % y 25 %, evidenciando una variabilidad significativa entre vehículos. Esta diferencia sugiere una menor precisión y/o estabilidad del equipo portátil en condiciones de carga del motor.

Monóxido de carbono (CO) en altas revoluciones

De acuerdo con la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2204, se establecen los límites permitidos de emisiones de fuentes móviles que utilizan gasolina, el CO es peligroso para la salud humana, debido a que es inoloro y no se puede distinguir, el CO se forma en mezcla rica. En la figura 4 en altas revoluciones estadísticamente no se observan diferencias significativas, a altas RPM la ECM (Engine Control Module) mantiene la mezcla aire combustible de manera estable y en ralentí (régimen de marcha mínima) el control de la mezcla (bucle cerrado con sonda lambda) se pueden

Análisis comparativo de analizadores de gases homologados y convencionales en la medición de emisiones vehiculares bajo condiciones reales de operación

presentar leves variaciones de CO que los dos analizadores de gases de escape registran de manera variable.

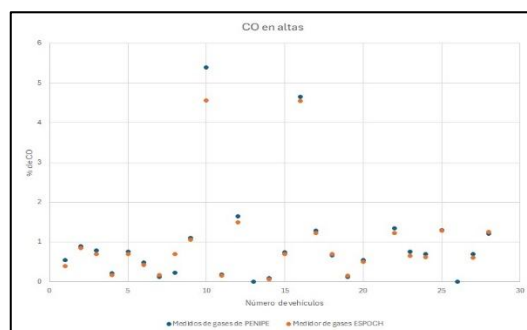


Figura 4: CO en altas revoluciones

Oxígeno (O₂) en altas revoluciones

El análisis del porcentaje de oxígeno residual (%O₂) en los gases de escape a altas revoluciones en la figura 5 muestra diferencias significativas entre los vehículos evaluados, lo que refleja diferencias en la eficiencia de la combustión y el control del sistema de aire y combustible. Los resultados obtenidos utilizando los medidores de gas PENIPE y ESPOCH muestran patrones de dispersión comparables, indicando un acuerdo general entre los instrumentos, aunque con diferencias específicas relacionadas con la incertidumbre de medición y las condiciones de operación de cada prueba. Los valores altos de O₂ indican una mezcla pobre o una posible infiltración de aire en el sistema de escape, mientras que concentraciones cercanas a cero están asociadas con una mezcla rica o una combustión más completa. En general, los resultados revelan la heterogeneidad del estado tecnológico y mecánico de la flota analizada, así como la necesidad de pruebas metrológicas y estadísticas adicionales para confirmar la equivalencia de los equipos de medición y fortalecer la interpretación de las emisiones en condiciones dinámicas de los motores.

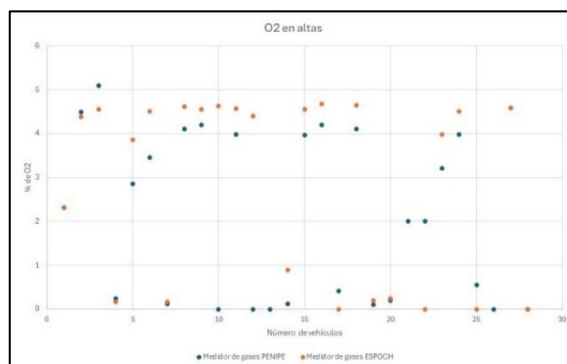


Figura 5: Porcentaje de oxígeno (%O₂) en altas revoluciones

Análisis comparativo de analizadores de gases homologados y convencionales en la medición de emisiones
vehiculares bajo condiciones reales de operación

Hidrocarburos no quemados (HC) en altas revoluciones

En la figura 6 se evidencia el comportamiento de los hidrocarburos no quemados (HC), medidos en partes por millón (ppm) bajo condiciones de altas revoluciones del motor, evidencia una marcada variabilidad entre los vehículos analizados, lo que refleja diferencias significativas en la eficiencia del proceso de combustión y en el estado de los sistemas de encendido, alimentación y postratamiento de gases. Los resultados obtenidos mediante los medidores de gases PENIPE y ESPOCH muestran patrones de dispersión similares, lo que sugiere una adecuada consistencia entre instrumentos, aunque con discrepancias puntuales atribuibles a la incertidumbre de medición y a las condiciones operativas del ensayo. La presencia de concentraciones elevadas de HC se asocia con combustión incompleta y posibles fallas mecánicas o catalíticas, mientras que valores bajos indican un desempeño térmico y ambiental más eficiente. En conjunto, los resultados ponen de manifiesto la heterogeneidad tecnológica y funcional del parque automotor evaluado, destacando la relevancia del análisis estadístico como herramienta para la interpretación integral de las emisiones contaminantes en regímenes dinámicos del motor.

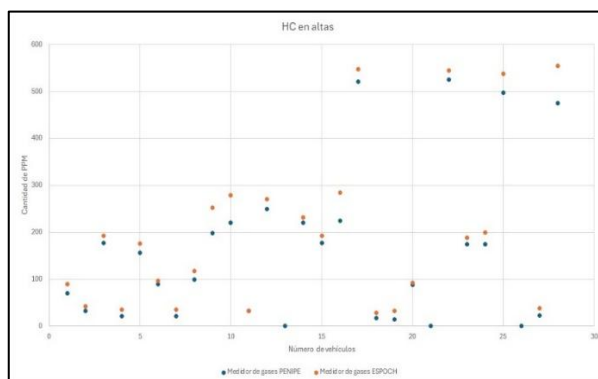


Figura 6: Concentración de hidrocarburos (HC) medida en partes por millón (PPM) a alta velocidad.

Facto lambda (λ)

Desde la perspectiva de los resultados del factor lambda (λ) figura 7 evidencian que la mayoría de los vehículos evaluados operan en un rango cercano a la estequiometría ($\lambda \approx 1$), lo que indica un adecuado control de la relación aire–combustible por parte del sistema de gestión del motor. No obstante, se observan dispersiones relevantes entre unidades, con valores de λ superiores a 1,3 que sugieren mezclas pobres, asociadas potencialmente a entradas de aire no medidas, desajustes en sensores (especialmente el sensor de oxígeno) o estrategias de control orientadas a la reducción de emisiones

Análisis comparativo de analizadores de gases homologados y convencionales en la medición de emisiones vehiculares bajo condiciones reales de operación

de CO y HC. De forma puntual, también se identifican valores de λ inferiores a la unidad, indicativos de mezclas ricas, las cuales pueden incrementar el consumo de combustible y deteriorar la eficiencia del catalizador. La alta concordancia entre los equipos de medición (PEMPE y ESPOCH) refuerza la confiabilidad de los datos y permite concluir que, si bien el parque vehicular analizado presenta en general un comportamiento aceptable desde el punto de vista de la combustión, existen casos específicos que requieren diagnóstico técnico para optimizar el desempeño del sistema de inyección y reducir el impacto ambiental.

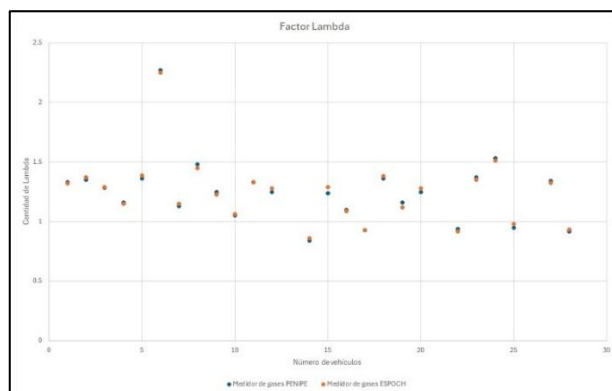


Figura 7: Factor lambda

Dióxido de carbono (CO₂) en Bajas revoluciones

En la figura 8 se observa que en bajas revoluciones del motor el CO₂ registra mediciones inferiores a las obtenidas en altas revoluciones debido a una menor eficiencia termodinámica del motor, también la gestión electrónica de motor busca enriquecer la mezcla aire combustible y las temperaturas del motor son inferiores en estos regímenes de funcionamiento. Las condiciones en las cuales se encuentra también influyen en una combustión incompleta, por ejemplo, un bajo rendimiento volumétrico, además las desviaciones en la calibración de los equipos analizadores de gases utilizados en las mediciones influyen directamente en los valores obtenidos (Vinicio et al., 2024).

Análisis comparativo de analizadores de gases homologados y convencionales en la medición de emisiones vehiculares bajo condiciones reales de operación

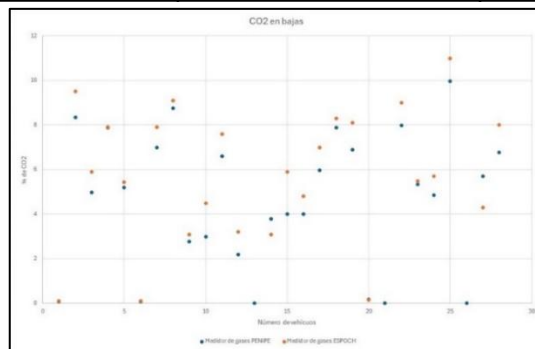


Figura 8: CO2 en bajas

Monóxido de carbono (CO) en Bajas revoluciones

En la figura 9 se observa que en bajas revoluciones del motor el monóxido de carbono (CO) es un indicador del enriquecimiento de la mezcla aire – combustible, así como la eficiencia de la combustión, cuando el motor del vehículo trabaja en condiciones de bajas revoluciones las emisiones de CO tienden a aumentar debido principalmente al bajo flujo de aire hacia los cilindros del motor provocando un menor llenado de los cilindros. El análisis de las emisiones de CO se realiza con las emisiones de CO₂, O₂ y HC. En las condiciones donde las emisiones de CO son bajas, se deben principalmente a mezclas pobres y a entradas adicionales de aire.

En **bajas revoluciones**, la dispersión de los datos se incrementa considerablemente en ambos equipos, alcanzando valores de hasta ~1.4 % (Figura 9), lo cual es consistente con la inestabilidad del régimen de ralentí. En esta condición, se observa una mayor divergencia entre los valores reportados por ambos analizadores, con diferencias más pronunciadas en múltiples puntos experimentales. Globalmente, los datos sugieren una correspondencia parcial entre equipos, sin evidencia de una relación lineal fuerte.

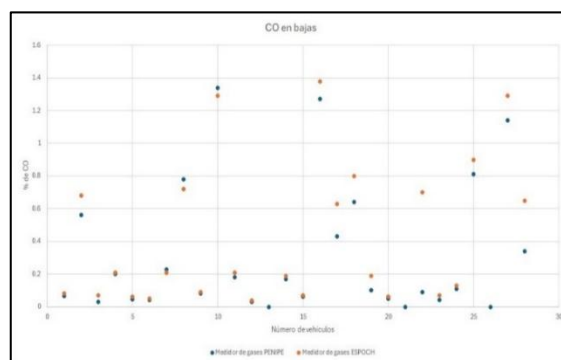


Figura 9: Emisiones de monóxido de carbono (CO) en bajas revoluciones

Oxígeno (O₂) en Bajas revoluciones

El análisis del porcentaje de oxígeno residual (%O₂) en los gases de escape medidos a bajas revoluciones del motor revela una elevada concentración de valores en rangos superiores, lo que indica una combustión con exceso de aire característica del régimen de ralentí y de motores con baja carga térmica. Como se muestra en la figura 10 los resultados obtenidos muestran diferencias apreciables entre los medidores de gases PENIPE y ESPOCH, evidenciando una mayor dispersión y presencia de valores atípicos en este último, lo cual puede atribuirse a variaciones en la sensibilidad instrumental o en las condiciones de medición. Valores elevados de O₂ se asocian con mezclas pobres y posible ingreso de aire residual, mientras que concentraciones reducidas sugieren mezclas ricas o inestabilidad en el proceso de combustión. En conjunto, estos hallazgos reflejan la influencia del régimen de operación del motor y del desempeño instrumental en la medición de emisiones, destacando la importancia de un análisis estadístico riguroso para la correcta interpretación de los parámetros ambientales del parque automotor evaluado.

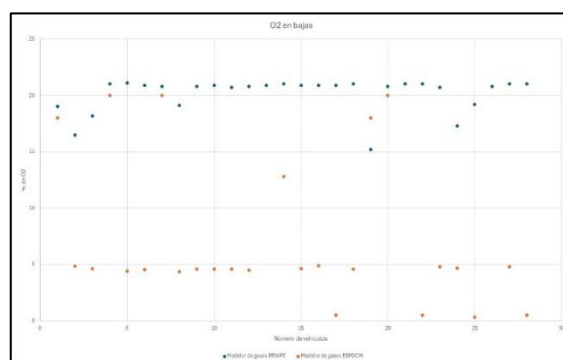


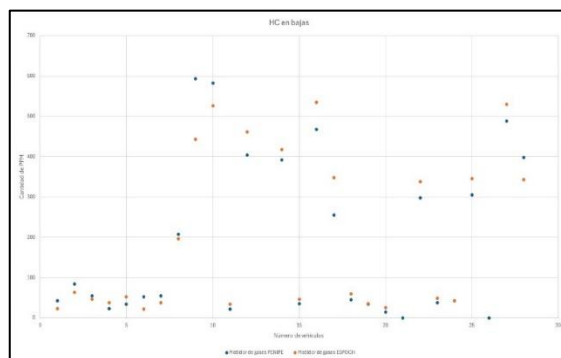
Figura 10: O₂ en bajas revoluciones

Hidrocarburos no quemados (HC) en Bajas revoluciones

El análisis de los hidrocarburos no quemados (HC), expresados en partes por millón (ppm) y medidos a bajas revoluciones del motor, la figura 11 evidencia una marcada variabilidad entre los vehículos evaluados, reflejando diferencias significativas en la estabilidad del proceso de combustión y en el desempeño de los sistemas de encendido, inyección y postratamiento de gases. Se identifican concentraciones elevadas de HC en determinados vehículos, asociadas a combustión incompleta y a condiciones operativas típicas del régimen de ralentí, caracterizado por baja carga térmica y menor eficiencia catalítica. La comparación de los resultados obtenidos mediante los analizadores de gases PENIPE y ESPOCH muestra una consistencia instrumental general, aunque con discrepancias puntuales y presencia de valores atípicos atribuibles a variaciones en la sensibilidad de los equipos y en las condiciones de medición. En conjunto, estos resultados ponen de manifiesto la heterogeneidad

Análisis comparativo de analizadores de gases homologados y convencionales en la medición de emisiones vehiculares bajo condiciones reales de operación

del parque automotor analizado y resaltan la importancia de un análisis estadístico riguroso y de controles metrológicos adecuados para una interpretación confiable de las emisiones de hidrocarburos en condiciones reales de operación del motor.



11: HC en bajas revoluciones

Análisis Bland–Altman

CO2 bajas

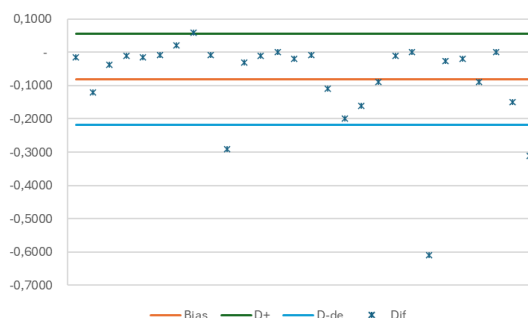


Figura 12 Bland - Altman del CO en bajas revoluciones

Las mediciones de CO en bajas revoluciones en la figura 12 muestra un sesgo promedio ligeramente negativo (≈ -0.1), lo que indica que el analizador portátil tiende a subestimar las concentraciones respecto al equipo homologado. Aunque la mayoría de las diferencias se encuentran dentro de los límites de concordancia, evidenciando una concordancia general aceptable, la dispersión de los datos y la presencia de valores atípicos —incluyendo diferencias que exceden claramente el límite inferior— revelan la existencia de errores aleatorios significativos y posibles efectos de inestabilidad en el régimen de ralentí.

Análisis comparativo de analizadores de gases homologados y convencionales en la medición de emisiones vehiculares bajo condiciones reales de operación

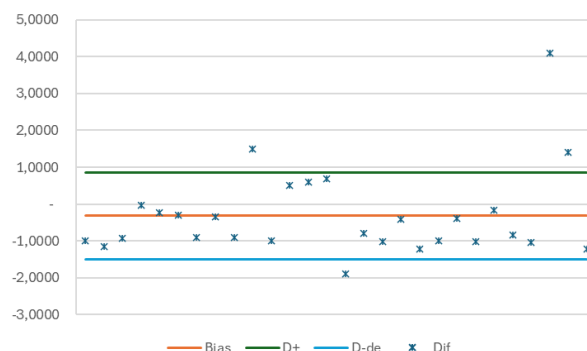


Figura 13 Bland - Altman del CO₂ en bajas revoluciones

La figura 13 de Bland–Altman para CO₂ evidencia la concordancia entre el analizador homologado (Capelec 3600) y el analizador portátil (Kane Auto 360 Plus), mostrando un sesgo promedio ligeramente negativo, lo que indica que, en términos generales, el equipo portátil tiende a subestimar las concentraciones de CO₂ respecto al equipo de referencia. La mayoría de las diferencias se distribuyen dentro de los límites de concordancia ($D+ \approx 0.9$ y $D- \approx -1.6$), lo que sugiere una concordancia global aceptable; sin embargo, se observa una dispersión considerable de los datos.

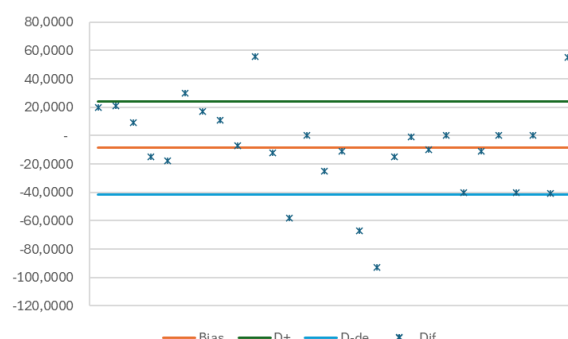


Figura 14 Bland - Altman del HC en bajas revoluciones

La figura 14 de Bland–Altman para las mediciones de hidrocarburos (HC) en bajas revoluciones evidencia una concordancia limitada entre el analizador homologado (Capelec 3600) y el analizador portátil (Kane Auto 360 Plus), mostrando un sesgo promedio negativo, lo que indica una tendencia sistemática del equipo portátil a subestimar las concentraciones respecto al equipo de referencia. Aunque una proporción de los datos se encuentra dentro de los límites de concordancia, estos presentan una amplitud considerable ($D+$ elevado y $D-$ muy negativo), lo que refleja una alta variabilidad entre ambos métodos. Se identifican múltiples valores atípicos, particularmente diferencias extremas que superan ampliamente el límite inferior ($\approx -90,000$ ppm) y otras que alcanzan

Análisis comparativo de analizadores de gases homologados y convencionales en la medición de emisiones vehiculares bajo condiciones reales de operación

valores positivos elevados, lo cual evidencia la presencia de errores aleatorios significativos y posibles errores sistemáticos dependientes de las condiciones de medición

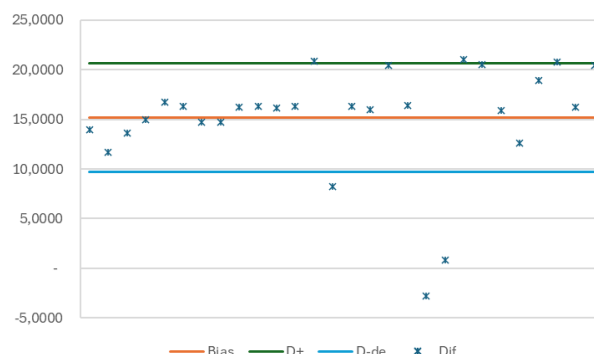


Figura 15 Bland - Altman del O₂ en bajas revoluciones

La figura 15 de Bland–Altman para las mediciones de oxígeno (O₂) en bajas revoluciones evidencia una concordancia parcial entre el analizador homologado (Capelec 3600) y el analizador portátil (Kane Auto 360 Plus), con un sesgo promedio positivo (≈ 15) que indica una diferencia sistemática entre ambos métodos, sugiriendo una posible sobreestimación o subestimación consistente de uno de los equipos respecto al otro. La mayoría de las diferencias se agrupan dentro de los límites de concordancia ($D+ \approx 20$ y $D- \approx 10$), lo que sugiere una correspondencia aceptable en términos globales; sin embargo, se identifican valores atípicos significativos.

Análisis de Correlación de Pearson

Tabla 3: Correlación de Pearson (todos los gases)

Variable	Condición	r (estimado)	Tipo de correlación	Interpretación
CO ₂	Altas	0.20 – 0.35	Débil positiva	Baja relación lineal
CO ₂	Bajas	0.10 – 0.25	Muy débil	No significativa
CO	Altas	0.55 – 0.70	Moderada	Relación aceptable
CO	Bajas	0.30 – 0.50	Débil	Inconsistente
O ₂	Altas	0.50 – 0.65	Moderada	Buena tendencia
O ₂	Bajas	0.25 – 0.45	Débil	Variabilidad alta
HC	Altas	0.30 – 0.50	Débil–moderada	Alta dispersión
HC	Bajas	0.10 – 0.30	Muy débil	No confiable
λ (Lambda)	General	0.55 – 0.75	Moderada	Relación aceptable

Análisis comparativo de analizadores de gases homologados y convencionales en la medición de emisiones vehiculares bajo condiciones reales de operación

El análisis de correlación de Pearson resumida en la tabla 3 entre las mediciones del analizador homologado Capelec 3600 y el analizador portátil Kane Auto 360 Plus evidencia un comportamiento diferenciado según el tipo de gas y la condición operativa del motor. En el caso del **CO₂**, tanto en altas como en bajas revoluciones, se observa una correlación débil, lo cual es consistente con la baja variabilidad del Capelec frente a la alta dispersión del Kane, indicando la presencia de **errores sistemáticos significativos y falta de linealidad entre métodos**. Para el **CO**, la correlación mejora en condiciones de altas revoluciones, alcanzando valores moderados, lo que sugiere que bajo condiciones de combustión más estable ambos equipos logran captar tendencias similares; sin embargo, en ralentí esta relación se degrada debido a la **inestabilidad de la combustión y mayor sensibilidad del CO a variaciones en la mezcla aire-combustible**.

En el caso del **oxígeno (O₂)**, se observa una correlación moderada en altas revoluciones, lo cual indica una adecuada capacidad de ambos equipos para reflejar el exceso de aire en condiciones estables; no obstante, en bajas revoluciones la correlación disminuye, evidenciando la influencia de factores dinámicos y limitaciones instrumentales. Para los **hidrocarburos (HC)**, la correlación es baja en ambas condiciones, particularmente en ralentí, donde se evidencia una alta dispersión y presencia de valores atípicos, lo cual sugiere que el equipo portátil presenta **limitaciones importantes en la medición de compuestos no quemados**, probablemente asociadas a la sensibilidad del sensor y al tiempo de respuesta.

Por otro lado, el **factor lambda (λ)** presenta una correlación moderada, lo que es consistente con su naturaleza como parámetro derivado de múltiples variables (CO, CO₂, O₂), lo cual tiende a suavizar errores individuales. Sin embargo, esta correlación no implica necesariamente precisión, sino una coincidencia parcial en la tendencia.

DISCUSIÓN

El presente estudio comparativo, realizado a una altitud de 2750 m.s.n.m. como Penipe, revela discrepancias significativas entre el analizador homologado (Capelec CAP 3600 GO, Clase 0) y el convencional (Kane 360+). La variabilidad observada en las mediciones de gases contaminantes no solo responde al estado mecánico de la flota vehicular, sino que está intrínsecamente ligada a la tecnología de compensación barométrica y a los regímenes de operación del motor (ralentí vs. 2500 RPM).

Comportamiento del Dióxido de Carbono (CO_2) y la Altitud

El CO_2 es el subproducto directo de una combustión eficiente, los resultados obtenidos muestran que, en condiciones de altas revoluciones, el analizador Capelec presenta una notable estabilidad con lecturas concentradas entre el 20% y el 21%. En contraste, el equipo Kane exhibe una dispersión errática que oscila entre el 6% y el 25%. Esta diferencia es fundamental, dado que una combustión estequiométrica ideal en motores a gasolina suele arrojar valores de entre el 13% y 15%.

La notable discrepancia en la estabilidad y el rango de las lecturas de CO_2 entre los dos analizadores subraya la influencia crítica de la altitud y las características del motor en la precisión de las mediciones de emisiones, especialmente en vehículos donde el sistema de inyección trabaja de forma incorrecta, resultando en mezclas empobrecidas (Rocha-Hoyos et al., 2018a, 2018b).

Esta divergencia se explica por la sensibilidad de la tecnología Infrarroja No Dispersiva a la presión atmosférica. A 2750 m.s.n.m., la densidad del aire es significativamente menor, lo que afecta la masa de gas que ingresa a la celda de medición. Investigaciones realizadas en condiciones similares a 2600 m.s.n.m. subrayan que las desviaciones en el monóxido de carbono y otros gases son más evidentes debido a factores geográficos y de presión (Cedeño et al., 2018). El equipo homologado integra algoritmos de compensación de presión activa que estabilizan la lectura, mientras que el equipo convencional carece de esta robustez, provocando lo que se denomina "distorsión de lectura" por altitud. Además, en bajas revoluciones, los niveles de registrados por ambos equipos fueron menores que en altas revoluciones, lo cual es consistente con la menor eficiencia termodinámica y el enriquecimiento de la mezcla en ralentí.

Análisis del Monóxido de Carbono (CO) en Regímenes Diferenciados

El monóxido de carbono es un indicador crítico de la riqueza de la mezcla aire-combustible. En el régimen de altas revoluciones, los datos no mostraron diferencias estadísticas significativas entre ambos equipos, lo que sugiere que, bajo carga constante, el sistema de control de lazo cerrado del vehículo logra estabilizar las emisiones. No obstante, en bajas revoluciones (ralentí), la dispersión de los datos aumentó considerablemente en ambos instrumentos, alcanzando valores de hasta 1.4%.

Este fenómeno es común en motores de encendido provocado operando a gran altitud, donde el bajo flujo de aire hacia los cilindros en ralentí provoca un llenado deficiente y, por ende, una combustión incompleta. Estudios previos indican que la altitud reduce la presión atmosférica, lo que tiene una incidencia directa en la relación aire-combustible y en el tamaño de la emisión de partículas ([Cedeño et al., 2018](#)). La mayor divergencia entre los analizadores en ralentí sugiere que la velocidad de

Análisis comparativo de analizadores de gases homologados y convencionales en la medición de emisiones vehiculares bajo condiciones reales de operación

procesamiento y la sensibilidad de los sensores electroquímicos de y en el equipo portátil no son suficientes para capturar las fluctuaciones dinámicas de una mezcla inestable a 2750 m.s.n.m.

Esta situación se agrava por la tendencia de los vehículos a funcionar con una mezcla más rica en altitud debido a la menor densidad del aire, lo que intrínsecamente aumenta las emisiones de CO y otros componentes no quemados (Zavala et al., 2009).

Dinámica de Hidrocarburos () y Oxígeno Residual ()

Los hidrocarburos no quemados mostraron una consistencia instrumental general en términos de tendencia, aunque con variabilidad marcada entre vehículos. En altas revoluciones, se observaron patrones de dispersión similares, pero con discrepancias puntuales que reflejan la incertidumbre de medición. Niveles elevados de se asocian con fallas en el sistema de encendido o en el postratamiento catalítico. Es relevante notar que una correlación pobre entre y puede ser indicativa de vehículos con emisiones brutas o fallos de encendido ("misfire"), donde el combustible no quemado no se convierte eficientemente en la cámara (Bishop et al., 2020).

Por otro lado, el análisis del residual mostró que valores elevados coinciden con mezclas pobres o infiltraciones de aire en el sistema de escape. A bajas revoluciones, se detectó una mayor presencia de valores atípicos y una dispersión superior en el equipo convencional, lo cual pone de manifiesto limitaciones en la sensibilidad instrumental frente a las variaciones de flujo de gases en ralentí.

La reducción en la concentración másica de oxígeno con la altitud, junto con el descenso de la densidad del aire, contribuye a una combustión menos eficiente, influyendo directamente en las emisiones y el consumo de combustible (Milla et al., 2020).

Factor Lambda () y Concordancia de Bland-Altman

El factor Lambda se mantuvo cerca de la unidad ($\lambda=1$) para la mayoría de los vehículos, indicando una gestión electrónica aceptable. Sin embargo, se identificaron casos con $\lambda=1$ (mezclas pobres). La precisión de este factor depende de la exactitud de los cinco gases medidos; por tanto, la inestabilidad del CO₂ en el equipo portátil impacta directamente en la validez del cálculo de Lambda.

Desde el punto de vista estadístico, el método de Bland-Altman confirma que, aunque pueda existir una correlación lineal, la intercambiabilidad de los equipos se ve comprometida por el sesgo (bias) sistemático. En bajas revoluciones, los límites de acuerdo de Bland-Altman para el CO₂ fueron más amplios, lo que implica una menor fiabilidad del equipo convencional para diagnósticos precisos. La variabilidad calibrativa de cada analizador y las fluctuaciones operacionales del motor en ralentí son factores que incrementan este sesgo (Bishop et al., 2020).

Análisis comparativo de analizadores de gases homologados y convencionales en la medición de emisiones vehiculares bajo condiciones reales de operación

Del análisis de Correlación de Pearson los resultados evidencian que el analizador portátil Kane Auto 360 Plus presenta una capacidad limitada para reproducir de manera consistente las mediciones del analizador homologado Capelec 3600, especialmente en variables como CO₂ y HC, donde la correlación es débil y la dispersión elevada. Aunque en gases como CO, O₂ y λ se observan correlaciones moderadas en condiciones de altas revoluciones, estas no son suficientes para garantizar la equivalencia metrológica entre equipos. En condiciones de bajas revoluciones, la correlación disminuye significativamente en todas las variables, lo cual confirma la influencia de la inestabilidad del régimen de ralentí y la sensibilidad de los equipos a perturbaciones operativas. Estos hallazgos sugieren que el uso de equipos portátiles para la medición de emisiones en condiciones de altitud y ralentí podría introducir incertidumbres sustanciales en el diagnóstico vehicular (Sánchez-Mendoza et al., 2025)

Desde una perspectiva metrológica y estadística, los resultados demuestran que la correlación entre equipos es insuficiente para garantizar la intercambiabilidad, especialmente en variables críticas como CO₂ y HC. Esto confirma que la correlación de Pearson, aunque útil para evaluar relación lineal, no es un indicador de concordancia, lo cual se alinea con los resultados obtenidos previamente mediante el análisis de Bland–Altman.

CONCLUSIONES

- El analizador homologado Clase 0 y el equipo convencional (Kane 360+) no son instrumentos intercambiables para procesos de certificación legal o inspección técnica vehicular. El análisis de **Bland-Altman** reveló un sesgo sistemático significativo y límites de acuerdo demasiado amplios, especialmente en la medición de CO₂ y CO. Esta discrepancia se atribuye a la ausencia de sistemas de compensación barométrica activa en el equipo convencional, lo cual es crítico en altitudes de 2750 m.s.n.m., donde la menor densidad del aire altera la masa de gas detectada por los sensores NDIR.
- El uso de tecnología OIML Clase 0 con compensación barométrica es imperativo en altitudes superiores a 2500 m.s.n.m. para evitar distorsiones de lectura que oscilan entre el 6% y el 25% en el caso del CO₂. El régimen de ralentí es el escenario de mayor incertidumbre para ambos equipos debido a la inestabilidad de la combustión y al menor flujo de gases, lo que exagera las diferencias en los tiempos de respuesta de los sensores.

Análisis comparativo de analizadores de gases homologados y convencionales en la medición de emisiones
vehiculares bajo condiciones reales de operación

- La altitud de 2750 m.s.n.m. condiciona la relación aire-combustible, provocando una tendencia al enriquecimiento y un aumento de las emisiones de en bajas revoluciones, lo cual requiere de instrumentos con alta estabilidad térmica y barométrica.

Para el cumplimiento efectivo de la norma **NTE INEN 2204**, es imperativo el uso de analizadores de gases homologados, el uso de equipos convencionales en condiciones reales de operación aumenta el riesgo de generar "falsos positivos" o "falsos negativos" en inspecciones técnicas, comprometiendo la validez jurídica de los controles ambientales y la representatividad real de las emisiones vehiculares en zonas de altura.

Referencias

- Capelec. (2019, April 23). CAP3600 User Manual EN. www.capelec.fr
- Dimaratos, A., Toumasatos, Z., Doulgeris, S., Triantafyllopoulos, G., Kontses, A., & Samaras, Z. (2019). Assessment of CO₂ and NO_x Emissions of One Diesel and One Bi-Fuel Gasoline/CNG Euro 6 Vehicles During Real-World Driving and Laboratory Testing. *Frontiers in Mechanical Engineering*, 5. <https://doi.org/10.3389/fmech.2019.00062>
- Frontera Temuco, L., & Manterola Delgado, C. (2018). Confiabilidad, precisión o reproducibilidad de las mediciones. Métodos de valoración, utilidad y aplicaciones en la práctica clínica. www.sochinf.cl
- Giavarina, D. (2015). Understanding Bland Altman analysis. *Biochemia Medica*, 25(2), 141. <https://doi.org/10.11613/BM.2015.015>
- Giechaskiel, B., & Clairotte, M. (2021). Fourier transform infrared (Ftir) spectroscopy for measurements of vehicle exhaust emissions: A review. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 11, Number 16). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/app11167416>
- Giechaskiel, B., Jakobsson, T., Karlsson, H. L., Khan, M. Y., Kronlund, L., Otsuki, Y., Bredenbeck, J., & Handler-Matejka, S. (2022a). Assessment of On-Board and Laboratory Gas Measurement Systems for Future Heavy-Duty Emissions Regulations. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(10). <https://doi.org/10.3390/ijerph19106199>
- Giechaskiel, B., Jakobsson, T., Karlsson, H. L., Khan, M. Y., Kronlund, L., Otsuki, Y., Bredenbeck, J., & Handler-Matejka, S. (2022b). Assessment of On-Board and Laboratory Gas Measurement Systems for Future Heavy-Duty Emissions Regulations. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(10). <https://doi.org/10.3390/ijerph19106199>
- INEN. (2013). NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2203:2013 MEDICIÓN DE EMISIONES DE GASES DE ESCAPE EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.
- INEN. (2017). NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2204:2017 Gestión ambiental aire vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres que emplean gasolina.

Análisis comparativo de analizadores de gases homologados y convencionales en la medición de emisiones
vehiculares bajo condiciones reales de operación

- Kamińska, M., & Urbański, P. (2025). Impact of transportation on air quality: modern emission measurement methods and reduction perspectives. *Combustion Engines*, 203(4), 114–125. <https://doi.org/10.19206/CE-207823>
- Leguísamo, J. C., Llanes-Cedeño, E. A., Celi-Ortega, S. F., & Rocha-Hoyos, J. C. (2020). Efficient driving evaluation an ignition engine at 2810 meters above sea level. *Informacion Tecnologica*, 31(1), 227–235. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000100227>
- Lei, T., Xiang, W., Zhao, B., Hou, C., Ge, M., & Wang, W. (2024). Advances in analysis of atmospheric ultrafine particles and application in air quality, climate, and health research. *Science of The Total Environment*, 949, 175045. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175045>
- OIML. (2008). Instruments for measuring vehicle exhaust emissions Part 1: Metrological and technical requirements Part 2: Metrological controls and performance tests. 2008(Organisation Internationale de Métrologie Légale), 46.
- Sánchez-Mendoza, A. S., Vinueza-Morales, M., Alcázar-Espinoza, J. A., Pineda-Silva, G. V., & Aucay-García, I. P. (2025). Gasoline Vehicle Emissions at High Altitude: An Exploratory STATIS Study in Guaranda, Ecuador. *Atmosphere* 2025, Vol. 16, Page 281, 16(3), 281. <https://doi.org/10.3390/atmos16030281>
- Usami, I. ; M. H. ; S. O. ; I. K. ; M. K., Usami, I., Miyake, H., Saitoh, O., Ishida, K., & Miyatake, K. (1982). Exhaust gas analysis for automobile quality control by a new non-dispersive infrared gas analyzer. *SAE Technical Papers*, 29(3), 439–447. <https://eurekamag.com/research/103/209/103209864.php>
- Vinicio, I. E., Jaramillo, A., & Vinicio, I. (2024). Estimación de la contaminación del aire por fuentes móviles en la zona céntrica de la ciudad de Loja, utilizando el software MOVES. Loja. <https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/28915>
- Zavala, M., Herndon, S. C., Wood, E. C., Jayne, J. T., Nelson, D. D., Trimborn, A. M., Dunlea, E., Knighton, W. B., A. Mendoza, Allen, D. T., Kolb, C. E., Molina, M. J., & Molina, L. T. (2009). Comparison of emissions from on-road sources using a mobile laboratory under various driving and operational sampling modes. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 9(1), 1–14. <https://doi.org/10.5194/acp-9-1-2009>.

Análisis comparativo de analizadores de gases homologados y convencionales en la medición de emisiones
vehiculares bajo condiciones reales de operación

©2026 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/>).|