



ING. AUTOMOTRIZ

**Trabajo integración Curricular previa a la obtención del
título de Ingeniería en Mecánica Automotriz**

AUTORES:

Mena Artieda Richard Alexander
Tarco Pulupa Henry Fabricio

TUTOR: Ing. Juan Carlos Rubio, MBA

**LA INCIDENCIA POR ALTITUD A LA NORMA INEN 2202, PROPONE UN
FACTOR DE CORRECCIÓN A 2850 MSNM**

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Mena Artieda Richard Alexander, Tarco Pulupa Henry Fabricio, declaramos bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, su reglamento y demás disposiciones legales.



Mena Artieda Richard Alexander



Tarco Pulupa Henry Fabricio

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, **Ing. Juan Carlos Rubio Terán, MBA**, certifico que conozco a los autores del presente trabajo, siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.



Ing. Juan Carlos Rubio Terán, MBA

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo primordialmente a nuestras familias quienes con su amor y paciencia infinita sostuvieron nuestros sueños en los momentos de mayor cansancio, que creyeron en nosotros antes que nosotros mismo lo hiciéramos. A la constancia y trabajo en equipo que hoy dan su mayor fruto y a quienes nos enseñaron que el éxito se construye paso a paso.

Dedicatoria de Richard. A mi Mami Tere quien fue la precursora de este largo camino y que en su deseo siempre estaba el verme profesional. También se la dedico a mis padres, Sonia y German, por acompañarme en cada paso que doy en la búsqueda de ser mejor persona y profesional. A mis Tíos, por todo su apoyo incondicional, por su ejemplo de que todo se puede lograr. Por último, a mi hija y la más importante, quien me hacía reaccionar cuando pensaba que no podía continuar y ha sido el empuje para seguir adelante.

Dedicatoria de Henry. A mis padres, por ser el motor de mi vida y el ejemplo constante de perseverancia. Gracias por cada sacrificio y por su amor incondicional, este logro es tan suyo como mío. A mi hermano, por su apoyo, por ser mi compañero de camino y por darme siempre una razón para seguir adelante. A ustedes, mi familia, les dedico este éxito con todo mi corazón.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Internacional del Ecuador por acoger jóvenes con ganas de sobresalir y entregar al Ecuador profesionales con herramientas para destacar en cada una de sus áreas profesionales

A cada uno de los Profesores que nos impartieron sus conocimientos y nos supieron encaminar a lo largo de la carrera

A mis familiares y amigos en general que con su pregunta: ¿Cómo va la tesis?; que fue la tesis?

Siempre me dieron el impulso y me comprometieron para seguir adelante hasta alcanzar esta meta

INCIDENCIA POR ALTITUD A LA NORMA INEN 2202, PROPONER

FACTOR DE CORRECCIÓN A 2850 MSNM.

Ing. Juan Carlos Rubio Terán, MBA, Richard Alexander Mena Artieda.², Henry Fabricio Tarco Pulupa.³

Ingeniería Automotriz Universidad Internacional del Ecuador, email jrubio@uide.edu.ec Quito - Ecuador

Ingeniería Automotriz Universidad Internacional del Ecuador, email rimenaar@uide.edu.ec, Quito –Ecuador

Ingeniería Automotriz Universidad Internacional del Ecuador, email hetarcopu@uide.edu.ec, Quito –Ecuador

RESUMEN

Introducción: La crisis ambiental y los altos niveles de contaminación asociados al transporte terrestre generan el más importante problema ambiental en las zonas pobladas, esto ha impulsado la búsqueda de soluciones para mitigar sus efectos en las ciudades de gran altitud. La industria automotriz, responsable de una parte significativa de las emisiones contaminantes debido al uso de motores de combustión interna, ha implementado normativas que han permitido reducir gradualmente su impacto ambiental. Sin embargo, los desafíos persisten, especialmente en regiones de gran altitud. En Ecuador, la Revisión Técnica Vehicular (RTV), gestionada por empresas privadas, fue diseñada para mejorar la calidad del aire. No obstante, lo que evidencia es un sistema obsoleto y poco eficaz que permita un control de las emisiones producidas por el parque automotor, generando herramientas eficientes, por medio de una correcta aplicación de las normativas vigentes que son toman datos explícitos de normativas perdiendo de vista la geografía y sus implicaciones de las ciudades elevadas, el estudio validación de lecturas a diferentes alturas para determinar la incidencia de la falta de oxígeno en un proceso de combustión diésel. **Metodología:** Se adoptó un enfoque cuantitativo para evaluar el incremento de emisiones en relación con la reducción de oxígeno a mayor altitud, tomando como referencia las normativas sobre emisiones vehiculares. Este estudio analiza la influencia de la altitud geográfica y la reducción de oxígeno en el proceso de combustión, así como su impacto en las emisiones vehiculares. Su objetivo es comparar dichas emisiones con los valores establecidos en la normativa 2202 vigente en la RTV, con el fin de proponer un factor de corrección a no normativa que

está generada a nivel de mar basados en las condiciones de altura de Quito. **Resultados:** El estudio determina que la normativa por efectos de altura afecta en un incremento promedio del 10% en sus niveles de contaminación en la ciudad de Quito a una altura de 2850 msnm, lo que se atribuye a la menor disponibilidad de oxígeno por condiciones geográficas. **Conclusión:** Se evidencia el incremento de las emisiones por la falta de oxígeno a causa de la altura de la ciudad de Quito llegando a tener un incremento de la opacidad en los motores diésel de prueba de un 10% en promedio a diferencia de las producidas a nivel de mar con los mismos motores.

Palabras clave: Combustión, gases, altura, particulado, oxígeno.

ABSTRACT

Introduction: The environmental crisis and high levels of pollution have driven the search for solutions to mitigate their effects. The automotive industry, responsible for a significant share of pollutant emissions due to the use of internal combustion engines, has implemented regulations that have gradually reduced its environmental impact. However, challenges persist, especially in high-altitude regions. In Ecuador, the Vehicle Technical Inspection (RTV), managed by private companies, was designed to improve air quality. Nevertheless, its results have been limited. CORPAIRE, the entity in charge of monitoring, has not updated its procedures since 2005, revealing an outdated and ineffective system. **Methodology:** A quantitative approach was adopted to evaluate the increase in emissions related to reduced oxygen levels at higher altitudes, using vehicle emission regulations as a reference. This study analyzes the influence of geographic altitude and oxygen reduction on the combustion process, as well as its impact on vehicle emissions. The objective is to compare these emissions with the thresholds established in the current 2202 RTV regulation, in order to propose adjustments based on the high-altitude conditions of Quito. **Results:** A 10% increase in pollution levels is observed at altitudes above 1,500 meters above sea level, attributable to lower oxygen availability. **Conclusion:** The increase in emissions due to oxygen

scarcity at higher altitudes is evident, resulting in an average deviation of 10% beyond what is established by current regulations.

Keywords: Combustion, gases, altitude, particulate matter, oxygen.

1. INTRODUCCIÓN

La ciudad de Quito se encuentra en una meseta a una altitud de 2.850 metros sobre el nivel del mar, con una condición geográfica por su altura que afecta directamente a los motores de combustión interna, En este contexto, el parque automotor representa la principal fuente de contaminación ambiental, debido a las emisiones generadas por la quema de combustibles fósiles. Entre los factores determinantes de la contaminación por quema de combustibles fósiles **(Secretaría de Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2022)**. Las emisiones producto de la quema de combustibles fósiles tiene varios los factores a considerar para la contaminación, como son: los gases contaminantes por los tubos de escape, desgaste de frenos y neumáticos, la mala calidad de los combustibles nacionales **(Guerra & Cuví J, 2019)**.

En Ecuador, la normativa actual de Revisión Técnica Vehicular (RTV) no mide directamente los principales contaminantes atmosféricos, como hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y oxígeno (O₂). En su lugar, la RTV en su lugar evalúa la medición de opacidad de los gases emitidos por los motores diésel, lo que representa la pérdida de luz en un tubo de ensayo calibrado. Los valores máximos permitidos de opacidad establecidos por la normativa son del 30 % para vehículos modelo 2019 en adelante, del 50 % para modelos fabricados entre 2000 y 2018, y del 60 % para vehículos de 1999 o anteriores, de acuerdo con la norma INEN 2202. No obstante, estos

límites han quedado obsoletos frente a las condiciones actuales del parque automotor y los avances tecnológicos en los sistemas de inyección y control de emisiones.

Antes del año 2002, La ciudad de Quito enfrentaba graves problemas de salud pública en las zonas con alto tráfico vehicular, especialmente asociadas al transporte público. Como respuesta, se crearon instituciones para abordar la contaminación vehicular. En este contexto, nació la CORPAIRE, una entidad gubernamental con el objetivo de mejorar la calidad del aire. Sin embargo, con el tiempo, la efectividad de sus acciones fue cuestionada debido a la falta de resultados tangibles.

Actualmente la metodología aplicada por la RTV presenta deficiencias importantes en la medición de emisiones a la altitud característica de Quito al utilizar una normativa creada para verificar a nivel de mar. La normativa utilizada para evaluar la contaminación en fuentes móviles está desactualizada y no considera los avances tecnológicos en la industria automotriz. Además, no incorpora un factor de corrección que compense la menor concentración de oxígeno a mayores altitudes.

Dado que Ecuador presenta variaciones altitudinales significativas, el objetivo principal del estudio es definir en porcentaje de aumento de opacidad determinado por el estudio en campo del impacto que tiene la disminución de oxígeno a mayores alturas sobre las emisiones de los vehículos diésel y compararlos con la normativa vigente que está realizada a nivel de mar y la realidad de 2850 msnm. Estos motores, al operar con relaciones de compresión elevadas, requieren una mayor disponibilidad de oxígeno durante el proceso de combustión, lo que puede afectar directamente los niveles de emisión en ciudades como Quito. Para lograr una comparación precisa, se utilizan datos físicos obtenidos experimentalmente, los cuales se contrastan con la tabla de opacidad establecida por CORPAIRE.

Como resultado, algunos vehículos no logran cumplir con los requisitos de la RTV pese a no tener problemas mecánicos. Esto ha llevado a los propietarios a recurrir a talleres cercanos a los centros de revisión para realizar ajustes temporales que les permitan aprobar la inspección, volviendo a contaminar posteriormente. Esto evidencia la ineficacia del actual sistema de control.

Este estudio tiene como objetivo comparar los resultados obtenidos en mediciones prácticas con los parámetros establecidos por la RTV. En caso de identificarse discrepancias, los datos serán contrastados con estudios previos para validar o ajustar los resultados.

En definitiva, este estudio aporta evidencia técnica que respalda la necesidad de actualizar la normativa de la RTV en Quito, considerando tanto la diversidad tecnológica de los motores diésel como las condiciones geográficas propias de la ciudad. Una regulación más precisa permitiría evaluar las emisiones de manera más justa y efectiva, asegurando que los vehículos sean controlados en función de su tecnología y del entorno en el que operan.

Los motores diésel son motores de combustión interna que operan bajo el principio de encendido por compresión, caracterizándose por trabajar con relaciones de compresión elevadas en comparación con los motores a gasolina. En este tipo de motores, el aire es comprimido a altas presiones y temperaturas antes de la inyección del combustible, lo que permite que la combustión se produzca sin necesidad de un sistema de encendido por chispa. Este proceso de combustión depende directamente de la cantidad de oxígeno disponible en la cámara, por lo que las condiciones atmosféricas, como la altitud y la densidad del aire, influyen de manera significativa en su funcionamiento y en la generación de emisiones contaminantes.

MARCO TEÓRICO

2.1 Motores Diésel.

Debido a estas características, los motores diésel son especialmente sensibles a la disminución de oxígeno presente a grandes alturas, como ocurre en ciudades ubicadas en mesetas andinas. La reducción de la densidad del aire puede afectar la eficiencia del proceso de combustión, incrementando la formación de partículas y, en consecuencia, los niveles de opacidad de los gases de escape. A pesar de los avances tecnológicos en los sistemas de inyección y sobrealimentación, estos factores continúan siendo determinantes en el comportamiento de las emisiones, especialmente cuando no se aplican factores de corrección adecuados en los procesos de evaluación vehicular **(Heywood, 2018; Pulkrabek, 2004)**.

“En los motores Diésel el combustible se inyecta al aire comprimido caliente, cuya temperatura de compresión oscila entre 450 – 550 °C y su presión de 3 – 4 MPa. En caso de sobrealimentación esta presión puede ser considerablemente mayor. La alimentación con combustible comienza antes del P.M.S. y puede terminar en el P.M.S. o después de él **(Jóvaj, 1973, p. 71)**.

Mientras se produce el ciclo de inyección o lo que se conoce como la generación de foco de calor en el proceso de la combustión en los motores a presión constante, debido a que la compresión continúa desarrollándose hasta que alcanza sus valores máximos de temperatura y presión para producir trabajo, esto depende de la cantidad de aire que fue atrapado dentro de la cámara de combustión en el caso de los motores atmosféricos que dependen estrictamente de la cantidad de particulado de oxígeno mismo que incide en el tiempo de la combustión o quema del combustible, en otras palabras mientras menos oxígeno la combustión se realiza en mayor tiempo.

Durante el proceso indicado se desarrollan las reacciones que trascurren delante del frente de la llama, posterior a la generación del foco calor o auto inflamación por ingreso del combustible a la cámara de combustión lo que produce la elevación de la temperatura y presión

como resultado del desprendimiento del poder calórico del combustible para la producción de trabajo (Jóvaj, 1973, p. 71)

2.2 Cambios Climáticos. En el contexto mundial hay una relevante preocupación por los efectos de cambio climático, así como los de efecto invernadero, estos no solo están produciendo un sin número de fenómenos naturales fuera de contexto, sino una destrucción atípica en lugares donde nunca se presentaron estos fenómenos lo que genera una preocupación a la humanidad, los estudios demuestran que estos cambios en gran parte son producto de la quema de combustibles fósiles en las grandes industrias como termo eléctricas, industria alimentarias, y la industria Automotriz a la que el estudio hace referencia.

“Diversos estudios han evidenciado que el sector transporte contribuye significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero, afectando la calidad del aire y acelerando el cambio climático. Según el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático”.
(IPCC, 2022)

2.3 El parque automotor mundial: El sector automotriz es uno de los que genera un impacto negativo significativo en el medio ambiente y en la salud de los seres vivos que habitan el planeta. La industria automotriz, consciente de esta problemática, ha trabajado desde hace varias décadas en conjunto con otras instituciones para reducir progresivamente su impacto ambiental. Así se estima que: “Como resultado de estos esfuerzos, surgieron normas como las Euro en Europa y las Tier en Estados Unidos e Inglaterra, orientadas a limitar las emisiones contaminantes de los vehículos a través de regulaciones cada vez más estrictas” (European Environment Agency [EEA], 2021; United States Environmental Protection Agency [EPA], 2022).

Estas normas han evolucionado significativamente a lo largo del tiempo, generando cambios tecnológicos importantes que han sido adoptados por gobiernos responsables como legislación

de Estado. Actualmente, la norma Euro 6, por ejemplo, establece pruebas dinámicas que simulan condiciones reales de conducción, evaluando las emisiones en distancias predeterminadas tanto con carga como sin carga, con el fin de garantizar que los vehículos cumplan con límites máximos de emisiones cada vez más exigentes.

2.4 La normativa ecuatoriana: La normativa ecuatoriana establece una prueba de aceleración libre estática para motores diésel, lo que implica evaluar el funcionamiento del motor sin carga. Esta normativa también mide la opacidad, es decir, la densidad del humo expulsado, sin especificar los tipos de contaminantes emitidos. Es conocido que los motores diésel son generadores de óxidos de nitrógeno (NOx), compuestos altamente perjudiciales para la salud y el medio ambiente. La normativa ecuatoriana ha estado vigente desde 2003, con una única modificación en 2018 que redujo el límite de opacidad al 30% para vehículos fabricados a partir de ese año, como reflejo de avances tecnológicos más que de mejoras en los sistemas de revisión técnica vehicular (RTV). Sin embargo, sigue siendo una prueba estática, mientras que las regulaciones internacionales más modernas utilizan métodos dinámicos. Además, su permisividad ha generado espacios informales donde se "aprueban" las revisiones sin realizar reparaciones reales, lo cual perpetúa el problema de la contaminación vehicular (**Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica del Ecuador, 2020**).

Este estudio resalta un factor frecuentemente ignorado por la Revisión Técnica Vehicular:

La altitud. Quito, situada a 2.850 metros sobre el nivel del mar, presenta condiciones atmosféricas distintas que afectan directamente el desempeño de los motores. A mayor altitud, la presión atmosférica disminuye debido a la menor densidad de la columna de aire, lo que también reduce la concentración de oxígeno disponible para la combustión. Esta variación altera la eficiencia del proceso de oxidación en los motores de combustión interna. En regiones de gran altitud —como ciertos pueblos en China ubicados por encima de los 4.500 msnm—

esta condición natural representa un desafío técnico que no guarda relación con el estado mecánico del motor, sino con las condiciones geográficas propias del entorno (**Organización Mundial de la Salud [OMS], 2021**).

2.5 Necesidades de los motores diésel para su funcionamiento: El motor diésel admite o recepta aire del medio ambiente que tiene un porcentaje del 21% de oxígeno aproximadamente y según Brown et al, manifiestan que:

Es fundamental en el proceso de la combustión, el combustible diésel compuesto en su mayoría de los hidrocarburos pertenecientes a una cadena larga necesita la mayor cantidad de oxígeno para su óptima combustión, es por ello que los motores llamados atmosféricos se ven afectados por la altitud geográfica natural de la tierra.

Los motores de combustión interna requieren oxígeno del ambiente para realizar el proceso de combustión, el cual depende directamente de la altitud y las condiciones atmosféricas del lugar en que se encuentren. Para que este proceso sea eficiente, es necesario ajustar lo que se conoce como “tiempo base para la inyección” en motores diésel, o el “adelanto de la chispa de encendido” en motores a gasolina. Este ángulo de encendido varía según la presión atmosférica y la concentración de oxígeno. Por ejemplo, en regiones costeras muchos motores operan con un adelanto de aproximadamente 8 grados antes del punto muerto superior (PMS) del primer pistón durante la carrera de compresión, mientras que, en Quito, ciudad ubicada a 2.850 msnm, el adelanto puede estar entre 12 y 13 grados. Este ajuste se realiza generalmente a régimen de ralentí, entre 900 y 1.000 RPM, según las especificaciones del fabricante y el tipo de motor (**Heywood, 2018**).

El tiempo base del encendido debe mantenerse constante en relación con el proceso de combustión, incluso cuando aumentan las revoluciones por minuto Revoluciones por Minuto (RPM). Por esta razón, el adelanto del encendido también incrementa proporcionalmente con las RPM, permitiendo que la combustión se mantenga eficiente independientemente del

régimen de giro. En los motores diésel ocurre un fenómeno similar, aunque en lugar de utilizar una chispa eléctrica, el encendido se produce mediante la inyección del combustible, lo que comúnmente se conoce como “adelanto de la gota”. Este adelanto también varía con la altitud: entre el nivel del mar y una ciudad como Quito (a 2.850 msnm), la diferencia angular puede ir de 8 a 13 grados. Esta variación compensa la menor disponibilidad de oxígeno, ya que a mayor altitud disminuye la presión atmosférica y, con ello, la densidad del aire. Por tanto, el motor requiere más tiempo para completar la combustión de forma adecuada. Este estudio interpreta dicha variación como un factor fundamental que debe ser considerado en las mediciones de emisiones, ya que las condiciones geográficas inciden directamente en los resultados. Para determinar esta afectación de forma precisa, se recomienda el uso de vehículos que cumplan con los parámetros óptimos de funcionamiento establecidos en la normativa vigente de la Revisión Técnica Vehicular (RTV) **(Pulkrabek, 2013)**.

Determinar la variante en porcentaje que se debe establecer para proponer una corrección de la normativa para una altura de 2850 msnm en la ciudad de Quito con condiciones geográficas perteneciente a la región andina del Ecuador.

La investigación se lleva a cabo considerando diversas altitudes, aprovechando la variada geografía del Ecuador. La ruta seleccionada se extiende desde la ciudad de Quito, ubicada a 2.850 metros sobre el nivel del mar, hasta la ciudad de Esmeraldas, situada a altitud cero. Para este estudio, se emplean vehículos con motores diésel. La medición de contaminantes se realiza mediante un medidor de opacidad, que permite cuantificar el incremento en la emisión de partículas contaminantes conforme varía la altitud del recorrido **(Stone, 2012)**.

Este efecto es más pronunciado en motores de aspiración natural en comparación con los turboalimentados. Además, la densidad y concentración de oxígeno afectan los fenómenos locales involucrados en la combustión y la formación de contaminantes **(Lapuerta et al., 2006)**.

Al aumentar la altitud, la concentración de oxígeno en la mezcla estequiométrica disminuye, al igual que la temperatura de la llama, lo que puede afectar la formación de óxidos de nitrógeno (NOx) y otros contaminantes. Las condiciones locales de combustión también se ven afectadas por la altitud. En los motores diésel turboalimentados actuales, la mayor parte del proceso de combustión (excepto en condiciones de muy baja carga) ocurre por difusión, situación en la cual la llama se desarrolla en condiciones aproximadamente estequiométricas. La formación de NOx durante el proceso de combustión depende en gran medida de la temperatura y la masa de oxígeno disponible en la llama. Dado que la combustión es tan rápida, apenas hay tiempo para pérdidas de energía, lo que permite que la temperatura de combustión se aproxime a la de la llama adiabática (**Lapuerta et al., 2006**).

La investigación tiene el objetivo fundamental de generar una propuesta a las regulaciones impuestas por la RTV tomando en cuenta los cambios que se generan y corregir los parámetros para la ciudad de Quito, tomando en cuenta que es un factor ajeno a las condiciones del motor y que debe diferenciarse la unidad de medida con relación a la medición a nivel de mar.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Método. Este estudio es de enfoque cuantitativo y tiene como objetivo determinar los cambios en la opacidad de las emisiones en función de la altitud. Para lograr esto, se utilizaron técnicas de muestreo en sitio, empleando equipos especializados que cumplen la certificación vigente en la normativa exigida por la RTV que permiten realizar lecturas precisas y cuantificar los cambios en la opacidad del escape a diferentes alturas. Estos datos se obtuvieron tomando como referencia los valores establecidos por la normativa de la Revisión Técnica Vehicular (RTV) en Quito, lo que proporciona un marco normativo claro para la comparación.

3.1.1 Técnicas de muestreo de opacidad en diferentes altitudes

La toma de datos de opacidad en motores diésel se determinan en técnicas de estudio que permiten cuantificar la cantidad de partículas visibles (principalmente hollín) que se emanan por el colector de escape hacia el medio ambiente, para el proceso del calentamiento previo de los motores de prueba durante 15 minutos, seguido de un periodo de funcionamiento bajo carga de 30 minutos que representa el desplazamiento entre lugares, permitió alcanzar condiciones térmicas estables antes de efectuar las mediciones. La literatura técnica establece que las pruebas de emisiones deben ejecutarse únicamente cuando el motor se encuentra dentro de su régimen normal de operación, evitando así alteraciones derivadas de fases transitorias de calentamiento (Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN], 2013; Heywood, 2018).

Con el propósito de asegurar uniformidad en las condiciones experimentales entre los distintos puntos altitudinales, se verificó y registró la temperatura del refrigerante inmediatamente antes de cada serie de aceleraciones. Los valores obtenidos en cada estación fueron:

Quito (2850 msnm) 89 °C - Tandapi (2500 msnm) 90 °C - Alluriquín (740 msnm) 92 °C Santo Domingo (570 msnm): 94 °C

Las temperaturas registradas se encuentran dentro del intervalo operativo habitual para motores diésel turboalimentados, cuyo sistema de enfriamiento suele estabilizarse entre 85 °C y 95 °C bajo condiciones normales de funcionamiento (Çengel & Boles, 2015; Heywood, 2018). Las pequeñas diferencias observadas entre estaciones pueden asociarse a variaciones en altitud, presión atmosférica y temperatura ambiente; no obstante, dichas variaciones no afectan la estabilidad general del proceso de combustión ni la comparabilidad de los resultados obtenidos. De esta manera evaluar cómo la diferencia de altitud va incidiendo en dichas emisiones, se aplican las siguientes técnicas de muestreo:

- **Prueba de aceleración libre (RAL – Regimen de Aceleración Libre):**

Es la técnica más utilizada para vehículos diésel sin carga. Consiste en acelerar el motor desde régimen de ralentí hasta su régimen máximo tres veces consecutivas, en punto muerto. Se utiliza un opacímetro conectado al tubo de escape para medir la densidad del humo en cada aceleración. Este procedimiento se repite en cada altitud determinada para registrar las variaciones (UNE, 2017).

- **Muestreo comparativo de datos a diferentes alturas y humedad relativa**

La toma de datos se definió en diferentes estaciones fijas de muestreo en puntos clave para la investigación siendo esto lugares y presenta una humedad relativa en Quito con un 75%, Tandapi 87%, Alluriquín 86% y Santo Domingo de los Tsachilas 87%. En cada estación, se realiza la prueba RTV bajo las mismas condiciones técnicas (motor caliente, mismo tipo de combustible) para asegurar que la comparación de datos no tenga diferencias y sea un dato directo.

- **Fundamentación Técnica de los Intervalos Altitudinales de 500 Metros**

En la presente investigación se establecieron descensos progresivos cercanos a los 500 metros entre cada punto de medición. Esta decisión responde a criterios físicos relacionados con el comportamiento de la presión atmosférica y la densidad del aire en función de la altura sobre el nivel del mar.

Desde el punto de vista atmosférico, la presión disminuye de manera apreciable conforme aumenta la altitud. En el rango comprendido entre 0 y 3000 msnm, una variación vertical de aproximadamente 500 metros genera una reducción cercana al 5 % en la presión absoluta. Esta disminución implica una menor masa de aire por unidad de volumen y, por lo tanto, una reducción proporcional en la cantidad de oxígeno disponible para el proceso de combustión, fenómeno explicado por la ecuación barométrica y la ley de los gases ideales (Salby, 1996; Çengel & Boles, 2015).

Dado que el funcionamiento de los motores diésel depende directamente de la relación aire–combustible, incluso cambios moderados en la densidad del aire pueden alterar la eficiencia de la combustión y la formación de material particulado. Por esta razón, un escalón de 500 metros permite registrar diferencias que superan el margen de error instrumental y resultan detectables en las mediciones de opacidad.

En el caso específico de motores turboalimentados, aunque estos disponen de sistemas de compensación como sensores de presión absoluta y control electrónico de la sobrealimentación, dicha compensación no elimina completamente el efecto de la altitud. El turbocompresor trabaja a partir de la presión atmosférica disponible; si esta es menor, la presión absoluta final en el colector de admisión también disminuye, aun cuando el sistema incremente la presión de soplado dentro de sus límites operativos. Además, la eficiencia volumétrica del compresor y su mapa de funcionamiento imponen restricciones físicas que impiden una compensación total en condiciones de gran altitud.

Por consiguiente, aunque la sobrealimentación reduce el impacto, no lo anula, lo que justifica la necesidad de intervalos suficientemente amplios para evidenciar cambios progresivos en el comportamiento de las emisiones.

Desde una perspectiva metodológica, intervalos menores podrían no generar variaciones significativas respecto a la incertidumbre del equipo de medición, mientras que distancias mayores podrían disminuir la resolución del análisis comparativo. El valor aproximado de 500 metros constituye, por tanto, un equilibrio entre sensibilidad técnica, control experimental y viabilidad operativa en campo.

En síntesis, la selección de este intervalo permite captar variaciones físicas relevantes en la presión atmosférica, evaluar la respuesta del sistema de combustión —incluidos motores

turboalimentados— y construir una tendencia progresiva del comportamiento de la opacidad en función de la altitud.

- **Control de variables externas:**

Para que el proceso garantice la validez de la toma de datos, se considera variables ambientales en cada estación la presión atmosférica, temperatura ambiente. Estas condiciones afectan la concentración de oxígeno y, por tanto, el proceso de combustión. Su registro permite correlacionar los resultados de opacidad con factores ambientales.

- **Registro digital y análisis de datos:**

La data de opacidad registrada se almacena en un sistema digital para posterior análisis comparativo y obtención de resultados. Por medio de tres tomas de cada parámetro se obtienen la media de opacidad en cada punto geográfico, mismo que y permite una comparación entre altitudes. La diferencia en opacidad medida a diferentes alturas genera como resultado directo y por defecto de la disminución del oxígeno disponible mientras se incrementa la altura.

Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2202:2013)

1. Preparación del Vehículo

Antes de realizar la prueba de opacidad, es fundamental asegurarse de que el vehículo se encuentra en condiciones óptimas. Las verificaciones incluyen:

- Estado de las llantas: comprobar la presión y el desgaste.
- Sistema de iluminación: revisar el funcionamiento de luces de freno, direccionales y luces de posición.
- Parabrisas y ventanas: asegurarse de que no presenten daños.
- Cinturones de seguridad: verificar que estén en buen estado y correctamente ajustados.
- Niveles de fluidos: comprobar que el aceite, refrigerante y líquido de frenos estén en niveles adecuados.

- Funcionamiento del motor y la batería: asegurarse de que operen correctamente.
- Tacómetro: verificar su correcto funcionamiento.
- Bisagras de puertas y tapas: revisar su estado y funcionamiento.

2. Preparación del Sistema de Escape.

- Para garantizar una medición precisa durante la prueba de opacidad:
- Tubo de escape: verificar que no tenga fugas ni obstrucciones.
- Calentamiento del motor: asegurarse de que el motor esté a su temperatura óptima de funcionamiento antes de la prueba.

3. Procedimiento de la Prueba de Opacidad.

La prueba de opacidad se realiza siguiendo el método de aceleración libre, conforme a la Norma

Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2202:2013. Los pasos son:

- Registro de datos: se documenta la información del vehículo.
- Conexión de equipos de medición: se instalan el captador de revoluciones, el sensor de temperatura y la sonda en el tubo de escape.
- Ejecución de la prueba: se realizan entre 3 y 6 aceleraciones libres, durante las cuales el opacímetro mide la cantidad de humo negro emitido por el vehículo.
- Entrega de resultados: al finalizar, se proporciona al cliente una copia de los resultados obtenidos (**Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2202:2013**)

3.2 MATERIALES

3.2.1 Vehículo 1

D-Max 4x4 2023 diésel, es la camioneta que en junio del 2022 se reportó como el vehículo liviano más vendido en el Ecuador (**AEADE, 2022**), Motor 2.5L Turbo Diésel CRDI: Disponible en versiones de 79 HP y 134 HP, con un torque de hasta 320 Nm. Motor 2.0L Turbo Diésel con un recorrido de 6.000 Km realizado mantenimientos en casa comercial. Ofrece 159 HP y 400 Nm de torque, con turbo de geometría variable calibrado para la altura ecuatoriana. El informe destaca que Chevrolet fue una de las

marcas más vendidas en el segmento de vehículos ligeros, con la Chevrolet D-MAX siendo el modelo más vendido en su categoría, alcanzando las 6,501 unidades vendidas. Este éxito la posicionó por encima de marcas como Toyota 2114 y Graet Wall con 2798, siendo las tres marcas más vendidas (**Anuario AEADE, 2022**).

Chevrolet D-M AX 4X4 2023.



Figura #1 Camioneta D-Max Ficha Técnica

Chevrolet D-Max 2023

Característica	Especificación
Tipo de vehículo	Camioneta pickup 4x2 / 4x4
Año modelo	2023
Motor	4 cilindros en línea, turbodiesel
Cilindrada	2.5 – 3.0 L (según versión)
Sistema de inyección	Común Rail de alta presión
Sobrealimentación	Turbo de geometría variable (VGT)
Norma de emisiones	Equivalente Euro 5 / Euro 6
Potencia aproximada	134 – 188 HP
Torque máximo	320 – 450 N m
Sistema de control	ECU con gestión electrónica avanzada
Sistema de pos tratamiento	EGR optimizado y posible DPF (según versión)
Tipo de combustible	Diésel automotriz conforme NTE INEN 1489

Fuente (Autores, 2024)

3.2.2 Vehículo #2 D-MAX 4X4 2019

Cumpliendo con los mismos parámetros de la DMAX del 2019 en ventas para obtener un segundo dato de comparación se toma los datos de la D-MAX 2023, es una camioneta con un recorrido de 45000 kilómetros, la misma que se ha realizado los mantenimientos en la casa comercial cada 5000 kilómetros.

Chevrolet D-MAX 4X4 2019



Figura #2 Camioneta D-Max II

Fuente, Grupo investigador, 2024

Ficha técnica

Chevrolet D-Max 2019

Característica	Especificación
Tipo de vehículo	Camioneta pickup 4x2 / 4x4
Año modelo	2019
Motor	4 cilindros en línea, turbodiesel
Cilindrada	2.5 – 3.0 L (según versión)
Sistema de inyección	Común Rail
Sobrealimentación	Turbo (geometría fija o variable según versión)
Norma de emisiones	Equivalente Euro 3 / Euro 4
Potencia aproximada	130 – 174 HP
Torque máximo	280 – 380 N m
Sistema de control	ECU de generación anterior
Sistema de pos tratamiento	EGR convencional
Tipo de combustible	Diésel automotriz conforme NTE INEN 1489

3.2.4 Normativa INEN 2202

Determinación de la opacidad de emisiones de escape de motores de diésel mediante la prueba estática. método de aceleración libre, Norma INEN 2202.

La normativa **NTE INEN 2202:2000** permite establecer los métodos para la medición de opacidad en los motores diésel, con lo que se establecen los límites máximos permitidos de acuerdo a la fecha de la elaboración de los motores, así como la tecnología de los motores de esos años. La normativa define los límites máximos de opacidad del 50%, la opacidad se define como la fracción de luz que es absorbida o reflejada por las partículas en las emisiones de escape.

3.2.5 Opacímetro

Herramienta Texa OPABOX indispensable para la toma de datos de opacidad emitida por los motores diésel, la herramienta cumple con las certificaciones solicitadas por la normativa “Medición de emisiones de gases de escape en motores de combustión interna” **Norma INEN 2202**.

De igual forma los parámetros establecidos por la RTV, para certificar los vehículos. La herramienta portátil por lo que puede ser transportada de forma fácil a los lugares donde se realiza la medición para el estudio.

Opacímetro TEXA OPABOX

Especificaciones Técnicas

Característica	Descripción
Dimensiones	460 x 200 x 250 mm
Peso	6,5 Kg (con trolley 15 kg)
Fuente alimentación externa	2 baterías de plomo de 12 V 7 Ah; Consumo máximo: 80W
Puerto serial	RS232 estándar
Salida wireless	Bluetooth
Software	ETS o IDCS
Reset y calibración	Electrónica y automática
Tecnología	Diodo LED verde
Tiempo de calentamiento	Máximo 5 minutos
Medida cámara	200 mm
Temperatura	75°C



Certificación de equipo.

Fuente Centro Español de Metrología, 2008

La normativa establece los parámetros máximos de emisiones producida por los motores diésel de acuerdo a los años de fabricación, aquí se establece diferentes tipos de faltas hasta la aprobación o negación, la norma vigente de la RTV ha sufrido un cambio en el 2018 donde se incrementa un

parámetro adicional en los niveles de opacidad para motores que van desde el año 2019 en adelante que es del 30% de opacidad.

3.2.7 Combustible Diésel Ecuatoriano.

Para el desarrollo del estudio se utilizó diésel automotriz proveniente de un único lote para ambos vehículos obtenidos en la misma estación de combustible, con el fin de garantizar uniformidad en las propiedades del combustible y evitar variaciones que pudieran influir en los resultados. El diésel empleado cumple con las especificaciones establecidas en la NTE INEN 1489, norma que regula en el Ecuador los requisitos de calidad para este combustible, incluyendo número de cetano, contenido máximo de azufre, densidad, viscosidad y propiedades de lubricidad. Estos parámetros inciden directamente en la eficiencia del proceso de combustión y en la formación de material particulado. La utilización de un solo lote permitió minimizar posibles sesgos experimentales y asegurar que las diferencias observadas en los niveles de opacidad se atribuyeran principalmente a la altitud y al nivel tecnológico de los sistemas de inyección evaluados.

Tabla #1 Parámetros de la RTV de Quito.

Año del Vehículo	Opacidad en % (X)	Tipo de Falta	Resultado
Del 2000 en adelante	$0 \leq X < 30$	0	Aprobado sin faltas
	$30 \leq X < 40$	1	Aprobado con falta TIPO 1
	$40 \leq X < 50$	2	Aprobado con falta TIPO 2
	$X \geq 50$	3	Rechazado falta TIPO 3
De 1999 y anteriores	$0 \leq X < 40$	0	Aprobado sin faltas
	$40 \leq X < 50$	1	Aprobado con falta TIPO 1
	$50 \leq X < 60$	2	Aprobado con falta TIPO 2
	$X \geq 60$	3	Rechazado falta TIPO 3
Tipo de Falta	Gravedad	Resultado	
0	Cero	Vehículo sin problemas	
1	Moderada	El vehículo pasa	
2	Grave	El vehículo pasa condicionado	
3	Peligrosa	El vehículo no pasa	

Fuente (Revisión Técnica Vehicular).

3.2.7 Altímetro PCE-AM 85.

Herramienta determinada para ubicar la altura correcta del sitio geográfico destinado para realizar la toma de datos, es una herramienta calibrada para que la lectura de altitud a que se realizan la toma de datos sea identificada con precisión y se pueda hacer la relación en forma correcta para el cálculo del factor de corrección. El altímetro PCE-AM 85 mide la altitud basándose en la variación de la presión atmosférica. A medida que aumenta la altitud, la presión atmosférica disminuye, y este dispositivo calcula la altura detectando esa diferencia de presión PCE Instruments. (s. f.). **Altímetro PCE-AM 85.**

Recuperado el 29 de abril de 2025, de:

https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumentomedida/medidor/altimetro-pce-instruments-altimetro-pce-am-85-det_2303837.htm.

Altímetro.



Figura #5

Fuente. (Texa LATAM, n.d.)

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Para la obtención de los datos fuente del estudio, se determinaron inicialmente las necesidades y variantes, incluyendo dos vehículos que permitieran generar diferentes valores bajo condiciones controladas. Se consideraron aspectos como la vía, la variación de altitud y las herramientas utilizadas. Una premisa fundamental fue contar con una base de información que confirmará el buen funcionamiento del motor ya que el vehículo paso pruebas de

laboratorio como sistemas de frenos, sistema de suspensión, y sistema de gases en los equipos de UIDE certificando que operará dentro de los parámetros establecidos por el fabricante y por la RTV. Posteriormente, se comprobó que los motores cumplieran con los parámetros de la normativa RTV de la normativa vigente. Esta información inicial, recolectada en Quito a una altitud de 2850 metros sobre el nivel del mar, se usó como datos base para el estudio.

Impacto de la Sobrealimentación en el Comportamiento de las Emisiones dan cuenta que los motores equipados con turbocompresor generan menor variación en los niveles de opacidad cuando ascienden en la altitud terrestre. Esta respuesta se relaciona con la capacidad del sistema de sobrealimentación para aumentar la presión del aire que ingresa al motor, lo que permite mantener una mayor cantidad de oxígeno disponible para la combustión en comparación con motores de aspiración natural.

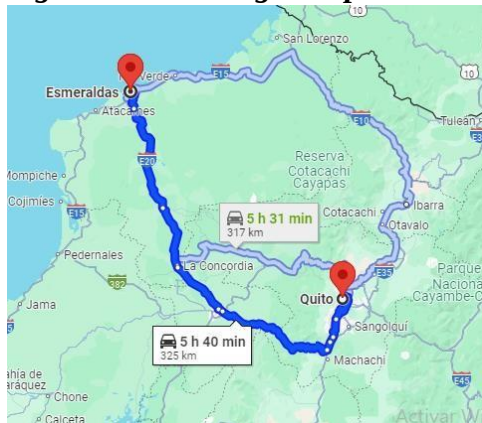
Desde el enfoque termodinámico, la densidad del aire depende directamente de la presión absoluta y de la temperatura, de acuerdo con la relación establecida por la ley de los gases ideales (Çengel & Boles, 2015). A medida que la altitud aumenta, la presión atmosférica disminuye y, en consecuencia, también lo hace la densidad del aire. Esta reducción influye en la relación aire–combustible y puede favorecer incrementos en la formación de material particulado si no existe un mecanismo de compensación adecuado.

En motores turboalimentados, la presión total en el sistema de admisión corresponde a la suma de la presión atmosférica y la presión generada por el turbocompresor. No obstante, cuando la presión atmosférica de base disminuye en altura, la presión absoluta final sigue siendo inferior a la registrada a nivel del mar, aun cuando el sistema incremente la sobrealimentación. La magnitud de esta compensación depende del diseño del turbocompresor, la eficiencia volumétrica y la estrategia de control electrónico del motor (Heywood, 2018).

Por esta razón, el estudio considera como único factor de corrección altitudinal para todos los motores, esto podría simplificar en exceso el fenómeno. Los motores sin sobrealimentación tienden a ser más sensibles a los cambios de presión atmosférica, mientras que los sistemas turboalimentados modernos muestran una respuesta más estable, aunque no completamente independiente de la altitud (Johnson, 2015). En consecuencia, la formulación de factores de ajuste debería contemplar el tipo de sistema de inducción y el nivel tecnológico del motor evaluado.

El siguiente paso consistió en desplazar los vehículos a lo largo de una ruta seleccionada que abarcaba diversas altitudes, para alcanzar los valores desde la ciudad de Quito hay dos vías posibles: La primera por la Vía a los Bancos y la segunda por Tandapi, se eligió la vía Tandapi por lo que permite una mayor cantidad de pueblos y lugares que presenten menos riesgos de toma de datos, registrando lecturas en cada punto para comparar con los valores base y analizar las variables resultantes. Se estableció un protocolo riguroso para asegurar la validez científica de las pruebas, considerando la reducción de oxígeno por altitud y su impacto en el proceso de combustión y las emisiones.

Figura #6 Ruta asignada para el estudio



Fuente Google maps, 2024

En cuanto a los motores, de los vehículos se precalentaron durante 15 minutos para asegurar que alcanzaran la temperatura de funcionamiento normal. Luego, se sometieron a carga durante 30

minutos para estabilizar su rendimiento. Las lecturas finales se realizaron con el motor encendido y el equipo conectado. Este protocolo incluyó fases de aceleración y desaceleración controladas, solicitadas por el equipo, registrando tres lecturas por evento para calcular un promedio y minimizar errores humanos. Los datos recolectados se registraron en la tabla #2, proporcionando una base sólida para analizar cómo las condiciones de altitud influyen en las emisiones vehiculares y permitiendo identificar variaciones asociadas a la altitud y la calibración precisa del equipo, la lectura inicial se la realiza en la ciudad de Quito a 2850 msnm.

Procedimiento de la Prueba de Opacidad en la Revisión Técnica Vehicular en Quito (Norma

Tabla #2 Tama de datos base en la ciudad de Quito.

Opacidad de gases de escape %, Intensidad lumiso trasmitida, I el coeficiente de absorción (m ⁻¹) a 2850 msnm.								
Camioneta (Año)	Toma 1 (%)	Toma 2 (%)	Toma 3 (%)	Promedio (%)	Transmitancia (I/I ₀)	k (m ⁻¹)	Límite permitido (%)	Estado
2023	22,4	22,5	22,4	22,43	0,7757	0,254	30	Ok
2019	33,3	33,3	33,5	33,37	0,6663	0,406	50	Ok

Nota. Los datos fueron obtenidos de la Fuente: (Grupo investigador, 2024)

Los datos demuestran que los dos motores de prueba certifican las emisiones sin inconvenientes ni restricciones; cada uno de ellos, dentro de sus límites máximos permitidos, cumple con los requisitos para circular o trabajar en la ciudad. Ninguno presenta fallas permisibles ni genera rechazo por incumplimiento de la normativa, lo que confirma que los motores operan correctamente y que las pruebas realizadas cuentan con un rango de acierto elevado.

Los datos tabulados en la ciudad de Quito constituyen los elementos iniciales del estudio, ya que a partir de ellos se analiza la variación que se presenta debido a la falta de oxígeno siguiendo la ruta establecida para la investigación.

Para la tabulación (tabla #2), se definió una metodología de toma de datos en intervalos aproximados de 500 metros de descenso a lo largo de una ruta que cumple con los requisitos mínimos de seguridad, según lo descrito en la figura correspondiente. Esta decisión se justifica debido a que, según estudios

técnicos, variaciones de altitud superiores a 300-500 metros pueden afectar significativamente parámetros como la presión atmosférica, la densidad del aire y la eficiencia de combustión de los motores diésel, lo que a su vez influye en los niveles de emisiones contaminantes (Heywood, 1988). Por lo tanto, una distancia de 500 metros permite captar con suficiencia las variaciones en el comportamiento del sistema evaluado, manteniendo al mismo tiempo una resolución práctica y segura para la recolección de datos en campo.

Información levantada en ruta a una altitud de 2500 msnm. Dado que las condiciones de la vía requerían una medición precisa de la altitud, se utilizó un altímetro para verificar este dato antes de proceder con la toma de muestras. Tras completar el proceso de calentamiento y calibración del equipo, asegurando que los motores estuvieran en su temperatura óptima de funcionamiento debido al trabajo previo, se llevó a cabo la segunda toma de datos. Los resultados obtenidos en esta etapa están consignados en la tabla #3.

Tabla #3 Datos tomados en la ruta a 2500 msnm.

Opacidad de gases de escape %, Intensidad lumiso trasmitada, Iel coeficiente de absorción (m ⁻¹) a 2500 msnm.								
Camioneta (Año)	Toma 1 (%)	Toma 2 (%)	Toma 3 (%)	Promedio (%)	Transmitancia (I/I ₀)	k (m ⁻¹)	Límite permitido (%)	Estado
2023	21,9	21,8	21,9	21,87	0,7813	0,247	30	Ok
2019	31,9	31,9	31,8	31,87	0,6813	0,384	50	Ok

Nota. Estos datos fueron obtenidos de la Fuente (Grupo investigador, 2024)

Los datos obtenidos evidencian un cambio leve en los resultados, lo que permite identificar la influencia de la presión atmosférica en las emisiones generadas por los motores, incluso en los dos motores de las camionetas D-MAX que son turboalimentados. Por esta razón, las variaciones de los datos en las camionetas son mínimas, pero no inexistentes.

Siguiendo la ruta hacia la costa, se realizó una tercera parada a una altitud de 2000 msnm, según la medición realizada con un altímetro. Cabe aclarar, se registraron pequeñas variaciones en la altitud debido a la necesidad de garantizar un lugar seguro para estacionar y tomar los datos, estas son

despreciables. Los datos obtenidos en esta parada se registraron en la tabla #4 y continúan mostrando las tendencias asociadas al descenso en altitud y sus efectos sobre las emisiones de los motores.

En este punto del análisis, además del porcentaje de opacidad reportado por el equipo TEXA, se incorporan dos parámetros fundamentales para la interpretación técnica de los resultados: la transmitancia (I/I_0) y el coeficiente de absorción de luz (k , m^{-1}). La transmitancia permite cuantificar la fracción de luz que logra atravesar los gases de escape, mientras que el coeficiente k representa la atenuación real del haz luminoso debido a la presencia de material particulado. Ambos parámetros son derivados directamente de la medición óptica y permiten una interpretación más robusta y física del comportamiento de las emisiones.

De esta manera, aunque el equipo entregue inicialmente resultados en porcentaje de opacidad, el uso de la transmitancia y del coeficiente de absorción resulta esencial para el análisis comparativo entre altitudes y entre vehículos, ya que estos parámetros permiten evidenciar con mayor precisión las variaciones en la densidad de partículas emitidas. En conjunto, estos indicadores aportan un valor significativo al estudio, al permitir no solo una evaluación normativa, sino también una interpretación física del proceso de combustión bajo condiciones cambiantes de presión atmosférica.

Tabla #4 Toma de datos a una altitud de 2000 msnm.

Opacidad de gases de escape %, Intensidad lumiso trasmitida L, el coeficiente de absorción (m^{-1}) a 2000 msnm.								
Camioneta (Año)	Toma 1 (%)	Toma 2 (%)	Toma 3 (%)	Promedio (%)	Transmitancia (I/I_0)	k (m^{-1})	Límite permitido (%)	Estado
2023	21,6	21,8	21,6	21,67	0,7833	0,244	30	Ok
2019	30,1	30,2	30,1	30,13	0,6987	0,359	50	Ok

Nota. Los datos fueron obtenidos de la fuente (Grupo investigador, 2024).

Los datos obtenidos en las lecturas muestran una curva de crecimiento que evidencia un cambio notable en las emisiones. Este cambio es atribuible al incremento de la presión atmosférica, lo que resulta en una mejor combustión dentro del cilindro, reduciendo las emisiones contaminantes.

La quinta parada se realizó en la parroquia de Tandapi, un área con características geográficas muy diversas que van desde los 3000 metros sobre el nivel del mar en su punto más alto hasta los 800 msnm en las zonas más bajas. Debido a esta diversidad, gran parte del estudio se llevó a cabo en esta localidad, permitiendo analizar cómo las variaciones de altitud afectan las emisiones **Topographic Map. (s.f.). Manuel Cornejo Astorga.**

La información recopilada a 1500 msnm consolidó la tendencia hacia una combustión más eficiente, lo que se tradujo en menores emisiones al medio ambiente. Estos datos se encuentran registrados en la tabla #5, destacando la influencia directa de la altitud en la mejora de las condiciones de combustión y la consecuente reducción de contaminantes.

La transmitancia muestra una ligera tendencia al incremento al disminuir la altitud, lo que indica una menor atenuación del haz luminoso y, por tanto, una reducción relativa en la presencia de material particulado en los gases de escape. De manera complementaria, el coeficiente de absorción de luz evidencia una disminución en este mismo intervalo, reflejando una menor capacidad de los gases para absorber la radiación luminosa. Este comportamiento conjunto confirma la sensibilidad de ambos parámetros frente a cambios en la presión atmosférica y las condiciones de combustión, manteniendo una variación coherente con la transición altitudinal analizada.

Tabla #5 Toma de datos a una altitud de 1500 msnm.

Opacidad de gases de escape %, Intensidad lumiso trasmitida, I el coeficiente de absorción (m ⁻¹) a 1500 msnm.								
Camioneta (Año)	Toma 1 (%)	Toma 2 (%)	Toma 3 (%)	Promedio (%)	Transmitancia (I/I ₀)	k (m ⁻¹)	Límite permitido (%)	Estado
2023	20,15	20,17	20,16	20,16	0,7984	0,225	30	Ok
2019	29,7	29,9	29,8	29,8	0,702	0,354	50	Ok

Nota. Los datos fueron obtenidos de la fuente (Grupo investigador, 2024).

Las lecturas realizadas en el estudio muestran una tendencia clara hacia una reducción en las emisiones de gases conforme se desciende en altitud, lo que incrementa la presión atmosférica. Este comportamiento resalta la influencia directa de la geografía terrestre sobre

el desempeño de los motores y las emisiones que generan. Por esta razón, el análisis inicial del estudio abarcó un rango de altitudes desde los 2850 msnm en Quito hasta los 1500 msnm en una zona de Tandapi.

Al comparar los datos obtenidos, se observó una disminución significativa en las emisiones, como se refleja en la tabla #6 mostrando una variación notable en los motores turboalimentados, los resultados indicaron diferencias, aunque significativas dentro del análisis técnico: el V1, equipada con tecnología de última generación, presentó una reducción significativa siendo menor que el V2 que alcanzó un porcentaje mayor como se muestra en las tablas. Estas variaciones evidencian que la normativa presenta a la altura de Quito inconsistencias, para contemplar las diferencias en comportamiento de los motores a distintas altitudes.

La información del estudio muestra que el V1, perteneciente a una generación más reciente, mantiene una disminución de opacidad más estable ante los cambios de altitud en comparación con el V2. Este comportamiento puede explicarse por las mejoras tecnológicas incorporadas en los modelos de última generación, tales como sistemas de inyección Common Rail que operan a presiones más elevadas, una gestión electrónica más precisa del proceso de combustión y una regulación optimizada del turbocompresor de geometría variable. Adicionalmente, estos vehículos pueden integrar sistemas avanzados de control de emisiones, como recirculación de gases de escape mejorada y filtro de partículas diésel, elementos característicos de configuraciones equivalentes a estándares Euro 6 (Heywood, 2018; Johnson, 2015).

Por su parte, los motores correspondientes a generaciones anteriores, asociados a normativas como Euro 3 o Euro 4, disponen de menores recursos de compensación electrónica frente a variaciones en la presión atmosférica. Esto los hace más susceptibles a los efectos de la altitud, ya que la disminución de la densidad del aire influye directamente en la relación aire-combustible y en la

eficiencia del proceso de combustión (Çengel & Boles, 2015). En este contexto, aplicar un único factor de corrección para todos los niveles tecnológicos podría no reflejar adecuadamente las diferencias observadas, por lo que resulta técnicamente más apropiado considerar coeficientes diferenciados según el grado de sofisticación del sistema de control de emisiones.

La diferencia de opacidad de los motores objeto de estudio muestra un incremento entre los puntos de relevancia establecidos a 1500 msnm y a 2850 msnm, los puntos extremos del estudio. Los datos obtenidos indican que, en el primer caso, se registra un incremento del 8.33% (vehículo de prueba uno) y en el segundo, un incremento del 10.71%. Este fenómeno se debe a las mismas condiciones existentes en ambos casos, ya que la variación geográfica provoca una pérdida de presión atmosférica, lo que se traduce en un aumento de la contaminación ambiental debido a la menor disponibilidad de oxígeno en la combustión.

A pesar de este incremento, los parámetros de opacidad se encuentran dentro del comportamiento permitido por la normativa de la Revisión Técnica Vehicular (RTV), que autoriza valores de opacidad entre el 50% y el 60%, asegurando que las emisiones permanezcan dentro de los límites aceptables establecidos para la operación de los vehículos.

El análisis conjunto de la transmitancia y del coeficiente de absorción permite establecer que ambos parámetros responden de manera coherente a las variaciones de altitud, evidenciando el efecto de las condiciones atmosféricas sobre el proceso de combustión. Mientras la transmitancia refleja la facilidad con la que la luz atraviesa los gases de escape, el coeficiente de absorción cuantifica de forma más directa la presencia de material particulado, confirmando que los cambios observados, aunque leves, son consistentes y relevantes para la interpretación del comportamiento de las emisiones en condiciones reales de operación.

Tabla #6 Datos comparativos de Opacidad a 2850 msnm con 1500 msnm

Diferencia de Transmitancia, Opacidad, y Coeficiente de Absorción entre el nivel del mar hasta 2850 msnm						
Altitud (msnm)	Variación	Variación	Opacidad D-Max 2023 (%)	Opacidad D-Max 2019 (%)	k D-Max 2023 (m ⁻¹)	k D-Max 2019 (m ⁻¹)
	Transmitancia D-Max 2023 (%)	Transmitancia D-Max 2019 (%)				
0	0	0	20,16	29,8	0,225	0,354
1500	0	0	20,16	29,8	0,225	0,354
2000	-1,89	-0,47	21,67	30,13	0,244	0,359
2500	-2,64	-3,09	21,87	31,87	0,247	0,384
2850	-4,1	-5,09	22,43	33,37	0,254	0,406

Nota. Los datos fueron obtenidos de la fuente (Grupo investigador, 2024)

Desde una perspectiva complementaria, para garantizar una medición precisa de las emisiones contaminantes producto de la combustión, es fundamental considerar la calidad del combustible utilizado.

En cuanto a las mediciones realizadas a alturas de 1000 metros y a nivel del mar, los resultados no mostraron variaciones significativas en las emisiones, a pesar de las diferencias registradas en la presión atmosférica según los datos del barómetro. Aunque la presión continúa **aumentando** al descender en altitud, los motores analizados no presentaron cambios perceptibles en las lecturas, lo cual sugiere una estabilidad en el comportamiento del sistema de combustión bajo estas condiciones. Este hallazgo subraya la importancia de continuar investigando el impacto de la calidad del combustible y otros factores en las emisiones para fortalecer los protocolos de evaluación y regulación.

La tabla evidencia una tendencia coherente entre los tres parámetros analizados. A medida que aumenta la altitud, se observa una disminución progresiva de la transmitancia, acompañada de un incremento en el porcentaje de opacidad y del coeficiente de absorción de luz (k). Este comportamiento indica una mayor atenuación del haz luminoso en los gases de escape, asociada a un incremento relativo en la concentración de material particulado.

El coeficiente k presenta una respuesta más sensible y estable frente a los cambios de altitud, lo que lo convierte en el parámetro más representativo para la comparación entre condiciones de operación. Por su parte, la transmitancia y la opacidad reflejan de manera complementaria el comportamiento óptico del sistema, permitiendo una interpretación integral de las emisiones generadas por ambos vehículos. Este comportamiento respalda la precisión de la tabla establecida por la normativa INEN, que parece haber tomado en cuenta estas condiciones geográficas al limitar su alcance hasta los 1500 msnm. Este límite resulta adecuado para reflejar las variaciones de emisiones en función de la altitud y permite establecer parámetros de control que son representativos de las condiciones operativas típicas de los motores en estas altitudes.

Tabla #7 Datos obtenidos a 0 msnm Esmeraldas.

Opacidad de gases de escape %, Intensidad lumiso trasmitida, I el coeficiente de absorción (m ⁻¹) a 0 msnm.								
Camioneta (Año)	Toma 1 (%)	Toma 2 (%)	Toma 3 (%)	Promedio (%)	Transmitanci a (I/I ₀)	k (m ⁻¹)	Límite permitido (%)	Estado
2023	20,16	20,17	20,15	20,16	0,7984	0,225	30	Ok
2019	29,8	29,7	29,9	29,8	0,702	0,354	50	Ok

Nota. Los datos obtenidos de la fuente (Grupo investigador, 2024).

La información recopilada permite validar los datos establecidos por la norma vigente sin necesidad de realizar correcciones adicionales. Sin embargo, a partir de los 1500 msnm y con el aumento de altitud, las condiciones geográficas relacionadas con la menor concentración de oxígeno provocan un incremento en la generación de emisiones. Esto ocurre independientemente del estado o la configuración del motor, evidenciando que la falta de oxígeno es el principal factor en esta tendencia.

Tabla 8#. Ejemplo de cálculo de media y desviación estándar – Vehículo 1 a diferentes altitudes.

Condición	Datos de opacidad	Media ($\bar{x}$)	$\Sigma (xi - \bar{x})^2$	n	Desviación estándar (s)
Nivel del mar	2.20 – 2.20 – 2.20	2.20	0	3	0.00
2000 msnm	2.20 – 2.30 – 2.25	2.25	0.005	3	0.05

El análisis de dispersión evidenció desviación estándar nula en las mediciones realizadas a nivel del mar, indicando alta repetibilidad instrumental. A 2000 msnm, se registró una desviación estándar de 0.05, valor que refleja baja variabilidad en las repeticiones realizadas con el instrumento, La teoría dice que el valor de p sea inferior a 0,05, se podrá concluir que la variación en los niveles de opacidad está asociada de manera significativa a la altitud y no al error aleatorio del equipo de medición o toma de datos.

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

La gráfica desarrollada refleja el comportamiento de las emisiones de gases producidas por los motores en relación con la altitud y la presión atmosférica. A medida que aumenta la altitud, la presión atmosférica disminuye, lo que reduce la densidad del aire disponible para el proceso de combustión. En motores diésel turboalimentados, esta variación es parcialmente compensada por el sistema de sobrealimentación, el cual genera **presión absoluta** en el colector de admisión, resultado de la suma de la presión atmosférica y la presión generada por el turbocompresor. Esto subraya la importancia de considerar factores geográficos en la normativa, así como de establecer protocolos diferenciados para motores que operan en zonas de mayor altitud. La menor densidad del aire a partir de los 1.500 metros sobre el nivel del mar reduce la disponibilidad de oxígeno para la combustión, lo cual impacta directamente en la eficiencia energética y en la generación de emisiones, independientemente del estado del motor. Diversos estudios han demostrado que este efecto altitudinal incrementa las emisiones contaminantes debido a la combustión incompleta (**Arroyo Terán, Cevallos González, Imbaquingo Navarrete & Melo Obando, 2020**). Asimismo, los valores de transmitancia

obtenidos evidencian una mayor opacidad de los gases de escape conforme se incrementa la altitud, mientras que el coeficiente de correlación calculado muestra una relación significativa entre las variables analizadas, confirmando que la disminución de la presión atmosférica y de la densidad del aire influye directamente en el aumento de las emisiones contaminantes y en la variación de la opacidad de los gases emitidos por el motor.

Gráfica #1 Opacidad medida a diferentes alturas geográficas del Ecuador.



Los datos del estudio evidencian la correlación e incidencia de la altura con un incremento de las emisiones producidas por un motor de combustión interna por la falta de oxígeno, simplemente es una condición natural por la variación de la presión atmosférica y su incidencia en el particulado del aire, los elementos constitutivos del aire tengan menos partículas por unidad de volumen dependiendo de la altitud a la que se encuentren, por lo que es importante recalcar para el estudio las comparaciones se la realizó para la ciudad de Quito a 2850 msnm.

La condición irregular de la geografía terrestre hace que las condiciones de presión atmosférica varíen en función de la altitud, tomando como referencia el nivel del mar. Esta

variación provoca cambios en la densidad del aire y, por ende, en la cantidad de partículas disponibles para el proceso de combustión, generando una menor concentración de oxígeno a medida que aumenta la altitud geográfica. No obstante, las mediciones realizadas en este estudio corresponden a escenarios no controlados, ya que se desarrollan en condiciones reales de operación vehicular, donde influyen múltiples variables ambientales y operativas.

Con el fin de realizar una comparación adecuada, el análisis se aborda desde dos enfoques complementarios. El primero corresponde a una comparación práctica, basada en los valores de opacidad obtenidos experimentalmente en cada punto de muestreo, los cuales reflejan el comportamiento real de los motores diésel bajo condiciones ambientales específicas. El segundo enfoque corresponde a una comparación teórica por medio de cálculo, que permite estimar la variación de la presión atmosférica en función de la altitud, proporcionando un marco de referencia para interpretar los resultados experimentales.

Para el análisis teórico se emplea la expresión barométrica simplificada, utilizada para estimar la presión atmosférica en función de la altitud, esto se puede determinar con la fórmula:

$$P(h) = P_0 \times \left(1 - \frac{L \times h}{T_0} \right)^{\frac{q \times M}{R \times L}}$$

$P(h)$ = Presión atmosférica a la altura h

P_0 = Presión atmosférica a nivel de mar (1013,25 hPa),

L = Tasa de cambio de temperatura con la altitud.

T_0 = Temperatura Absoluta a nivel de mar. 295,15 K q = Factor de corrección (9,80665 m/s²)

M = Masa de aire molar (0,0289644 kg/mol)

R = Constante universal de los gases (8,3144598 J/mol·K),

H = Es la altitud (2850 m)

Fuente Salby, M. L. (1996). *Fundamentals of atmospheric physics*. Academic Press

Organización Internacional de Metrología Legal (OIML) establece que los barómetros deben cumplir con ciertos límites de error para garantizar mediciones precisas:

Error máximo permitido (EMM): El error de medición no debe exceder el 25% del EMM bajo condiciones normales de operación **OIML. (1990). Recomendación R 97.**

Condiciones de calibración: Durante la calibración, la temperatura debe mantenerse constante dentro de ± 1 °C, y las variaciones de presión aplicadas no deben causar errores superiores al 25% del EMM. Estas especificaciones aseguran que los barómetros proporcionen lecturas confiables en diversas condiciones ambientales. **OIML. (1990). Recomendación R 97.**

Reemplazando en la formula los datos de obtenidos genera una presión de 720,16 hPa.

Los datos para efectos de cálculos son tomados en sitio y otros como constante universal de los gases por medio de tablas y se aplica la formula con los datos obtenidos en las tablas descritas en el estudio y bibliografía para las constantes.

Tabla #9 Información levanta en la toma de datos.

Datos para el cálculo	0 msnm	1000 msnm	1500 msnm	2000 msnm	2500 msnm	2850 msnm
Presión Atmosférica PSI	14,7	13	12,3	11,6	11	10,2
Temperatura °C	22	20	18	17	16	16

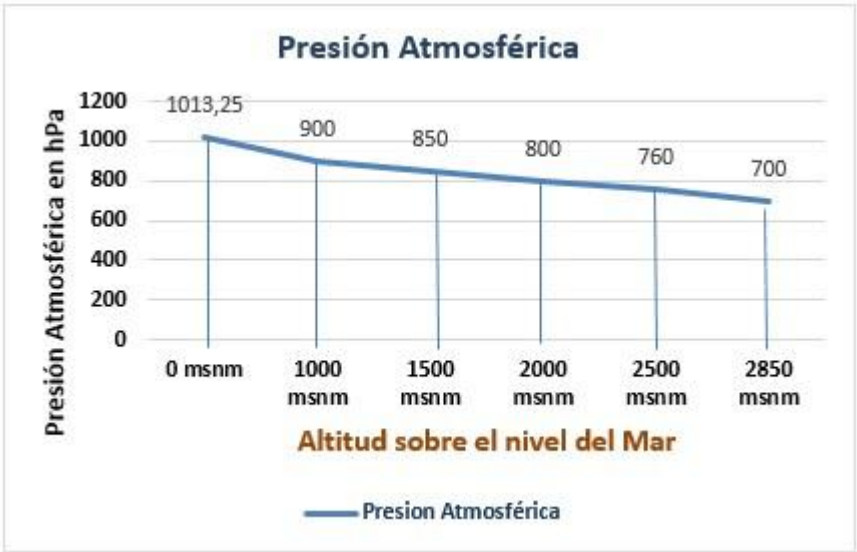
Nota. Elaboración propia (2025).

En el caso de Quito, se determinó una presión atmosférica calculada de 720.16 hPa, mientras que la medición directa con el instrumento reportó 710 hPa, resultando en una diferencia de 10,16 hPa, que convertida a PSI equivale aproximadamente a 0.147 PSI. Este

valor se encuentra dentro de lo esperado debido a las variaciones de temperatura y los factores constantes considerados en el análisis.

Al comparar ambas ciudades, se observa una caída del 30% en la presión atmosférica entre Quito y Esmeraldas, lo cual afecta significativamente la cantidad de oxígeno disponible en el aire. Esta disminución tiene un impacto directo en el particulado de oxígeno, que, a su vez, incrementa las emisiones contaminantes, independientemente de las condiciones internas del motor. Este comportamiento destaca la importancia de considerar la altitud y sus efectos en los análisis de emisiones y en las normativas asociadas.

Gráfica #2 Comportamiento de presión atmosférica de acuerdo con la altitud del estudio.



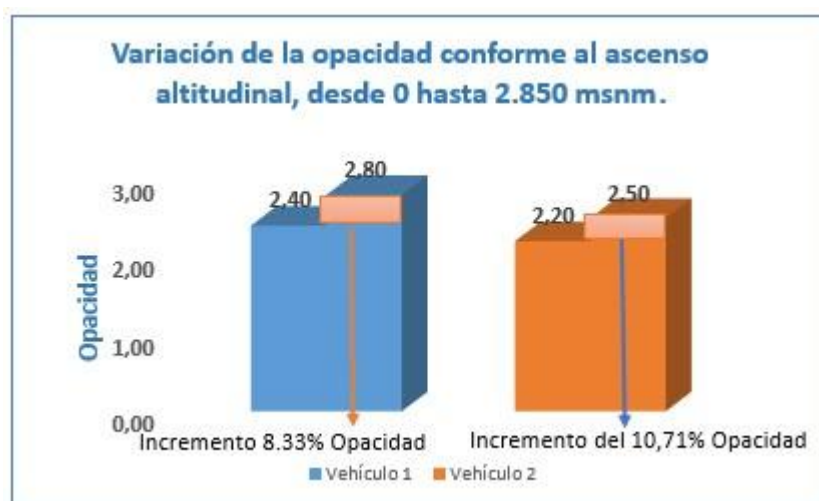
Nota. Elaboración propia (2025)

Los cálculos obtenidos de las mediciones muestran que a medida que se incrementa la altitud, la disminución de oxígeno en el aire genera un aumento en las emisiones (opacidad) de los motores, lo que va más allá de los parámetros establecidos por la normativa, la cual solo aplica hasta los 1500 msnm en la ciudad de Quito. Este incremento en las emisiones se evidenció en diferentes motores: en el motor atmosférico se registró un aumento del 13.30%,

mientras que en las camionetas de prueba D-MAX 1 y D-MAX 2, que son turboalimentadas, los aumentos fueron del 8.33% y 10.71% respectivamente.

Es importante destacar que estos incrementos no se deben a fallos en los motores, sino a una condición natural relacionada con la altitud y la consiguiente disminución de oxígeno, lo cual afecta el rendimiento de la combustión y genera más emisiones contaminantes. Este fenómeno resalta la necesidad de considerar las condiciones geográficas específicas, como la altitud, al aplicar normativas de emisiones, ya que impacta directamente en los resultados, incluso cuando los motores operan correctamente según sus especificaciones.

Variación de la Opacidad al ascenso altitudinal, desde 0 hasta 2850 msnm.



Nota. Elaboración propia (2025)

CONCLUSIONES.

- Existe la percepción común de que los motores turboalimentados no presentan cambios significativos en su desempeño debido a la altitud; sin embargo, los resultados confirman que, aunque pequeños, estos cambios existen. En el vehículo D-Max 2023 la opacidad se incrementó de 20,16 % a nivel del mar hasta 22,43 % a 2850 msnm, mientras que la transmitancia disminuyó de 0,7984 a 0,7757 y el coeficiente de

absorción aumentó de $0,225 \text{ m}^{-1}$ a $0,254 \text{ m}^{-1}$, evidenciando que la influencia de la altitud puede ser cuantificada incluso en motores turboalimentados modernos.

- Los resultados experimentales justifican la propuesta de aplicar un factor de corrección del 10 % en los límites de opacidad establecidos por la Norma INEN 2202, considerando que las mediciones realizadas mostraron un incremento de la opacidad del 11,26 % en el vehículo D-Max 2023 y del 11,98 % en el vehículo D-Max 2019 al comparar los valores obtenidos a 2850 msnm con los registrados a nivel del mar. De igual manera, la transmitancia disminuyó desde 0,7984 hasta 0,7757 en el vehículo 2023 y desde 0,702 hasta 0,6663 en el vehículo 2019, mientras que el coeficiente de absorción aumentó un 12,89 % y un 14,69 %, respectivamente
- Desde el punto de vista físico, la disminución de la presión atmosférica a 2850 msnm respecto al nivel del mar reduce la densidad de oxígeno disponible para la combustión, afectando la eficiencia del proceso y generando una quema incompleta del combustible. Como consecuencia, los valores de opacidad tienden a incrementarse de manera natural, incluso en motores que operan dentro de sus parámetros normales. Esta condición también provoca una reducción de la transmitancia de la luz y un incremento del coeficiente de absorción de los gases de escape, indicando una mayor concentración de partículas suspendidas.
- La Norma INEN 2202, en su configuración actual, fue desarrollada bajo condiciones próximas al nivel del mar y no contempla factores de corrección por altitud, lo que introduce un margen de error en la evaluación de emisiones en ciudades ubicadas a gran altura, como Quito, Riobamba o Cuenca. Esta limitación normativa puede provocar resultados poco representativos del desempeño real de los vehículos,

especialmente al no considerar las variaciones observadas en la opacidad, la transmitancia y el coeficiente de absorción conforme aumenta la altitud.

- La aplicación de un factor de corrección del 10 % por efectos de altura, dependiente de la altitud de cada ciudad, permitiría obtener resultados más representativos y equitativos en la Revisión Técnica Vehicular. En el caso particular de la ciudad de Quito, los resultados obtenidos evidencian que el incremento de la opacidad y del coeficiente de absorción, así como la disminución de la transmitancia, son efectos directamente relacionados con las condiciones atmosféricas de altura. Esta propuesta considera la coexistencia de motores diésel atmosféricos y turboalimentados en el parque automotor, evidenciando que, aunque en estos últimos las variaciones son menores, la influencia de la altitud es cuantificable y debe ser incorporada en la normativa vigente.

REFERENCIAS

- Arévalo Panchi, J. F., & Morales Villalba, I. X. (2014). Diseño, implementación análisis de un sistema EGR electrónico y variable en función del régimen de giro y carga, en el banco de pruebas de motor Corsa 1.4 lt OBD de la Escuela de Ingeniería Automotriz
- (Tesis de licenciatura). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. Autolab. (2023). Problemas Chevrolet Aveo Emotion [Imagen]. Autolab. <https://autolab.com.co/recomendaciones-de-taller/chevrolet/aveo-emotion/problemas/>
- Bonat-Costa, A., Silva, P., & Mendes, F. (2017). *Efecto de la altitud en la eficiencia de los motores de combustión interna*. Journal of Mechanical and Environmental Engineering, 15(4), 234-245.
- Camacho Játiva, L. M. (2009). *Estudio y aplicación de un sistema de limpieza por vapor de agua saturada para el mantenimiento de catalizadores en los vehículos a gasolina* (Tesis de licenciatura). Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga, Ecuador.
- Cedeño, F., Rocha, M., Zurita, A., & Milla, J. (2018). Impacto de los combustibles en la contaminación atmosférica en Ecuador. Revista de Ciencias Ambientales, 12(1), 45-58. Gobierno Autónomo Descentralizado del Distrito Metropolitano de Quito. (2023).
- Código Municipal para el Distrito Metropolitano de Quito: Ordenanza Metropolitana No. 053-2023. https://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Administraci%C3%B3n%202023-2027/Ordenanzas/2024/ORD-070-2024-MET%20-%20REVISI%C3%93N%20T%C3%89CNICA%20VEHICULAR.pdf
- Guasmaba-Maila, J. E., Oramas-Proaño, D. D., Galeano-Vergara, H. F., & VergaraHidalgo, E. V (2021). El control y la gestión de la inyección electrónica de combustible para los motres de encendido provocado. Dominio de las Ciencias, 7(4), 1869-1887. <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i4.2206>
- Guerra, L., & Cuvi, N. (2019). Impacto de las emisiones vehiculares en la calidad del aire en Quito. Revista de Ciencias Ambientales, 15(3), 45-60 Globaltech Car. (2023). Productos y soluciones en tecnología automotriz. Globaltech Car. <https://globaltech-car.com/>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2017). NTE INEN 2204: Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres que emplean gasolina. <https://repositorio.inen.gob.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/2204/NTE%202204-2017%20limites%20permitidos%20emisiones%20motores%20a%20gasolina.pdf>
- Jóvaj, M. (1984). Clasificación de los motores térmicos. Revista de Ingeniería Automotriz, 10(2), 45-60.

- Kavak. (2023). Chevrolet Sail: Ficha técnica y características. Kavak.
<https://www.kavak.com/cl/blog/chevrolet-sail-ficha-tecnica-y-caracteristicas>
- Landeros Muñoz, J. (2018). Instrumentación de un sensor de oxígeno para la industria automotriz. Universidad Autónoma de la Ciudad de México.
<http://repositorioinstitucionaluacm.mx/jspui/handle/123456789/213>
- Luecken, D., Hutzell, W., & Gipson, G. (2018). A New Catalyzed HC Trap Technology that Enhances the Conversion of Gasoline Fuel Cold-Start Emissions. *SAE International Journal of Fuels and Lubricants*, 11(2), 456-463. <https://doi.org/10.4271/2018-01-0321>
- Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, Dirección de Tránsito. (2017). Informe sobre la revisión técnica vehicular y matriculación.
- Noguera Cundar, A. J., & Vela Valle, J. C. (2012). Desarrollo de un tablero didáctico de los sistemas anticontaminantes: EVAP (Sistema de control evaporativo de gases) y PCV (Sistema de ventilación positiva del cárter); para el laboratorio de la Escuela de Ingeniería
- Automotriz de la ESPOCH. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2290>.
- PCE Instruments. (2023). PCE Instruments: Medición y análisis industrial [Imagen]. PCE Instruments. <https://www.pce-instruments.com/espanol/>
- Ruiz, A. (2023). Impacto de las emisiones vehiculares en la calidad del aire. *Revista de Medio Ambiente*, 10(2), 123-135
- TEXA Ibérica. (2023). GASBOX OPABOX Autopower. TEXA Ibérica.
<https://www.texaiberica.com/products/gasbox-opabox-autopower/>
- Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2015). *Thermodynamics: An engineering approach* (8th ed.). McGraw-Hill Education.
- Heywood, J. B. (2018). *Internal combustion engine fundamentals* (2nd ed.). McGraw-Hill Education.
- Johnson, T. V. (2015). Vehicular emissions in review. *SAE International Journal of Engines*, 8(3), 1152–1167. <https://doi.org/10.4271/2015-01-0993>