



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR
Powered by Arizona State University

**FACULTAD DE INGENIERÍAS APLICADAS Y
DESARROLLO INDUSTRIAL**

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**Evaluación Comparativa del Impacto de Sensores de
Oxígeno y Knock OEM Frente a Componentes Aftermarket
en el Control de Emisiones de CO y HC en un Motor de
Combustión Interna**

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Autor: Murillo Torres, Jorge Vicente

Tutor: Llerena Mena, Alex Fernando

GUAYAQUIL
2026

Aprobación del Tutor del Trabajo de Integración Curricular

Yo Alex Fernando Llerena Mena, en calidad de tutor del Trabajo de Integración Curricular denominado: Evaluación Comparativa del Impacto de Sensores de Oxígeno y Knock OEM Frente a Componentes Aftermarket en el Control de Emisiones de CO y HC en un Motor de Combustión Interna realizado por Jorge Vicente Murillo Torres ha sido orientado y revisado en todas sus partes y considero que cumple los requisitos establecidos por la institución. En virtud de ello doy mi aprobación a fin de continuar con el proceso académico correspondiente.

Alex Fernando Llerena Mena

Tutor del Trabajo de Integración Curricular

Declaración de autoría y cesión de derechos

Yo, Jorge Vicente Murillo Torres declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedo mis 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, Reglamento y Leyes.

Autor: Jorge Vicente Murillo Torres

C.I.: 0917771206

Dedicatoria

Dedico este proyecto a mi familia, por su apoyo incondicional, su comprensión y su constante motivación a lo largo de este proceso. Su confianza y acompañamiento han sido fundamentales para alcanzar cada uno de los objetivos propuestos y continuar creciendo tanto en el ámbito personal como profesional.

Agradecimiento

Expreso mi más sincero agradecimiento a mi familia, por su apoyo constante, paciencia y confianza durante todo este proceso. Su acompañamiento ha sido fundamental para culminar este proyecto.

De igual manera, agradezco a los docentes que guiaron este camino, por compartir sus conocimientos, brindar orientación oportuna y motivar el desarrollo académico y profesional a lo largo de esta experiencia.

Índice de contenido

Cáratula	I
Aprobación del Tutor del Trabajo de Integración Curricular	II
Declaración de autoría y cesión de derechos	III
Dedicatoria	IV
Agradecimiento	V
Índice de contenido	VI
Índice de figuras	XI
Resumen.....	1
Abstract	2
Introducción	3
Capítulo I	5
Antecedentes	5
1.1 Tema	5
1.2 Planteamiento, formulación y sistematización del problema.	5
1.2.1 <i>Planteamiento del problema</i>	5
1.2.2 <i>Formulación del problema</i>	7
1.2.3 <i>Sistematización del problema</i>	7
1.3 Objetivos de la investigación	8
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	8
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	8
1.4 Justificación y delimitación de la investigación	8
1.4.1 <i>Justificación teórica</i>	8
1.4.2 <i>Justificación metodológica</i>	9
1.4.3 <i>Justificación práctica</i>	9
1.4.4 <i>Delimitación temporal</i>	10
1.4.5 <i>Delimitación geográfica</i>	10
1.4.6 <i>Delimitación del contenido</i>	10

Capítulo II	11
Marco referencial	11
2.1.1 <i>Proceso de combustión y relación aire–combustible.....</i>	11
2.1.2 <i>Formación de CO y HC en motores a gasolina.....</i>	12
2.2 <i>Gestión electrónica del motor</i>	13
2.2.1 <i>Unidad de control electrónico (ECU).....</i>	13
2.2.2 <i>Control en lazo abierto y lazo cerrado</i>	14
2.3 <i>Sensores involucrados en la investigación</i>	17
2.3.1 <i>Sensor de oxígeno.....</i>	17
2.3.2 <i>Sensor de detonación (knock sensor)</i>	18
2.4 <i>Diferencias entre componentes OEM y aftermarket</i>	19
2.5 <i>Emisiones contaminantes y normativa aplicable</i>	20
2.5.1 <i>Monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos no quemados (HC).....</i>	20
2.5.2 <i>Importancia ambiental y sanitaria de las emisiones vehiculares.....</i>	21
2.5.3 <i>Normativa ecuatoriana y revisión técnica vehicular</i>	22
2.6 <i>Instrumentación para la medición de gases</i>	23
2.6.1 <i>Analizador de gases AGS-688</i>	23
2.6.2 <i>Variables que mide el equipo.....</i>	24
Capítulo III	26
Metodología.....	26
3.1 <i>Enfoque de la investigación</i>	26
3.1.1 <i>Naturaleza del estudio.....</i>	26
3.1.2 <i>Justificación del enfoque frente al problema</i>	27
3.2 <i>Tipo y diseño de la investigación</i>	27
3.2.1 <i>Tipo de investigación</i>	27
3.2.2 <i>Diseño experimental comparativo con mediciones repetidas.....</i>	27
3.2.3 <i>Variables de estudio.....</i>	28
3.3 <i>Descripción del vehículo de prueba</i>	29

3.4	Condiciones de operación definidas para el ensayo.....	30
3.5	Procedimiento experimental	30
3.5.1	<i>Configuración con sensores OEM.....</i>	<i>30</i>
3.5.2	<i>Configuración con sensores aftermarket</i>	<i>31</i>
3.5.3	<i>Número total de pruebas.....</i>	<i>32</i>
3.5.4	<i>Secuencia de pruebas y registro de datos</i>	<i>32</i>
3.6	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	33
3.6.1	<i>Medición de gases de escape con analizador de gases automotriz</i>	<i>33</i>
3.7	Tratamiento y análisis de la información	34
3.7.1	<i>Organización de datos en tablas</i>	<i>34</i>
3.7.2	<i>Cálculo de promedios y variaciones</i>	<i>35</i>
3.7.3	<i>Criterios de interpretación frente a normativa.....</i>	<i>36</i>
3.8	Consideraciones de seguridad y limitaciones	36
3.8.1	<i>Seguridad en pruebas con motores a gasolina.....</i>	<i>36</i>
3.8.2	<i>Uso responsable de equipos e información técnica</i>	<i>37</i>
3.8.3	<i>Limitaciones del estudio</i>	<i>37</i>
	Capítulo IV	38
	Análisis de Resultados	38
4.1	Presentación general de los resultados	38
4.2	Resultados de emisiones con sensores OEM.....	38
4.2.1	<i>Configuración OEM</i>	<i>39</i>
4.3	Resultados de emisiones con sensores aftermarket	39
4.3.1	<i>Configuración aftermarket</i>	<i>40</i>
4.4	Comparación directa entre configuraciones OEM y aftermarket.....	40
4.4.1	<i>Variación porcentual de emisiones</i>	<i>40</i>
4.4.2	<i>Margen de seguridad frente a la normativa</i>	<i>42</i>
	Conclusiones	43
	Recomendaciones	44

Referencias	45
--------------------------	-----------

Índice de tablas

Tabla 1	<i>Emisiones contaminantes de un motor de gasolina</i>	21
Tabla 2	<i>Definición de variables de estudio</i>	29
Tabla 3	<i>Secuencia de pruebas por configuración</i>	33
Tabla 4	Recolección de información de Emisiones de CO y HC a ralentí.....	35
Tabla 5	<i>Recolección de información de Emisiones de CO y HC a 2500 rpm</i>	35
Tabla 6	<i>Mediciones individuales de CO y HC con sensores OEM</i>	39
Tabla 7	Promedios y desviación estándar de emisiones con sensores OEM	39
Tabla 8	Mediciones individuales de CO y HC con sensores aftermarket.....	40
Tabla 9	Promedios y desviación estándar de emisiones con sensores aftermarket	40
Tabla 10	Variación porcentual de emisiones al cambiar de sensores	41
Tabla 11	Margen de seguridad respecto a los límites del RTE INEN 017	42

Índice de figuras

Figura 1	<i>Curva típica de una sonda lambda</i>	11
Figura 2	<i>Formación de los gases de escape y control de las emisiones.....</i>	13
Figura 3	<i>Sensores para el control del motor</i>	14
Figura 4	<i>Control a lazo abierto</i>	15
Figura 5	<i>Control a lazo cerrado</i>	16
Figura 6	<i>Esquema del control de la relación aire-combustible.....</i>	16
Figura 7	<i>Sensor de Oxígeno BOSCH.....</i>	17
Figura 8	<i>Sensor de detonación BOSCH.....</i>	19
Figura 9	<i>Componentes OEM vs aftermarket.....</i>	20
Figura 10	<i>Contaminación del aire por gases de escape.....</i>	22
Figura 11	<i>Revisión Técnica vehicular.....</i>	23
Figura 12	<i>Analizador de gases</i>	24
Figura 13	<i>Conexión de sonda de analizador de gases</i>	34
Figura 14	Emisiones promedio de CO — OEM vs aftermarket (Skoda Fabia CFNA)	41
Figura 15	Emisiones promedio de HC — OEM vs aftermarket (Skoda Fabia CFNA)	42

Resumen

En este proyecto se evaluó de manera comparativa cómo afectan los sensores de oxígeno y de detonación, tanto en su versión OEM como en versiones aftermarket, a las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos no quemados en un motor de combustión interna a gasolina. Para esto se trabajó con un Skoda Fabia 2011, motor CFNA.

El estudio se planteó con un enfoque cuantitativo y experimental, realizando pruebas de campo directamente sobre el vehículo. Se compararon dos configuraciones de sensores originales y sensores aftermarket bajo dos condiciones de funcionamiento: ralentí caliente, alrededor de 750 rpm, y 2500 rpm sin carga. Las mediciones se hicieron con un analizador de gases automotriz, siguiendo lo establecido en la norma NTE INEN 2204 y en el RTE INEN 017. Con los datos obtenidos se armaron tablas y se generaron gráficos comparativos para poder visualizar mejor las diferencias entre ambas configuraciones frente a los límites que exige la normativa. Se encontró que el tipo de sensor sí influye en los resultados; aunque ambas configuraciones cumplieron con lo establecido.

Finalmente, se presentan las conclusiones obtenidas según cada uno de los objetivos planteados y una serie de recomendaciones prácticas. Con esto, este trabajo busca aportar información técnica que ayude a tomar mejores decisiones al momento de reemplazar sensores en motores de gasolina, contribuyendo así al cumplimiento de la normativa ambiental vigente.

Palabras clave: Sensor de oxígeno, emisiones vehiculares, OEM y aftermarket.

Abstract

This study comparatively evaluated the effects of OEM and aftermarket oxygen and knock sensors on carbon monoxide (CO) and unburned hydrocarbon (HC) emissions in a gasoline internal combustion engine. The experimental platform was a 2011 Skoda Fabia equipped with a CFNA engine.

A quantitative experimental research design was adopted, with field tests conducted directly on the vehicle. Two sensor configurations—OEM and aftermarket—were evaluated under two operating conditions: hot idle (approximately 750 rpm) and 2,500 rpm under no-load conditions. Exhaust emissions were measured using an automotive exhaust gas analyzer in accordance with NTE INEN 2204 and RTE INEN 017 standards. The collected data were organized into tables and analyzed through comparative graphs to assess the performance of each sensor configuration relative to the regulatory emission limits.

The results demonstrated that the type of sensor influences exhaust emission levels, although both OEM and aftermarket configurations remained within the limits established by the applicable regulations.

Finally, conclusions are presented based on each of the research objectives, together with practical recommendations. This study provides technical evidence to support informed decision-making regarding the replacement of oxygen and knock sensors in gasoline engines, thereby contributing to compliance with current environmental regulations.

Keywords: Oxygen sensor, vehicle emissions, OEM and aftermarket.

Introducción

La presente investigación se desarrolló a partir de una problemática que actualmente se observa en muchos vehículos a gasolina, especialmente en aquellos que presentan fallas relacionadas con el control de emisiones y dificultades para aprobar la revisión técnica vehicular. En varios casos, esta situación puede estar vinculada con el uso de sensores aftermarket, ya que no siempre trabajan con la misma precisión que los sensores OEM y eso puede afectar directamente el funcionamiento del motor y la calidad de la combustión.

Con base en este problema, el trabajo se enfocó en comparar el comportamiento de los sensores de oxígeno y knock OEM frente a sensores aftermarket, con la finalidad de analizar cómo influyen en las emisiones de monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos no quemados (HC) en un motor de combustión interna. De esta manera, se buscó dar cumplimiento al objetivo general planteado, así como a los objetivos específicos relacionados con la identificación de diferencias técnicas entre los sensores, la estimación de emisiones según normativa y el análisis de los resultados obtenidos durante las pruebas.

Para el desarrollo de la investigación se utilizó una metodología de enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, con un diseño experimental y comparativo. Las pruebas se realizaron bajo condiciones controladas, tomando mediciones de CO y HC en ralentí y a 2500 rpm, utilizando un analizador de gases y herramientas de diagnóstico automotriz, lo que permitió obtener datos concretos para comparar ambas configuraciones de sensores.

Durante el proceso hubo aspectos que facilitaron el trabajo, como la disponibilidad de información técnica, el uso de equipos de medición y la posibilidad de realizar pruebas en un entorno adecuado. Sin embargo, también se presentaron algunas limitaciones, principalmente en el control total de ciertas condiciones del motor y en el alcance del estudio, ya que la investigación se centró únicamente en el análisis de CO y HC, sin considerar otras variables como consumo de combustible, potencia o evaluación de otros gases contaminantes.

En cuanto a la estructura del documento, el primer capítulo aborda el problema, los objetivos y la justificación de la investigación. El segundo desarrolla el marco teórico y

conceptual; el tercero describe la metodología y el proceso experimental; y el cuarto presenta los resultados obtenidos junto con su análisis. La importancia de este estudio radica en que aporta información útil, ya que permite comprender mejor cómo la elección de un sensor puede influir en el control de emisiones, el diagnóstico técnico y el impacto ambiental.

Capítulo I

Antecedentes

1.1 Tema

Evaluación comparativa del impacto de sensores de oxígeno y knock OEM frente a componentes aftermarket en el control de emisiones de CO y HC en un motor de combustión interna.

1.2 Planteamiento, formulación y sistematización del problema.

1.2.1 Planteamiento del problema

En la actualidad, el control de las emisiones contaminantes producidas por los vehículos con motor a gasolina se ha convertido en un tema de interés técnico, ambiental y social. Esto se debe a que el parque automotor sigue siendo una de las fuentes más visibles de contaminación en las ciudades, sobre todo cuando los vehículos presentan fallas de combustión, deficiencias en el sistema de control electrónico o mantenimiento inadecuado. En ese contexto, la revisión técnica vehicular no solo cumple una función administrativa, sino también preventiva, ya que permite verificar si un automotor se encuentra dentro de los parámetros de seguridad y emisiones establecidos por la normativa vigente.

En el caso de Guayaquil, la Agencia de Tránsito y Movilidad establece en el Instructivo de Revisión Técnica Vehicular que uno de los propósitos del proceso es comprobar que el nivel de emisiones contaminantes de los vehículos se mantenga por debajo de los límites máximos definidos en regulaciones, normas y reglamentos vigentes (Agencia de Tránsito y Movilidad, 2022). Esto demuestra que el control de emisiones no es un aspecto secundario, sino un criterio técnico obligatorio para la circulación vehicular y para la permanencia de las unidades dentro de condiciones aceptables de funcionamiento.

A nivel ambiental, la importancia del tema es todavía mayor. La Organización Mundial de la Salud señala que la contaminación del aire constituye uno de los mayores riesgos ambientales para la salud y que la reducción de contaminantes atmosféricos puede disminuir de manera importante la carga de enfermedades respiratorias, cardiovasculares y otros problemas asociados a la exposición continua a un aire de mala calidad (Organización

Mundial de la Salud, 2024). Desde esta perspectiva, el estudio de las emisiones vehiculares no solo interesa al área automotriz, sino también al ámbito de la salud pública y a la gestión ambiental urbana.

Dentro del funcionamiento de un motor de combustión interna, los sensores cumplen un papel fundamental para que la unidad de control electrónico pueda regular la mezcla aire-combustible y el avance de encendido de forma adecuada. Entre estos sensores, el sensor de oxígeno y el sensor de detonación o knock tienen una participación directa en la calidad de la combustión. El sensor de oxígeno proporciona información necesaria para el control en lazo cerrado de la mezcla, mientras que el sensor knock permite identificar condiciones anormales de combustión que pueden comprometer el rendimiento y la integridad del motor. Cuando cualquiera de estos elementos entrega señales inestables o fuera de calibración, el funcionamiento general del sistema puede verse alterado.

En la práctica automotriz es común encontrar vehículos en los que, por motivos económicos o de disponibilidad, se reemplazan sensores originales por componentes aftermarket o equivalentes genéricos. Aunque esta alternativa suele representar una solución más accesible para el propietario, no siempre garantiza el mismo nivel de precisión, compatibilidad o velocidad de respuesta que un componente OEM. Esa diferencia, que a veces parece mínima, puede provocar variaciones en la interpretación de datos por parte de la ECU, generando correcciones inadecuadas en la inyección de combustible o en el control del encendido. Como resultado, pueden aparecer fallas de funcionamiento, incremento del consumo y aumento de emisiones contaminantes.

Este problema adquiere mayor relevancia en zonas urbanas con tráfico variable, detenciones frecuentes y periodos prolongados de ralentí, condiciones que exigen una respuesta estable del sistema de gestión electrónica del motor.

La normativa ecuatoriana también refuerza la necesidad de estudiar este comportamiento. La reglamentación técnica basada en la NTE INEN 2204 contempla límites máximos de emisiones para vehículos con motor de ciclo Otto, y en pruebas estáticas establece valores de referencia para contaminantes como el CO y los HC según el año

modelo del vehículo. En términos prácticos, esto significa que cualquier alteración en la combustión, aunque parezca moderada, puede marcar la diferencia entre un vehículo que aprueba y uno que no aprueba una inspección técnica.

El problema, entonces, no radica únicamente en que existan sensores de distinta procedencia en el mercado, sino en que todavía hay poca información comparativa, aplicada y experimental que permita establecer con mayor claridad cómo cambia el comportamiento de las emisiones cuando se trabaja con sensores OEM y cuando se trabaja con sensores aftermarket. Esta falta de evidencia dificulta la toma de decisiones por parte de estudiantes, técnicos automotrices y propietarios de vehículos, quienes muchas veces sustituyen componentes guiándose por precio o disponibilidad, sin contar con datos suficientes sobre el efecto real de esa elección.

Por esta razón, el presente proyecto se enfoca en analizar comparativamente el impacto de los sensores de oxígeno y knock OEM frente a componentes aftermarket en el control de emisiones de CO y HC en un motor de combustión interna. La intención no es solo describir diferencias entre piezas, sino aportar un criterio técnico que permita valorar si el uso de componentes no originales influye de manera significativa en el cumplimiento de la normativa, en la estabilidad del motor y en la reducción de emisiones contaminantes.

1.2.2 Formulación del problema

¿En qué medida difiere el impacto de los sensores de oxígeno y knock de procedencia OEM frente a los de tipo aftermarket en la variación de las emisiones de CO y HC en un motor de combustión interna bajo distintos regímenes de operación?

1.2.3 Sistematización del problema

- ¿Cómo varían los niveles de emisión de CO y HC en condiciones de ralentí y a 2500 rpm al intercambiar sensores OEM por aftermarket?
- ¿Cuáles son las diferencias significativas en la precisión de la señal entre las configuraciones OEM y genéricas respecto a la estequiometría y el control de detonación?
- ¿De qué manera el sistema de control del motor compensa o degrada su

desempeño ante las lecturas de sensores con diferentes estándares de fabricación?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Evaluar comparativamente el impacto de sensores de oxígeno y knock OEM y aftermarket en las emisiones contaminantes de CO y HC en un motor de combustión interna, mediante pruebas experimentales de funcionamiento y medición de gases de escape.

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar las diferencias técnicas y funcionales entre el sensor de oxígeno y el sensor de detonación en sus versiones OEM y aftermarket.
- Estimar las emisiones de CO y HC según la normativa INEN usando sensores OEM y aftermarket.
- Analizar la influencia del tipo de sensor utilizado en los niveles de emisiones de CO y HC medidos.

1.4 Justificación y delimitación de la investigación

1.4.1 Justificación teórica

Desde el punto de vista teórico, esta investigación se justifica porque aborda una relación importante dentro de la electrónica automotriz: la conexión entre la precisión de los sensores, la calidad del proceso de combustión y la generación de emisiones contaminantes. En los motores modernos, gran parte del rendimiento depende de la información que recibe la ECU para ajustar inyección y encendido. Por eso, estudiar el comportamiento de sensores OEM y aftermarket permite profundizar en la comprensión del control en lazo cerrado, de la combustión en condiciones reales y de cómo pequeñas variaciones en la señal pueden reflejarse en contaminantes como el CO y los HC.

Además, el trabajo permite fortalecer el análisis técnico sobre componentes que en el mercado suelen considerarse equivalentes, aunque en la práctica pueden presentar diferencias de respuesta, compatibilidad y calibración. En ese sentido, la investigación no solo aporta al conocimiento aplicado en el área automotriz, sino que también contribuye a la

formación académica al conectar conceptos de gestión electrónica, emisiones y diagnóstico vehicular con un caso experimental concreto.

1.4.2 Justificación metodológica

La justificación metodológica se sustenta en que el estudio emplea un enfoque cuantitativo y un diseño experimental comparativo, lo cual permite trabajar con mediciones objetivas y resultados verificables. En lugar de basarse únicamente en opiniones técnicas o en apreciaciones de taller, la investigación propone obtener datos reales mediante pruebas controladas en las que se mantendrán constantes las demás condiciones del sistema y se modificará únicamente el tipo de sensor utilizado.

Para ello se utilizarán instrumentos adecuados para la medición de emisiones, entre ellos un analizador de gases automotriz. Este procedimiento guarda relación con lo establecido por la ATM para la revisión técnica vehicular, donde el analizador de gases forma parte de los equipos necesarios para la inspección de vehículos con motor de encendido por chispa (Agencia de Tránsito y Movilidad, 2022). De esta manera, la metodología no solo resulta pertinente para el estudio, sino que también se alinea con procedimientos técnicos aplicados en el contexto real de revisión vehicular.

1.4.3 Justificación práctica

En el plano práctico, esta investigación tiene utilidad directa para propietarios de vehículos y estudiantes. Para los estudiantes, representa una oportunidad de relacionar la teoría con una situación real de diagnóstico, permitiéndoles comprender que la elección de un componente no debe hacerse solamente por costo, sino también por su comportamiento dentro del sistema. Para los propietarios de vehículos, ya que un diagnóstico más preciso puede evitar gastos innecesarios por reemplazos repetitivos o por fallas que no se corrigen de raíz. A esto se suma la importancia del tema en relación con el cumplimiento de la revisión técnica vehicular y con la reducción del impacto ambiental producido por una combustión deficiente. En otras palabras, un mejor entendimiento del papel que cumplen los sensores en el control de emisiones puede traducirse en beneficios técnicos, económicos y ambientales.

1.4.4 Delimitación temporal

La presente investigación se desarrollará durante el período comprendido entre mayo-agosto de 2026.

1.4.5 Delimitación geográfica

El estudio se llevará a cabo en la Escuela de Ingeniería Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador, sede Guayaquil.

1.4.6 Delimitación del contenido

La investigación se delimita al análisis comparativo del impacto de los sensores de oxígeno (Lambda 1) y de detonación (Knock), tanto en versión OEM como aftermarket, sobre las emisiones de monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos no quemados (HC) en un motor de combustión interna de encendido por chispa.

El estudio comprenderá:

- El análisis funcional de sensores OEM y aftermarket.
- La medición experimental de emisiones de CO y HC bajo condiciones de ralentí y a 2500 rpm.
- La comparación de resultados obtenidos con cada configuración, manteniendo constantes variables como combustible, estado general del motor, condiciones ambientales y configuración electrónica.

No se incluirá dentro del alcance de esta investigación:

- El análisis estructural interno del motor.
- La modificación de mapas de inyección o encendido.
- La evaluación de otros contaminantes como NOx, CO₂ u O₂ como eje principal del análisis.
- El estudio de potencia, consumo de combustible o desempeño mecánico general.

Por tanto, el contenido del trabajo se centrará únicamente en la variación de emisiones atribuible al tipo de sensor instalado y en la interpretación técnica de los resultados obtenidos.

Capítulo II

Marco referencial

Para comprender el desarrollo de este proyecto, es necesario conocer los conceptos y fundamentos que sirven de base para su implementación. En este capítulo se explica cómo se generan los gases de escape en los motores de combustión interna y cuáles son los principales factores que influyen en la formación de emisiones contaminantes. Además, se describen los sensores seleccionados para el monitoreo de las variables de interés, así como su funcionamiento y relevancia dentro del sistema propuesto. Finalmente, se presentan los instrumentos de medición utilizados durante la fase experimental.

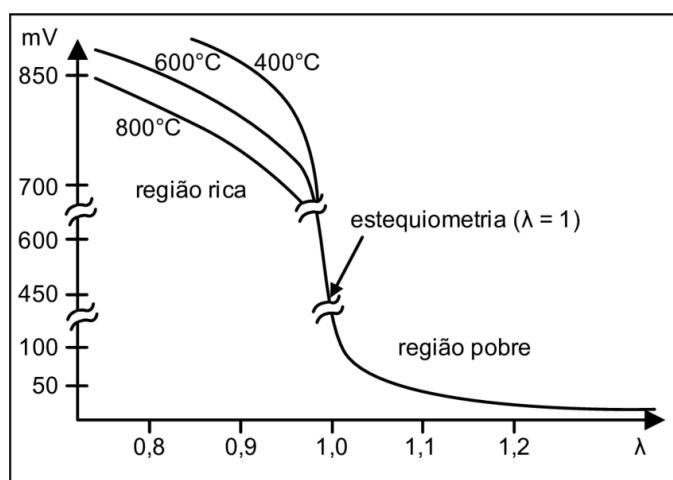
2.1 Formación de emisiones

2.1.1 Proceso de combustión y relación aire-combustible

La combustión en un motor a gasolina depende en gran medida de la proporción entre aire y combustible. En condiciones ideales, el sistema busca mantener una mezcla cercana al valor estequiométrico, es decir, la proporción necesaria para que el combustible se queme de la forma más completa posible. En la literatura técnica, esta condición se relaciona con un valor lambda de 1, que representa el equilibrio entre el aire real y el aire teóricamente necesario para la combustión. Esta relación se puede entender con apoyo de la Figura 1.

Figura 1

Curva típica de una sonda lambda



Fuente: (Silva, 2019)

Cuando la mezcla es rica, existe exceso de combustible y falta relativa de oxígeno. En ese caso, la combustión suele ser incompleta y aumenta la probabilidad de que aparezcan emisiones elevadas de monóxido de carbono y de hidrocarburos no quemados. Por el contrario, cuando la mezcla es pobre, hay exceso de aire y menor cantidad de combustible, lo que puede reducir algunos contaminantes, pero también afectar el desempeño del motor y favorecer la aparición de otros compuestos, especialmente bajo ciertas condiciones térmicas.

El control de esta relación no ocurre de forma fija. La ECU modifica constantemente la dosificación de combustible según la carga del motor, la temperatura, la velocidad de giro y la información recibida de sensores como el de oxígeno. De acuerdo con material técnico sobre control en lazo cerrado, la unidad de control regula la mezcla aire–combustible utilizando la retroalimentación del sensor lambda, lo cual le permite corregir desviaciones y mantener el sistema cerca de la condición ideal de funcionamiento (FCD.eu, 2024).

2.1.2 Formación de CO y HC en motores a gasolina

Dentro de las emisiones de un motor a gasolina, dos de los compuestos más importantes para esta investigación son el monóxido de carbono (CO) y los hidrocarburos no quemados (HC). Ambos están directamente relacionados con la calidad del proceso de combustión. El CO aparece principalmente cuando no existe suficiente oxígeno para oxidar completamente el carbono presente en el combustible. En otras palabras, suele aumentar cuando la mezcla es rica o cuando la combustión no se completa de forma adecuada.

Los HC, por su parte, corresponden a porciones de combustible que no llegaron a quemarse completamente. Esto puede suceder por varios factores, como fallos de encendido, combustión incompleta, zonas frías dentro de la cámara de combustión o alteraciones en el tiempo de respuesta del sistema de inyección. Desde el punto de vista del diagnóstico automotriz, niveles elevados de HC y CO son señales importantes de que el motor no está operando en condiciones óptimas.

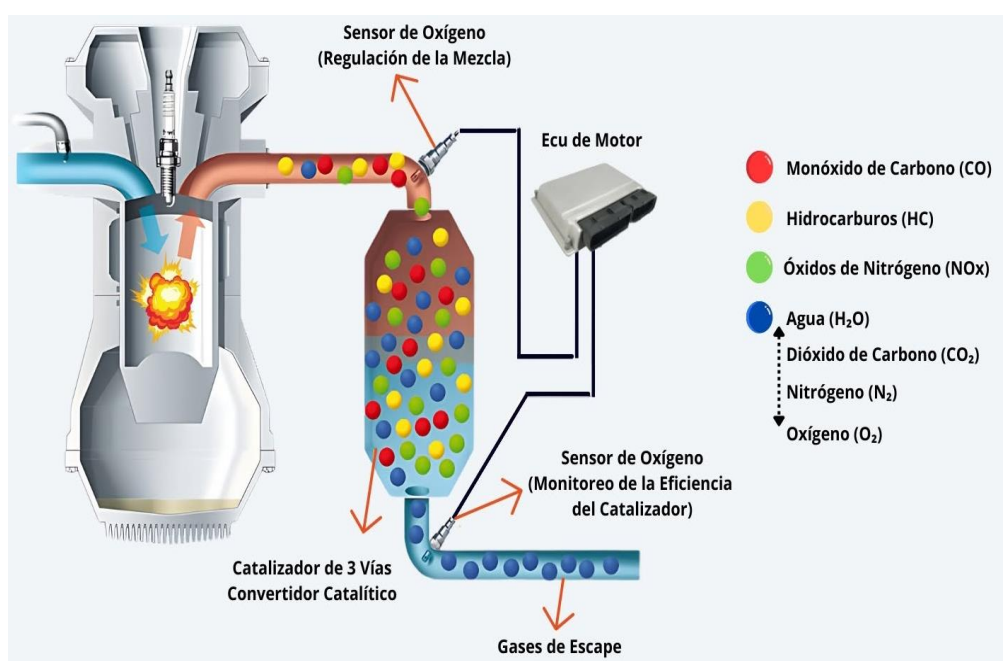
Esta situación no solo tiene consecuencias técnicas, sino también ambientales. La Organización Mundial de la Salud indica que la contaminación del aire representa uno de los principales riesgos ambientales para la salud humana y que la reducción de las emisiones

contaminantes puede generar beneficios importantes en la prevención de enfermedades respiratorias y cardiovasculares (Moms Clean Air Force, 2023). Aunque la contaminación atmosférica tiene múltiples fuentes, los vehículos siguen siendo un foco importante, especialmente en ciudades con alto flujo vehicular y mantenimiento desigual.

La Figura 2 puede servir como apoyo para representar de manera general los contaminantes presentes en el escape de un motor de combustión interna.

Figura 2

Formación de los gases de escape y control de las emisiones



Fuente: (AAMPACT e.V., 2025)

2.2 Gestión electrónica del motor

2.2.1 Unidad de control electrónico (ECU)

Su función principal es mantener el motor dentro de condiciones adecuadas de funcionamiento, considerando variables como temperatura, carga, velocidad, mezcla y detonación. En motores modernos, la ECU se ha convertido en el centro del sistema de gestión, ya que coordina procesos que antes dependían de ajustes puramente mecánicos. Esta lógica general puede ilustrarse con la Figura 3, en la que se observa cómo distintos sensores alimentan de información a la ECU.

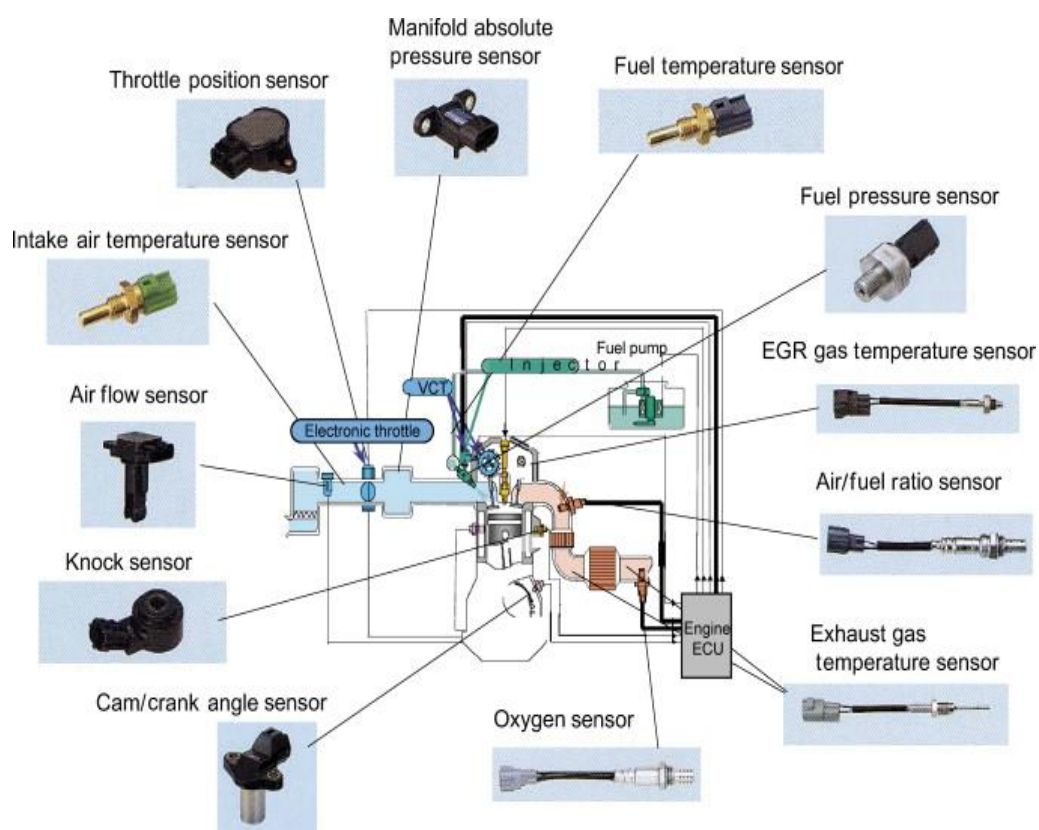
Una de las ventajas de este sistema es su capacidad para adaptarse a diferentes

condiciones de operación. El motor no trabaja igual en ralentí, en aceleración o en carga parcial, por lo que la ECU debe corregir permanentemente los parámetros de control. Para hacerlo, necesita señales confiables. Si un sensor entrega datos erróneos, la ECU no tiene una base adecuada para corregir la mezcla o el encendido, y eso puede terminar afectando el desempeño general del motor.

En el contexto de esta investigación, la ECU adquiere especial importancia porque el comportamiento de las emisiones de CO y HC depende en gran parte de cómo interpreta la señal del sensor de oxígeno y de cómo responde ante la información del sensor knock. Esto hace que el análisis de emisiones no se entienda solo desde la salida del escape, sino desde la lógica electrónica que regula el proceso de combustión.

Figura 3

Sensores para el control del motor



Fuente: (Kawahara, 2008)

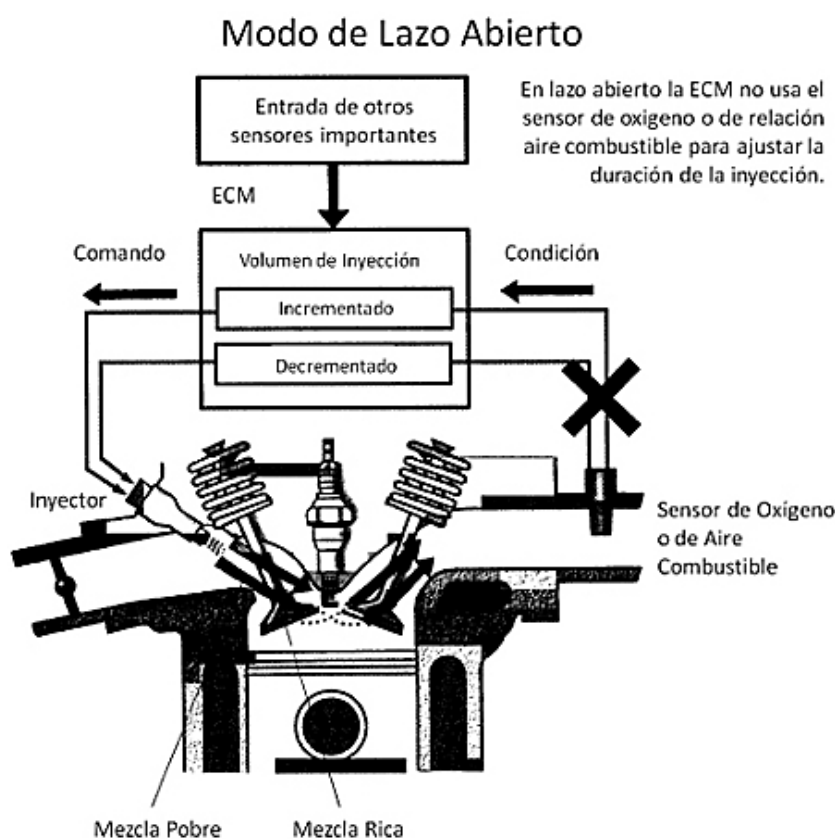
2.2.2 Control en lazo abierto y lazo cerrado

Dentro del funcionamiento de la ECU, uno de los conceptos más importantes es la

diferencia entre lazo abierto y lazo cerrado. En lazo abierto, la unidad de control trabaja con valores preestablecidos y no realiza correcciones en función de la lectura del sensor de oxígeno. Esto suele ocurrir durante ciertas condiciones de arranque en frío o cuando todavía no se alcanzan las condiciones adecuadas para iniciar la retroalimentación esto puede entenderse mejor con apoyo de la Figura 4.

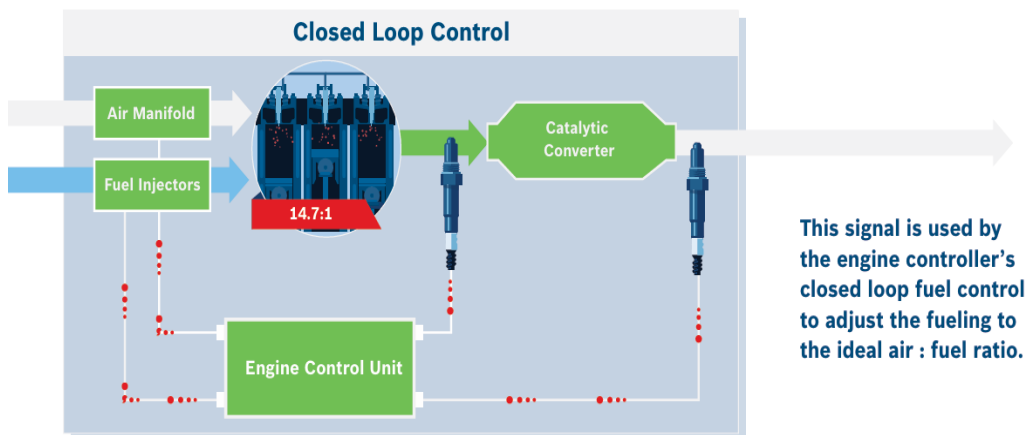
Figura 4

Control a lazo abierto



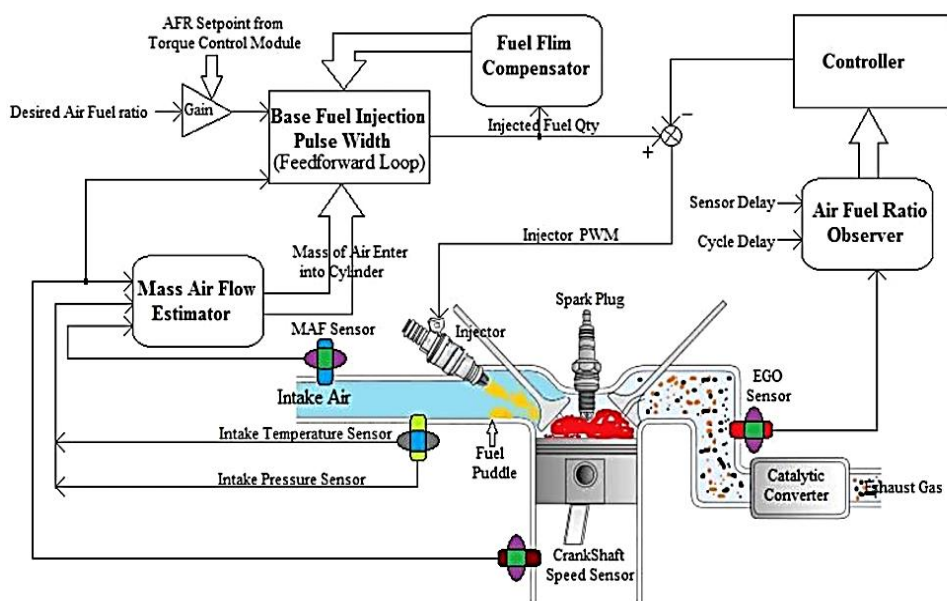
Fuente: (Mecánicos y Refaccionarios, 2012)

En cambio, en lazo cerrado la ECU como se ve en la figura 5, utiliza la señal del sensor de oxígeno para verificar si la mezcla aire–combustible está dentro del rango esperado. Si detecta una condición rica o pobre, ajusta la inyección para compensar la desviación. Según la explicación técnica de FCD, el estado de “closed loop” permite que la unidad de control corrija continuamente la mezcla a partir del contenido residual de oxígeno presente en los gases de escape (FCD.eu, 2024).

Figura 5*Control a lazo cerrado*

Fuente: (BOSCH, 2026)

Este principio es clave para entender el tema de investigación. Si un sensor de oxígeno no responde con la rapidez o precisión esperada, la ECU puede interpretar mal la condición real de la mezcla y efectuar correcciones inadecuadas. Eso significa que una diferencia en la calidad del sensor no solo afecta al componente en sí, sino también al equilibrio general del sistema y, por ende, al comportamiento de las emisiones. En la figura 6 se aprecia un flujo de control aire-combustible realizado por un controlador electrónico.

Figura 6*Esquema del control de la relación aire-combustible*

Fuente: (B. Ashok, 2016)

2.3 Sensores involucrados en la investigación

2.3.1 Sensor de oxígeno

El sensor de oxígeno, también conocido como sensor O_2 o sonda lambda, es uno de los componentes más importantes dentro del sistema de control de emisiones de un motor a gasolina. Su función es medir el contenido de oxígeno residual presente en los gases de escape y enviar esa información a la ECU. A partir de esa señal, la unidad de control determina si la mezcla aire-combustible se encuentra rica o pobre y corrige la inyección según sea necesario. La figura 7 muestra la apariencia física y construcción de este componente.

Figura 7

Sensor de Oxígeno BOSCH



Fuente: (Bosch Auto Parts, 2024)

Bosch Auto Parts explica que los sensores de oxígeno permiten entregar mediciones precisas de la relación aire-combustible a la ECU, favoreciendo un control de combustión más estable y ayudando a reducir emisiones nocivas. En el caso de los sensores de banda ancha, el nivel de precisión es mayor, ya que pueden proporcionar una medición más continua y detallada del comportamiento de la mezcla (Bosch Auto Parts, 2024).

En términos funcionales, el sensor de oxígeno tiene influencia directa sobre la dosificación del combustible. Si la señal indica mezcla rica, la ECU reduce la cantidad de combustible inyectado; si indica mezcla pobre, la incrementa. Por eso, un sensor con tiempos de respuesta lentos, una señal inestable o una calibración distinta a la esperada puede

provocar correcciones imprecisas y alterar el equilibrio del sistema.

Desde el punto de vista del diagnóstico, este sensor suele relacionarse de forma inmediata con el comportamiento de emisiones de CO y HC. Si no corrige adecuadamente, la combustión puede volverse más rica y aumentar el CO; si existen fallos de control o respuesta errática, también pueden elevarse los HC. Por esa razón, su estudio resulta central en esta investigación.

2.3.2 Sensor de detonación (*knock sensor*)

El sensor de detonación o knock sensor es el componente encargado de detectar vibraciones de alta frecuencia asociadas al fenómeno de detonación o golpeteo en el motor. Bosch Mobility señala que este sensor se instala directamente en el cárter o bloque del motor y mide el ruido estructural mediante un elemento piezoeléctrico, transmitiendo la señal correspondiente a la ECU para que esta pueda actuar sobre el encendido (Bosch Mobility, 2026).

La detonación ocurre cuando la combustión deja de propagarse de manera controlada y aparece una combustión anormal dentro de la cámara. Si esta condición no se detecta a tiempo, puede afectar el rendimiento del motor y, en casos más severos, causar daños mecánicos. La ECU utiliza la señal del sensor knock para retrasar el avance de encendido cuando identifica este fenómeno, protegiendo el motor y estabilizando su operación.

Aunque este sensor no mide directamente la mezcla aire-combustible, sí influye en la calidad de la combustión. Un control inadecuado del encendido puede modificar la temperatura y la presión del proceso, afectando indirectamente las emisiones y la eficiencia de funcionamiento. Por eso, en una investigación que compara componentes OEM y aftermarket, resulta importante analizar si el comportamiento del sensor knock también puede alterar la condición final del motor frente a las pruebas de emisiones.

La Figura 8 permite identificar la forma general de este componente y su relación con el sistema de control del motor.

Figura 8*Sensor de detonación BOSCH*

Fuente: (Bosch Mobility, 2026)

2.4 Diferencias entre componentes OEM y aftermarket

Los componentes OEM son aquellos fabricados bajo especificaciones equivalentes a las del fabricante original del vehículo. Esto implica que, en teoría, han sido diseñados para trabajar con parámetros compatibles con la estrategia de control definida por la ECU. Su principal ventaja es la correspondencia directa con el sistema para el cual fueron desarrollados, lo que reduce la probabilidad de incompatibilidades eléctricas, variaciones de señal o problemas de respuesta.

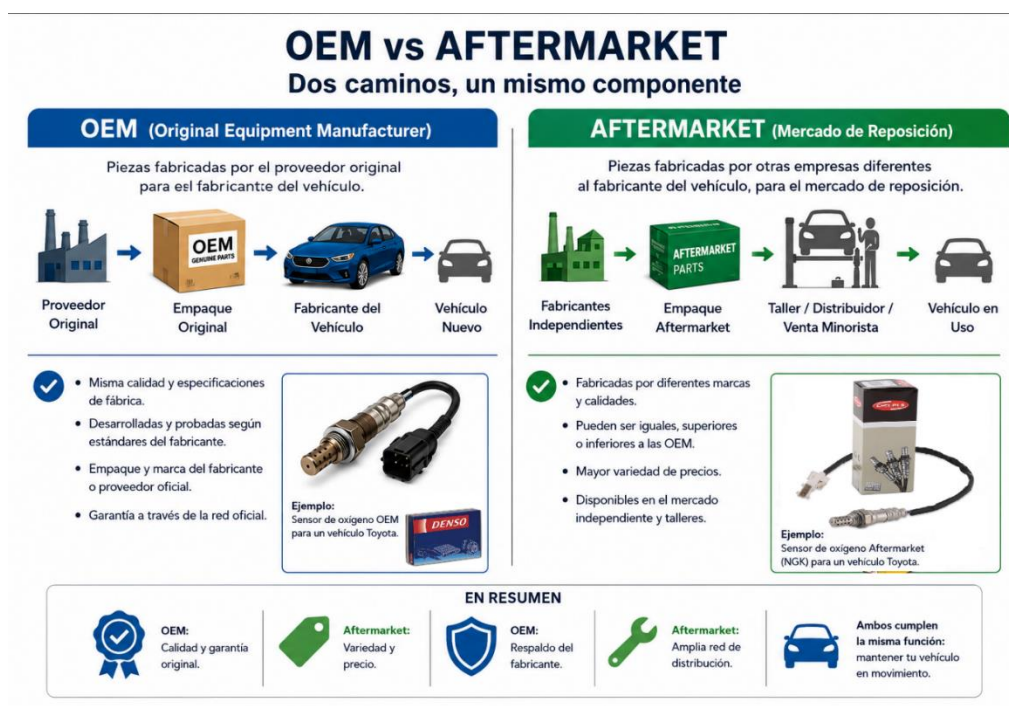
Los componentes aftermarket, en cambio, suelen comercializarse como alternativas de reemplazo. Su gran ventaja está en el costo y en la disponibilidad, pero no siempre presentan la misma precisión o el mismo comportamiento dinámico que una pieza OEM. En algunos casos pueden funcionar correctamente; en otros, pueden generar diferencias pequeñas pero relevantes en el tiempo de respuesta, voltaje, resistencia interna o estabilidad de señal.

En la práctica, esta diferencia es justamente la que interesa en la presente investigación. No se trata de asumir de antemano que todo componente aftermarket funciona mal, sino de comprobar experimentalmente si existen variaciones medibles en las emisiones al utilizar sensores de distinta procedencia. Ese enfoque permite pasar de una apreciación subjetiva de taller a una evaluación más objetiva y sustentada en datos.

La figura 9 presenta una comparación visual entre ambos tipos de componentes.

Figura 9

Componentes OEM vs aftermarket



2.5 Emisiones contaminantes y normativa aplicable

2.5.1 Monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos no quemados (HC)

El monóxido de carbono y los hidrocarburos no quemados son dos de los principales contaminantes generados por motores a gasolina cuando la combustión no se desarrolla en condiciones adecuadas. El CO suele asociarse con mezclas ricas y deficiencia de oxígeno, mientras que los HC se relacionan con combustible que no llegó a oxidarse completamente.

Estos dos contaminantes resultan especialmente útiles en el diagnóstico porque permiten inferir el comportamiento del proceso de combustión. Un incremento sostenido de CO puede sugerir que la mezcla se está enriqueciendo más de lo esperado, mientras que un incremento de HC puede asociarse a combustión incompleta, mala chispa, deficiencias de mezcla o incluso problemas de sincronización. Por eso, el análisis conjunto de ambos gases ofrece una base valiosa para interpretar el efecto del tipo de sensor instalado.

Además, son precisamente dos de los contaminantes más considerados en la inspección técnica de vehículos con motor a gasolina. Esto les da relevancia no solo desde

el punto de vista académico, sino también desde la perspectiva práctica del mantenimiento y del cumplimiento normativo.

La Tabla 1 puede servir como apoyo para mostrar estos contaminantes dentro del conjunto de emisiones del motor.

Tabla 1

Emisiones contaminantes de un motor de gasolina

Parámetro	Promedio (media)	
	Ralentí	RPM alta
CO (%V)	0.05	0.06
CO ₂ (%V)	14.26	14.72
HC (ppm)	6.40	8.50
O ₂	0.93	0.51

Fuente: (Tipanluisa, 2017)

2.5.2 Importancia ambiental y sanitaria de las emisiones vehiculares

Las emisiones vehiculares no deben verse únicamente como un problema mecánico. En realidad, forman parte de una discusión más amplia relacionada con calidad del aire, movilidad urbana y salud pública. La OMS advierte que la contaminación del aire exterior está vinculada con millones de muertes prematuras y con una gran carga de enfermedad a nivel mundial, especialmente por afecciones respiratorias, cardiovasculares y cerebrovasculares (OMS , 2024). Una imagen proporcionada por la OMS puede observarse en la Figura 10.

En las ciudades donde existe alta concentración vehicular, las emisiones de escape representan una parte visible del problema ambiental. Si además se suman vehículos con mantenimiento deficiente, fallas de combustión o sistemas de control alterados, el impacto tiende a ser mayor. En ese contexto, investigaciones como esta adquieren valor porque no solo estudian una falla técnica, sino un aspecto que también se conecta con la reducción de contaminación atmosférica.

Figura 10*Contaminación del aire por gases de escape*

Fuente: (OMS , 2024)

2.5.3 Normativa ecuatoriana y revisión técnica vehicular

En Ecuador, el control de emisiones de fuentes móviles terrestres se apoya en reglamentos y normas técnicas que establecen límites máximos permitidos y condiciones de evaluación. El Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 017 establece límites de emisiones para vehículos con motor a gasolina y sirve como referencia para la inspección de fuentes móviles terrestres (INEN, 2016).

En el contexto local, la Agencia de Tránsito y Movilidad de Guayaquil dispone lineamientos específicos mediante el instructivo de revisión técnica vehicular. Este documento señala que el proceso de revisión tiene como objetivo comprobar que el nivel de emisiones contaminantes esté por debajo de los límites máximos establecidos en regulaciones y normas vigentes, además de verificar otras condiciones de seguridad del vehículo (ATM, 2022). La Figura 11 muestra una referencia visual del proceso de revisión técnica.

Para esta investigación, la importancia de la normativa está en que las pruebas no se interpretan de manera aislada, sino en relación con criterios reales de inspección vehicular. Es decir, no basta con saber si un sensor altera el valor de CO o HC, sino también si esa alteración puede comprometer el cumplimiento de parámetros exigidos por la revisión técnica. De este modo, el estudio conecta el análisis experimental con una situación concreta del

entorno automotriz ecuatoriano.

Figura 11

Revisión Técnica vehicular



Fuete: (Leal Importaciones, 2023)

2.6 Instrumentación para la medición de gases

2.6.1 Analizador de gases AGS-688

Para una investigación experimental sobre emisiones contaminantes, la calidad de la instrumentación es un aspecto esencial. En este caso, el equipo considerado es el analizador de gases AGS-688, utilizado para determinar diferentes concentraciones de gases presentes en el escape de vehículos de encendido por chispa. De acuerdo con el folleto técnico de Brain Bee, el AGS-688 es un analizador de gases diseñado para evaluar concentraciones en los gases de escape y mostrar los valores del ensayo mediante unidades de pantalla retroiluminadas (Brain Bee Group, s.f.). La forma del equipo y su disposición general pueden

apreciarse en la Figura 12.

La utilidad de este equipo dentro del estudio radica en que permite obtener mediciones objetivas del comportamiento del motor frente a distintas configuraciones de sensores. Al trabajar con un mismo vehículo o motor y mantener constantes las demás variables, el analizador se convierte en la herramienta principal para identificar si el cambio de componente genera una variación apreciable en los niveles de CO y HC.

Desde una perspectiva académica, el uso de este tipo de equipo también fortalece la validez metodológica del estudio, ya que evita depender únicamente de apreciaciones subjetivas como el olor del escape, la sensación de fallas o la percepción del técnico. En su lugar, se trabaja con datos cuantificables que pueden registrarse, compararse y discutirse con mayor rigor.

Figura 12

Analizador de gases



2.6.2 Variables que mide el equipo

El analizador de gases no se limita a mostrar un solo parámetro. Según la información técnica disponible, este tipo de instrumento puede medir concentraciones de gases relevantes para el diagnóstico, entre ellos monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrocarburos y oxígeno, además de aportar valores complementarios para la evaluación del funcionamiento del motor (Brain Bee Group, s.f.).

Para esta investigación, aunque el interés principal está en el CO y los HC, contar con un equipo que maneje varias variables mejora la comprensión general del ensayo. No siempre una emisión elevada debe interpretarse de forma aislada, porque el comportamiento de un gas puede ayudar a explicar lo que está ocurriendo con otro. En ese sentido, la instrumentación no solo sirve para registrar valores, sino también para apoyar la interpretación técnica del proceso de combustión.

Capítulo III

Metodología

La metodología de este proyecto se plantea con el propósito de traducir el marco teórico en un conjunto de procedimientos concretos que permitan evaluar, de manera objetiva, el impacto de los sensores de oxígeno y knock OEM y aftermarket en las emisiones de CO y HC de un motor a gasolina. Con este enfoque, se busca definir claramente el tipo de estudio, el diseño experimental, las técnicas de recolección de datos y la forma en que se controlarán las variables relacionadas con la combustión y la gestión electrónica del motor, asegurando que los resultados obtenidos sean coherentes con la realidad de los vehículos de encendido por chispa y con las exigencias de la normativa vigente sobre emisiones.

3.1 Enfoque de la investigación

3.1.1 *Naturaleza del estudio*

La presente investigación se plantea con un enfoque cuantitativo, aplicado y experimental, porque trabaja con datos numéricos de emisiones contaminantes y busca dar una respuesta práctica a un problema real de un vehículo a gasolina. El análisis se centra en valores de monóxido de carbono (CO) y de hidrocarburos no quemados (HC) medidos con un analizador de gases, comparando cómo cambian estos resultados cuando el motor utiliza sensores de oxígeno y de knock originales (OEM) frente a sensores alternativos (aftermarket).

Este enfoque cuantitativo se justifica porque las emisiones vehiculares se expresan en porcentajes de volumen, partes por millón u otras unidades medibles, y la comparación entre configuraciones de sensores requiere trabajar con cifras que puedan organizarse en tablas, promedios y gráficos. El estudio es aplicado porque no se queda en la teoría, sino que busca generar información útil, pudiendo servir a estudiantes y propietarios de vehículos, especialmente en contextos donde la revisión técnica vehicular exige cumplir límites concretos de emisiones de CO y HC para motores de encendido por chispa.

Asimismo, es experimental porque se manipula de manera consciente la variable independiente (tipo de sensor instalado) y se observan sus efectos sobre las emisiones del mismo motor, manteniendo constantes las demás condiciones de operación.

3.1.2 Justificación del enfoque frente al problema

El problema central del proyecto tiene que ver con el impacto que puede tener la utilización de sensores OEM y aftermarket en el comportamiento de las emisiones de un motor a gasolina. En la práctica, muchos vehículos que deberían pasar sin problema la revisión técnica vehicular terminan presentando emisiones de CO y HC por encima de lo permitido, aun cuando mecánicamente parecen estar en buen estado.

Investigaciones previas han mostrado que el mal funcionamiento o la alteración de sensores como el de oxígeno puede llevar al motor a trabajar con mezclas incorrectas, incrementando CO y HC y afectando el rendimiento. De forma similar, fallas en el sensor de temperatura del refrigerante o en el sensor knock pueden modificar el control de encendido y la calidad de la combustión, lo que se refleja en las emisiones.

3.2 Tipo y diseño de la investigación

3.2.1 Tipo de investigación

El estudio es de tipo aplicado y experimental de campo. Es aplicado porque se orienta a resolver una situación concreta: entender cómo el uso de sensores OEM y aftermarket afecta las emisiones de un motor de combustión interna a gasolina, y porque sus resultados pueden servir para mejorar decisiones de mantenimiento, selección de repuestos y preparación del vehículo antes de una inspección de emisiones.

Es experimental de campo debido a que las pruebas se realizan directamente sobre un vehículo de encendido por chispa, en condiciones de operación definidas. La variable independiente (tipo de sensor) se manipula en el propio vehículo y las emisiones se miden en el escape, tal como se hace en estudios aplicados de emisiones en vehículos livianos a gasolina.

3.2.2 Diseño experimental comparativo con mediciones repetidas

El diseño de la investigación es experimental comparativo con mediciones repetidas en un mismo vehículo. La comparación se da entre dos configuraciones del motor:

Configuración 1: motor equipado con sensores de oxígeno y knock en versión OEM.

Configuración 2: motor equipado con sensores de oxígeno y knock en versión

aftermarket.

En ambas configuraciones se realizarán pruebas en las mismas condiciones de régimen de operación (ralentí y aproximadamente 2500 rpm), de manera que las variaciones observadas en las emisiones de CO y HC puedan atribuirse principalmente al tipo de sensor instalado y no a cambios externos. Este tipo de diseño es similar al utilizado en otras investigaciones donde se comparan emisiones de un mismo motor usando diferentes combustibles, altitudes o parámetros de operación, manteniendo controladas las variables de entorno.

La lógica de mediciones repetidas consiste en tomar más de un registro por condición para reducir el efecto de variaciones puntuales y obtener valores representativos del comportamiento de cada configuración. De esta manera, se puede calcular un promedio de emisiones y analizar si la diferencia entre OEM y aftermarket es consistente, sin necesidad de aplicar técnicas estadísticas demasiado complejas.

3.2.3 Variables de estudio

Las variables de estudio se definen de la siguiente manera:

Variable independiente: tipo de sensor instalado en el motor (sensores de oxígeno y knock OEM frente a sensores de oxígeno y knock aftermarket).

Variables dependientes: emisiones de monóxido de carbono (CO) y de hidrocarburos no quemados (HC) registradas por el analizador de gases en las condiciones de prueba.

Variables de control: tipo de combustible utilizado (gasolina de una sola calidad definida), estado mecánico del motor, condiciones ambientales básicas (temperatura y presión atmosférica dentro de un rango razonable), régimen de giro del motor (ralentí y 2500 rpm) y ausencia de cambios en la configuración electrónica.

En la tabla 2 se puede observar un resumen de las variables del estudio.

Tabla 2*Definición de variables de estudio*

Tipo de variable	Descripción
Independiente	Tipo de sensor (oxígeno y knock OEM vs oxígeno y knock aftermarket)
Dependiente	Emisiones de CO (% vol) y HC (ppm)
De control	Combustible, estado mecánico, condiciones ambientales, rpm

3.3 Descripción del vehículo de prueba

La unidad de análisis de la investigación será un solo vehículo liviano a gasolina: Skoda Fabia año 2011, motor CFNA. Este modelo corresponde a un vehículo de segmento pequeño, con motor de cuatro tiempos, ciclo Otto, de encendido por chispa y sistema de inyección electrónica, pensado para uso urbano y periurbano.

El motor CFNA es un motor de gasolina utilizado en versiones del Fabia con cilindrada alrededor de 1.4 litros y configuración de cuatro cilindros, con gestión electrónica que incluye sensores de oxígeno (sonda lambda) y sensor knock integrados al sistema de control del motor. Esto lo hace compatible con el objetivo del estudio, que se centra precisamente en estos componentes.

La elección de un solo vehículo, en este caso el Skoda Fabia 2011 con motor CFNA, responde tanto a criterios prácticos como metodológicos. En el plano práctico, este es el vehículo disponible para realizar las pruebas, lo que facilita el acceso al motor y a los componentes que se van a comparar. Sin embargo, más allá de la disponibilidad, la decisión se puede justificar de forma técnica.

Al trabajar siempre con el mismo vehículo, se reduce la variabilidad asociada a diferencias de modelos, estados mecánicos o estilos de uso. Esto es coherente con estudios previos donde se toma un solo vehículo liviano a gasolina como caso de estudio para evaluar emisiones bajo distintas condiciones, privilegiando el control interno de variables sobre la

cantidad de unidades.

En otras palabras, el diseño se centra en una comparación interna: el motor del Fabia funciona primero con sensores OEM y luego con sensores aftermarket, en condiciones semejantes de combustible, régimen de giro y ambiente. Además, como el Skoda Fabia CFNA es un vehículo con tecnología de gestión electrónica extendida (sensor de oxígeno, sensor knock, catalizador y control en lazo cerrado), los resultados pueden servir como referencia para otros vehículos de características similares, aunque la investigación reconozca que sus conclusiones se basan en un caso de estudio específico.

3.4 Condiciones de operación definidas para el ensayo

Para garantizar consistencia en las mediciones, las pruebas se realizarán bajo condiciones definidas y siempre con motor caliente:

Ralentí estabilizado: motor del Skoda Fabia caliente, con la temperatura de refrigerante en su rango normal de operación y velocidad de giro alrededor de 750 rpm. Este valor se considera representativo del ralentí de motores de gasolina de baja cilindrada cuando el sistema ya trabaja en lazo cerrado y el motor ha pasado la fase de arranque en frío.

Régimen de 2500 rpm sin carga: motor caliente mantenido cerca de 2500 rpm en vacío (vehículo detenido) durante el tiempo suficiente para estabilizar la lectura del analizador de gases.

La razón de trabajar con motor caliente y no en frío es que, durante el arranque y el ralentí en frío, las emisiones de HC y CO pueden ser mucho más altas que en ralentí caliente, justamente porque el motor y el catalizador aún no han alcanzado condiciones óptimas. En este proyecto, como el objetivo es comparar el comportamiento de sensores OEM y aftermarket en condiciones representativas pero controladas, se decidió centrar las mediciones en el ralentí caliente (750 rpm) y en un régimen medio (2500 rpm), evitando el efecto exagerado del “cold start”.

3.5 Procedimiento experimental

3.5.1 Configuración con sensores OEM

En la primera fase del procedimiento, el Skoda Fabia trabajará con los sensores de

oxígeno y knock en su versión OEM, es decir, componentes equivalentes a los instalados originalmente por el fabricante. El procedimiento general será el siguiente:

Verificación básica del vehículo: revisar que tenga suficiente gasolina, que no haya fugas visibles en el sistema de combustible o escape, que las conexiones eléctricas estén firmes y que no existan fallas mecánicas evidentes.

Comprobación de instalación de sensores OEM: verificar que el sensor de oxígeno esté correctamente enroscado en la línea de escape y que el sensor knock esté fijado en el bloque del motor en su posición adecuada, con conectores bien asegurados.

Calentamiento del motor CFNA: encender el motor y dejarlo funcionar en ralentí y con algunas aceleraciones suaves durante varios minutos, hasta que la temperatura del refrigerante se estabilice y el ralentí se mantenga alrededor de 750 rpm. Solo a partir de este momento se considera que el motor está caliente y listo para la medición.

Medición en ralentí caliente (~750 rpm): con el motor estable en torno a 750 rpm, introducir la sonda del analizador de gases en el tubo de escape, esperar el tiempo indicado por el equipo para estabilizar la lectura y registrar los valores de CO y HC. Se realizan tres mediciones consecutivas en estas condiciones, anotando cada resultado.

Medición a 2500 rpm (motor caliente): mantener el motor a aproximadamente 2500 rpm sin carga, introducir la sonda en el escape y repetir el proceso de medición. Nuevamente se realizan tres mediciones consecutivas de CO y HC en esta condición.

En la fase OEM se obtienen:

3 mediciones de CO y HC en ralentí caliente (~750 rpm).

3 mediciones de CO y HC a 2500 rpm con motor caliente.

En total, 6 mediciones por configuración.

3.5.2 Configuración con sensores aftermarket

En la segunda fase del procedimiento, se sustituirán los sensores de oxígeno y knock OEM por componentes aftermarket equivalentes en cuanto a forma de montaje y conexión. El procedimiento general será similar, con la diferencia de que el motor CFNA operará con los nuevos sensores:

Retiro de sensores OEM: desmontar cuidadosamente el sensor de oxígeno y el sensor knock originales, cuidando las roscas y conectores para no dañarlos.

Instalación de sensores aftermarket: colocar los sensores de reemplazo en las mismas posiciones, respetando el torque de apriete recomendado y asegurando que los conectores queden firmes.

Estabilización tras el cambio de sensores: encender el motor y dejarlo funcionar al menos unos minutos, con aceleraciones suaves y luego en ralentí, para que la ECU empiece a trabajar de forma estable con las nuevas señales. Se espera hasta que la temperatura y el ralentí (750 rpm) se estabilicen antes de medir.

Medición en ralentí caliente (~750 rpm): repetir el mismo protocolo que en la fase OEM, tomando tres mediciones consecutivas de CO y HC con el analizador de gases.

Medición a 2500 rpm (motor caliente): realizar tres mediciones consecutivas de CO y HC con el motor sostenido a 2500 rpm, usando la misma forma de conexión al escape.

En la fase aftermarket se obtienen:

3 mediciones de CO y HC en ralentí caliente (~750 rpm).

3 mediciones de CO y HC a 2500 rpm con motor caliente.

3.5.3 *Número total de pruebas*

Sumando ambas fases:

Configuración OEM: 6 mediciones (3 en ralentí caliente + 3 a 2500 rpm).

Configuración aftermarket: 6 mediciones (3 en ralentí caliente + 3 a 2500 rpm).

En total se realizarán 12 mediciones de emisiones (12 pares de datos CO–HC) en el mismo Skoda Fabia CFNA, lo cual es coherente con metodologías de tesis y proyectos que usan varias repeticiones por condición para tener promedios más confiables.

3.5.4 *Secuencia de pruebas y registro de datos*

La secuencia general de pruebas se resume en la tabla 3.

Tabla 3*Secuencia de pruebas por configuración*

Configuración	Condición de operación	Número de mediciones	Variables registradas
OEM	Ralentí caliente (~750 rpm)	3	CO (% vol), HC (ppm)
OEM	2500 rpm, motor caliente	3	CO (% vol), HC (ppm)
Aftermarket	Ralentí caliente (~750 rpm)	3	CO (% vol), HC (ppm)
Aftermarket	2500 rpm, motor caliente	3	CO (% vol), HC (ppm)

Los datos de cada medición se anotarán en hojas de registro o matrices, indicando el tipo de sensor utilizado, la condición de operación, la temperatura aproximada del motor y los valores de CO y HC obtenidos. Este registro ordenado facilita el análisis posterior y sigue la práctica utilizada en estudios de emisiones en vehículos livianos.

3.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1 Medición de gases de escape con analizador de gases automotriz

La técnica principal de recolección de datos será la medición directa de gases de escape mediante un analizador de gases automotriz diseñado para motores a gasolina. Un ejemplo de este tipo de equipo es el modelo AGS-688 de Brain Bee, que puede trabajar tanto en modo estático como dinámico, tomando muestras de gases directamente del tubo de escape y mostrando las concentraciones en pantallas retroiluminadas.

El analizador permite medir, entre otros, CO, CO₂, HC y O₂, además de calcular el valor lambda bajo ciertas condiciones. Para el objetivo de esta investigación, el interés se centrará en los valores de CO y HC, ya que son los contaminantes directamente vinculados con la calidad de la combustión en motores de gasolina y los que se consideran de manera

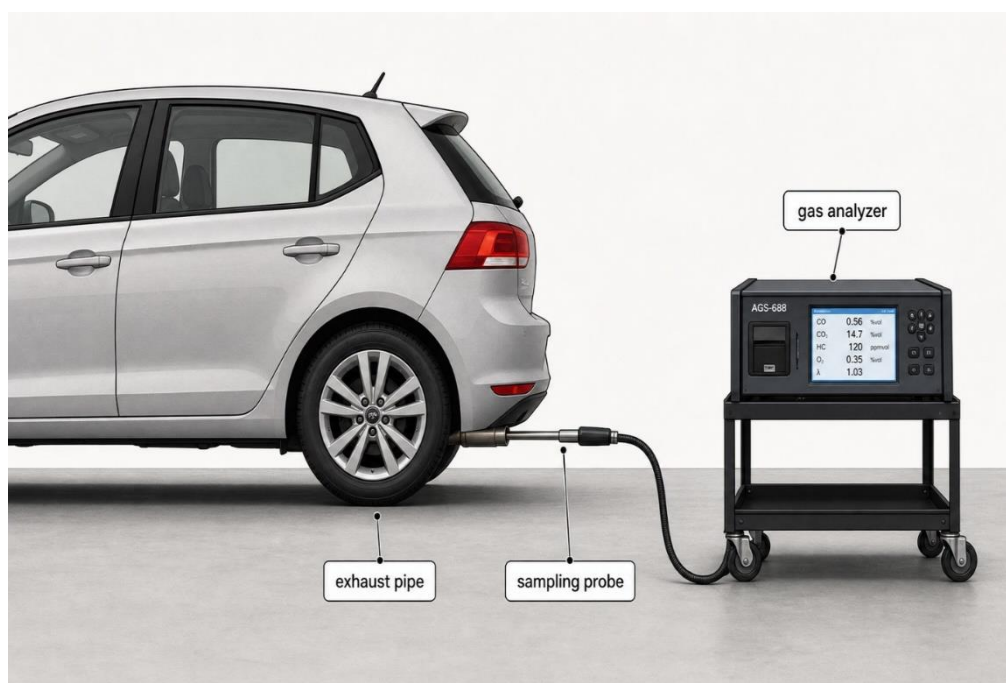
importante en normativas y trabajos previos sobre emisiones vehiculares.

En la práctica, la conexión del analizador al vehículo se realizará introduciendo la sonda de muestreo en el tubo de escape del Skoda Fabia, asegurando que la punta de la sonda quede suficientemente adentro para evitar fugas significativas durante el muestreo. El equipo se ubicará a un lado del vehículo, sobre una superficie estable, y se dejará el motor en marcha mientras se toma la lectura.

La figura 13 muestra un esquema donde se observa la posición relativa del vehículo, el tubo de escape, la sonda y el analizador:

Figura 13

Conexión de sonda de analizador de gases



Antes de cada serie de mediciones, el analizador deberá encenderse con suficiente anticipación para cumplir su tiempo de calentamiento interno, realizar las purgas de línea necesarias y verificar que los filtros y trampas de agua estén en buen estado, siguiendo las recomendaciones del manual técnico.

3.7 Tratamiento y análisis de la información

3.7.1 Organización de datos en tablas

Una vez obtenidos los datos de CO y HC para cada configuración y condición de

operación, los valores se organizarán en tablas que permitan visualizar de manera sencilla las diferencias entre sensores OEM y aftermarket. Se plantean las tablas 4 y 5 para la recolección de datos.

Tabla 4

Recolección de información de Emisiones de CO y HC a ralentí

Tipo de sensor	de Prueba	CO (% vol)	HC (ppm)
OEM	1	x	y
OEM	2	x	y
OEM	3	x	y
Aftermarket	1	x	y
Aftermarket	2	x	y
Aftermarket	3	x	y

Tabla 5

Recolección de información de Emisiones de CO y HC a 2500 rpm.

Tipo de sensor	Prueba	CO (% vol)	HC (ppm)
OEM	1	x	y
OEM	2	x	y
OEM	3	x	y
Aftermarket	1	x	y
Aftermarket	2	x	y
Aftermarket	3	x	y

3.7.2 Cálculo de promedios y variaciones

Para cada grupo de tres mediciones (por ejemplo, CO OEM en ralentí caliente), se calculará:

Promedio (media) suma de los tres valores dividida para tres. Si los valores de CO

OEM en ralentí son $(CO)_1$, $(CO)_2$ y $(CO)_3$, el promedio será calculado con la ecuación 1.

$$CO_{(promedio)} = \frac{(CO)_1 + (CO)_2 + (CO)_3}{3} \quad (1)$$

Desviación estándar simple: sirve para ver si los valores están muy dispersos o bastante juntos. Se utilizará la fórmula de desviación estándar para una muestra pequeña, que también se emplea en trabajos de estadísticas básicas aplicadas a emisiones y factores de emisión.

Es importante señalar que los promedios y desviaciones estándar se calcularán únicamente a partir de las mediciones realizadas con el motor en estado caliente y condiciones estables de operación (ralentí a ~750 rpm y 2500 rpm sin carga), descartando fases de arranque en frío que podrían distorsionar la comparación entre sensores.

Con estos resultados se elaborarán gráficos de barras donde se comparen las emisiones promedio de CO y HC entre OEM y aftermarket en cada condición.

3.7.3 Criterios de interpretación frente a normativa

Los resultados obtenidos se interpretarán tomando como referencia los límites máximos de emisiones establecidos para vehículos a gasolina en la normativa ecuatoriana, particularmente en lo referente a pruebas estáticas de emisiones, además de las condiciones establecidas en la revisión técnica vehicular.

De forma sencilla, se analizará:

Si los promedios de CO y HC con sensores OEM se ubican por debajo de los límites establecidos para pruebas en ralentí y 2500 rpm.

Si los promedios de CO y HC con sensores aftermarket se acercan más a esos límites o los superan en alguna condición.

Si existe un margen de seguridad mayor con sensores OEM (valores más bajos y más estables) frente a los aftermarket.

3.8 Consideraciones de seguridad y limitaciones

3.8.1 Seguridad en pruebas con motores a gasolina

Durante la realización de las pruebas se adoptarán medidas básicas de seguridad,

como trabajar en un espacio ventilado para evitar acumulación de gases de escape, utilizar protección personal cuando sea necesario y evitar el contacto directo con partes calientes del motor. También se procurará que el Skoda Fabia se encuentre correctamente asegurado durante las mediciones para evitar desplazamientos inesperados o accidentes.

3.8.2 *Uso responsable de equipos e información técnica*

El analizador de gases y los demás elementos utilizados en las pruebas se manejarán de acuerdo con las instrucciones del fabricante, evitando usos que puedan deteriorar el equipo o comprometer la calidad de los resultados. La información obtenida se utilizará exclusivamente para fines académicos y de mejora técnica, respetando las políticas de la institución y del propietario del vehículo.

3.8.3 *Limitaciones del estudio*

Entre las principales limitaciones del estudio se encuentran:

El uso de un solo vehículo, el Skoda Fabia 2011 motor CFNA, lo que limita la generalización de los resultados, pero permite un mejor control interno de variables.

La realización de pruebas en condiciones estáticas (ralentí caliente y 2500 rpm sin carga), sin incluir ciclos dinámicos más complejos ni diferentes altitudes.

La concentración del análisis en CO y HC, sin abordar de manera detallada otros contaminantes como NOx o partículas.

A pesar de estas limitaciones, la metodología propuesta permite cumplir con el objetivo de comparar el comportamiento de sensores OEM y aftermarket en un motor a gasolina bajo condiciones técnicamente relevantes y alineadas con estudios previos de emisiones en vehículos livianos.

Capítulo IV

Análisis de Resultados

4.1 Presentación general de los resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de las doce mediciones realizadas sobre el motor CFNA del Skoda Fabia 2011, seis correspondientes a la configuración con sensores OEM y seis a la configuración con sensores aftermarket, distribuidas en dos condiciones de operación: ralentí caliente (~750 rpm) y 2500 rpm sin carga.

Los datos se estructuraron siguiendo las tablas de registro descrita en el Capítulo III, y se procesaron mediante herramientas de análisis estadístico implementadas en Python, replicando el tipo de tratamiento de datos empleado en estudios de emisiones de motores de gasolina en Ecuador y en la literatura internacional.

La interpretación de los resultados se realiza comparando los promedios de CO y HC de cada configuración de sensores frente a los límites establecidos por el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 017, que para vehículos a gasolina modelo 2000 y posteriores en prueba estática de ralentí establece un máximo de 1,0% vol de CO y 200 ppm de HC, mientras que para las pruebas dinámicas a 2500 rpm los límites se mantienen dentro del mismo esquema de control estático definido en la norma.

4.2 Resultados de emisiones con sensores OEM

Como puede observarse en la tabla x, todas las mediciones con sensores OEM se ubican claramente por debajo de los límites normativos de 1,0% vol de CO y 200 ppm de HC, lo cual es coherente con el papel del sensor de oxígeno original en mantener la relación estequiométrica cercana a λ 1.0 mediante el control en lazo cerrado.

Los resultados a ralentí se pueden ver en la tabla 6.

Tabla 6*Mediciones individuales de CO y HC con sensores OEM*

Configuración	Condición	Prueba	CO (% vol)	HC (ppm)
OEM	Ralentí (750 rpm)	1	0.43	61.1
OEM	Ralentí (750 rpm)	2	0.42	54.1
OEM	Ralentí (750 rpm)	3	0.44	54.1
OEM	2500 rpm	1	0.34	41.6
OEM	2500 rpm	2	0.32	38.6
OEM	2500 rpm	3	0.29	38.6

4.2.1 Configuración OEM

En la tabla 7 se observa un resumen de los promedios y desviaciones estándar. Además, se observa una desviación estándar reducida en ambas condiciones (menor a 0.03% vol en CO y menor a 4.1 ppm en HC), lo que indica que las mediciones con sensores OEM tienden a ser consistentes y repetibles, un comportamiento esperado dado que estos componentes están fabricados y calibrados bajo tolerancias estrictas de fábrica, en general del orden de milivoltios o milisegundos de respuesta.

Tabla 7*Promedios y desviación estándar de emisiones con sensores OEM*

Condición	CO promedio (% vol)	Desv. estándar CO	HC promedio (ppm)	Desv. estándar HC
Ralentí (750 rpm)	0.430	0.010	56.43	4.04
2500 rpm	0.317	0.025	39.60	1.73

4.3 Resultados de emisiones con sensores aftermarket

En la tabla 8 se observan las mediciones individuales de CO y HC con la configuración aftermarket. Aunque los valores de CO y HC con sensores aftermarket siguen ubicándose por debajo de los límites normativos (1,0% vol y 200 ppm respectivamente), se observa un incremento sistemático frente a la configuración OEM en ambas condiciones de operación, lo cual es consistente con lo reportado por estudios de la EPA sobre el efecto de componentes

de menor precisión de señal en el control de la mezcla aire-combustible y del avance de encendido.

Tabla 8

Mediciones individuales de CO y HC con sensores aftermarket

Configuración	Condición	Prueba	CO (% vol)	HC (ppm)
Aftermarket	Ralentí (750 rpm)	1	0.68	83.1
Aftermarket	Ralentí (750 rpm)	2	0.58	71.9
Aftermarket	Ralentí (750 rpm)	3	0.62	76.9
Aftermarket	2500 rpm	1	0.53	55.6
Aftermarket	2500 rpm	2	0.49	52.3
Aftermarket	2500 rpm	3	0.51	48.8

4.3.1 Configuración aftermarket

Comparando ambas configuraciones, se observa que la desviación estándar de CO en ralentí prácticamente se quintuplica al pasar de sensores OEM (0.010) a aftermarket (0.050), en la tabla 9 se puede observar la información obtenida. Además, esto sugiere una menor estabilidad en la señal enviada a la ECU y, en consecuencia, una respuesta menos uniforme del sistema de control del motor, en línea con lo descrito en la literatura sobre sensores genéricos con tiempos de respuesta más lentos y calibraciones ligeramente distintas a las esperadas por el software del vehículo.

Tabla 9

Promedios y desviación estándar de emisiones con sensores aftermarket

Condición	CO promedio (% vol)	Desv. estándar CO	HC promedio (ppm)	Desv. estándar HC
Ralentí (750 rpm)	0.627	0.050	77.30	5.61
2500 rpm	0.510	0.020	52.23	3.40

4.4 Comparación directa entre configuraciones OEM y aftermarket

4.4.1 Variación porcentual de emisiones

La tabla 10 muestran una comparativa entre estas dos configuraciones. Los

incrementos porcentuales obtenidos (entre 32% y 61% según el contaminante y la condición) son coherentes en magnitud con los reportados en estudios de la EPA sobre el efecto de sensores y sistemas de control con calibración subóptima, donde se han documentado incrementos de CO de hasta 154% y de HC de hasta 50,9% en ciclos de prueba estandarizados al variar parámetros de control de combustión. Esto respalda la coherencia relativa del comportamiento observado con la tendencia reportada en la literatura técnica.

Tabla 10

Variación porcentual de emisiones al cambiar de sensores

Contaminante	Condición	OEM (promedio)	Aftermarket (promedio)	Variación (%)
CO (% vol)	Ralentí (750 rpm)	0.430	0.627	+45.8%
CO (% vol)	2500 rpm	0.317	0.510	+60.9%
HC (ppm)	Ralentí (750 rpm)	56.43	77.30	+37.0%
HC (ppm)	2500 rpm	39.60	52.23	+31.9%

Figura 14

Emisiones promedio de CO — OEM vs aftermarket (Skoda Fabia CFNA)

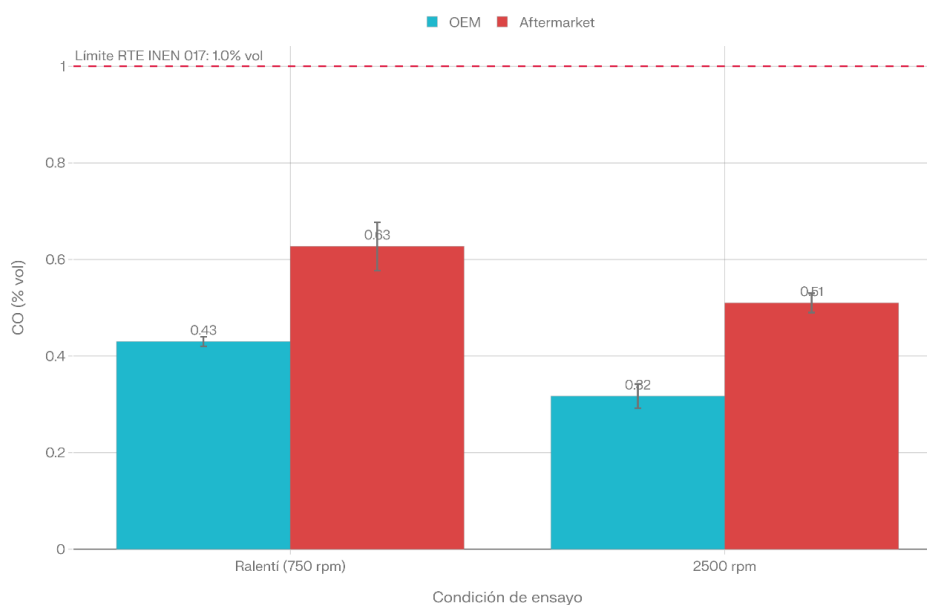
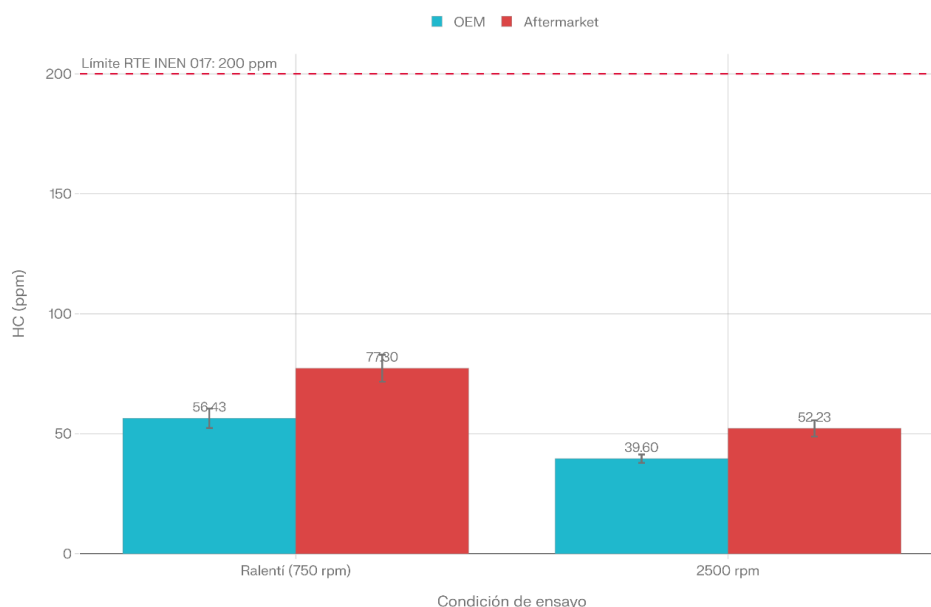


Figura 15

Emisiones promedio de HC — OEM vs aftermarket (Skoda Fabia CFNA)



En figuras 14 y figura 15 se observa el mismo patrón; los sensores OEM generan emisiones promedio más bajas y con menor dispersión, mientras que los sensores aftermarket muestran promedios mayores y una dispersión más amplia, especialmente en la condición de ralentí caliente (750 rpm), que es precisamente la condición donde el sistema de control en lazo cerrado depende más críticamente de la precisión de la sonda lambda.

4.4.2 Margen de seguridad frente a la normativa

Tabla 11

Margen de seguridad respecto a los límites del RTE INEN 017

Contaminante	Límite normativo	OEM ralentí	Margen OEM	Aftermarket ralentí	Margen aftermarket
CO (% vol)	1.0	0.430	57.0%	0.627	37.3%
HC (ppm)	200	56.43	71.8%	77.30	61.4%

En este caso ambas configuraciones cumplirían la normativa vigente; estas se muestran en la tabla 11.

Conclusiones

Tanto el sensor OEM como el aftermarket utilizado permitieron que el vehículo cumpliera con la normativa vigente, evidenciando que ambos componentes son funcionales para el control de emisiones; sin embargo, se observaron diferencias en su comportamiento que resaltan la importancia de la calidad y calibración de cada pieza al momento de su selección e instalación.

Se observó que la precisión de la señal entregada por el sensor evaluado influye directamente en la estabilidad de las emisiones registradas. El componente OEM utilizado mostró una calibración más ajustada a las especificaciones del vehículo, mientras que el componente aftermarket evaluado presentó una respuesta ligeramente distinta, lo cual resalta la importancia de verificar la calidad y certificación del repuesto, sin generalizar sobre el mercado aftermarket en su conjunto.

Ambas configuraciones estuvieron en los rangos aceptados por la normativa RTE INEN 017 en las condiciones evaluadas, tanto en ralentí como a 2500 rpm. Sin embargo, con el sensor aftermarket el vehículo quedó considerablemente más cerca del límite permitido de CO y HC. Esto implica que, aunque el vehículo cumpliría la revisión técnica vehicular en este momento, tendría menos margen para absorber factores adicionales de desgaste (como bujías gastadas, catalizador envejecido o combustible de menor calidad) sin arriesgar el incumplimiento en revisiones futuras.

Se observó que, bajo las dos condiciones de prueba (ralentí y 2500 rpm), el sensor aftermarket evaluado mantuvo un mismo patrón: emisiones de CO y HC diferentes que las registradas con el sensor OEM. La constancia de este comportamiento en distintos regímenes sugiere que el efecto no es puntual, sino asociado directamente a la respuesta del componente instalado.

Recomendaciones

Verificar la calidad y procedencia del repuesto antes de instalarlo, sea OEM o aftermarket, solicitando ficha técnica y comparando sus especificaciones con las indicadas por el fabricante del vehículo.

Evaluar diferentes marcas de sensores (tanto OEM como aftermarket certificado) en trabajos futuros, para tener una base de comparación más amplia que la de un solo componente por categoría.

Calibrar correctamente el analizador de gases AGS-688 y seguir su protocolo de calentamiento antes de cada sesión de mediciones, para asegurar resultados comparables con el RTE INEN 017.

Incorporar pruebas dinámicas con dinamómetro (por ejemplo, ciclo IM-240), además de las pruebas estáticas de ralentí y 2500 rpm, para evaluar el comportamiento de los sensores bajo condiciones de carga y aceleración más cercanas al uso del vehículo.

Evaluar el efecto del kilometraje y la vida útil del sensor, comparando sensores nuevos frente a sensores con distintos niveles de uso, tanto OEM como aftermarket, para entender cómo se degrada la precisión de la señal con el tiempo.

Validar los resultados con distintas calidades de combustible disponibles en el mercado ecuatoriano, ya que el octanaje y la formulación del combustible pueden interactuar con el tipo de sensor instalado y modificar los niveles de emisión obtenidos.

Referencias

- AAMPACT e.V. (2025). *Sonda Lambda*. <https://www.mi-lexicon-coche.es/diccionario/sistema-de-escape/sonda-lambda-1.pdf>
- Agencia de Tránsito y Movilidad. (2022). Obtenido de Instructivo de revisión técnica vehicular 2022. <https://www.atm.gob.ec/dcom/INSTRUCTIVO/06-01-Instructivo%20DRTV-2022-IRTV.pdf>
- ATM. (2022). Instructivo de revisión vehicular 2022: <https://www.atm.gob.ec/dcom/INSTRUCTIVO/06-01-Instructivo%20DRTV-2022-IRTV.pdf>
- B. Ashok, S. D. (2016). *A review on control system architecture of a SI engine management system*. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2016.04.005>
- BOSCH. (2026). *Oxygen Sensors*. <https://www.boschautoparts.com/documents/647135/1488055/Oxygen%20Sensors%20From%20Bosch.pdf>
- Bosch Auto Parts. (2024). *Premium Wideband A/F Oxygen (O2) Sensors (17018)*. <https://www.boschautoparts.com/p/premium-wideband-a/f-oxygen-o2-sensors-17018->
- Bosch Mobility. (2026). Knock Sensor. <https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/sensors/knock-sensor/>
- Brain Bee Group. (s.f.). Linea controllo emissioni: Analizzatori gas e opacimetri: http://www.brainbee.com/marketing/mctcnet2/ANALIZZATORI_OPACIMETRI_BRAIN_BEE.pdf
- Estrella-Guayasamín, M., Gómez Berrezueta, M., Cáceres Moreira, J., & Cofre Yanchaguano, M. (2025). Assessment of pollutant emissions in an M2 vehicle fueled with oxyhydrogen-gasoline blends under static conditions. En M. Espinoza-Andaluz, J. Santana-Villamar, B. Ordóñez-Saca, C. Vallejo-Cervantes, & L. Rodríguez-Álava (Eds.), Congress on Research, Development and Innovation in Renewable Energies

- Selected Papers from CIDiER 2024 (pp. 111–120). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-88995-0_9
- FCD.eu. (2024). The lambda sensor "Open Loop" or "Closed Loop":
<https://www.fcd.eu/academy/article/1732>
- INEN. (2016). RTE INEN 017 "Control de emisiones contaminantes de fuentes móviles terrestres": <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/reglamentos/M1-RTE-017.pdf>
- Kawahara, N. (2008). *Automotive Applications*. Engine Control Systems for Automobiles:
<https://doi.org/10.1016/B978-044452190-3.00067-7>
- Leal Importaciones. (2023). Normativa ecuatoriana para la revisión técnica vehicular:
<https://lealimportaciones.com/normativa-ecuatoriana-revision-tecnica-vehicular/>
- Mecánicos y Refaccionarios. (2012). Lazo Abierto y Lazo Cerrado en la Inyección:
<https://www.e-auto.com.mx/enew/index.php?view=article&id=3438-lazo-abierto-y-lazo-cerrado-en-la-inyeccion>
- Moms Clean Air Force. (2023). El efecto de la contaminación por tubos de escape sobre nuestra salud: <https://www.momscleanairforce.org/resources/el-efecto-de-la-contaminacion-por-tubos-de-escape-sobre-nuestra-salud/>
- OMS . (2024). Contaminación del aire ambiente (exterior) y salud:
[https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Organización Mundial de la Salud. (23 de 10 de 2024). *Contaminación del aire ambiente (exterior) y salud*. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Pozo Bazurto, V. V. (2022). Análisis comparativo de sensores originales ante alternos del sistema de inyección electrónica de un vehículo Tucson usando un osciloscopio. Repositorio Institucional de la Universidad Internacional del Ecuador.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2016). Reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 017 (1R) "Control de emisiones contaminantes de fuentes móviles terrestres":
<https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/reglamentos/M1-RTE-017.pdf>

Silva, C. D. (2019). Aplicação de um sensor lambda convencional para detecção de NOx na combustão de GLP : <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36534.32325>

Tipanluisa, L. E. (2017). Emisiones contaminantes de un motor de gasolina funcionando a dos cotas con combustibles de dos calidades.: <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000100002>