



**Proyecto Previo a la Obtención del Título de Ingeniero  
Automotriz**

# **INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**Autor:** William Alexander Vargas Pincay

**Tutor:** Ing. Fernando Gómez Berrezueta, M.Sc.

**Estimación de la Vida Útil de un Catalizador Automotriz  
mediante el Análisis de Gases de Escape con Escáner Launch Pad**

**VII**



**Certificado de Autoría**

Yo, William Alexander Vargas Pincay, 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.

---

William Alexander Vargas Pincay

C.I.: 0930139050

### **Aprobación del Tutor**

Yo, Fernando Gómez Berrezueta certifico que conozco al autor del presente trabajo siendo responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

---

Ing. Fernando Gómez Berrezueta, M.Sc.

C.I.: 0103441846

Director de Proyecto

### **Dedicatoria**

A Dios, por ser mi guía constante, por darme fortaleza en los momentos difíciles y por  
iluminar cada paso de este camino.

A mis padres, por su amor incondicional, apoyo permanente y por enseñarme con el  
ejemplo el valor del esfuerzo y la perseverancia.

A mis docentes, por compartir su conocimiento con pasión y compromiso, y por  
sembrar en mí la curiosidad y el deseo de superación.

Y a todos aquellos que, con su presencia, aliento o palabra de aliento, formaron parte  
de este proceso.

***William Vargas***

## **Agradecimiento**

Agradezco, en primer lugar, a Dios por brindarme la salud, sabiduría y paciencia necesarias  
para culminar este proyecto.

A mis padres y familia, por ser mi principal fuente de motivación, por su constante apoyo  
emocional y por creer siempre en mí, incluso cuando yo dudaba.

A la Universidad Internacional del Ecuador, y especialmente a la Escuela de Ingeniería  
Automotriz, por brindarme las herramientas académicas y humanas que me han permitido  
crecer profesionalmente.

A mi tutor, el Ing. Fernando Gómez Berrezueta, por su guía y valiosos consejos a lo largo de  
este proceso.

A mis compañeros y amigos, por su compañerismo, colaboración y por los momentos  
compartidos que hicieron este camino más llevadero.

***William Vargas***

## Índice General

|                                                                    |      |
|--------------------------------------------------------------------|------|
| Certificado de Autoría.....                                        | iii  |
| Aprobación del Tutor.....                                          | iv   |
| Dedicatoria.....                                                   | v    |
| Agradecimiento.....                                                | vi   |
| Índice General.....                                                | vii  |
| Índice de Tablas.....                                              | xii  |
| Resumen.....                                                       | xiii |
| Abstract.....                                                      | xiv  |
| Capítulo I .....                                                   | 1    |
| Antecedentes .....                                                 | 1    |
| 1.1 Tema de Investigación .....                                    | 1    |
| 1.2 Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema..... | 1    |
| 1.2.1 Planteamiento del Problema.....                              | 2    |
| 1.2.2 Formulación del Problema.....                                | 4    |
| 1.2.3 Sistematización del Problema.....                            | 5    |
| 1.3 Objetivos de la Investigación.....                             | 5    |
| 1.3.1 Objetivo General.....                                        | 5    |
| 1.3.2 Objetivos Específicos.....                                   | 5    |
| 1.4 Justificación y Delimitación de la Investigación .....         | 5    |
| 1.4.1 Justificación Teórica.....                                   | 6    |
| 1.4.2 Justificación Metodológica.....                              | 6    |
| 1.4.3 Justificación Práctica .....                                 | 7    |
| 1.4.4 Delimitación Temporal.....                                   | 7    |
| 1.4.5 Delimitación Geográfica .....                                | 7    |

|        |                                                                                   |    |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.4.6  | <i>Delimitación del Contenido</i> .....                                           | 7  |
|        | Capítulo II .....                                                                 | 9  |
|        | Marco Referencial.....                                                            | 9  |
| 2.1    | Marco Teórico.....                                                                | 9  |
| 2.1.1  | <i>Conceptos Preliminares</i> .....                                               | 9  |
| 2.1.2  | <i>Problemas Relacionados con las Emisiones</i> .....                             | 10 |
| 2.1.3  | <i>Entendiendo el Sistema de Escape</i> .....                                     | 11 |
| 2.1.4  | <i>Sistemas Postratamiento Catalítico de Gases de Escape de Automóviles</i> ..... | 12 |
| 2.1.5  | <i>El Origen de los Catalizadores de Tres Vías (TWC)</i> .....                    | 13 |
| 2.2    | Marco Conceptual.....                                                             | 14 |
| 2.2.1  | <i>Gases que Producen los Automóviles</i> .....                                   | 14 |
| 2.2.2  | <i>Química de los Gases de Escape</i> .....                                       | 16 |
| 2.2.3  | <i>Convertidor Catalítico</i> .....                                               | 17 |
| 2.2.4  | <i>Diseño y Funcionamiento del Postratamiento de Gases de Escape</i> .....        | 18 |
| 2.2.5  | <i>Diseño del Catalizador</i> .....                                               | 18 |
| 2.2.6  | <i>Modo de Funcionamiento del Catalizador</i> .....                               | 19 |
| 2.2.7  | <i>Tipos de Catalizadores</i> .....                                               | 20 |
| 2.2.8  | <i>Efecto del Catalizador</i> .....                                               | 21 |
| 2.2.9  | <i>Eficiencia del Convertidor</i> .....                                           | 22 |
| 2.2.10 | <i>Causas de la Pérdida de Eficiencia del Convertidor</i> .....                   | 23 |
| 2.2.11 | <i>Vida Útil del Catalizador</i> .....                                            | 25 |
| 2.2.12 | <i>Herramientas de Diagnóstico</i> .....                                          | 26 |
|        | Capítulo III.....                                                                 | 27 |
|        | Metodología de Diagnóstico de Catalizadores .....                                 | 27 |
| 3.1    | Enfoque y Tipo de Investigación .....                                             | 27 |

|       |                                                                                                                                |    |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.2   | Variables del Estudio .....                                                                                                    | 28 |
| 3.3   | Población y Muestra .....                                                                                                      | 28 |
| 3.3.1 | <i>Vehículo de Estudio</i> .....                                                                                               | 28 |
| 3.3.2 | <i>Equipos Utilizados</i> .....                                                                                                | 29 |
| 3.4   | Procedimiento Experimental.....                                                                                                | 29 |
| 3.5   | Factores que Influyen en la Vida Útil del Convertidor Catalítico .....                                                         | 31 |
| 3.6   | Análisis de las Especificaciones Técnicas de los Catalizadores Usados en Vehículos a Gasolina en el Ecuador .....              | 33 |
| 3.6.1 | <i>Composición Típica de un catalizador de Tres Vías</i> .....                                                                 | 33 |
| 3.7   | Especificaciones Comunes Observadas en el Mercado Ecuatoriano.....                                                             | 33 |
| 3.7.1 | <i>Consideraciones Adicionales</i> .....                                                                                       | 34 |
| 3.8   | Descripción General del Proceso .....                                                                                          | 35 |
| 3.10  | Pruebas y Procedimientos Estandarizados para Verificar el Convertidor .....                                                    | 36 |
|       | Capítulo IV.....                                                                                                               | 38 |
|       | Diseño de un Conjunto de Pruebas y Procedimientos Estandarizados para la Evaluación del Estado del Catalizador Automotriz..... | 38 |
| 4.1   | Descripción .....                                                                                                              | 38 |
| 4.2   | Inspección Inicial del Sistema de Escape .....                                                                                 | 38 |
| 4.3   | Diagnóstico Electrónico por Escáner OBD-II .....                                                                               | 39 |
| 4.4   | Medición de Gases de Escape (Prueba Dinámica Controlada).....                                                                  | 41 |
| 4.9   | Datos Reales de Diagnóstico – Chery Tiggo 2 Pro 2023.....                                                                      | 45 |
| 4.9.1 | <i>Lectura de Sensores de Oxígeno (O<sub>2</sub>)</i> .....                                                                    | 45 |
|       | Conclusiones .....                                                                                                             | 50 |
|       | Recomendaciones .....                                                                                                          | 51 |
|       | Bibliografía .....                                                                                                             | 52 |

## Índice de Figuras

|                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 <i>Procesos del Catalizador</i> .....                                                                                | 3  |
| Figura 2 <i>Eficacia del Catalizador</i> .....                                                                                | 4  |
| Figura 3 <i>Eficiencia de un Convertidor Catalítico de Tres Vías</i> .....                                                    | 10 |
| Figura 4 <i>Proceso de Combustión</i> .....                                                                                   | 11 |
| Figura 5 <i>Sistema Postratamiento Catalítico de Gases de Escape</i> .....                                                    | 13 |
| Figura 6 <i>Proceso de Combustión Completo</i> .....                                                                          | 15 |
| Figura 7 <i>Combustión de la Gasolina</i> .....                                                                               | 16 |
| Figura 8 <i>Composición de los Gases de Escape</i> .....                                                                      | 17 |
| Figura 9 <i>Proceso Químico Interno del Catalizador</i> .....                                                                 | 22 |
| Figura 10 <i>Diagrama de Reciclaje Circular de Baterías</i> .....                                                             | 24 |
| Figura 11 <i>Vida Útil de un Catalizador</i> .....                                                                            | 25 |
| Figura 12 <i>Mejores Prácticas para el Reciclaje</i> .....                                                                    | 27 |
| Figura 13 <i>Fotografía del Vehículo Antes de Iniciar las Pruebas</i> .....                                                   | 28 |
| Figura 14 <i>Verificación del Analizador de Gases Conectado</i> .....                                                         | 29 |
| Figura 15 <i>Prueba con el Analizador Conectado y el Vehículo en Ralentí</i> .....                                            | 30 |
| Figura 16 <i>Códigos de Diagnóstico de Problemas (DTC) en Sensores de Oxígeno</i> .....                                       | 36 |
| Figura 17 <i>Verificación del Catalizador</i> .....                                                                           | 39 |
| Figura 18 <i>Inicio de la Verificación</i> .....                                                                              | 40 |
| Figura 19 <i>Monitoreo del Sistema en Tiempo Real</i> .....                                                                   | 40 |
| Figura 20 <i>Analizador de Gases</i> .....                                                                                    | 41 |
| Figura 21 <i>Uso del Escáner - Gráficas Voltaje del Sensor O<sub>2</sub> Anterior (Sensor 1) y Posterior (Sensor 2)</i> ..... | 42 |
| Figura 22 <i>Comparación entre las Señales de los Sensores de Oxígeno</i> .....                                               | 42 |
| Figura 23 <i>Relación entre Gases</i> .....                                                                                   | 44 |
| Figura 24 <i>Lectura Simulada de los Sensores de Oxígeno</i> .....                                                            | 46 |

|           |                                                                                     |    |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 25 | <i>Gráfica O<sub>2</sub> (Visualizada en Launch X431 Pad VII)</i> .....             | 47 |
| Figura 26 | <i>Gráfica O<sub>2</sub> (Visualizada en Launch X431 Pad VII)</i> .....             | 48 |
| Figura 27 | <i>Gráfica Comparación O<sub>2</sub> (Visualizada en Launch X431 Pad VII)</i> ..... | 49 |

## Índice de Tablas

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1</b> <i>Características de un Convertidor Catalítico Bien Diseñado</i> ..... | 19 |
| Tabla 2 <i>Especificaciones Comunes de los Catalizadores</i> .....                     | 34 |
| Tabla 3 <i>Medición de Emisiones</i> .....                                             | 44 |
| Tabla 4 <i>Tabla de Control con los Resultados</i> .....                               | 45 |
| Tabla 5 <i>Datos para Interpretación de los Valores del Sensor de Oxígeno</i> .....    | 46 |
| Tabla 6 <i>Datos del Fuel Trim</i> .....                                               | 47 |

## Resumen

Este proyecto tiene como objetivo principal estimar la vida útil del catalizador automotriz en un vehículo a gasolina, utilizando como herramienta principal el escáner automotriz Launch Pad VII. Para ello, se realiza un análisis detallado de los gases de escape, enfocándose especialmente en los niveles de monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no quemados (HC) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), parámetros clave que reflejan el desempeño del sistema de postratamiento de emisiones. La investigación incluye la evaluación del estado actual del catalizador, la comparación con valores de referencia normativos y la interpretación de los resultados obtenidos a través de las lecturas del escáner. El estudio permite no solo diagnosticar el grado de eficiencia del catalizador, sino también proyectar su vida útil remanente en función del comportamiento de los gases emitidos. Los resultados permitirán plantear recomendaciones para el mantenimiento preventivo del sistema de escape y contribuir a una movilidad más limpia y eficiente.

**Palabras Clave:** convertidor catalítico, emisiones contaminantes, escáner automotriz, eficiencia.

### **Abstract**

This research project aims to estimate the service life of a catalytic converter in a gasoline-powered vehicle by analyzing exhaust gas emissions using the Launch Pad VII automotive diagnostic scanner. The analysis focuses on critical pollutants such as carbon monoxide (CO), hydrocarbons (HC), and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), which are indicative of the catalytic converter's effectiveness in reducing harmful emissions. By comparing the measured values with regulatory standards and manufacturer specifications, the current performance of the catalyst is assessed, and its remaining service life is estimated. The study offers valuable insights for preventive maintenance strategies and promotes the use of diagnostic technology to support environmentally responsible automotive practices.

**Keywords:** catalytic converter, polluting emissions, automotive scanner, efficiency.

## **Capítulo I**

### **Antecedentes**

#### **1.1 Tema de Investigación**

Estimación de la vida útil de un catalizador automotriz mediante el análisis de gases de escape con escáner Launch Pad VII.

#### **1.2 Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema**

Las emisiones de escape de la combustión del motor de vehículos ligeros y pesados siguen siendo fuentes importantes de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y contaminantes del aire de vida corta, incluidos los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), los compuestos orgánicos volátiles (VOC) y el monóxido de carbono (CO). El  $\text{CO}_2$  es conocido como un importante contribuyente al cambio climático impulsado por los gases de efecto invernadero, y los gobiernos de todo el mundo están desarrollando estrategias para reducir las emisiones de  $\text{CO}_2$  para lidiar con este problema. El país líder en términos de cantidad de emisiones de  $\text{CO}_2$  del sector de la combustión en 2017 fue China (93 Gt), seguido de Estados Unidos (48 Gt), India (22 Gt), Rusia (15 Gt) y Japón (11 Gt), lo que indica los impactos de los factores tanto poblacionales como económicos (Hata, 2022).

Las emisiones de escape de los vehículos contribuyen significativamente a las emisiones de carbono, y esta preocupación se ve agravada por el aumento anual del número de vehículos. Además, el monóxido de carbono (CO) y los hidrocarburos (HC) son los principales contaminantes presentes en las emisiones de escape de los vehículos de gasolina. Estos contaminantes pueden causar una amplia gama de síntomas agudos y crónicos en los pacientes (Ashcroft, 2019).

Los convertidores catalíticos fueron introducidos por primera vez en 1974 por General Motors después de la publicación de la Ley de Aire Limpio, las regulaciones de la Agencia de Protección Ambiental que requerían una reducción del 75% en las emisiones tóxicas en todos

los vehículos de modelos nuevos después de 1975 (Labbé et al., 2014; Rose, 2017; Bommi et al., 2018). La regulación ha impuesto el desarrollo de convertidores catalíticos en Europa desde la década de 1990. Los convertidores se han instalado en automóviles de gasolina y diésel desde 1993 y 1997 respectivamente.

### ***1.2.1 Planteamiento del Problema***

La estimación de la vida útil de un catalizador automotriz es esencial para garantizar el cumplimiento de las normativas ambientales y mantener el rendimiento óptimo del vehículo. Los catalizadores desempeñan un papel crucial en la reducción de emisiones contaminantes, transformando gases nocivos como el monóxido de carbono (CO), los hidrocarburos no quemados (HC) y los óxidos de nitrógeno (NOx) en compuestos menos dañinos como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), nitrógeno (N<sub>2</sub>) y vapor de agua (H<sub>2</sub>O).

Diversos factores influyen en la degradación y, por ende, en la vida útil de los catalizadores. Entre estos se encuentran la temperatura de operación, la calidad del combustible, la presencia de contaminantes y las condiciones de conducción. Estudios han demostrado que la concentración de oxígeno en los gases de escape tiene un impacto significativo en la velocidad de envejecimiento del catalizador. Además, se ha observado que la ubicación del catalizador cerca del motor favorece su eficiencia al mantener temperaturas óptimas para las reacciones químicas.

La evaluación de la eficiencia del catalizador a lo largo del tiempo se puede realizar mediante el análisis de los gases de escape. Al monitorear las concentraciones de CO, CO<sub>2</sub>, HC y NOx, es posible detectar signos de deterioro en el rendimiento del catalizador. Un aumento en las emisiones de estos gases puede indicar una disminución en la capacidad del catalizador para realizar las conversiones químicas necesarias, sugiriendo así su desgaste o fallo.

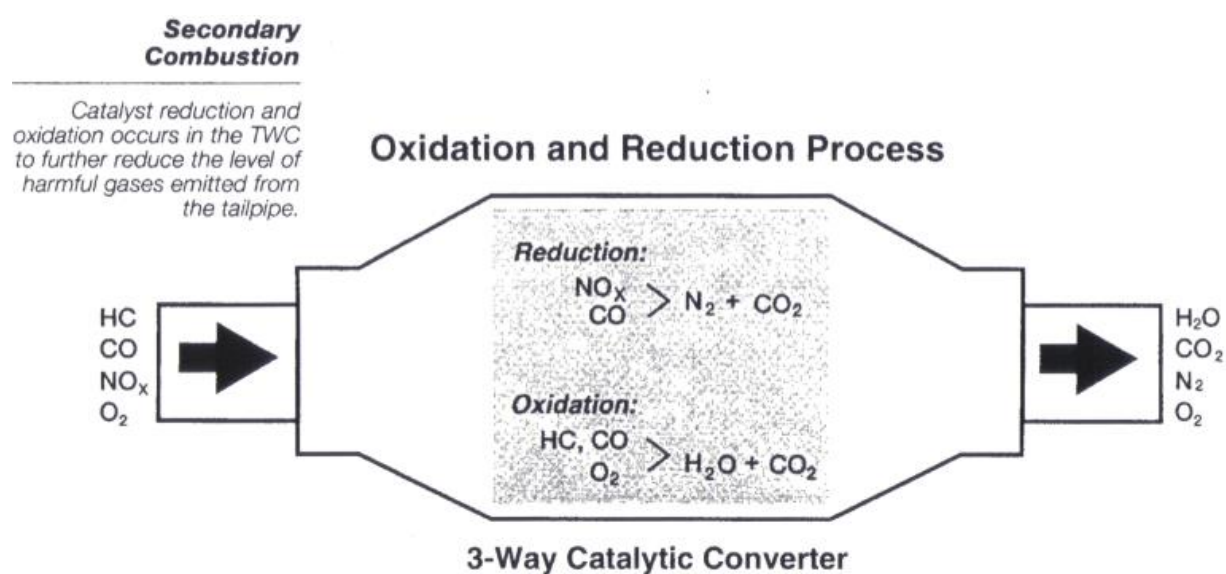
Estudios específicos han resaltado la importancia de mantener el catalizador en condiciones óptimas. Por ejemplo, una investigación realizada en Ecuador analizó el

comportamiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> y CO en un vehículo con sistema de inyección convencional, comparando escenarios con y sin catalizador. Los resultados evidenciaron una reducción significativa de emisiones contaminantes en presencia del catalizador, subrayando su relevancia en la mitigación ambiental (Polo del conocimiento, 20224).

Sin embargo, la vida útil del catalizador puede verse reducida debido a factores como el uso de combustibles de baja calidad, la presencia de contaminantes en el combustible o aceite, y condiciones de conducción severas. Estos factores pueden provocar el envenenamiento o el taponamiento del catalizador, disminuyendo su eficiencia y aumentando las emisiones contaminantes (Figura 1).

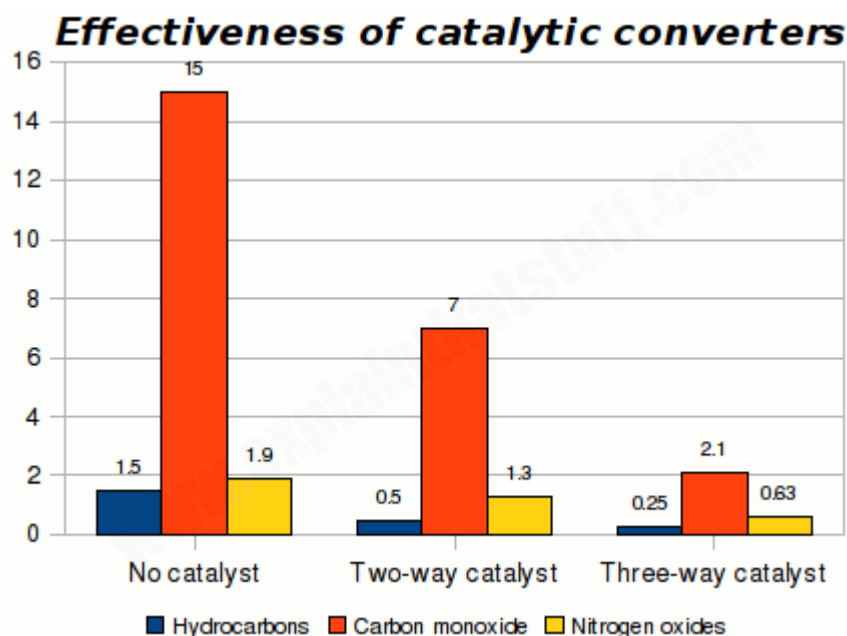
**Figura 1**

*Procesos del Catalizador*



Fuente: (Crypton.co.za, 2025).

Los catalizadores hacen una gran diferencia en las emisiones, y los convertidores de tres vías ofrecen un beneficio adicional significativo en comparación con los convertidores de dos vías (Figura 2).

**Figura 2***Eficacia del Catalizador*

Fuente: (Explainthatstuff.com, 2025).

En conclusión, la estimación precisa de la vida útil de un catalizador automotriz mediante el análisis de gases de escape es fundamental para asegurar su funcionamiento eficiente y prolongado. La implementación de programas de mantenimiento preventivo y el uso de combustibles de calidad son prácticas recomendadas para extender la vida útil del catalizador y garantizar la reducción continua de emisiones contaminantes (Cortés, 2022).

### **1.2.2 Formulación del Problema**

La evaluación de la sostenibilidad de un producto, proceso o tecnología debe abarcar el bienestar social, ambiental y económico para evitar la transferencia de problemas al sistema del producto (Ciroth et al., 2011, Kloeppfer, 2008). El análisis del ciclo de vida (ACV) es una herramienta de evaluación de la sostenibilidad que considera tanto la reducción de emisiones de los convertidores catalíticos en su fase de uso como los impactos negativos asociados a todo el ciclo de vida del producto, desde la extracción de las materias primas hasta su eliminación al

final de su vida útil. Amatayakul y Ramnäs (2001) culparon a los convertidores catalíticos de los automóviles de pasajeros de "transferir" los impactos ambientales en lugar de reducirlos.

¿Cómo desarrollar una metodología efectiva para evaluar el estado de los catalizadores en los vehículos a gasolina, que permita determinar con precisión su rendimiento y eficiencia, a fin de optimizar su funcionamiento y prolongar su vida útil?

### **1.2.3 Sistematización del Problema**

- ¿Cuáles son los métodos de evaluación del estado del catalizador en un vehículo?
- ¿Cuáles son los criterios para la evaluación del catalizador en un vehículo?
- ¿Existe un proceso estandarizado de diagnóstico del catalizador en un vehículo?

## **1.3 Objetivos de la Investigación**

### **1.3.1 Objetivo General**

- Estimar la vida útil de un catalizador automotriz a partir del análisis de gases de escape usando un escáner Launch Pad VII.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Investigar los parámetros clave que afectan el rendimiento y la vida útil de los catalizadores en vehículos a gasolina.
- Analizar las especificaciones técnicas de los catalizadores usados en vehículos a gasolina en el Ecuador.
- Diseñar un conjunto de pruebas y procedimientos estandarizados para una evaluación precisa y confiable el estado del catalizador.

## **1.4 Justificación y Delimitación de la Investigación**

La creciente preocupación por el impacto ambiental de las emisiones vehiculares ha llevado al desarrollo y uso generalizado de catalizadores automotrices. Estos dispositivos están diseñados para reducir la cantidad de gases contaminantes emitidos por los motores de combustión interna, transformándolos en compuestos menos nocivos. Sin embargo, la eficacia

de un catalizador disminuye con el tiempo debido a factores como el envejecimiento térmico, la contaminación por impurezas y el desgaste mecánico. Determinar con precisión la vida útil de un catalizador es esencial para garantizar el cumplimiento de las normativas ambientales y mantener el rendimiento óptimo del vehículo. Actualmente, no existe un método estandarizado y preciso que permita estimar la vida útil restante de un catalizador basándose en el análisis de los gases de escape, lo que dificulta la toma de decisiones informadas sobre su mantenimiento o reemplazo.

#### ***1.4.1 Justificación Teórica***

La estimación precisa de la vida útil de los catalizadores automotrices es esencial para garantizar el cumplimiento de las normativas ambientales y mantener la eficiencia en la reducción de emisiones contaminantes. El análisis de los gases de escape se ha consolidado como una metodología efectiva para evaluar el rendimiento y la degradación de estos dispositivos. Estudios recientes indican que el monitoreo continuo de las emisiones permite detectar disminuciones en la eficiencia del catalizador, facilitando intervenciones oportunas para su mantenimiento o reemplazo. Además, investigaciones actuales han desarrollado modelos predictivos basados en la composición de los gases emitidos, proporcionando estimaciones más precisas sobre la longevidad del catalizador. Estas aproximaciones no solo optimizan el rendimiento vehicular, sino que también contribuyen significativamente a la reducción del impacto ambiental de los vehículos de combustión interna.

#### ***1.4.2 Justificación Metodológica***

La justificación metodológica del proyecto de diagnóstico en vehículos a gasolina con el escáner Launch Pad VII es esencial para respaldar la necesidad y relevancia de llevar a cabo este estudio.

La estimación de la vida útil de un catalizador automotriz mediante el análisis de gases de escape es fundamental para garantizar el óptimo rendimiento del vehículo y minimizar las

emisiones contaminantes. Estudios recientes indican que la vida útil de un catalizador oscila entre 60,000 y 100,000 kilómetros, dependiendo de factores como los hábitos de conducción y el mantenimiento del vehículo. El análisis de parámetros como el CO<sub>2</sub>, CO y el factor lambda permite evaluar el estado del catalizador y su eficiencia en la conversión de gases nocivos. Además, la temperatura diferencial entre la entrada y salida del catalizador es un indicador clave de su funcionamiento; por ejemplo, una diferencia menor a 30°C sugiere un catalizador en mal estado, mientras que una diferencia entre 50°C y 70°C indica un catalizador en buen estado.

#### ***1.4.3 Justificación Práctica***

La estimación precisa de la vida útil de un catalizador automotriz es esencial para garantizar la eficiencia en la reducción de emisiones contaminantes y cumplir con normativas ambientales. El análisis de los gases de escape se presenta como una herramienta práctica y científica para evaluar el estado y rendimiento del catalizador.

#### ***1.4.4 Delimitación Temporal***

El trabajo se lleva a cabo desde abril de 2025 hasta agosto de 2025, periodo durante el cual se realiza la investigación y desarrolla el proyecto propuesto.

#### ***1.4.5 Delimitación Geográfica***

El trabajo se desarrolla en la ciudad de Guayaquil. La delimitación geográfica de una investigación sobre el uso de herramientas de diagnóstico para determinar el estado del catalizador.

#### ***1.4.6 Delimitación del Contenido***

El estudio sobre la estimación de la vida útil de un catalizador automotriz a partir del análisis de gases de escape se enfoca en los siguientes aspectos:

- **Ámbito Geográfico:** Se analizan vehículos que operan en un entorno urbano, específicamente en Guayaquil, donde las condiciones del tráfico y la calidad del combustible pueden influir en el desempeño del catalizador.
- **Ámbito Temporal:** El estudio abarca un periodo de 3 meses, considerando variaciones en el desempeño del catalizador a lo largo del tiempo.
- **Ámbito Temático:** Se evalúa el deterioro del catalizador mediante el monitoreo de contaminantes clave en los gases de escape (CO, HC), relacionando estos valores con el kilometraje recorrido, condiciones de operación del motor y normativas ambientales vigentes.
- **Ámbito Metodológico:** Se utilizan métodos experimentales y análisis de datos provenientes de pruebas de emisiones. También se comparan los resultados con estudios previos y modelos de degradación del catalizador.
- **Normativas y Referencias:** El estudio toma como referencia regulaciones internacionales (como Euro o EPA) y nacionales sobre emisiones vehiculares, además de literatura científica reciente sobre el tema.

## Capítulo II

### Marco Referencial

#### 2.1 Marco Teórico

El catalizador automotriz es un componente clave del sistema de escape de los vehículos, diseñado para reducir la emisión de contaminantes mediante reacciones químicas que convierten gases nocivos en compuestos menos dañinos. La determinación de su vida útil es esencial para garantizar su eficacia en el cumplimiento de normativas ambientales y la reducción del impacto en la salud pública.

##### 2.1.1 *Conceptos Preliminares*

En las últimas décadas, la constante necesidad de reducir las emisiones contaminantes de los motores de combustión interna (MCI) ha llevado a los fabricantes de equipos originales (OEM) tanto a mejorar los subsistemas existentes (inyección de combustible, sistemas de accionamiento de válvulas, etc.) como a introducir soluciones innovadoras (con especial referencia a los dispositivos de postratamiento). De hecho, para que estas tecnologías sean realmente eficaces, se requiere un diseño adecuado y simultáneo de la distribución de la planta, los sistemas de control y las estrategias de gestión.

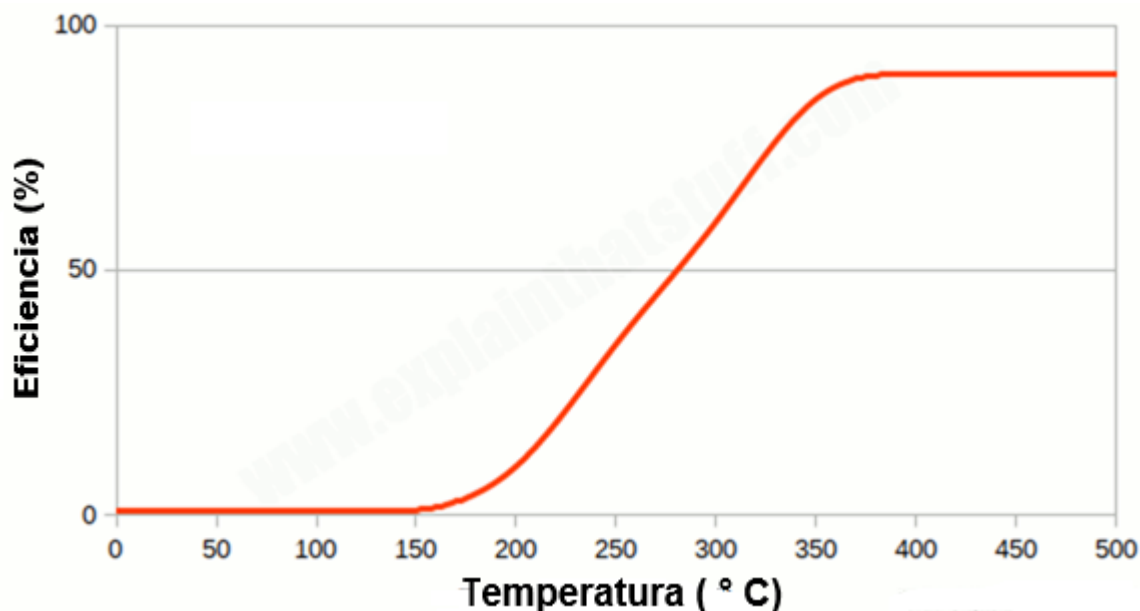
Un problema es que solo funcionan realmente a altas temperaturas (superiores a 300 °C/600 °F aproximadamente), cuando el motor ha tenido tiempo de calentarse. Los primeros convertidores catalíticos solían tardar entre 10 y 15 minutos en calentarse, por lo que eran completamente ineficaces durante los primeros kilómetros de un trayecto (o cualquier parte de un trayecto muy corto). Los convertidores modernos se calientan en tan solo 2 o 3 minutos; aun así, pueden producirse emisiones significativas durante este tiempo.

Los convertidores catalíticos están diseñados principalmente para reducir la contaminación atmosférica local inmediata (el aire contaminado en el lugar donde se conduce).

Aun así, a veces la gente se pregunta si son realmente tan ecológicos como parecen. Es importante recordar que reducen las emisiones, no las eliminan por completo (Figura 3).

**Figura 3**

*Eficiencia de un Convertidor Catalítico de Tres Vías*

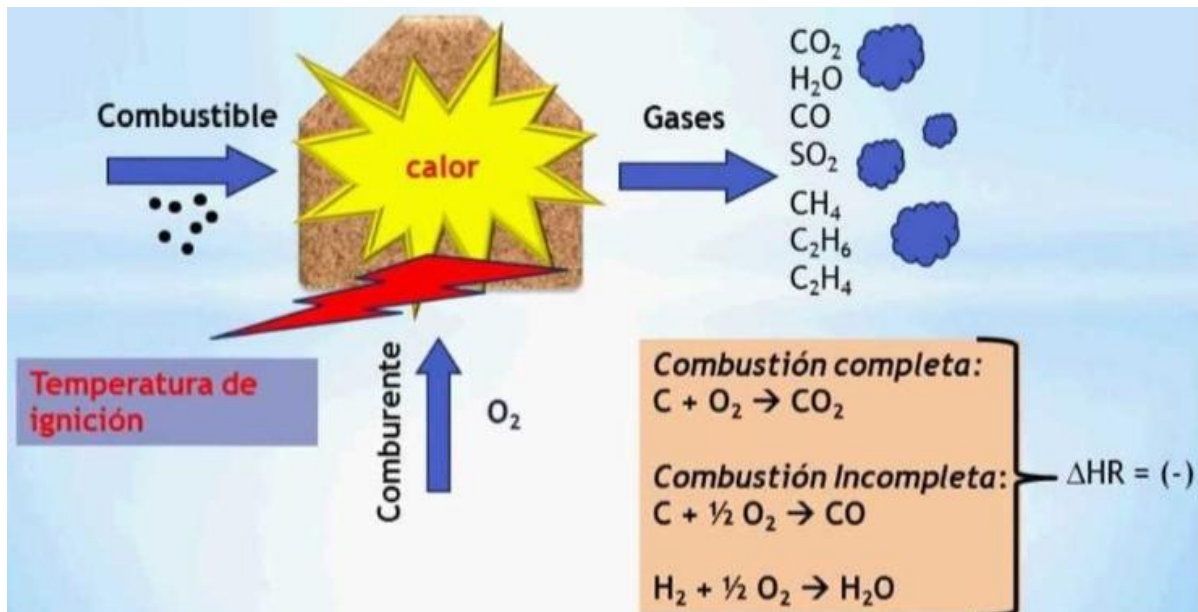


Fuente: (www.explainthatstuff.com, 2025).

### **2.1.2 Problemas Relacionados con las Emisiones**

Desde hace tiempo se reconoce que las emisiones de escape de los motores de combustión interna (MCI) que utilizan gasolina y diésel contribuyen al aire que se respira. Desde 1970, cuando se reformó la Ley de Aire Limpio (CAA) de EE. UU., los MCI con convertidores catalíticos han reducido las emisiones de escape a una milésima parte de su nivel anterior. A nivel mundial, todos los principales usuarios de motores de gasolina y diésel, en miles de aplicaciones diferentes, deben cumplir con las estrictas normas actuales y futuras sobre emisiones de escape exigidas por los gobiernos.

Las mejoras en la combustión han logrado importantes reducciones drásticas de estas emisiones; sin embargo, se requieren y utilizan ampliamente diversos sistemas de control de poscombustión para motores de gasolina y diésel (Figura 4).

**Figura 4***Proceso de Combustión*

Fuente: (SolucionesMeyer, 2025).

### 2.1.3 Entendiendo el Sistema de Escape

El sistema de escape de su vehículo se encarga de desviar los gases nocivos del motor, reducir las emisiones y garantizar el buen funcionamiento de su vehículo. Está compuesto por varios componentes clave, entre ellos:

- **Colector de escape:** El colector de escape recoge los gases de escape de los cilindros del motor y los dirige hacia el tubo de escape.
- **Sensor de oxígeno:** ubicado en la corriente de escape, este sensor monitorea los niveles de oxígeno y ayuda a la computadora del motor a ajustar la mezcla de aire y combustible para un rendimiento óptimo.
- **Convertidor catalítico:** este componente crítico convierte gases nocivos como el monóxido de carbono, los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno en emisiones menos dañinas.

- Silenciador: El silenciador reduce el ruido producido por los gases de escape al salir del tubo de escape.
- Tubo de escape: La sección final del sistema de escape por donde se expulsan los gases del vehículo.

#### ***2.1.4 Sistemas Postratamiento Catalítico de Gases de Escape de Automóviles***

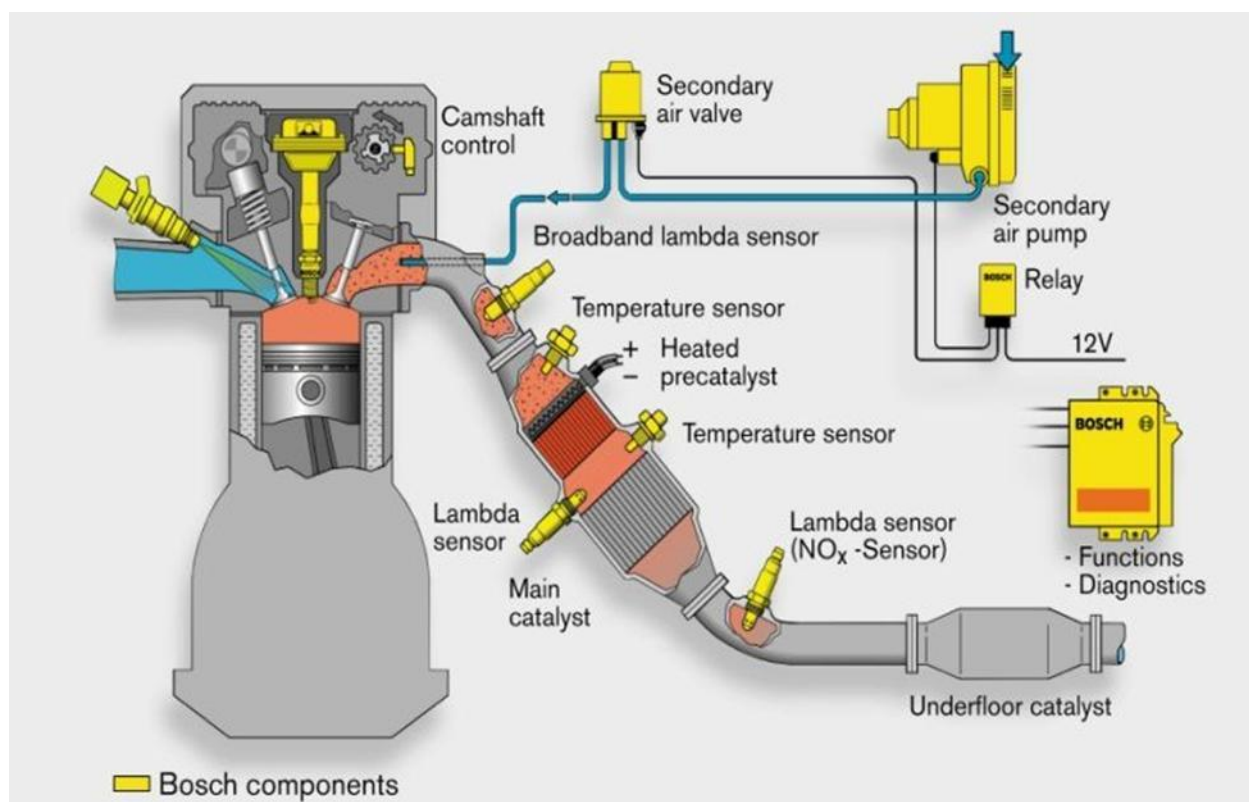
El postratamiento catalítico de los gases de escape de los motores de vehículos se utiliza cada vez más para mejorar la calidad atmosférica, especialmente en las grandes áreas urbanas del mundo. Tanto los motores de encendido por chispa como los de encendido por compresión se benefician de la aplicación de convertidores catalíticos para la eliminación de sus principales contaminantes.

El sistema de control de emisiones en el escape (SCES) es un conjunto de tecnologías y componentes diseñados para reducir la cantidad de contaminantes que se liberan al medio ambiente desde el sistema de escape de un vehículo (Figura 5).

Los requisitos de diseño de los sistemas de postratamiento dependen no solo de la composición de los gases de escape, sino también del ciclo de trabajo que las pruebas de emisiones y los usuarios finales imponen al motor. El dispositivo de postratamiento debe funcionar correctamente cuando es nuevo y seguir cumpliendo con los requisitos de control de emisiones durante el diseño (Charlton, 2020).

Los catalizadores también se emplean en diversas formas como auxiliares de regeneración en los filtros de partículas de los motores diésel. Las condiciones especialmente exigentes de los gases de escape que prevalecen en cada aplicación de motor plantean problemas complejos para el ingeniero de control de emisiones.

El cumplimiento de las estrictas regulaciones de emisiones requiere catalizadores altamente activos y duraderos, así como un diseño optimizado del sistema de escape y de los controles del motor.

**Figura 5***Sistema Postratamiento Catalítico de Gases de Escape*

Fuente: ([www.bosch-industrial.com/latam](http://www.bosch-industrial.com/latam), 2025)

### 2.1.5 El Origen de los Catalizadores de Tres Vías (TWC)

La primera generación de catalizadores para automóviles fue desarrollada por Engerlhard (adquirida por BASF en 2006) en la década de 1970. Los principales ingredientes activos eran platino (Pt) y paladio (Pd), utilizados para eliminar CO y HC. El NO<sub>x</sub> se reducía mediante un sistema mecánico llamado recirculación de gases de escape (EGR). Sin embargo, debido a la adición generalizada de aditivos de plomo (Pb) a la gasolina, adoptada para mejorar el octanaje, el catalizador se había visto afectado por la intoxicación por Pb. Afortunadamente, se exigió una legislación para la eliminación de los aditivos de Pb debido a las preocupaciones ambientales y la creciente evidencia de su toxicidad.

Con la implementación de las regulaciones de  $\text{NO}_x$  en la década de 1980, se encontró que los sistemas EGR no pueden cumplir con el requisito de conversión del 90% de  $\text{NO}_x$ . La investigación sobre materiales catalíticos condujo al descubrimiento del rodio (Rh) como un catalizador altamente activo y estable para la reducción de  $\text{NO}/\text{NO}_2$  (Hu, 1998). Pt y Pd fueron la mejor solución para las reacciones de oxidación de CO y HC, mientras que Pt/Pd/Rh se convirtieron en los principales componentes activos del sistema TWC. Sin embargo, Farrauto et al. informaron que diferentes relaciones de alimentación aire-combustible pueden afectar el rendimiento de los TWC. Cuando hay combustible rico o deficiente en  $\text{O}_2$ , facilitará la reducción de  $\text{NO}_x$  a  $\text{N}_2$ . Por otro lado, cuando hay combustible pobre o exceso de aire, las reacciones de oxidación serán favorables. Para controlar el funcionamiento del motor y proporcionar una relación aire-combustible estrecha ( $\lambda = 1$ ), Bosch desarrolló en 1976 el primer sensor Lambda para automóviles, también conocido como sensor de oxígeno, para monitorizar la cantidad de oxígeno no quemado presente en el tubo de escape. Desde entonces, los sensores de temperatura de admisión (TWC) han demostrado su gran ventaja en la reducción de  $\text{NO}_x$  y la oxidación simultánea de CO y HC (Ferrauro, 2019).

## **2.2 Marco Conceptual**

### **2.2.1 Gases que Producen los Automóviles**

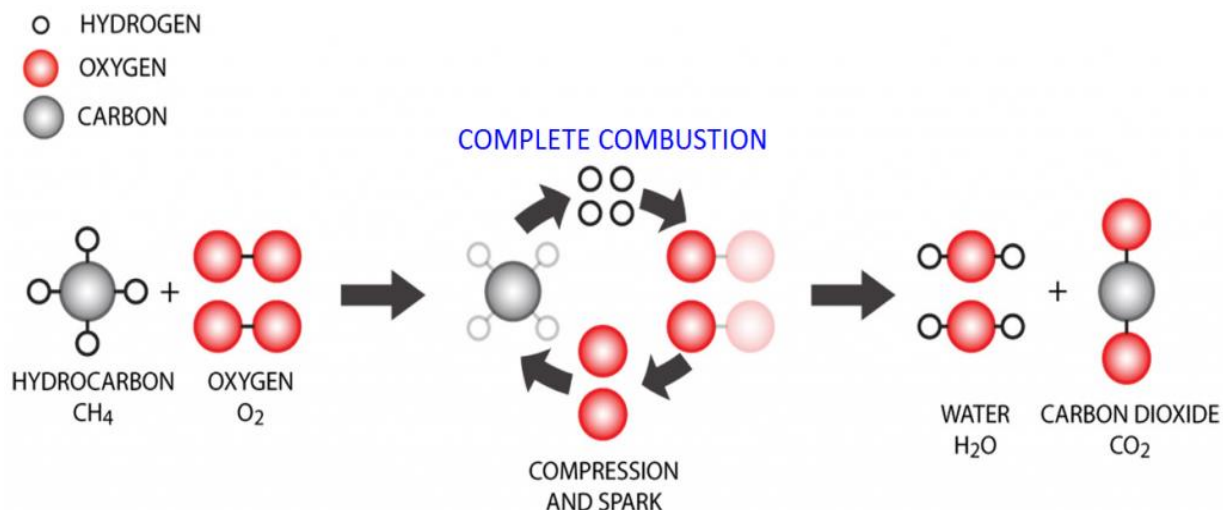
Los motores de gasolina se alimentan con dos compuestos químicos: gasolina y aire. La gasolina está compuesta por dos elementos: hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) y carbono (C). En forma de gasolina, estos dos compuestos químicos se combinan para formar lo que llamamos hidrocarburo (HC). El aire está compuesto principalmente por dos elementos: oxígeno ( $\text{O}_2$ ) y nitrógeno ( $\text{N}_2$ ).

Si los motores de gasolina quemaran su combustible de la forma más eficiente posible, producirían tres subproductos: vapor de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y nitrógeno ( $\text{N}_2$ ).

Si se toma el metano ( $\text{CH}_4$ ) como ejemplo de combustible, después de su proceso de combustión completo, idealmente, obtendremos sólo agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).

**Figura 6**

*Proceso de Combustión Completo*



Fuente: (<https://x-engineer.org/engine-combustion-process>, 2025)

En realidad, el combustible se mezcla con aire y no con oxígeno puro ( $\text{O}_2$ ). Dado que más del 70 % del aire es nitrógeno ( $\text{N}_2$ ), una parte del mismo reaccionará con el oxígeno y formará óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ). Además, dado que la mezcla aire-combustible no es 100 % homogénea, una parte del combustible no se quemará (se oxidará), lo que significa que en los gases de escape tendremos hidrocarburos (HC) sin quemar. Por la misma razón, el oxígeno también puede ser insuficiente para la combustión, lo que generará monóxido de carbono (CO).

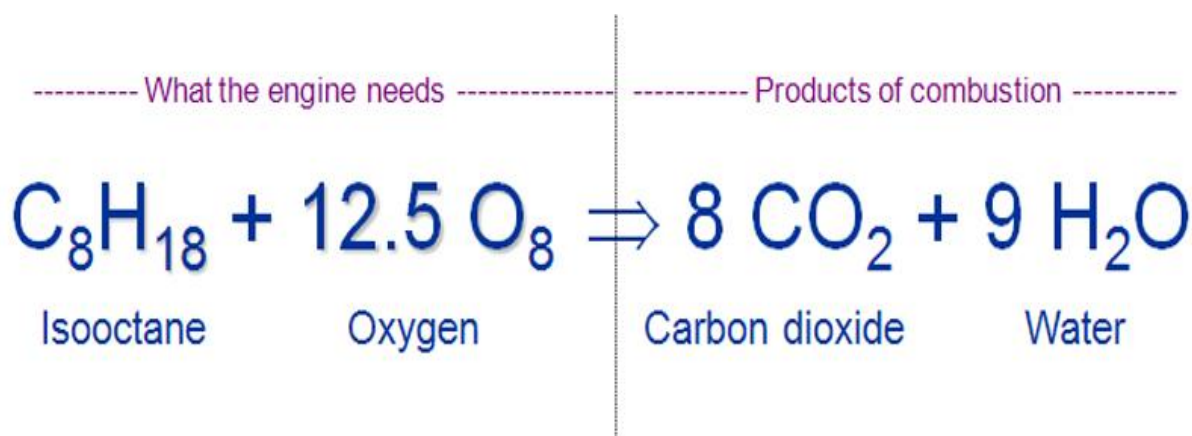
Debido a las limitaciones de la eficiencia de conversión de combustible, se producen resultados imprevistos en un motor de combustión interna. Estas limitaciones se deben a:

- Presión inconsistente del cilindro
- Masa de combustible inconsistente
- Presión máxima excesiva del cilindro
- Oxígeno excesivo/insuficiente en el cilindro
- Presión excesiva de los gases de escape

Cuando se quema gasolina, se la quemando o combinándola con oxígeno. Por eso, los motores necesitan una fuente de aire oxigenado y emiten dióxido de carbono como subproducto de la combustión.

**Figura 7**

*Combustión de la Gasolina*



Fuente: (Earthguide.ucsd.edu, 2025)

### 2.2.2 *Química de los Gases de Escape*

En general, ninguno de estos compuestos químicos es dañino; sin embargo, los ambientalistas argumentan que cantidades excesivas de dióxido de carbono promueven la formación del efecto invernadero. No obstante, el  $H_2O$ , el  $CO_2$  y el  $N_2$  son los subproductos más deseables de la combustión, y los ingenieros automotrices crean sistemas de control de emisiones que permitan que un vehículo produzca únicamente estos tres grupos químicos.

Los motores no funcionan a la perfección y, como resultado, también producen tres subproductos comúnmente conocidos como el "terrible trío" de contaminantes automotrices. Este trío incluye lo siguiente:

- Monóxido de carbono (CO): El monóxido de carbono, un gas inodoro, insípido y venenoso, puede causar diversos problemas de salud e incluso la muerte. Muchas zonas urbanas experimentan niveles críticamente altos de monóxido de carbono,

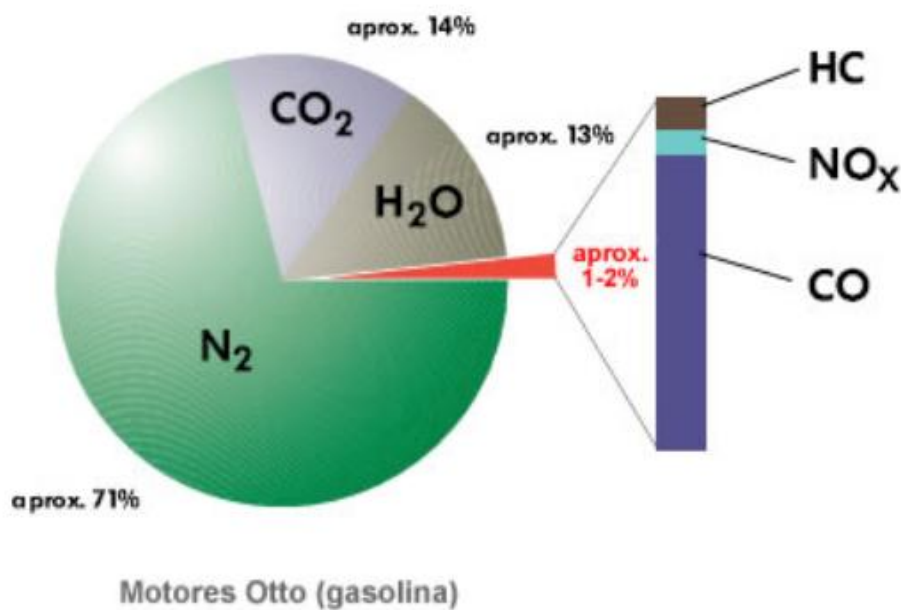
especialmente durante los fríos meses de invierno, cuando los motores tardan más en calentarse y funcionar de forma limpia.

- Hidrocarburos no quemados (HC): Responsables de causar una variedad de problemas respiratorios, los hidrocarburos no quemados también pueden causar daños a los cultivos y promover la formación de smog.
- Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>): al igual que los hidrocarburos no quemados, los óxidos de nitrógeno causan problemas respiratorios y promueven la formación de smog.

La composición de los gases de escape se muestra en la Figura 8.

**Figura 8**

*Composición de los Gases de Escape*



Fuente: (<https://blog.centralderecambios.com/sabias-que-automocion/emisiones-del-automovil/>, 2025).

### 2.2.3 Convertidor Catalítico

Un convertidor catalítico es un dispositivo que utiliza un catalizador para convertir tres compuestos nocivos en inocuos. La formulación del catalizador consta de tres componentes

clave: metales preciosos (platino, paladio, alúmina) y materiales de tierras raras que potencian la actividad catalítica de los metales.

Un convertidor catalítico es un dispositivo que reduce las emisiones de un motor de combustión interna (usado en la mayoría de los automóviles y vehículos modernos). En estos motores, no hay suficiente oxígeno para oxidar completamente el combustible de carbono en dióxido de carbono y agua; por lo tanto, se generan subproductos tóxicos.

#### ***2.2.4 Diseño y Funcionamiento del Postratamiento de Gases de Escape***

El postratamiento de los gases de escape se refiere a los procesos que limpian los gases de escape mecánica, catalítica o químicamente después de que han salido de la cámara de combustión.

El postratamiento se lleva a cabo para convertir los contaminantes producidos durante la combustión en gases de escape inoos. Los componentes del postratamiento de gases de escape incluyen convertidores catalíticos y filtros de partículas. Actualmente, ambos componentes pueden instalarse tanto en motores de gasolina de inyección directa como en motores diésel.

Para reducir los contaminantes se pueden instalar, por ejemplo, los siguientes sistemas en el sistema de escape de un motor de gasolina:

- Convertidor catalítico de tres vías.
- Absorbedor de NO<sub>x</sub> (motores de mezcla pobre).
- Filtro de partículas Otto (motores con inyección directa).

#### ***2.2.5 Diseño del Catalizador***

El convertidor catalítico consta de un cuerpo cerámico o metálico en forma de panal con miles de canales. Se aplica una capa intermedia (wash coat) de óxido de aluminio a los canales, lo que aumenta la superficie aproximadamente 7000 veces.

Además, se deposita por vapor sobre la capa intermedia una capa catalítica con los metales preciosos rodio, paladio y platino. En la carcasa de acero inoxidable, el convertidor catalítico se fija mediante una estera aislante, que compensa las dilataciones térmicas.

**Tabla 1**

*Características de un Convertidor Catalítico Bien Diseñado*

| <b>Factor</b>          | <b>Valor</b>                                           |
|------------------------|--------------------------------------------------------|
| CO                     | Reducido entre un 80% y un 95%                         |
| HC                     | Reducido entre un 85% y un 90%                         |
| Director Ejecutivo     | Reducido entre un 25% y un 35%                         |
| Control de olores      | Muy bien                                               |
| Influencia en el motor | Baja caída de presión; sin penalización de combustible |
| Fiabilidad             | Muy bien                                               |
| Durabilidad            | $\geq 5000$ horas                                      |

### **2.2.6 Modo de Funcionamiento del Catalizador**

Los gases de escape nocivos del motor se introducen en el convertidor catalítico a través del colector de escape y fluyen por los canales del soporte cerámico o metálico. Se desencadena una reacción química cuando los gases de escape entran en contacto con la capa catalítica.

El monóxido de carbono y los hidrocarburos se oxidan a dióxido de carbono en los metales preciosos platino y paladio, y los óxidos de nitrógeno se reducen a nitrógeno (N<sub>2</sub>) en el rodio.

El término «convertidor catalítico de tres vías» significa que se producen tres conversiones químicas simultáneamente en cuanto se alcanza la temperatura de funcionamiento. Así, el monóxido de carbono (CO), los hidrocarburos (HC) y los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) se convierten en nitrógeno ( $\text{N}_2$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

El funcionamiento del convertidor catalítico se supervisa mediante una segunda sonda lambda, también llamada sensor de oxígeno, ubicada detrás del convertidor catalítico. Esta sonda mide el contenido de oxígeno en el flujo de gases de escape y transmite el valor medido a la unidad de control. Esta compara los valores de los sensores previos y posteriores al convertidor catalítico para evaluar su funcionamiento. Si ambos valores son casi idénticos, se puede concluir que el convertidor catalítico tiene baja capacidad de almacenamiento de oxígeno, lo que significa que está defectuoso.

### ***2.2.7 Tipos de Catalizadores***

El catalizador puede seleccionarse homogéneo o heterogéneo, generalmente depende de si un catalizador y un reactivo son una misma fase o no. Cuando ambos están en la misma fase, el catalizador se llama catalizador homogéneo y en la fase diferente, el catalizador se llama catalizador heterogéneo.

Los motores diésel pueden usar convertidores catalíticos, y de hecho los usan, pero existen diferencias importantes con respecto a cómo funcionan en los motores de gasolina. En lugar de catalizadores de tres vías, los diésel usan catalizadores de oxidación de dos vías (CO y HC) y unos diseñados específicamente para funcionar con los escapes diésel, que son más fríos que los escapes de gasolina. Los motores diésel producen emisiones de óxidos de nitrógeno en el tubo de escape mucho más altas que los motores de gasolina (Ghaffari et al., 2008).

- Catalizadores de metales nobles: los metales nobles (Pt, Pd, Rh, Ir, Au y Ag) son los más comúnmente considerados para uso primario en los automóviles como

convertidor catalítico, que convierte los gases tóxicos nocivos HC, CO y NO<sub>x</sub> emitidos por el motor del automóvil en gases menos tóxicos. Gases de O y CO<sub>2</sub>. Los catalizadores de Pt/SnO<sub>2</sub> y Pd/SnO<sub>2</sub> se utilizan más comúnmente como catalizadores de oxidación de CO a baja temperatura. Las desventajas de los catalizadores de metales nobles son los materiales de alto coste. En los catalizadores de metales nobles, el rodio se utiliza como catalizador de reducción, el paladio se utiliza como catalizador de oxidación y el platino se utiliza tanto para la reducción como para la oxidación.

- Catalizador de metal base: Los catalizadores de metal base más activos incluyen Co, Ni, Cr, Fe, Mn y Cu. Se ha demostrado que los óxidos de metal base, como Co<sub>3</sub>O<sub>3</sub>, CuO y MnO<sub>2</sub>, presentan una alta actividad catalítica por unidad de superficie en reacciones de oxidación de CO. Los catalizadores de metal base soportados, de bajo costo y alto rendimiento, tienen un alto potencial de aplicación en la actividad catalítica. Los diferentes catalizadores de óxido de metal base soportados se pueden clasificar según su actividad catalítica para la oxidación de CO.

### ***2.2.8 Efecto del Catalizador***

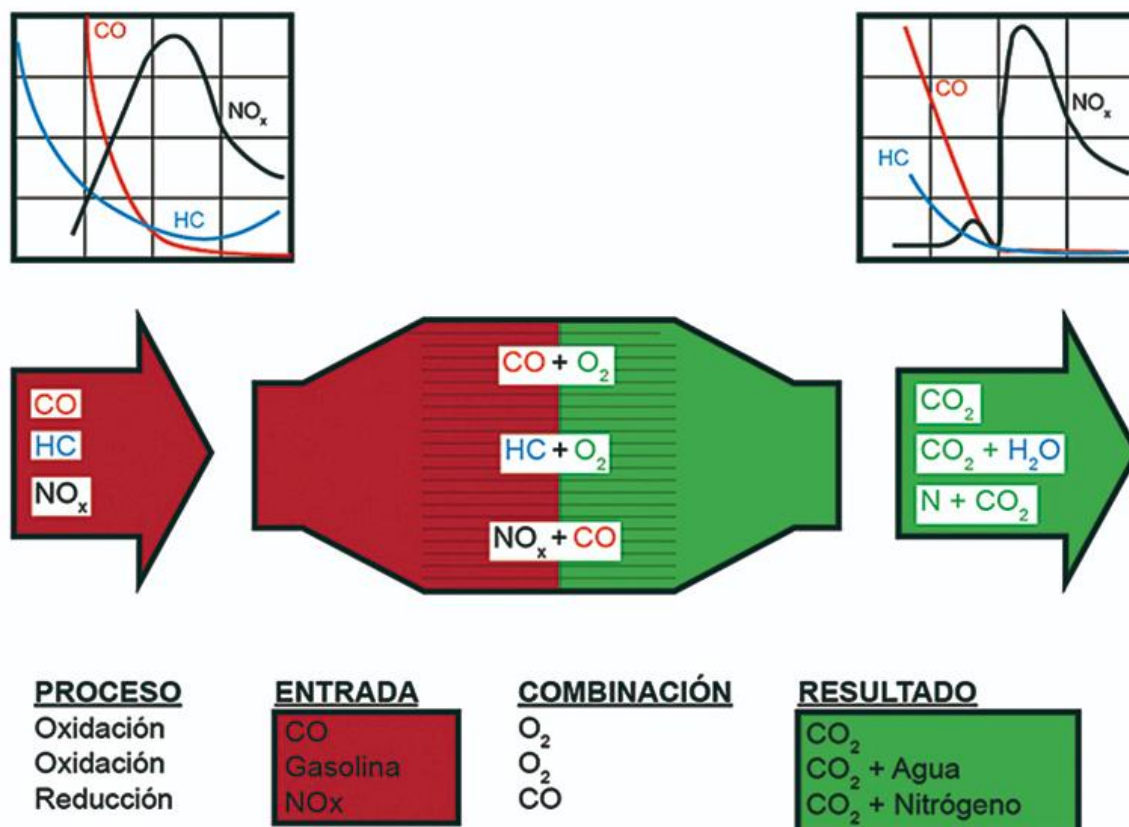
El convertidor tiene una clasificación de eficiencia calculada por el vehículo. Este número mide la cantidad de reducción que se produce en el convertidor y su capacidad para almacenar oxígeno. Sin embargo, la eficiencia del convertidor depende del ajuste de combustible del motor.

La mayoría de los motores modifican minuciosamente el ajuste de combustible para reponer el oxígeno en el convertidor y añadir combustible para la reducción. Esto ayuda a mantener el convertidor a la temperatura correcta para lograr un funcionamiento más eficiente.

Si un motor funciona con una mezcla demasiado rica, no puede almacenar oxígeno. Si funciona con una mezcla demasiado pobre, el proceso de reducción podría no ocurrir debido a la incapacidad de calentarse (Figura 9).

**Figura 9**

*Proceso Químico Interno del Catalizador*



Fuente: (www.e-auto.com.mx, 2025)

### 2.2.9 Eficiencia del Convertidor

La eficiencia del convertidor, junto con la conmutación entre mezcla rica y pobre, se puede verificar con algunas herramientas de escaneo. También se pueden usar osciloscopios de laboratorio para monitorear el proceso de conmutación.

El umbral de eficiencia del convertidor de un vehículo forma parte del software del vehículo. Cuando la eficiencia cae por debajo de un nivel especificado y se cumplen otros criterios, se genera un código de eficiencia.

El software está diseñado para filtrar datos que podrían ser erróneos o señales aleatorias que podrían interferir con el sensor de oxígeno.

La mayoría de los convertidores comienzan con una eficiencia de alrededor del 99 % cuando son nuevos y disminuyen gradualmente hasta alcanzar alrededor del 95 % después de unos 6.400 kilómetros. Mientras la eficiencia no disminuya más de unos pocos puntos porcentuales, el convertidor limpiará bien los gases de escape. Sin embargo, si la eficiencia cae muy por debajo del 92 %, generalmente encenderá la luz indicadora de falla (MIL).

En los vehículos que cumplen con los requisitos más estrictos de los vehículos de bajas emisiones (LEV), el margen de maniobra es aún menor.

Una disminución de tan solo el 3 % en la eficiencia del convertidor puede provocar que las emisiones superen los límites federales en un 150 %. La norma LEV permite solo 0,225 gramos por milla de hidrocarburos, una cantidad prácticamente insignificante.

#### ***2.2.10 Causas de la Pérdida de Eficiencia del Convertidor***

Los sensores de O<sub>2</sub> defectuosos también pueden provocar fallos en la eficiencia del convertidor. Una de las cosas que muchos mecánicos pasan por alto es probablemente la más fácil de revisar: las conexiones del sensor de O<sub>2</sub>. El conector no solo suministra voltaje y tierra, sino que también proporciona el aire necesario al sensor de circonio.

Si el conector está lleno de aceite o residuos, el aire no puede pasar por los cables que conducen al sensor internamente. Los antiguos sensores de O<sub>2</sub> de un solo cable tenían una zona perforada en el exterior y no utilizaban los cables como suministro de oxígeno.

Obviamente, los elementos relacionados con la puesta a punto deben considerarse para la eficiencia del convertidor. Cualquier cosa, desde el estado de la válvula PCV y los soportes de escape rotos que dañan la estructura interna del convertidor, puede ser un problema, hasta la válvula EGR y los problemas relacionados con la EGR que pueden afectar la eficiencia.

Las fugas de escape antes de los sensores de O<sub>2</sub> también pueden afectar considerablemente la eficiencia. Instalar los sensores de O<sub>2</sub> incorrectos en la posición incorrecta también puede ser un problema (Figura 10).

**Figura 10**

*Códigos de Falla del Catalizador*



Fuente: (Carbuzz.com, 2025)

Como puede ver, la eficiencia de los autos actuales no se basa en una sola pieza, sino en el estado general de todos los componentes involucrados. El mantenimiento preventivo puede ayudar a prolongar la vida útil del convertidor catalítico, así como prestar atención a la luz de servicio cuando aparece un código de eficiencia del convertidor. Tenga en cuenta que la eficiencia del convertidor se determina por lo que sucede en la cámara de combustión y lo que los sensores de O<sub>2</sub> le indican al PCM. En la mayoría de los casos, un código de eficiencia es el resultado de algo que ya ha ocurrido y no necesariamente de una falla del convertidor catalítico. Diagnostique y repare la causa, no solo las consecuencias.

### ***2.2.11 Vida Útil del Catalizador***

La vida útil de un catalizador puede variar dependiendo de factores como la calidad del combustible, el mantenimiento del motor, el estilo de conducción y el tipo de trayectos recorridos. Generalmente, se estima una vida útil de entre 80.000 y 160.000 kilómetros. Un catalizador en mal estado no solo incrementa las emisiones contaminantes, sino que también puede afectar el consumo de combustible y el rendimiento general del vehículo.

Los convertidores catalíticos deberían durar al menos 10 años, pero no es necesario reemplazarlos una vez transcurridos. Solo es necesario cambiarlos cuando se detecten problemas y si los técnicos de servicio lo recomiendan. Con el paso de los años, el convertidor catalítico puede averiarse por contaminación, obstrucción o daños. Por lo tanto, es mejor esperar esos 10 años o, si sospecha que conduce con un convertidor catalítico obstruido, debería revisarlo cuidadosamente antes de considerar siquiera reemplazarlo (Figura 11).

#### **Figura 11**

##### *Vida Útil de un Catalizador*



Fuente: (<https://putneys.ca>, 2025)

### ***2.2.12 Herramientas de Diagnóstico***

El escáner Launch Pad VII es una herramienta de diagnóstico automotriz avanzada que permite leer en tiempo real los parámetros operativos del motor y del sistema de escape. Ofrece funciones como la lectura de códigos de falla, análisis en tiempo real de sensores de oxígeno, temperatura de gases de escape y eficiencia del catalizador. Es una herramienta útil para técnicos y profesionales que requieren un análisis detallado del estado de componentes críticos del vehículo.

## Capítulo III

### Metodología de Diagnóstico de Catalizadores

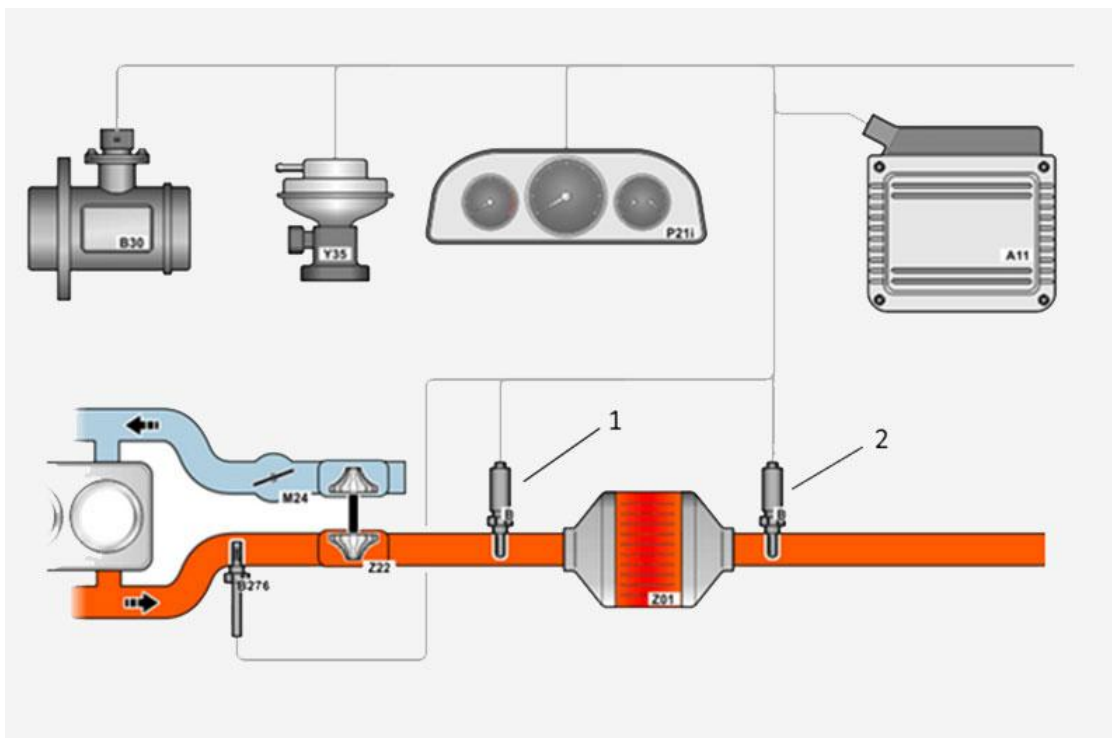
El monitor de eficiencia del catalizador verifica que el convertidor catalítico funcione con la eficiencia suficiente para mantener las emisiones de escape dentro de los valores predeterminados. El Módulo de Control del Tren Motriz (PCM) compara las señales de los sensores de oxígeno (antes y después) para determinar el estado del convertidor. Estas pruebas se denominan monitores de preparación.

#### 3.1 Enfoque y Tipo de Investigación

Este estudio es de tipo cuantitativo, experimental y longitudinal, orientado a observar la degradación progresiva del catalizador automotriz mediante el análisis de gases de escape en un vehículo a gasolina bajo condiciones controladas (Figura 12).

**Figura 12**

*Mejores Prácticas para el Reciclaje*



Fuente: (<https://www.hella.com/techworld/mx>, 2025)

### 3.2 Variables del Estudio

- Variable independiente: Kilometraje recorrido.
- Variable dependiente: Concentración de gases contaminantes (CO, HC, NO<sub>x</sub>).
- Variable controlada: Tipo de combustible, condiciones ambientales, mantenimiento del vehículo.

### 3.3 Población y Muestra

La población objetivo es el parque automotor a gasolina de uso particular. La muestra es un único vehículo, bajo monitoreo intensivo, para control y seguimiento detallado.

#### 3.3.1 Vehículo de Estudio

- Marca y Modelo: Toyota Yaris 2014
- Motor: 1.5L VVT-i, gasolina
- Kilometraje inicial: 96,000 km
- Catalizador: Catalizador de tres vías (TWC), original de fábrica

### Figura 13

*Fotografía del Vehículo Antes de Iniciar las Pruebas*



### 3.3.2 Equipos Utilizados

- Analizador de gases Bosch BEA 850
- Escáner OBD-II Launch X431
- Sensor de temperatura EGT (rango hasta 900 °C)
- Software de análisis: Excel

**Figura 14**

*Verificación del Analizador de Gases Conectado*



### 3.4 Procedimiento Experimental

- Inspección técnica inicial del vehículo

Limpieza de inyectores, verificación de bujías, presión de llantas, niveles de aceite y refrigerante.

- Toma de muestra base con motor en régimen óptimo (temperatura de trabajo entre 80 y 90 °C).
- Registro progresivo de emisiones cada 1,000 km hasta completar 10,000 km, realizando siempre:

Prueba de emisiones en ralentí y a 2,500 rpm.

Registro de temperatura de gases de escape y del convertidor catalítico.

- Condiciones constantes:

Ruta urbana predominante, con un mínimo del 30% en tráfico denso.

Mantenimiento regular según manual del fabricante.

Combustible estándar comercial de 95 octanos.

## Figura 15

*Prueba con el Analizador Conectado y el Vehículo en Ralentí*



### 3.5 Factores que Influyen en la Vida Útil del Convertidor Catalítico

Varios parámetros clave influyen significativamente en el rendimiento y la longevidad de los catalizadores en vehículos de gasolina, incluyendo la temperatura de escape, la composición del catalizador y la presencia de contaminantes. La temperatura de escape es crucial, y el rendimiento óptimo del catalizador generalmente requiere temperaturas superiores a 600 °C.

La composición del catalizador, especialmente el tipo y la cantidad de metales preciosos (Pt, Pd, Rh), también juega un papel crucial. Finalmente, la presencia de contaminantes como el azufre y el plomo puede degradar gravemente la actividad del catalizador.

A continuación, se presenta un análisis más detallado de cada parámetro:

#### 1. Temperatura de escape:

- Temperatura de encendido: Los catalizadores requieren una temperatura específica (alrededor de 300 °C) para activarse y comenzar a convertir contaminantes. Esta temperatura se conoce como temperatura de encendido.
- Rango de funcionamiento óptimo: Si bien generalmente se necesita una temperatura superior a 600 °C para un funcionamiento eficiente, el rango ideal puede variar según el diseño específico del catalizador y los contaminantes a los que se dirige.
- Sinterización: Las altas temperaturas de escape pueden provocar sinterización (coalescencia de partículas del catalizador), lo que reduce la superficie disponible para las reacciones y, en última instancia, degrada el rendimiento.

#### 2. Composición del catalizador:

- Metales preciosos: El platino, el paladio y el rodio se utilizan comúnmente en convertidores catalíticos para catalizar la oxidación de CO e hidrocarburos, así como la reducción de NO<sub>x</sub>.

- Material de soporte: El material de soporte (p. ej., alúmina, ceria) proporciona una amplia superficie sobre la que actúan los metales preciosos.
- Promotores: Se pueden añadir otros materiales, como la ceria, para mejorar la actividad y la durabilidad del catalizador.

### 3. Venenos:

- Azufre: El azufre presente en el combustible puede envenenar el catalizador, lo que dificulta su capacidad para convertir contaminantes.
- Plomo: El plomo, especialmente el presente en la gasolina con plomo es un conocido veneno para el catalizador.
- Otras impurezas: Otras impurezas presentes en los gases de escape, como el fósforo y el silicio, también pueden afectar negativamente al rendimiento del catalizador.

### Otros factores:

- Relación aire-combustible: La relación aire-combustible de los gases de escape puede afectar el rendimiento del catalizador. Las condiciones de mezcla pobre (exceso de aire) favorecen las reacciones de oxidación, mientras que las condiciones de mezcla rica (exceso de combustible) favorecen las reacciones de reducción.
- Velocidad espacial: La cantidad de gases de escape que fluye a través del catalizador por unidad de tiempo (velocidad espacial) puede afectar las tasas de conversión y la eficiencia general del catalizador.
- Capacidad de almacenamiento de oxígeno: Algunos catalizadores tienen capacidad de almacenamiento de oxígeno, lo que les permite almacenar oxígeno temporalmente y convertir los contaminantes de forma más eficiente en condiciones de funcionamiento fluctuantes.

### **3.6 Análisis de las Especificaciones Técnicas de los Catalizadores Usados en Vehículos a Gasolina en el Ecuador**

El análisis de las especificaciones técnicas de los catalizadores automotrices en vehículos a gasolina en el Ecuador permite comprender las capacidades reales de estos componentes para reducir las emisiones contaminantes y verificar su cumplimiento con las normativas ambientales vigentes, como la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2204 y los estándares Euro 3 y Euro 4 adoptados en el país.

Los catalizadores utilizados comúnmente en vehículos a gasolina en Ecuador corresponden, en su mayoría, a sistemas de tres vías (TWC, por sus siglas en inglés). Estos catalizadores están diseñados para realizar simultáneamente tres funciones principales:

- Oxidación del monóxido de carbono (CO) a dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)
- Oxidación de los hidrocarburos no quemados (HC) a CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O
- Reducción de los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) a nitrógeno molecular (N<sub>2</sub>)

#### **3.6.1 Composición Típica de un catalizador de Tres Vías**

- Substrato cerámico (cordierita o metalizado) en forma de panal, con gran superficie.
- Capa de lavado (washcoat) con óxidos de aluminio, cerio y zirconio.
- Metales nobles activos: Platino (Pt), Paladio (Pd) y Rodio (Rh), cuyas proporciones varían según el fabricante y el diseño del vehículo.

### **3.7 Especificaciones Comunes Observadas en el Mercado Ecuatoriano**

En Ecuador, la importación de vehículos nuevos se rige por requisitos ambientales mínimos. Los vehículos ligeros deben cumplir al menos con la norma Euro 3 (vigente desde 2017 para nuevos registros) y algunos modelos más recientes ya se homologan bajo Euro 4 o superior. Sin embargo, existe un amplio parque automotor anterior al 2012 con catalizadores de tecnología más antigua o ya degradados, lo que afecta el cumplimiento real de las emisiones.

**Tabla 2***Especificaciones Comunes de los Catalizadores*

| <b>Parámetro técnico</b>                                                      | <b>Rango típico en vehículos ecuatorianos</b>                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo de catalizador</li> </ul>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• TWC (Catalizador de tres vías)</li> </ul>                   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficiencia inicial</li> </ul>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• &gt;90% en conversión de CO, HC y NOx</li> </ul>            |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vida útil estimada</li> </ul>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 80,000 a 120,000 km (variable según uso)</li> </ul>         |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Soporte o sustrato</li> </ul>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cerámico de cordierita</li> </ul>                           |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Densidad de celdas (CPSI)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 400 a 600 celdas por pulgada cuadrada</li> </ul>            |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Metales nobles (aprox.)</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pt/Pd/Rh en proporción 5:2:1 o 4:2:1</li> </ul>             |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cumplimiento normativo</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Euro 3 / Euro 4 (dependiendo del año del modelo)</li> </ul> |

**3.7.1 Consideraciones Adicionales**

La altitud de ciudades como Quito o Cuenca influye en el rendimiento del catalizador debido a la menor concentración de oxígeno.

El uso de gasolina con bajo contenido de azufre (actualmente regulada) favorece la durabilidad del catalizador.

La falta de control técnico vehicular constante provoca que muchos catalizadores operen más allá de su vida útil sin ser reemplazados.

### **3.8 Descripción General del Proceso**

La comprobación funcional del sistema de inyección o del tratamiento posterior de gases de escape solo puede realizarse con un dispositivo de diagnóstico adecuado.

El funcionamiento de cada uno de los componentes del tratamiento posterior de los gases de escape se supervisa mediante sensores y se transmite a la unidad de control correspondiente del sistema de nivel superior. Los errores que se producen se almacenan en la memoria de averías de la unidad de control del motor y se pueden leer con un equipo de diagnóstico adecuado.

Dependiendo del vehículo y del sistema, pueden seleccionarse funciones adicionales, como parámetros o la prueba de actuadores, y mostrarse en el dispositivo de diagnóstico. Los datos de la comunicación con la unidad de control son la base para la localización de averías y una reparación exitosa. Adicionalmente, los valores de los gases de escape pueden comprobarse y evaluarse mediante una medición del tubo de escape.

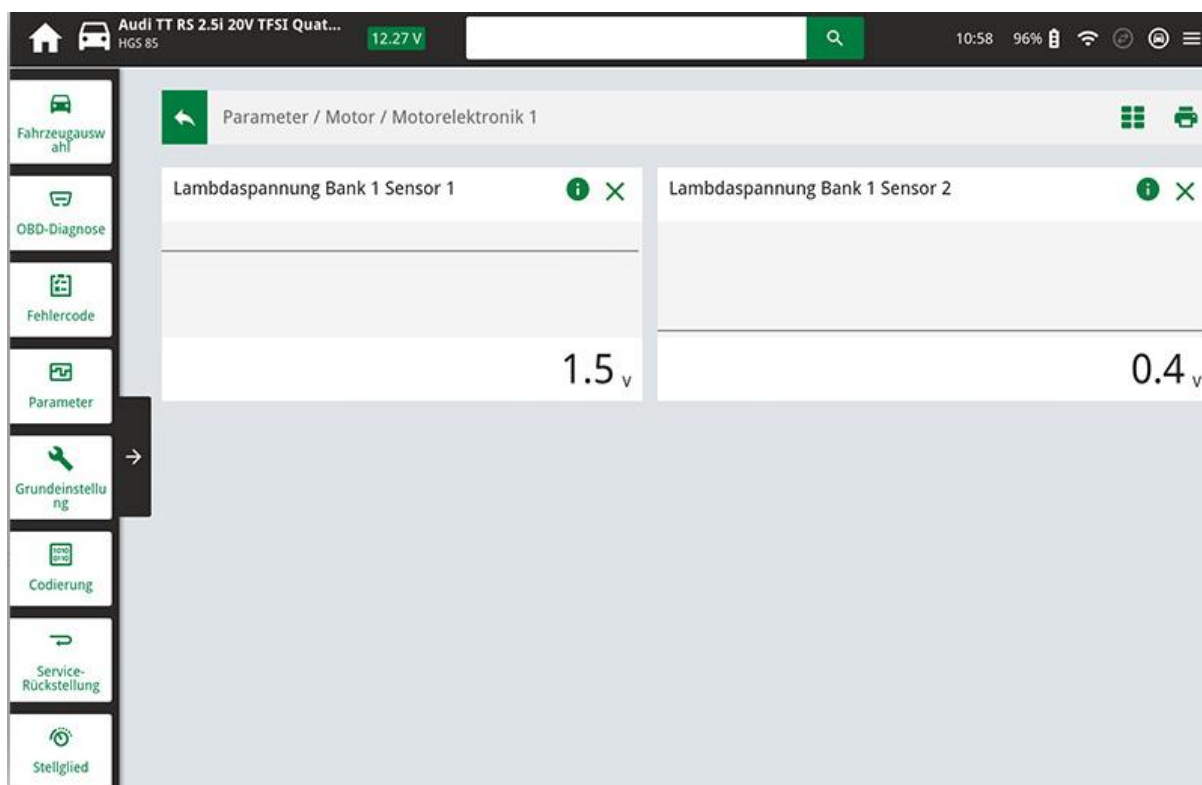
### **3.9 Identificación de Posibles Problemas del Convertidor Catalítico**

- Encender y conectar el escáner y luego se procede a leer los códigos de diagnóstico de problemas (DTC) que la computadora del automóvil haya almacenado. Estos códigos son como mensajes de error que señalan posibles problemas en los sistemas de su vehículo, incluyendo el convertidor catalítico.
- Navegar por el menú del escáner hasta encontrar la opción "Leer códigos", "Códigos de diagnóstico" o "Códigos de problemas".
- Seleccionar esta opción y el escáner de diagnóstico se comunicará con la computadora del vehículo para recuperar los códigos almacenados.
- Si hay algún problema con el convertidor catalítico, podría ver códigos como P0420 (Eficiencia del sistema catalítico por debajo del umbral, banco 1) o P0430 (Eficiencia del sistema catalítico por debajo del umbral, banco 2).

- Estos códigos indican directamente que el convertidor catalítico no está funcionando correctamente. Asegurar de anotar los códigos que aparezcan, ya que serán útiles para un diagnóstico más detallado.

**Figura 16**

*Códigos de Diagnóstico de Problemas (DTC) en Sensores de Oxígeno*



Fuente: (<https://cleantechnica.com>, 2023)

### 3.10 Pruebas y Procedimientos Estandarizados para Verificar el Convertidor

Se toma como referencia algunas pruebas del CFR 40-86.007-17-2014 Protección del Medio Ambiente. Parte 86: Control de emisiones de vehículos y motores de carretera nuevos y en uso. Sección 86.007-17: Diagnóstico a bordo para motores utilizados en aplicaciones menores o iguales a 14,000 libras GVWR.

La Norma NMX-AA-151-SCFI-2013 hace referencia a la Evaluación de Tecnologías Reductoras de Emisiones y/o de Consumo de Combustible para Vehículos con Motor de Combustión Interna – Especificaciones.

Así también se toma como referencia el Reglamento del Código de California, Título 13, § 1968.2 - Requisitos del sistema de diagnóstico y averías - Automóviles de pasajeros, camiones ligeros y vehículos de servicio mediano, modelos 2004 y posteriores, y sus motores.

Prueba Estandarizada de Diagnóstico a Bordo (OBD-II) que consiste en el monitoreo del sistema del convertidor catalítico bajo el sistema OBD-II (On-Board Diagnostics, segunda generación) aplicada a los vehículos desde el año modelo 1996 en adelante (en EE.UU.) que están equipados con el sistema OBD-II, que monitorea continuamente el rendimiento del catalizador. El sistema compara las señales de los sensores de oxígeno (O<sub>2</sub>) colocados:

Antes del catalizador (upstream)

Después del catalizador (downstream)

Un catalizador en buen estado reduce significativamente la variación de la señal del sensor O<sub>2</sub> posterior. Si la señal del sensor posterior imita a la del anterior, indica que el catalizador está fallando.

Para la comprobación de resultados se toma como referencia el procedimiento indicado en el Método de aceleración Libre. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2203:2013 Medición de Emisiones de gases de escape en motores de combustión interna.

## **Capítulo IV**

### **Diseño de un Conjunto de Pruebas y Procedimientos Estandarizados para la Evaluación del Estado del Catalizador Automotriz**

#### **4.1 Descripción**

El convertidor tiene una clasificación de eficiencia calculada por el fabricante del vehículo. Esta eficiencia está vinculada al ajuste de combustible del motor. Este ajuste es monitoreado por los sensores de O<sub>2</sub> y ajustado constantemente por la PCM. Esto ayuda a mantener el convertidor a la temperatura correcta para un funcionamiento más eficiente.

Una de las funciones del convertidor es almacenar oxígeno. Si un motor funciona con una mezcla demasiado rica, no puede almacenar oxígeno. Si funciona con una mezcla demasiado pobre, los niveles de oxígeno pueden impedir que el convertidor alcance su rango térmico óptimo.

Para evaluar de forma confiable el estado funcional del catalizador en vehículos a gasolina, se propone pruebas estandarizadas que permiten identificar su nivel de eficiencia y detectar signos de degradación o fallo en base a la prueba estándar según la EPA para verificar el estado del catalizador en vehículos en circulación del monitoreo del convertidor catalítico a través del sistema OBD-II y comprobar los resultados de emisiones a través de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2203:2013 Medición de Emisiones de gases de escape en motores de combustión interna. Este protocolo combina pruebas de campo y técnicas de diagnóstico instrumental no invasivas, siguiendo buenas prácticas internacionales y adaptadas a la realidad técnica del Ecuador.

#### **4.2 Inspección Inicial del Sistema de Escape**

Objetivo: Verificar que no existan fugas, obstrucciones ni modificaciones que interfieran con las mediciones.

**Procedimientos:**

- Levantar el vehículo y revisar visualmente el sistema de escape.
- Comprobar que el catalizador esté presente, correctamente instalado y sin daños externos.
- Verificar integridad de sensores O<sub>2</sub> (antes y después del catalizador).

**Figura 17**

*Verificación del Catalizador*

**4.3 Diagnóstico Electrónico por Escáner OBD-II**

Objetivo: Detectar códigos de falla relacionados al sistema de post-tratamiento.

**Procedimientos:**

- Conectar escáner OBD-II con el motor en ralentí.
- Leer y registrar:

Códigos de falla DTC (especialmente P0420, P0430) (Figura 18).

Parámetros de operación: voltajes de los sensores de oxígeno, % de eficiencia del catalizador, temperatura del motor.

- Realizar prueba de monitoreo del sistema en tiempo real (Live Data) (Figura 19).

**Figura 18**

*Inicio de la Verificación*

**Figura 19**

*Monitoreo del Sistema en Tiempo Real*



#### 4.4 Medición de Gases de Escape (Prueba Dinámica Controlada)

Objetivo: Medir la eficiencia real de conversión del catalizador bajo condiciones operativas.

Condiciones estandarizadas:

- Motor a temperatura óptima de operación (85-90 °C).
- Combustible: gasolina Súper de 92 octanos (mínimo).
- Prueba en ralentí y a 2500 rpm durante 1 minuto cada una.

Gases a medir:

- CO (%)
- HC (ppm)
- O<sub>2</sub> (%)
- CO<sub>2</sub> (%)

Equipos:

- Analizador de gases de escape calibrado (BrainBee) (Figura 20).

Parámetro clave:

- Comparación de valores obtenidos con los límites establecidos por las normas.

**Figura 20**

*Analizador de Gases*



## 4.5 Prueba de Eficiencia Catalítica (Sensor O<sub>2</sub>)

Objetivo: Analizar la respuesta del catalizador a través de los sensores de oxígeno.

- Procedimiento:
- Graficar voltaje del sensor O<sub>2</sub> anterior (Sensor 1) y posterior (Sensor 2) (Figura 21).
- Un catalizador funcional muestra:

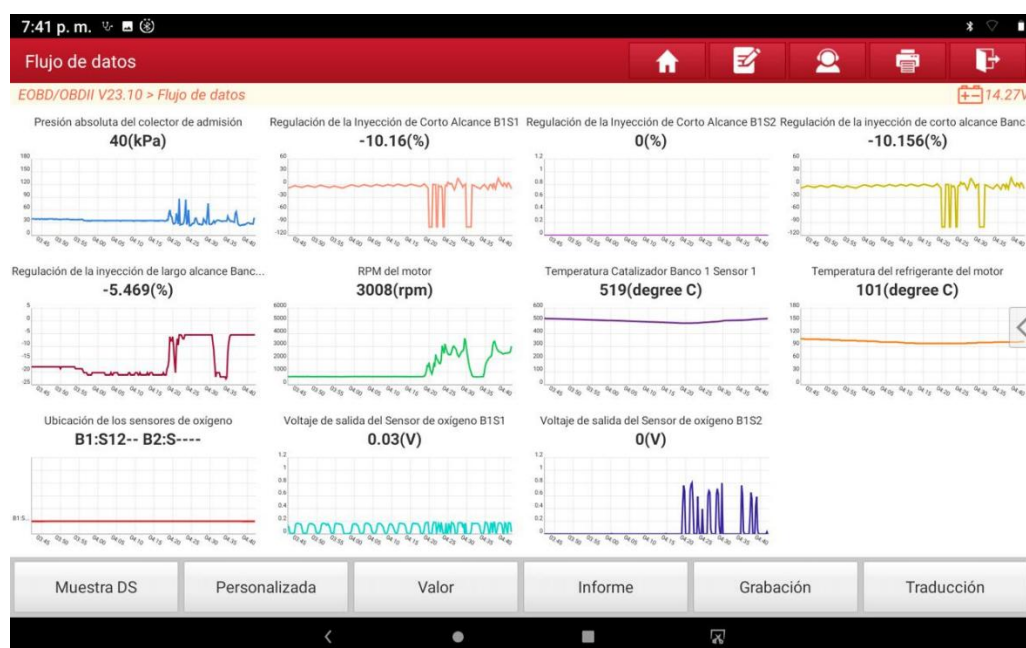
Sensor 1: señal oscilante entre 0.1 y 0.9 V.

Sensor 2: señal estable entre 0.4 y 0.6 V.

- Si ambas señales son similares y oscilantes → el catalizador está degradado.
- Si el sensor 2 muestra una señal “plana” → el catalizador funciona bien (Figura 22).

**Figura 21**

*Uso del Escáner - Gráficas Voltaje del Sensor O<sub>2</sub> Anterior (Sensor 1) y Posterior (Sensor 2)*

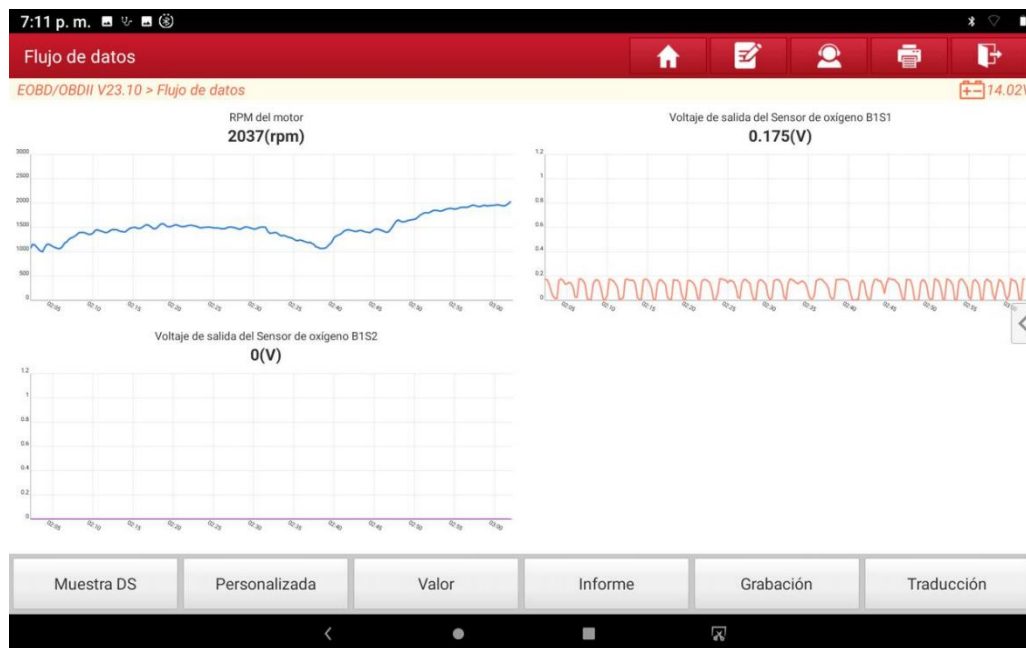


Probar eficiencia mediante la prueba de monitoreo del catalizador (OBD-II readiness)  
(Figura 22)

- Ir a la opción “Monitores” o “Readiness Tests”.
- Verificar si el monitor del catalizador está completo y sin códigos de falla.
- Si hay un código como P0420 (“Catalyst Efficiency Below Threshold”), indica fallo.

**Figura 22**

*Comparación entre las Señales de los Sensores de Oxígeno*



#### 4.6 Cálculo de Eficiencia del Catalizador

- Utilizar la fórmula:

$$\text{Reducción (\%)} = \frac{\text{Valores antes del Catalizador} - \text{Valores después del Catalizador}}{\text{Valores antes del Catalizador}} \times 100$$

- Calcular la reducción para cada gas.

##### Relación entre los Gases:

- Analizar cómo la presencia del catalizador afecta la relación entre CO, CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> (Figura 23).

##### Criterio:

- Eficiencia  $\geq 80\%$  = funcional
- Eficiencia 60-80% = degradación parcial
- Eficiencia  $< 60\%$  = ineficiente / a reemplazar

**Figura 23***Relación entre Gases***4.7 Medición Indirecta de Emisiones**

Aunque el escáner no mide gases directamente (como un analizador de 5 gases), se puede estimar en base a la Tabla 3.

**Tabla 3***Medición de Emisiones*

| Sensor / parámetro                                                                 | Significado si está fuera de rango                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• O<sub>2</sub> post-catalizador</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Señal similar al pre-catalizador = catalizador ineficiente</li> </ul>      |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuel Trim (LTFT, STFT)</li> </ul>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Muy altos (&gt; ±10%) pueden indicar mezcla errónea</li> </ul>             |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• EGT (si aplica)</li> </ul>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperaturas bajas en escape pueden indicar reacción incompleta</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• AFR / Lambda</li> </ul>                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Valores inestables indican combustión incorrecta</li> </ul>                |

#### 4.8 Registro y Comparación

- Crear una tabla de control con los resultados de cada prueba (Ver Tabla 4).
- Comparar con los valores estándar según la normativa INEN de las emisiones y las especificaciones del fabricante.
- Emitir un informe técnico con diagnóstico final del estado del catalizador.

#### 4.9 Datos Reales de Diagnóstico – Chery Tiggo 2 Pro 2023

- Motor: 1.5L DVVT
- Norma de emisiones: Euro 5
- Combustible: Gasolina
- Sistema de inyección: Electrónica multipunto (MPFI)

**Tabla 4**

*Tabla de Control con los Resultados*

| Parámetro                        | Valor                               |
|----------------------------------|-------------------------------------|
| • Marca                          | • Chery                             |
| • Modelo                         | • Tiggo 2 Pro                       |
| • Año                            | • 2023                              |
| • Motor                          | • 1.5L DVVT                         |
| • Sensor O <sub>2</sub> B1S1 (V) | • 0.12 – 0.88                       |
| • Sensor O <sub>2</sub> B1S2 (V) | • 0.65 – 0.71                       |
| • LTFT (%)                       | • +4.7                              |
| • STFT (%)                       | • ±1.5                              |
| • Código P0420 presente          | • No                                |
| • Conclusión Técnica             | • Catalizador eficiente, sin fallos |

##### 4.9.1 Lectura de Sensores de Oxígeno (O<sub>2</sub>)

La lectura de sensores de oxígeno (O<sub>2</sub>) es clave para evaluar la eficiencia del catalizador en vehículos con OBD-II, como exige la EPA. A continuación se explica cómo interpretar estas lecturas para verificar el estado del convertidor catalítico en la Tabla 5.

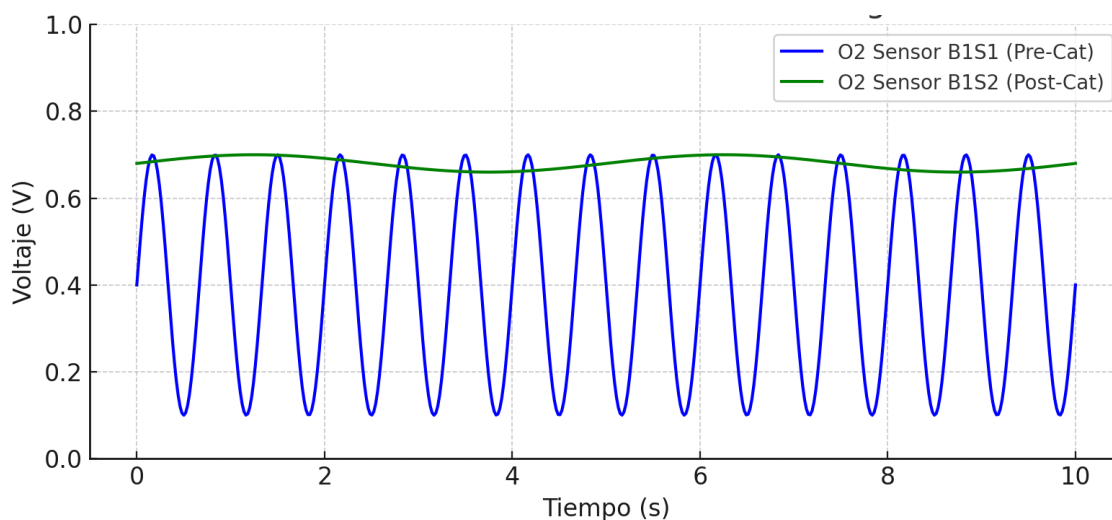
**Tabla 5***Datos para Interpretación de los Valores del Sensor de Oxígeno*

| Parámetro OBD-II                              | Valor típico observado                            | Observación técnica                                            |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Sensor O <sub>2</sub> B1S1 (pre-catalizador)  | 0.15 V – 0.88 V (oscilando rápido, 1-2 veces/seg) | Oscilación activa: mezcla rica/pobre                           |
| Sensor O <sub>2</sub> B1S2 (post-catalizador) | 0.68 V promedio, señal estable                    | Catalizador funcionando correctamente                          |
| Comparación                                   | B1S2 estable y sin oscilación                     | Diferencia clara entre pre y post indica catalizador eficiente |

Para verificar el estado del catalizador según la EPA, se deben observar las señales de los sensores de oxígeno:

✓ Si el sensor downstream es estable y más plano que el upstream → catalizador funcionando.

✗ Si ambos sensores muestran curvas similares → catalizador ineficiente o dañado

**Figura 24***Lectura Simulada de los Sensores de Oxígeno*

El sensor B1S1 cambia rápidamente según la mezcla aire-combustible. El sensor B1S2, después del catalizador, muestra valores más estables, lo cual indica que el catalizador está neutralizando los gases correctamente (Tabla 5).

- Fuel Trim a Largo Plazo (LTFT)

**Tabla 6**

*Datos del Fuel Trim*

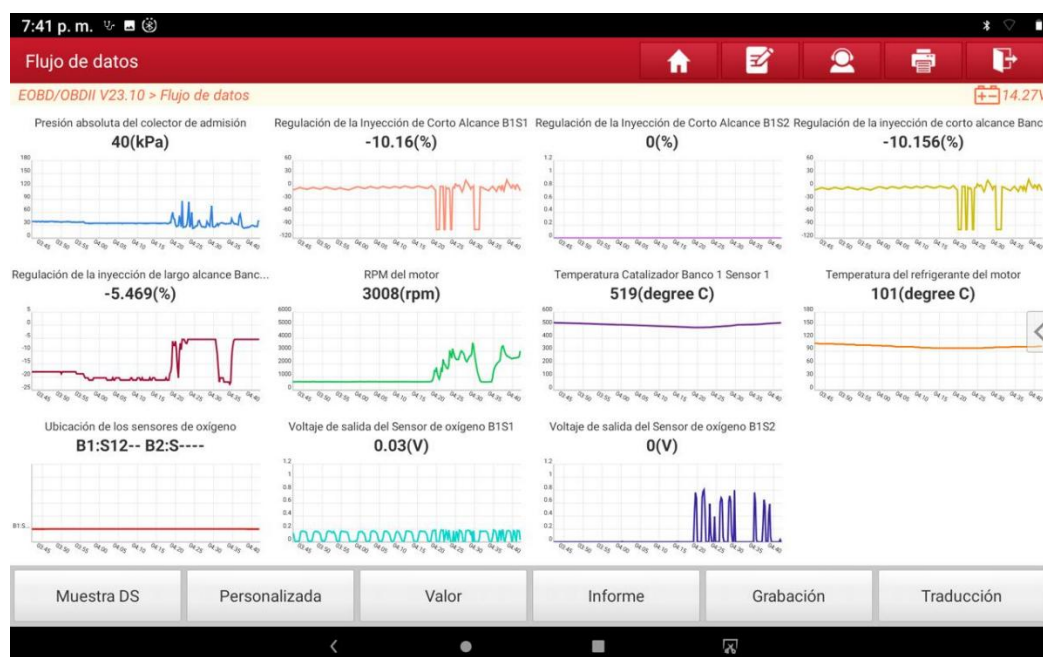
| Parámetro | Valor leído    | Interpretación                 |
|-----------|----------------|--------------------------------|
| LTFT B1   | +4.7 %         | Dentro del rango normal        |
| STFT B1   | ±2 % oscilante | Control en tiempo real estable |

Rangos normales:

- LTFT entre -10% y +10% es considerado aceptable.
- Valores positivos: mezcla pobre → ECU inyecta más combustible.
- Valores negativos: mezcla rica → ECU reduce combustible.

**Figura 25**

*Gráfica O<sub>2</sub> (Visualizada en Launch X431 Pad VII)*



(Si se grafica en el escáner)

- O2 B1S1: Curva oscilante tipo onda sinusoidal (Figura 25)
- O2 B1S2: Curva más estable, con picos limitados entre 0.6 y 0.7 V (Figura 26).

Diagnóstico preliminar

- No se detecta código P0420 ni fallas en el monitor del catalizador.
- Sistema de control de emisiones operativo.
- Catalizador en buen estado funcional.

Recomendaciones

- Repetir prueba con el motor caliente (mín. 80 °C).
- Verificar que el sistema de escape no tenga fugas.
- Evaluar AFR/Lambda si se dispone de sensor.

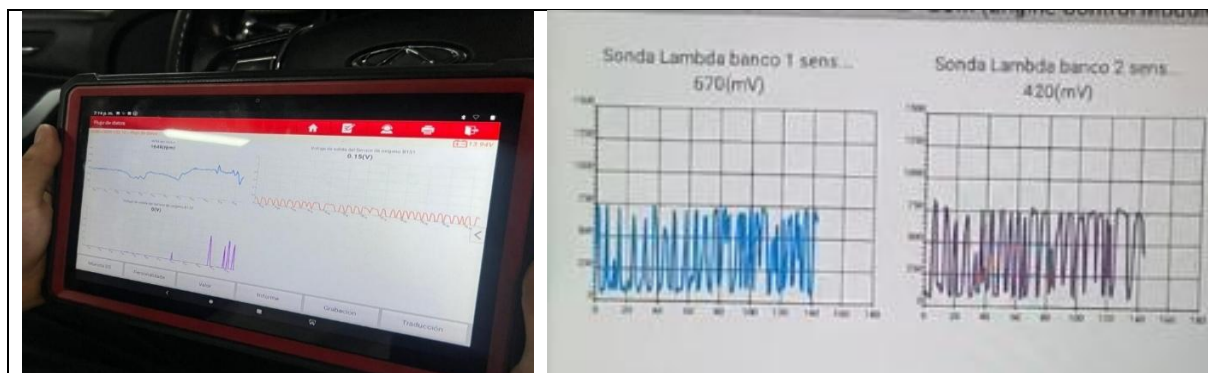
**Figura 26**

*Gráfica O<sub>2</sub> (Visualizada en Launch X431 Pad VII)*



**Figura 27**

*Gráfica Comparación O<sub>2</sub> (Visualizada en Launch X431 Pad VII)*



## Conclusiones

La estimación de la vida útil de un catalizador automotriz mediante el análisis de gases de escape con el escáner Launch Pad VII demuestra ser una metodología eficaz, ya que permite identificar tendencias de envejecimiento del catalizador a partir de los valores de emisiones (CO, HC) y la eficiencia de conversión registrada por los sensores de oxígeno.

Se identifican que los parámetros más determinantes en la degradación del catalizador son la temperatura de operación, la calidad del combustible, la presencia de contaminantes (azufre, plomo) y los ciclos de arranque en frío. Estos factores reducen progresivamente la capacidad del catalizador para oxidar y reducir gases contaminantes, acortando su vida útil.

En el contexto ecuatoriano, las especificaciones técnicas de los catalizadores de vehículos a gasolina se ajustan a estándares internacionales Euro 3 y Euro 4, pero existe una alta variabilidad en la calidad de repuestos y combustibles, lo que afecta su desempeño real.

El diseño de pruebas estandarizadas basada en la prueba estandarizada de diagnóstico a bordo (OBD-II) para el monitoreo del sistema del convertidor catalítico bajo el sistema OBD-II (On-Board Diagnostics, segunda generación) empleando el escáner Launch Pad VII, permite evaluar de forma repetible y consistente el estado del catalizador, reduciendo la incertidumbre en el diagnóstico y mejorando la toma de decisiones sobre su reemplazo.

### **Recomendaciones**

Implementar rutinariamente protocolos de diagnóstico de catalizadores con escáneres automotrices, como el Launch Pad VII, al menos cada 20.000 km o anualmente, para detectar fallas incipientes y evitar emisiones contaminantes excesivas.

Promover el uso de combustibles de mayor calidad con bajo contenido de azufre, así como controles de mantenimiento preventivo (cambio oportuno de bujías, filtros, sensores de oxígeno) para prolongar la vida útil de los catalizadores.

Estandarizar a nivel nacional los procedimientos de análisis de gases de escape, estableciendo rangos de referencia confiables según normativa internacional y nacional, para reducir la variabilidad en los diagnósticos y asegurar evaluaciones objetivas.

Desarrollar capacitaciones técnicas para mecánicos y centros de diagnóstico automotriz sobre la interpretación de datos del escáner y el funcionamiento integral del sistema de post-tratamiento de gases, para mejorar la calidad de las reparaciones y evaluaciones.

### Bibliografía

- Alvarez, G., & Morales, J. (2021). *Sistemas de diagnóstico automotriz: tecnologías actuales*. Editorial Alfaomega.
- Bosch. (2021). *Automotive Handbook* (11th ed.). Robert Bosch GmbH.
- Bustos Paz, M. N. (2025). Evaluación de la Eficiencia del Catalizador de un Vehículo M1 usando Equipo de Diagnóstico (Doctoral dissertation, GUAYAQUIL/UIDE/2025).
- Carrillo, P., & González, M. (2020). *Control y diagnóstico de emisiones vehiculares*. Alfaomega.
- Coyle, M. (2021). *Automotive Emissions and Pollution Control*. SAE International.
- Delgado, J. A. (2022). *Catalizadores automotrices: funcionamiento, diagnóstico y mantenimiento*. Marcombo.
- DiPietro, J. (2020). *Exhaust Systems and Emission Controls*. Goodheart-Willcox.
- Duffy, J. E., & Giblin, R. (2020). *Automotive Engine Performance* (6th ed.). Cengage.
- Estrella-Guayasamín, M., Vivar Quiroz, V., Delgado Quinto, A., Gomez Berrezueta, F. (2025). Effect of Oxyhydrogen Gas (HHO) Addition on Fuel Consumption of M2 Category Vehicle by Road Tests.
- Guzzella, L., & Sciarretta, A. (2022). *Vehicle Propulsion Systems: Modeling and Optimization* (4th ed.). Springer.
- Hegde, R. (2023). *Automotive Catalysts: Emission Control and Environmental Sustainability*. Elsevier.
- Hillier, V. A. W., & Coombes, P. (2020). *Hillier's Fundamentals of Motor Vehicle Technology: Advanced* (6th ed.). Routledge.
- Hoag, K. L. (2022). *Automotive Technology: Principles, Diagnosis, and Service* (7th ed.). Pearson.

- López, R., & Herrera, F. (2021). *Técnicas de diagnóstico electrónico en automoción*. Marcombo.
- Marselli, J. (2023). *OBD-II and On-Board Diagnostics: A Technical Guide*. SAE International.
- Martin, T. (2021). *Automotive Sensors and Testing Technology*. SAE International.
- Medina, J. (2023). *Emisiones vehiculares y medio ambiente*. Editorial Reverté.
- Pérez, L., & Sánchez, H. (2022). *Análisis de gases de escape en vehículos: normativas y procedimientos*. Alfaomega.
- Reif, K. (2021). *Exhaust Gas Aftertreatment Systems* (2nd ed.). Springer.
- Sienel, T. (2020). *Catalytic Converters for Automotive Applications: Materials, Design, and Testing*. Wiley-VCH.
- Spiers, R. (2022). *Automotive Emission Systems Explained*. Routledge.
- Stoichi, A. (2023). *Advanced Automotive Emission Control Technologies*. Springer.
- Yakoumis, I., Panou, M., Moschovi, A. M., & Panias, D. (2021). Recovery of platinum group metals from spent automotive catalysts: A review. *Cleaner Engineering and Technology*, 3, 100112.

