



**Análisis de la aplicación del proceso de oxidación – reducción para la recuperación de convertidores catalíticos de automóviles**

Romero Merino, Jefferson Paul y Sánchez Sánchez, Bryam Alexander

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz

Ing. Quiroz Erazo, Leonidas Antonio Msc.

1 de febrero de 2022

Latacunga



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**Certificación**

Certifico que el trabajo de titulación, “**ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DEL PROCESO DE OXIDACIÓN – REDUCCIÓN PARA LA RECUPERACIÓN DE CONVERTIDORES CATALÍTICOS DE AUTOMÓVILES**” fue realizado por los Señores **Romero Merino, Jefferson Paul** y **Sánchez Sánchez, Bryam Alexander**, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

**Latacunga, 1 de febrero de 2022**

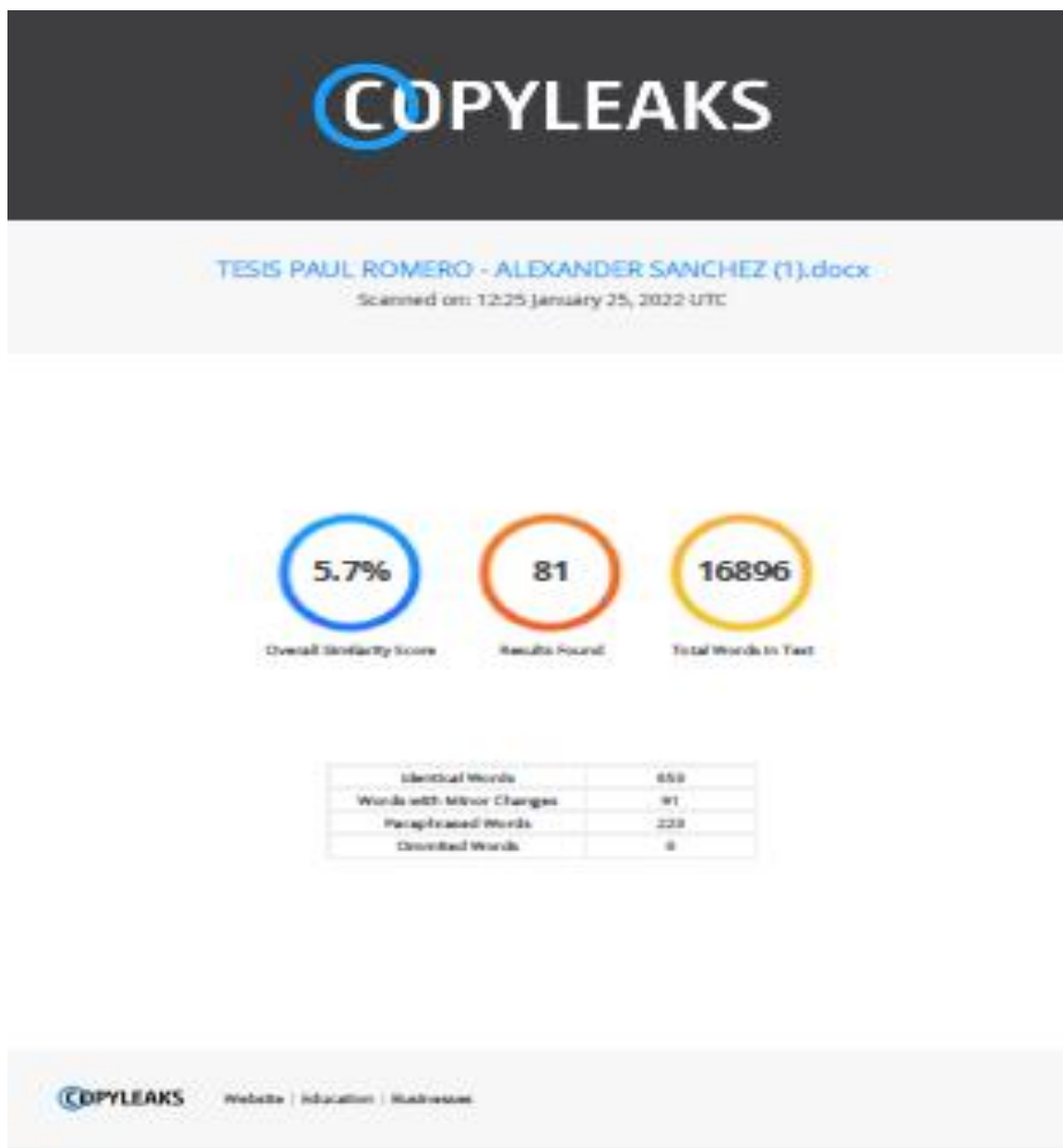


Firmado electrónicamente por.  
**LEONIDAS  
ANTONIO QUIROZ  
ERAZO**

---

**Ing. Quiroz Erazo, Leonidas Antonio Msc.**  
**C.C.: 050250999-5**

## Reporte de verificación de contenido



Firmado electrónicamente por:  
**LEONIDAS  
ANTONIO QUIROZ  
ERAZO**

---

**Ing. Quiroz Erazo, Leonidas Antonio Msc.  
DIRECTOR**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**Responsabilidad de autoría**

Nosotros, **Romero Merino Jefferson Paul**, con cédula de ciudadanía 1721798930 y **Sánchez Sánchez Bryam Alexander**, con cédula de ciudadanía 1804911806, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DEL PROCESO DE OXIDACIÓN – REDUCCIÓN PARA LA RECUPERACIÓN DE CONVERTIDORES CATALÍTICOS DE AUTOMÓVILES**, es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

**Latacunga, 2 de febrero del 2022**

**Romero Merino Jefferson Paul**

**C.C.: 1721798930**

**Sánchez Sánchez Bryam Alexander**

**C.C.: 1804911806**



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**Autorización de publicación**

Nosotros, **Romero Merino Jefferson Paul** con cédula de ciudadanía 1721798930 y **Sánchez Sánchez Bryam Alexander**, con cédula de ciudadanía 180491180-6, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DEL PROCESO DE OXIDACIÓN – REDUCCIÓN PARA LA RECUPERACIÓN DE CONVERTIDORES CATALÍTICOS DE AUTOMÓVILES** en el Repositorio institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

**Latacunga, 2 de febrero del 2022**

**Romero Merino Jefferson Paul**

**C.C.: 1721798930**

**Sánchez Sánchez Bryam Alexander**

**C.C.: 1804911806**

## Dedicatoria

Dedico este trabajo a Dios, por otorgarme salud, inteligencia, perseverancia y sobre todo consuelo en los momentos difíciles durante toda mi carrera universitaria.

A mis padres, por todo su apoyo tanto económico como emocional, porque a pesar de tantos momentos difíciles y de encontrarme lejos de ellos, nunca me dejaron solo y siempre encontraron las palabras precisas de apoyo que me levantaban de cualquier problema para seguir luchando por mi metas y sueños que hoy las estoy alcanzando.

A mis hermanos y familiares que, con un mensajito de apoyo, cambian cualquier día malo, por uno exitoso, lleno de oportunidades y alegrías.

A mi enamorada, que fue, es y seguirá siendo importante en mi vida, me apoyo en muchos momentos de tristeza en los cuales necesitaba apoyo, un abrazo consolador, unas palabras de aliento y muestras de cariño que de su parte nunca faltaron.

A mi compañero de tesis, que más que un amigo, fue un hermano para mí, con el cual compartí muchas cosas y a pesar de nuestras diferencias y peleas, siempre salimos adelante en todos los planes planteados.

Finalmente, a mis amigos con los cuales vivimos muchas locuras, buenos y malos momentos que llevare siempre en mi corazón,

**Jefferson Paul Romero Merino**

## **Agradecimiento**

Quiero agradecer infinitamente a mis padres, José Guillermo Romero Gualán y Esthela Enid Merino Sarango por todo el apoyo incondicional que siempre me dan, por ese ejemplo de familia y unidad, por los valores inculcados que me llevaron a ser una persona de bien, trabajadora, humilde, perseverante. Por todo el cariño que me demuestran día tras día y principalmente porque a pesar que he fallado una y mil veces como hijo, siempre han estado ahí para levantarme y darme esas palmaditas de confianza que me obligan a no rendirme a mejorar y alcanzar mis sueños.

A mis hermanos Diego Romero y Robert Romero por todo el apoyo que me dieron en todo el transcurso de la carrera, y por qué cuando más los necesite estuvieron siempre disponibles.

A mi enamorada, Lady Gabriela Freire, agradecerle todo el apoyo que me brindo en Latacunga, y todo el apoyo que me sigue dando día tras día, porque complemento mis sueños con sus sueños, mis metas con las suyas y porque con el pasar del tiempo seguimos forjando un futuro juntos,

A mi maestro y tutor de tesis Leonidas Quiroz, que más que un profesor es un gran amigo y apoyo en esos momentos difíciles, con su experiencia supo aportar ideas claras de vida y enseñanzas únicas que solo un verdadero amigo lo podría hacer.

**Jefferson Paul Romero Merino**

## Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres Jairo Sánchez y María Nela Sánchez por todo el apoyo que me han brindado durante toda esta etapa, por la educación, los conocimientos y sobre todo sus consejos que me han forjado para llegar a ser la persona que soy ahora, a enfocarme en mis metas y a esforzarme para conseguir lo que en verdad deseo.

A mi hermano John Jairo que siempre me ha apoyado en lo que he necesitado, me ha extendido la mano en los momentos difíciles y me ha levantado mis ánimos cuando pensaba en que no lo podría lograr, por sus consejos que siempre los llevo día a día y por compartir esa pasión hacia los autos.

Dedico también mi trabajo a Dios, por brindarme salud y su bendición para poder cumplir una meta más en mi vida, por guiarme siempre por el camino del bien y escoger el camino correcto.

A mi compañero de tesis y amigo Paul Romero por todo el apoyo incondicional, el cariño y por la voluntad de tomarme en cuenta siempre antes que los demás, por tener los mismos objetivos enfocados hacia la carrera de Ingeniería Automotriz, soñando con salir adelante buscando cada vez más caminos para seguir aprendiendo y ponerlo en práctica en metas que se podrán cumplir a corto y largo plazo.

A mis amigos que siempre me apoyaron desde el inicio de la carrera, formándonos no solo como conocidos de curso, sino llegando a ser pilares fundamentales para afrontar problemas como un equipo.

***Alexander Sánchez***



## **Agradecimiento**

Agradezco a mi familia, por ser el pilar fundamental de mi vida, siempre esperando lo mejor de mí y apoyándome con sus consejos para que pueda lograr mis objetivos, por todo el esfuerzo que han realizado para poder verme salir adelante y compartir mis logros.

Agradezco a mi novia Karelys Campaña por siempre darme ánimos de seguir adelante, de luchar por mis sueños y compartir mis ideales, porque nunca me ha dejado solo a pesar de los problemas que se han suscitado y sobre todo por apoyarme en que sea mejor cada día.

Agradezco a mi tutor Ing. Leonidas Quiroz quién ha permitido que este trabajo se haga posible, por todos sus conocimientos y apoyo brindado en todo momento, siendo un guía en el ámbito institucional ayudándome a alcanzar los resultados esperados.

Agradezco a todos los ingenieros de la carrera de Ingeniería Automotriz, que han hecho lo posible para brindarnos de sus conocimientos, por la manera en que no piensan simplemente en dictar una materia, sino de enseñar con pasión y amor hacia la carrera.

***Alexander Sánchez***

<b>Tabla de contenidos</b>	
<b>Carátula</b> .....	<b>1</b>
<b>Certificación</b> .....	<b>2</b>
<b>Reporte de verificación de contenido</b> .....	<b>3</b>
<b>Responsabilidad de autoría</b> .....	<b>4</b>
<b>Autorización de publicación</b> .....	<b>5</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>5</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>7</b>
<b>Tabla de contenidos</b> .....	<b>10</b>
<b>Índice de Tablas</b> .....	<b>14</b>
<b>Índice de Figuras</b> .....	<b>16</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>19</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>20</b>
<b>Planteamiento del problema de investigación</b> .....	<b>21</b>
<b>Antecedentes investigativos</b> .....	<b>21</b>
<b>Planteamiento del problema</b> .....	<b>22</b>
<b>Descripción resumida del proyecto</b> .....	<b>25</b>
<b>Justificación e importancia</b> .....	<b>26</b>
<b>Objetivos</b> .....	<b>27</b>
<i>Objetivo general</i> .....	<b>27</b>
<i>Objetivos específicos</i> .....	<b>27</b>
<b>Metas</b> .....	<b>28</b>
<b>Hipótesis</b> .....	<b>28</b>
<b>Variables de investigación</b> .....	<b>28</b>
<i>Variable Dependiente</i> .....	<b>28</b>
<i>Variable Independiente</i> .....	<b>30</b>
<b>Marco Teórico</b> .....	<b>32</b>
<b>Catalizadores de gases de escape</b> .....	<b>32</b>

<i>Catalizador de 2 vías</i> .....	32
<i>Catalizador de 3 vías</i> .....	33
Componentes del catalizador .....	34
Procesos catalíticos .....	34
<i>Proceso de reducción</i> .....	35
<i>Proceso de oxidación</i> .....	35
Desgaste de los catalizadores .....	35
Tratamiento de convertidores catalíticos.....	36
<i>Limpiador de carbono</i> .....	36
<i>La sonocatálisis</i> .....	36
<i>Máquinas por circulación de gases inertes</i> .....	37
Normativas .....	37
<i>Normativa NTE INEN 2 203:2000</i> .....	37
<i>Normativa NTE INEN 2 204: 2002</i> .....	37
Protocolos para emisiones de gases .....	37
<i>Protocolo NEDC</i> .....	37
<i>Protocolo armonizado WLTP</i> .....	38
Máquinas utilizadas para el análisis de gases.....	38
<i>Analizador de gases AGS-688</i> .....	39
<i>MGT 300-EVO</i> .....	39
<i>Cámara termográfica FLUKE TiS60</i> .....	40
Limpieza y tratamiento de catalizadores de Desecho.....	42
Proceso de oxidación – reducción programada.....	44
<i>Inyección de gases inertes</i> .....	44
<i>Presión</i> .....	44
<i>Temperatura</i> .....	44
<i>Tiempo</i> .....	44
<i>Calibración del flujo de gases</i> .....	44
<i>Recuperación de materiales</i> .....	46
Mantenimiento del vehículo de prueba .....	46
Calibración y certificación de equipos para la medición de emisiones.....	48
Rangos de temperatura del catalizador.....	52
<i>Proceso de calentamiento del convertidor</i> .....	52

	12
<i>Proceso de enfriamiento</i> .....	54
<b>Ensayos de emisiones y análisis de resultados</b> .....	57
<b>NEDC</b> .....	57
<i>Zona extraurbana – Catalizador de desecho</i> .....	58
<i>Zona extraurbana – Catalizador nuevo</i> .....	60
<i>Zona urbana – Catalizador de desecho</i> .....	61
<i>Zona urbana – Catalizador nuevo</i> .....	64
<b>WLTP</b> .....	66
<i>Zona extraurbana – catalizador de desecho</i> .....	67
<i>Zona extraurbana – catalizador nuevo</i> .....	70
<i>Zona urbana – catalizador de desecho</i> .....	72
<i>Zona urbana – catalizador nuevo</i> .....	74
<b>IMPLEMENTADO 1</b> .....	77
<i>Zona extraurbana – catalizador de desecho</i> .....	79
<i>Zona extraurbana – catalizador nuevo</i> .....	80
<i>Zona urbana – catalizador de desecho</i> .....	82
<i>Zona urbana – catalizador nuevo</i> .....	84
<b>IMPLEMENTADO 2</b> .....	86
<i>Zona extraurbana – catalizador de desecho</i> .....	87
<i>Zona extraurbana – catalizador nuevo</i> .....	89
<i>Zona urbana – catalizador de desecho</i> .....	91
<i>Zona urbana – catalizador nuevo</i> .....	93
<b>Pruebas estáticas</b> .....	95
<b>Test Oficial – Catalizador de desecho</b> .....	95
<b>Test Oficial – Catalizador tratado</b> .....	98
<b>Marco administrativo</b> .....	102
<b>Recursos</b> .....	102
<i>Recursos Humanos</i> .....	102
<i>Recursos Tecnológicos</i> .....	103
<i>Recursos Materiales</i> .....	104
<i>Recurso Financiero</i> .....	105
<b>Conclusiones y Recomendaciones</b> .....	107

<b>Conclusiones .....</b>	<b>107</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>110</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>112</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>115</b>

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Recuperación de convertidores catalíticos</i> .....	28
<b>Tabla 2</b> <i>Proceso de oxidación – reducción</i> .....	30
<b>Tabla 3</b> <i>Calibración flujo volumétrico vs flujo de gases inertes</i> .....	45
<b>Tabla 4</b> <i>Tratamiento de limpieza a temperatura programada</i> .....	45
<b>Tabla 5</b> <i>Resultados obtenidos proceso de calentamiento</i> .....	53
<b>Tabla 6</b> <i>Resultados obtenidos proceso de enfriamiento</i> .....	55
<b>Tabla 7</b> <i>Promedios Zona extraurbana – NEDC – catalizador de desecho</i> .....	59
<b>Tabla 8</b> <i>Promedios Zona extraurbana – NEDC – catalizador nuevo</i> .....	60
<b>Tabla 9</b> <i>Promedios Zona urbana – NEDC – catalizador de desecho</i> .....	62
<b>Tabla 10</b> <i>Promedios Zona urbana – NEDC – Catalizador nuevo</i> .....	64
<b>Tabla 11</b> <i>Promedios Zona extraurbana – WLTP – catalizador de desecho</i> .....	68
<b>Tabla 12</b> <i>Promedios Zona extraurbana – WLTP – Catalizador nuevo</i> .....	70
<b>Tabla 13</b> <i>Promedios Zona urbana – WLTP – catalizador de desecho</i> .....	72
<b>Tabla 14</b> <i>Promedios Zona urbana – WLTP – Catalizador nuevo</i> .....	74
<b>Tabla 15</b> <i>Promedios Zona extraurbana – implementado 1- catalizador de desecho</i> .....	79
<b>Tabla 16</b> <i>Promedios pruebas Dinámica - Zona extraurbana – Protocolo</i> <i>IMPLEMENTADO 1 – Catalizador nuevo</i> .....	80
<b>Tabla 17</b> <i>Promedios Zona urbana – implementado 1 – catalizador de desecho</i> .....	82
<b>Tabla 18</b> <i>Promedios Zona urbana – implementado 1 – Catalizador nuevo</i> .....	84
<b>Tabla 19</b> <i>Promedios Zona extraurbana – implementado 2 – catalizador de desecho</i> ....	88
<b>Tabla 20</b> <i>Promedios pruebas Dinámica - Zona extraurbana – Protocolo</i> <i>implementado 2 – Catalizador nuevo</i> .....	89
<b>Tabla 21</b> <i>Promedios Zona urbana –implemetado 2 – catalizador de desecho</i> .....	91
<b>Tabla 22</b> <i>Promedios Zona urbana – implementado 2 – catalizador nuevo</i> .....	93

<b>Tabla 23</b> <i>Promedios Test oficial – Catalizador de desecho</i> .....	97
<b>Tabla 24</b> <i>Promedios Test oficial – Catalizador tratado</i> .....	100
<b>Tabla 25</b> <i>Recursos Humanos</i> .....	102
<b>Tabla 26</b> <i>Recursos tecnológicos</i> .....	103
<b>Tabla 27</b> <i>Recursos Materiales</i> .....	104
<b>Tabla 28</b> <i>Recurso Financiero Materiales - Insumos- Equipos</i> .....	105

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Árbol de problemas</i> .....	24
<b>Figura 2</b> <i>Convertidor catalítico</i> .....	32
<b>Figura 3</b> <i>Convertidor catalítico de 2 vías</i> .....	33
<b>Figura 4</b> <i>Convertidor catalítico de 3 vías</i> .....	33
<b>Figura 5</b> <i>Componentes internos de un catalizador de 3 vías</i> .....	34
<b>Figura 6</b> <i>Entrada y salida del catalizador</i> .....	35
<b>Figura 7</b> <i>Convertidor catalítico sucio</i> .....	36
<b>Figura 8</b> <i>Analizador de gases Kane Autoplus 4-2</i> .....	38
<b>Figura 9</b> <i>Analizador de gases AGS-688</i> .....	39
<b>Figura 10</b> <i>Contador de revoluciones MGT 300-EVO</i> .....	40
<b>Figura 11</b> <i>Cámara termográfica</i> .....	41
<b>Figura 12</b> <i>Equipo de tratamiento de convertidores catalíticos a temperatura programada</i> .....	42
<b>Figura 13</b> <i>Proceso de Limpieza Convertidores Catalíticos a Temperatura Programada</i> .....	43
<b>Figura 14</b> <i>Mantenimiento del automotor</i> .....	47
<b>Figura 15</b> <i>Certificado de calibración del equipo KANE AUTOPLUS 4-2</i> .....	48
<b>Figura 16</b> <i>Verificación de la máquina KANE AUTOPLUS 4-2 con gas patrón</i> .....	49
<b>Figura 17</b> <i>Certificado de calibración del analizador de gases AGS-688</i> .....	50
<b>Figura 18</b> <i>Verificación de la máquina AGS-688 con gas patrón</i> .....	51
<b>Figura 19</b> <i>Puntos de medición de temperatura del catalizador de desecho</i> .....	52
<b>Figura 20</b> <i>Curva de calentamiento del convertidor</i> .....	54
<b>Figura 21</b> <i>Curva de enfriamiento del convertidor</i> .....	56
<b>Figura 22</b> <i>Zona extraurbana – NEDC</i> .....	57



<b>Figura 23</b> Zona Urbana - NEDC.....	58
<b>Figura 24</b> Relación emisiones de CO <sub>2</sub> -O <sub>2</sub> -HC – NEDC – catalizador de desecho .....	59
<b>Figura 25</b> Relación emisiones de CO <sub>2</sub> -O <sub>2</sub> -HC – NEDC – Catalizador nuevo .....	61
<b>Figura 26</b> Relación emisiones de CO <sub>2</sub> -O <sub>2</sub> -HC – NEDC – catalizador de desecho .....	63
<b>Figura 27</b> Relación emisiones de CO <sub>2</sub> -O <sub>2</sub> -HC – NEDC – Catalizador nuevo .....	65
<b>Figura 28</b> Zona extraurbana – WLTP.....	66
<b>Figura 29</b> Zona Urbana - WLTP.....	67
<b>Figura 30</b> Relación emisiones de CO <sub>2</sub> -O <sub>2</sub> -HC – WLTP – catalizador desecho .....	69
<b>Figura 31</b> Relación emisiones de CO <sub>2</sub> -O <sub>2</sub> -HC – WLTP – Catalizador nuevo .....	71
<b>Figura 32</b> Relación emisiones de CO <sub>2</sub> -O <sub>2</sub> -HC – WLTP – catalizador de desecho .....	73
<b>Figura 33</b> Relación emisiones de CO <sub>2</sub> -O <sub>2</sub> -HC – WLTP – Catalizador nuevo .....	76
<b>Figura 34</b> Zona extraurbana – implementado 1 .....	77
<b>Figura 35</b> Zona urbana – implementado 1 .....	78
<b>Figura 36</b> Relación emisiones de CO <sub>2</sub> -O <sub>2</sub> -HC – implementado 1 – catalizador de desecho.....	80
<b>Figura 37</b> Relación emisiones de CO <sub>2</sub> -O <sub>2</sub> -HC – implementado 1- Catalizador nuevo .....	81
<b>Figura 38</b> Relación emisiones de CO <sub>2</sub> -O <sub>2</sub> -HC – implementado 1 – catalizador de desecho.....	83
<b>Figura 39</b> Relación emisiones de CO <sub>2</sub> -O <sub>2</sub> -HC – implementado 1 – Catalizador nuevo .....	85
<b>Figura 40</b> Zona extraurbana – implementado 2 .....	86
<b>Figura 41</b> Zona Urbana – implementado 2.....	87
<b>Figura 42</b> Relación emisiones de CO <sub>2</sub> -O <sub>2</sub> -HC – implementado 2 – catalizador de desecho.....	88

<b>Figura 43</b> <i>Relación emisiones de CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>-HC – implementado 2 - Catalizador nuevo..</i> .....	90
<b>Figura 44</b> <i>Relación emisiones de CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>-HC – IMPLEMENTADO 2 – catalizador de desecho.....</i>	92
<b>Figura 45</b> <i>Relación emisiones de CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>-HC – IMPLEMENTADO 2 – Catalizador nuevo .....</i>	94
<b>Figura 46</b> <i>Proceso Test Oficial – catalizador de desecho .....</i>	96
<b>Figura 47</b> <i>Relación emisiones CO-HC-O<sub>2</sub> – Catalizador de desecho .....</i>	97
<b>Figura 48</b> <i>Proceso Test Oficial – catalizador tratado.....</i>	99
<b>Figura 49</b> <i>Relación emisiones CO-O<sub>2</sub>-HC – Catalizador tratado.....</i>	101

## **Resumen**

El trabajo, investigó el proceso de oxidación – reducción para la recuperación de convertidores catalíticos de automóviles, estableciendo métodos de recuperación de convertidores de deshecho por técnicas de limpieza a temperatura programada y tratamiento de los materiales por inyección de gases vectores, de manera de utilizarlos para los fines propuestos. El proceso de oxidación – reducción se realiza a temperatura y tiempo programado para su posterior tratamiento de materiales con la inyección de gases inertes, mejorando la transformación de gases nocivos que salen del escape en gases inocuos de manera efectiva, obteniendo valores permisibles para monóxidos de carbono, hidrocarburos no combustionados y Óxidos nitrosos. Validando el control de emisiones antes y después de la limpieza y tratamiento del convertidor, con ensayos de emisiones vehiculares considerando los protocolos NEDC, WLTP y test oficial realizados con analizador de gases acorde a la normativa vigente para la aprobación de la revisión técnica vehicular. Las técnicas de limpieza y tratamiento para la recuperación de convertidores de desecho prolongan la vida útil de este tipo de componentes del automóvil ayudando a la eliminación de partículas que dificultan los procesos catalíticos y de una reutilización adecuada ayudando a la conservación de los metales nobles que intervienen en su interior.

### **Palabras clave**

- **CONVERTIDORES CATALÍTICOS**
- **OXIDACIÓN – REDUCCIÓN**
- **TRATAMIENTO DE CATALIZADORES**

### **Abstract**

The work investigated the oxidation-reduction process for the recovery of automobile catalytic converters, establishing methods of recovery of waste converters by cleaning techniques at programmed temperature and treatment of materials by injection of vector gases, in order to use them for the proposed purposes. The oxidation-reduction process is carried out at a programmed temperature and time for subsequent treatment of materials with the injection of inert gases, effectively improving the transformation of harmful gases that come out of the exhaust into innocuous gases, obtaining permissible values for carbon monoxide, unburned hydrocarbons and nitrous oxides. Validating the emission control before and after the cleaning and treatment of the converter, with vehicle emissions tests considering the NEDC, WLTP protocols and official tests carried out with a gas analyzer in accordance with current regulations for the approval of the vehicle technical review. Cleaning and treatment techniques for the recovery of waste converters prolong the useful life of this type of automotive component, helping to eliminate particles that hinder catalytic processes and proper reuse, helping to conserve the noble metals involved inside.

#### **Key words:**

- **CATALYTIC CONVERTERS**
- **OXIDATION - REDUCTION**
- **CATALYST TREATMENT**

## Capítulo I

### 1. Planteamiento del problema de investigación

#### 1.1 Antecedentes investigativos

En el Ecuador el porcentaje de vehículos aumenta anualmente ya que se ha visto como una necesidad diaria para las personas, a pesar de que en la pandemia de covid-19 hubo una disminución de ventas de vehículos como indica la AEADE (Asociación De Empresas Automotrices Del Ecuador) con tan solo 66.327 vehículos vendidos en todo el 2020, en comparación con años anteriores como lo es el 2019 con un total de ventas de 132.208 vehículos (Asociacion de Empresas Automotrices del Ecuador [AEADE], 2020).

Según (Coba, 2015), Ecuador posee una cantidad de 2'200.000 vehículos, pero de estos 218.000 tendrían más de 35 años de antigüedad, por este motivo se estima que el 35% de los automóviles que circulan en el país son altamente contaminantes.

De acuerdo a (INFOTALLER, 2018) varios problemas resultan a causa de un catalizador obstruido por partículas de suciedad, estos problemas, generan pérdida de potencia, ruidos en la parte inferior del vehículo, humo y sobrecalentamiento del motor. Los procesos de mantenimiento preventivo y correctivo del convertidor catalítico resultan de gran importancia al realizar procesos de limpieza con métodos de oxidación – reducción e inyección de gases inertes para la recuperación de los materiales del monolito, con el fin de controlar efectivamente las emisiones producidas por vehículos.

Los costos elevados de los metales nobles que constituyen un catalizador automotriz determinan la necesidad de reutilizar estos componentes al realizar tratamientos de limpieza para aumentar la vida útil del mismo, así como también, el paladio tiene un costo de 1700 dólares la onza, el rodio 5300 dólares la onza y el platino a 998 dólares la onza, por lo cual el reciclaje de estos 3 componentes ha ido

aumentando con el pasar de los años teniendo 1.5 millones de onzas de platino y 2.6 millones de onzas de paladio reciclados hasta el año de 2019 (Pedraza, 2019).

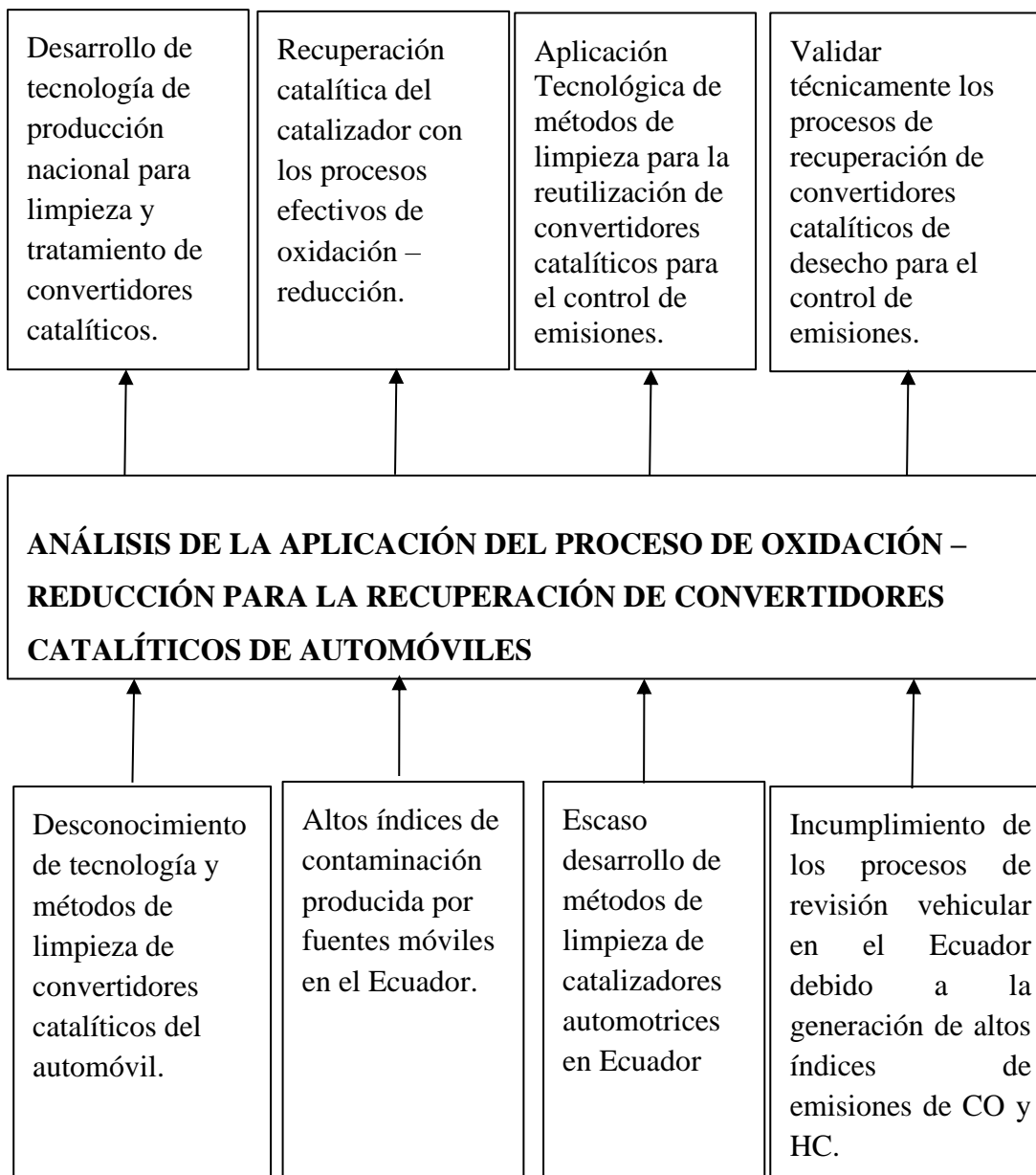
Existen métodos de limpieza para catalizadores del automóvil con el uso de equipos de producción y manufactura profesional como DPF 1800, basa su funcionamiento en la inyección de un producto en el catalizador dejándolo actuar durante varios minutos, luego se conectan unas mangueras para poder enviar agua caliente a presión para que se despeguen todas las impurezas internas. Las temperaturas y presiones del agua se pueden ir modificando por medio de un panel del control. Este método de limpieza garantiza recuperar el 99% de eficiencia del catalizador (Iberisa, 2018).

## **1.2 Planteamiento del problema**

La investigación plantea como problemática el progresivo incremento en el parque automotor del Ecuador, de tal manera que, si no se controla los altos índices de gases contaminantes como lo son CO, NOx y HC, causará a mediano y largo plazo una gran desastre ambiental efecto de la contaminación, fundamentada por diversos factores en los procesos de combustión y post tratamiento de emisiones, lo que hace necesario desarrollar y validar procesos de limpieza de los convertidores catalíticos en función de los procesos de oxidación – reducción en la conversión de gases nocivos en gases inocuos hacia la atmósfera, estos procesos serán de vital importancia para incrementar el ciclo de vida de un catalizador.

Actualmente en el país no cuenta con talleres equipados con equipos de limpieza y tratamiento de catalizadores debido al desconocimiento de esta tecnología poco desarrollada a nivel nacional, impidiendo que los catalizadores conserven su vida útil o incrementarla por encima de los 200.000 km de recorrido, a este problema principal, se añade los altos costos y escasez de los metales precisos de los que está

constituido el catalizador, es así, que resulta fundamental validar el comportamiento de convertidor catalíticos automotrices en base a pruebas de emisiones en condiciones estáticas y dinámicas realizando un seguimiento detallado de su capacidad y ratio de conversión.

**Figura 1***Árbol de problemas*

*Nota.* Se observa el árbol de problemas para la investigación de los procesos de limpieza que ayuden a la recuperación catalítica con procesos efectivos de oxidación – reducción.



### 1.3 Descripción resumida del proyecto

El proyecto “Análisis de la aplicación del proceso de oxidación – reducción para la recuperación de convertidores catalíticos de automóviles.”, considera lo siguiente:

Con la búsqueda de fuentes bibliográficas confiables, bases de datos digitales, libros, manuales, normativas y artículos se fundamentó procesos de limpieza, tratamiento y reutilización de los catalizadores automotrices de 2 y 3 vías, con pruebas de emisiones que determinaron el comportamiento en la vida útil del convertidor catalítico en automóviles.

Se desarrolló y aplicó un método de limpieza técnico - científico a catalizadores automotrices de deshecho, homologando procedimientos en función de variables y condiciones específicas de los procesos, en los cuales se consideró rangos idóneos de temperatura y flujo de gases inertes a presión atmosférica llegando a cumplir procesos de limpieza y tratamiento óptimos de acuerdo al diagnóstico y mantenimiento específico para la reutilización de este tipo de componentes en automóviles.

La eliminación del coque y la recuperación de las características esenciales en los metales preciosos del convertidor catalítico, se obtuvo, con tratamientos de limpieza, bajo el método de oxidación – reducción a temperatura programada donde se consideró condiciones específicas como temperatura y presión.

Con los analizadores de gases Kane Auto plus 4-2 y AGS-688 se efectuó pruebas estáticas y dinámicas para ciclos urbanos y extraurbanos a catalizadores catalíticos automotrices de deshecho antes y después de la recuperación, en los cuales se consideró intervalos de tiempo, recorrido y mantenimiento de los sistemas automotrices para el vehículo de prueba.

#### **1.4 Justificación e importancia.**

Los catalizadores automotrices cumplen un rol fundamental en el control de las emisiones de fuentes móviles de los procesos de post combustión en vehículos, pero la vida útil de estos componentes se ha visto gravemente afectada debido a desconocimiento y a métodos de limpieza no adecuados que me permitan tener el óptimo rendimiento de estos catalizadores, por lo cual, este proyecto se justifica en la limpieza y reutilización de los convertidores catalíticos para el vehículo.

Este tipo de componente requiere mantenimiento preventivo y correctivo de ser necesario, cuyo fin brindará alargar la vida útil del equipo de limpieza de catalizadores automotrices de 2 y 3 vías, cuya función es la reducción de emisiones de gases contaminantes que se generan por las fuentes móviles en este caso los vehículos, al mantener estas emisiones dentro de los valores permisibles a favor del ambiente como rigen las Normativas Ecuatorianas INEN 2 :203 e INEN 2:204.

En la mayor parte del país ya se encuentran desarrollando los centros de revisión Técnica vehicular como es la CORPAIRE, cuyas exigencias de regulación y control del tránsito en el Ecuador, es que los vehículos tengan valores máximos permisibles en cuanto a emisiones para poder circular en territorio nacional, lo cual implica que los vehículos actualicen y mejoren su sistema de escape para lograr la reducción de gases nocivos, y una de sus principales propuestas es el uso de convertidores catalíticos de tres vías, cuya importancia en esta investigación se ve ligada a poder efectuar un análisis profundo a la reducción de gases contaminante y un buen funcionamiento del catalizador, y cuya información recopilada pueda ser compartida a todo el parque automotor de servicio público, logrando aportar de manera directa la reducción de gases en nuestro país, cuyo fin permita mejorar el ambiente.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo general**

- Analizar la aplicación del proceso de oxidación – reducción para la recuperación de convertidores catalíticos de automóviles.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Fundamentar científicamente fuentes bibliográficas confiables los diferentes tipos de sistemas de limpieza, tratamiento y reutilización de los catalizadores automotrices de 2 y 3 vías.
- Desarrollar y aplicar un método de limpieza y tratamiento técnico – científico para los convertidores catalíticos de deshecho.
- Homologar procedimientos de limpieza de catalizadores automotrices considerando rangos idóneos de temperatura y flujo de gases inertes a presión atmosférica que permitan la reutilización de los mismos.
- Poner a punto los equipos de mediciones de emisiones con los que cuenta los laboratorios de Autotrónica y obtener una certificación avalada por los representantes en el país de las marcas de los analizadores.
- Ejecutar ensayos test oficial de medición de emisiones acordes a las normativas vigentes aplicada en los Centros de Revisión Técnica Vehicular.
- Realizar pruebas de funcionalidad de los catalizadores automotrices junto con pruebas estáticas y de ciclos dinámicos en conducción prolongada, bajo diferentes condiciones de circulación en ciclos urbanos y extraurbanos.
- Tabular los datos obtenidos durante todas las pruebas realizadas, en base a las normativas NTE INEN 2 204:2002, NTE INEN 2 203:2000.

## 1.6 Metas

- Reutilizar convertidores catalíticos del automóvil en base a procesos de oxidación y reducción a temperatura programada con equipos de limpieza y tratamiento.
- Recuperar el 80 % de catalizadores de uso automotriz que logren un rendimiento del 90% de fiabilidad de funcionamiento.
- Validar los procedimientos de limpieza en función de reportes de emisiones bajo la normativa nacional vigente INEN.

## 1.7 Hipótesis.

El proceso de oxidación reducción aplicada al reciclaje de catalizadores de uso automotriz permitirá obtener un ratio de eficiencia de conversión catalítica del 90% para el control de emisiones de hidrocarburos y óxidos nitrosos para catalizadores de 2 y 3 vías.

## 1.8 Variables de investigación

### 1.8.1 Variable Dependiente

**Tabla 1**

*Recuperación de convertidores catalíticos*

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Transformación de gases contaminantes en gases inocuos con procesos de	Test oficial prueba al mínimo (ralentí) - prueba en aceleración	Temperatura motor	°C	Medición	Ensayo Condición de prueba
		Revoluciones motor	min <sup>-1</sup>	Medición	Ensayo Condición de prueba

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
oxidación - reducción		Hydrocarburos	ppm vol	Medición	Ensayo Limites prescritos
		Dióxido de carbono	% vol	Medición	Ensayo Limites prescritos
		Monóxido de carbono	% vol	Medición	Ensayo Limites prescritos
		Oxigeno	% vol	Medición	Ensayo Limites prescritos
		Distancia	km	Medición	Ensayo Ruta determinada
		Aceleración Máxima Mínima	mph/ s	Medición	Ensayo Condición de prueba

### 1.8.2 Variable Independiente.

**Tabla 2**

*Proceso de oxidación – reducción*

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Tecnología de punta para procesos de limpieza en convertidores catalíticos	Suministro de gas inerte	Presión	PSI	Medición	Ensayo
			KPA		Prueba de laboratorio
			Bar		Manómetro
	Oxidación programada	Temperatura	°C	Medición	Ensayo
			°F		Prueba de laboratorio
			K		Cámara termográfica
Oxidación programada	Tiempo	Tiempo	Min	Medición	Prueba de laboratorio
			Ensayo		
			Medición	Ensayo	
Oxidación programada	Temperatura	Temperatura	°C	Medición	Ensayo
			°F		Prueba de laboratorio
			K		Cámara termográfica

<b>Concepto</b>	<b>Categoría</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Ítem</b>	<b>Técnicas</b>	<b>Instrumentos</b>
	Reducción programada	Tiempo	Min	Medición	Ensayo Prueba de laboratorio Cronómetro
		Alimentación del circuito	Volts Amp	Medición	Ensayo Prueba de laboratorio
	Control electrónico	Tiempo de tratamiento	Min	Ensayo	Prueba de laboratorio
		Temperatura	°C °F K	Impresión	Impresora térmica

## Capítulo II

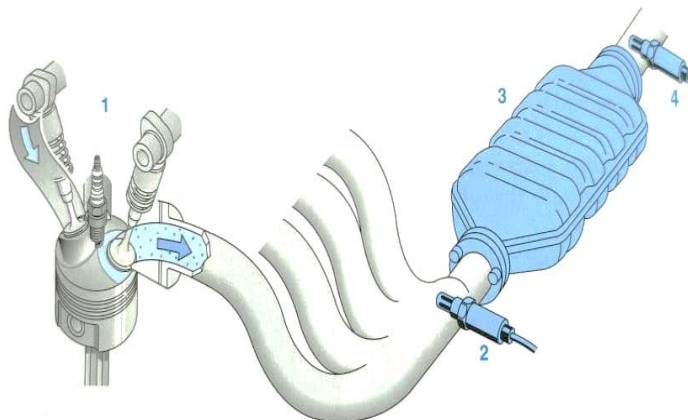
### 2. Marco Teórico

#### 2.1 Catalizadores de gases de escape

Según (Prieto Amaya, 2021) los convertidores catalíticos forman parte del sistema de escape para reducir los gases contaminantes producidos por la combustión del motor.

#### Figura 2

*Convertidor catalítico*



*Nota.* Tramo del sistema de escape con un catalizador montado cerca del motor y sondas lambda, 1. Sistema motor, 2. Sonda lambda previa al catalizador, 3. Catalizador de 3 vías, 4. Sonda lambda post catalizador. Tomada de (BOSCH, 2003).

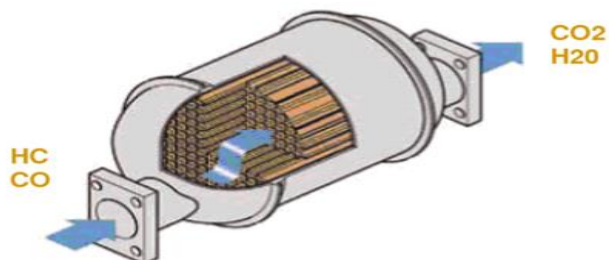
##### 2.1.1 Catalizador de 2 vías

El catalizador por oxidación, trabaja con aire modificando los hidrocarburos no combustionados (HC) junto con el monóxido de carbono (CO) en vapor de agua (H<sub>2</sub>O) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el problema de este catalizador es que no reduce los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) (Gualtieri, 2008, pág. 58).



**Figura 3**

*Convertidor catalítico de 2 vías*



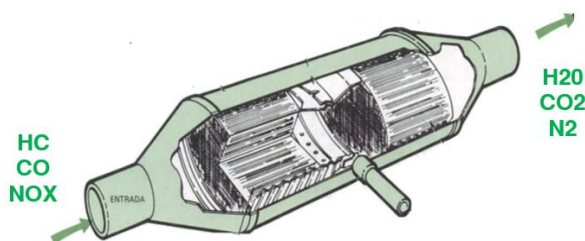
*Nota.* Se visualiza los gases a la entrada y salida del catalizador. Adaptada de (Pérez Belló, 2011, pág. 372)

### **2.1.2 Catalizador de 3 vías.**

Realiza los procesos de oxidación - reducción eliminando monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no combustionados (HC) y óxidos de nitrógeno (NOx) convirtiéndolos en agua (H<sub>2</sub>O), dióxidos de carbono (CO<sub>2</sub>) y nitrógeno (N<sub>2</sub>) (Gualtieri, 2008, pág. 59).

**Figura 4**

*Convertidor catalítico de 3 vías*



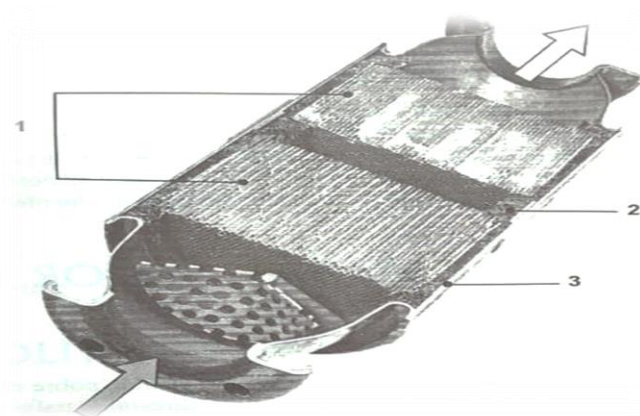
*Nota.* Catalizador de 3 vías seccionado con vista de sus elementos internos. Adaptada de (Crouse, 1993, pág. 524).

## 2.2 Componentes del catalizador

El convertidor catalítico principalmente está constituido por metales preciosos como el platino, paladio y rodio, para la conversión de los gases en su proceso catalítico de control de emisiones de gases de escape (Gualtieri, 2008).

### Figura 5

*Componentes internos de un catalizador de 3 vías*



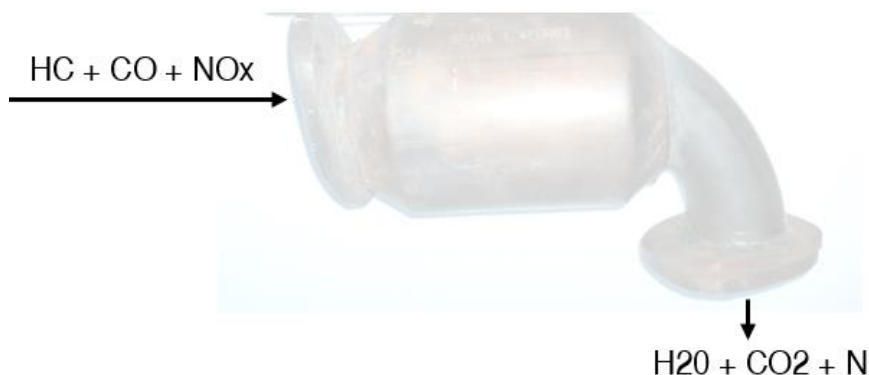
*Nota.* Catalizador que posee monolito cerámico utilizado en vehículos modernos: 1. Monolito cerámico, 2. Aislante térmico, 3. Carcasa metálica. Tomada de (Gualtieri, 2008, pág. 59).

## 2.3 Procesos catalíticos

Los procesos de oxidación y reducción se realizan con la intervención de los gases de escape con los metales preciosos del catalizador, tomando en cuenta la temperatura de funcionamiento del monolito.

## Figura 6

### Entrada y salida del catalizador



*Nota.* Catalizador de 3 vías con sus respectivos gases a la entrada del catalizador (parte superior izquierda) y salida del catalizador (parte inferior derecha) por consecuencia de los diferentes procesos de oxidación – reducción.

#### 2.3.1 Proceso de reducción

Los óxidos de nitrógeno reaccionan con el metal denominado rodio (Rh) produciendo la reducción y separación de moléculas en oxígeno y nitrógeno, preparándose para el proceso posterior de oxidación (Crouse, 1993).

#### 2.3.2 Proceso de oxidación

Reacción de los metales nobles platino y paladio con los gases de escape hidrocarburos no combustionados y el monóxido de carbono junto con las moléculas de oxígeno, da como resultado dióxido de carbono y agua (Crouse, 1993).

### 2.4 Desgaste de los catalizadores

Según (Rodríguez Melchor, 2012) el catalizador automotriz tiende a taponarse con partículas de coque por motivo de las combustiones del motor, impidiendo así que

los gases de escape salgan correctamente a la atmósfera sin cumplir con los procesos de oxidación – reducción.

### Figura 7

*Convertidor catalítico sucio*



*Nota.* Las impurezas internas del catalizador impiden los procesos de oxidación – reducción.

## 2.5 Tratamiento de convertidores catalíticos

### 2.5.1 Limpiador de carbono

Utiliza el oxihidrógeno, gas hidrógeno y oxígeno, esta sustancia se introduce al motor y se combina con el carbón que se aloja en las paredes internas, formándose un hidrocarburo, al generarse la chispa de la bujía y en unión con el oxígeno éste se combustiona y se elimina (HHO IBÉRICA, s.f.).

### 2.5.2 La sonocatálisis

Este tipo de proceso de limpieza funciona con el uso de ultrasonidos. Es una técnica que permite la separación de suciedades incrustadas en una superficie, las

descompone en pequeñas partículas que irán saliendo del catalizador mientras se mantenga al vehículo en funcionamiento (LOCTITE TEROSON, 2020).

### **2.5.3 Máquinas por circulación de gases inertes**

El gas nitrógeno y oxígeno circulan por el reactor a temperatura y tiempo programado, provocando la eliminación y expulsión de impurezas que se encuentren al interior del catalizador.

## **2.6 Normativas**

### **2.6.1 Normativa NTE INEN 2 203:2000**

Establece el método de prueba para determinar las concentraciones de gases de escape en vehículos equipos con motores a gasolina de encendido por chispa (Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN] 2203, 2000).

### **2.6.2 Normativa NTE INEN 2 204: 2002**

Menciona los límites permisibles de emisiones contaminantes generadas por fuentes móviles a gasolina en términos de porcentajes de CO y partículas por millón de HC (Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN] 2204, 2002).

## **2.7 Protocolos para emisiones de gases**

Para el control en las pruebas de emisiones contaminantes se utiliza los Protocolos Armonizados NEDC y WLTP, los cuales supervisan los diferentes gases como el CO, HC, NO<sub>x</sub> (DRIVIM, 2020).

### **2.7.1 Protocolo NEDC**

Se utiliza en pruebas dinámicas de análisis de gases, con un tiempo estimado de 20 minutos, una distancia de 11 kilómetros, 2 tipos de conducción, 66% es conducción urbana de 0 a 34 km/h y el 34% restante es conducción extraurbana de 0 a 120km/h (DRIVIM, 2020).

### **2.7.2 Protocolo armonizado WLTP**

Se basa en las condiciones de conducción diaria, con un tiempo del ciclo de 30 minutos, distancia de 23,25 kilómetros, 4 tipos de conducción separadas por urbana y suburbana de 0 a 46.5 km/h, autopista y carretera convencional de 0 a 130 km/h (Montecelos, 2019, pág. 277).

## **2.8 Máquinas utilizadas para el análisis de gases**

### **2.8.1 Analizador de gases Kane Autoplus 4-2**

Realiza mediciones dinámicas de emisiones CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub>, y factor LAMBDA, tiene un sistema de protección con trampa de agua y filtros que permiten absorber las impurezas que puedan ingresar a la máquina (GLOBALTECH, s.f.).

### **Figura 8**

*Analizador de gases Kane Autoplus 4-2*



*Nota.* La imagen muestra el analizador de gases KANE modelo AUTOPLUS 4-2 con su respectiva trampa de agua y filtro de partículas.

Por un sistema infrarrojo establece rangos de medición como el monóxido de carbono de 0 a 10%, dióxido de carbono de 0 a 16%, los hidrocarburos de 0 a 5000 partes por millón, el oxígeno de 0 a 21% con celdas electroquímicas, los óxidos de

nitrógeno de 0 a 5000 partes por millón y Lambda de 0.8 a 1.2 valor calculado automático (GLOBALTECH, s.f.).

### **2.8.2 Analizador de gases AGS-688**

Mide en porcentajes las emisiones de gases emitidos por el automóvil (CO, HC, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>), realiza pruebas continuas y test oficiales (GLOBALTECH, s.f.).

#### **Figura 9**

*Analizador de gases AGS-688*



*Nota.* En la figura se observa el analizador de gases Brain Bee modelo AGS – 688.

Realiza mediciones con rangos de 0 a 9.99% para monóxidos de carbono, de 0 a 19.9% para dióxidos de carbono, de 0 a 9999 partes por millón de hidrocarburos, de 0 a 25% de oxígeno, de 0 a 5000 partes por millón de óxidos de nitrógeno, 0.5 a 5L de lambda, 300 a 9990 rpm calculadas automáticamente (GLOBALTECH, s.f.).

### **2.8.3 MGT 300-EVO**

Medidor de revoluciones y temperatura del motor, por medio de señales enviadas al analizador de gases (GLOBALTECH, s.f.).

**Figura 10**

*Contador de revoluciones MGT 300-EVO*



*Nota.* Se observa el medidor de revoluciones de la marca BrainBee modelo MGT 300-EVO

### **2.8.3 Cámara termográfica FLUKE TiS60**

Lente integrado que funciona por infrarrojo y un puntero láser para realizar la medición de temperatura, posee un rango de medición de temperatura de entre  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $550^{\circ}\text{C}$ . (FLUKE, s.f.)



**Figura 11**

*Cámara termográfica*



*Nota:* Se observa la cámara termográfica con la pantalla principal de medición de temperatura.

### Capítulo III

#### 3. Limpieza y tratamiento de catalizadores de Desecho

El tratamiento se realizó por medio del método de oxidación - reducción aplicado al convertidor catalítico de prueba, a temperatura programada y flujo de gases inertes para la recuperación de materiales preciosos del monolito.

Se comprueba la eficacia de la reutilización de convertidores catalíticos para la disminución de porcentajes de gases contaminantes, en base a la recuperación de los metales preciosos del monolito.

#### Figura 12

*Equipo de tratamiento de convertidores catalíticos a temperatura programada*



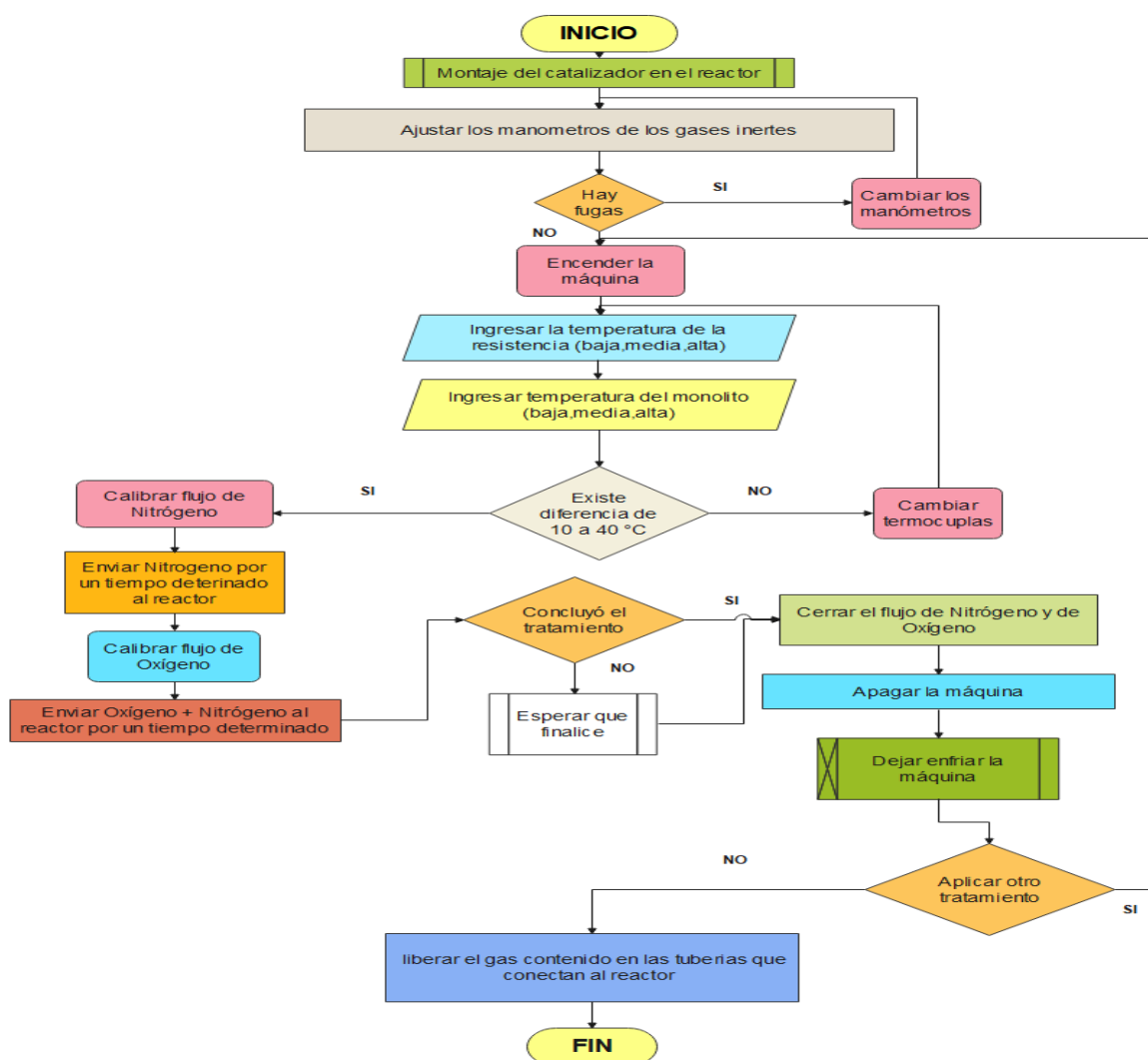
*Nota.* En el gráfico se observa el equipo utilizado para la limpieza y tratamiento del catalizador automotriz por procesos de oxidación y reducción a temperaturas programadas.

### 3.1.3 Proceso de limpieza

El tratamiento de limpieza se realiza con el control de temperaturas para la programación del sistema de calentamiento y el flujo de gases inertes del sistema neumático.

**Figura 13**

*Proceso de Limpieza Convertidores Catalíticos a Temperatura Programada*



*Nota.* La gráfica muestra el diagrama de flujo del proceso de limpieza para el tratamiento de convertidores catalíticos a temperatura programada.

### **3.3 Proceso de oxidación – reducción programada**

El proceso de oxidación – reducción se lleva a cabo con el control de temperatura en 3 fases, baja, media y alta, la programación del tiempo para el flujo de los diferentes gases utilizados en la prueba.

#### **3.3.1 Inyección de gases inertes**

Los gases inertes que circularán internamente por el reactor serán el oxígeno y el nitrógeno.

#### **3.3.2 Presión**

La inyección de gases se controla con una presión de 2 bares para el oxígeno y 1 bar para el nitrógeno en el tratamiento de limpieza.

#### **3.3.3 Temperatura**

La primera fase es a temperatura de 300°C, la segunda fase se realiza a temperatura de 400°C y la tercera fase a temperaturas de 600°C, con intervalos de enfriamiento de 1 una hora entre fases, completando un proceso de oxidación – reducción aplicado a los convertidores catalíticos de desecho.

#### **3.3.4 Tiempo**

Se aplicó un tratamiento de 45 minutos de inyección de gas nitrógeno seguido de la inyección de los gases nitrógeno + oxígeno durante 15 minutos por cada fase de temperatura propuesta.

#### **3.3.5 Calibración del flujo de gases**

Para el óptimo tratamiento de limpieza se detalla los valores medidos del flujo de los diferentes gases utilizados con la inyección a temperatura programada.

**Tabla 3***Calibración flujo volumétrico vs flujo de gases inertes*

<b>Flujo volumétrico (l/min)</b>	<b>Flujo de nitrógeno (cc/min)</b>	<b>Flujo de oxígeno (cc/min)</b>
0,0	21,4	27,0
0,1	49,9	600,
0,2	99,9	150,0
0,3	150,0	199,8
0,4	300,0	300,0
0,5	600,0	600,0
0,6	389,6	600,0

*Nota.* Se observan los valores para la calibración de los flujómetros de los diferentes gases utilizados para el tratamiento del convertidor catalítico.

En función de los puntos detallados se resume en la tabla los valores para realizar un tratamiento de limpieza óptimo.

**Tabla 4***Tratamiento de limpieza a temperatura programada*

<b>Designación</b>	<b>Valores</b>
	Primera fase 300
Temperatura (°C)	Segunda fase 450
	Tercera fase 600
Tiempo de N2 (minutos)	45
Intervalo O2 y N2 (minutos)	15
Tiempo total N2 (minutos)	60
Tiempo de espera entre fases (minutos)	60
Presión de inyección O2 (bar)	2

<b>Designación</b>	<b>Valores</b>
Presión de inyección N2 (bar)	1
Caudal Regulado O2 (cc/min)	100
Caudal Regulado N2 (cc/min)	150
Caudal Total O2 (cc/min)	1500
Caudal Total N2 (cc/min)	9000
Caudal total	10500

*Nota.* Detalle de presión, caudal, tiempo y fases de limpieza con la circulación de gases oxígeno y nitrógeno

### **3.3.6 Recuperación de materiales**

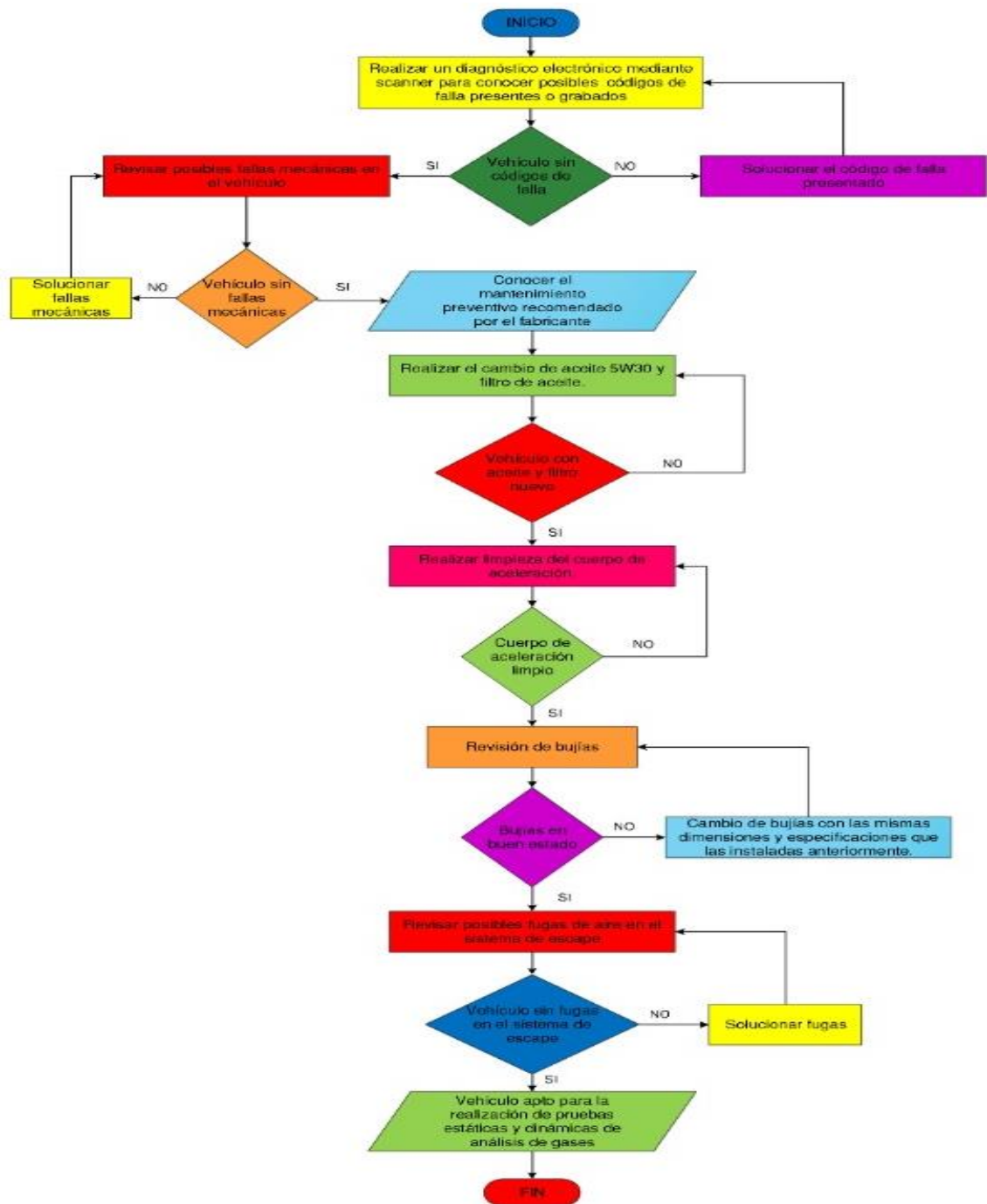
La recuperación de los materiales del monolito del convertidor catalítico se realizó por el método de oxidación – reducción a temperaturas e inyección de gases inertes de acuerdo al tipo de tratamiento establecido.

### **3.4 Mantenimiento del vehículo de prueba**

Se desarrolla el mantenimiento del vehículo de prueba de acuerdo a lo establecido por el fabricante, de manera de obtener resultados fiables para la investigación.

Figura 14

Mantenimiento del automotor



Nota. En la figura se observa el proceso para el mantenimiento del vehículo de prueba.

### 3.5 Calibración y certificación de equipos para la medición de emisiones.

La calibración de los equipos de medición de emisiones vehiculares, cumpliendo con las normas de precisión especificadas por el fabricante y la mezcla de un gas patrón para el equipo KANE AUTOPLUS 4-2.

#### Figura 15

*Certificado de calibración del equipo KANE AUTOPLUS 4-2*

**GLOBALTECH**

**LAUNCH** **tektino** **BrainBee**  
AUTOMOTRICES

**G-SCAN** **LIFTS** **CT** **SUPER TOOLS** **VTEQ**

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN ANALIZADOR DE GASES AUTOPLUS4-2**

Quito, 06 de julio de 2021

Como representantes de la marca **KANE - UK** certificamos que el analizador de gases modelo **AUTOPLUS4-2**, Serie No. **026217333** fue calibrado satisfactoriamente con fecha **06** de **julio** de **2021** cumpliendo con las normas de precisión establecidas por el fabricante del equipo y del gas patrón.

La mezcla de gas patrón utilizada para el efecto fue fabricada por la empresa **MESSER** filial de **LINDE DE COLOMBIA**, cuyos datos principales son:

**ORDEN DE PRODUCCIÓN: 62380**  
**No. SERIE DEL CILINDRO: FF522540**  
**No. ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO: 15417**

Como referencia, en la siguiente página consta el Certificado de Análisis del gas patrón emitido por la empresa **MESSER** y el resultado de la verificación.

La validez de la calibración es de un año calendario a partir de la presente fecha.

Atentamente,



**GLOBALTECH**  
EQUIPOS AUTOMOTRICES

**IVAN AVILA**  
**GLOBALTECH**


*Nota.* Se observa el certificado de calibración del analizador de gases Kane modelo Autoplus 4-2 cumpliendo con las normas de precisión y fabricación del equipo con el gas patrón.



El analizador de gases Kane Autoplus 4-2 serie 026217333 se calibró con el gas patrón por medio de los valores revelados para los diferentes gases de escape 3.50 CO, 14.0 CO<sub>2</sub>, 10.15 HC, del cual se verifica que se obtienen valores positivos y el cumplimiento de los parámetros otorgados por el fabricante.

### Figura 16

Verificación de la máquina KANE AUTOPLUS 4-2 con gas patrón

		ANÁLISIS DE GASES			
		VERIFICACIÓN CON GAS PATRÓN			
ANALIZADOR		AUTOPLUS4.2			
Número de serie		026217333			
GLOBALTECH					
CALLE: LUIS NAPOLEON DILLON N59-102			(02) 2294640 - 2535436		
QUITO			GLOBALTECHCAR@GMAIL.COM		
Datos del vehículo:					
Marca			Modelo		
Matrícula			No. Chasis		
Combustible	: GASOLINA		Km recorridos		
Valores revelados:					
Temp. Motor	[ °C ]	0	VALORES DEL GAS PATRÓN CERTIFICADO: FF522540/15417 - PATRÓN VÁLIDO HASTA 19-ENERO-2022		
RPM	[ 1/min ]	0			
COcorr	[ %Vol ]	3.50			
Lambda	[ - ]		VALOR	GAS	RESULTADO
CO	[ %Vol ]	3.53	3.50	CO	OK
CO <sub>2</sub>	[ %Vol ]	13.9	14.0	CO <sub>2</sub>	OK
HC	[ ppmVol ]	1016	1015	HC	OK
O <sub>2</sub>	[ %Vol ]				
NO	[ ppmVol ]				
Fecha y hora prueba		06/07/2021 15:40			
<b>Sello</b> Los valores medidos por el equipo cumplen con parámetros de exactitud fijados por el fabricante del Gas Patrón utilizado en la calibración del <b>2021-07-06</b>					
Firma					

*Nota.* En la figura se observan los valores medidos de porcentajes de gases contaminantes para la verificación y cumplimiento de los parámetros determinados por el fabricante con gas patrón.

El certificado de calibración del analizador de gases AGS – 688 serie 16051300054 el mismo que fue calibrado por la empresa que se dedica a la fabricación y mantenimiento de este tipo de equipos para el análisis de gases de escape.

### Figura 17

*Certificado de calibración del analizador de gases AGS-688*

**GLOBALTECH**

**LAUNCH** **tehting** **BrainBee**  
**G-SCAN** **LIFTS** **GT SUPER TOOLS** **VTEQ**

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN ANALIZADOR DE GASES AGS-688**

Quito, 06 de julio de 2021

Como representantes de la marca **Brain Bee** certificamos que el analizador de gases modelo **AGS-688**, Serie No. **16051300054** fue calibrado satisfactoriamente con fecha **06** de **julio** de **2021** cumpliendo con las normas de precisión establecidas por el fabricante del equipo y del gas patrón.

La mezcla de gas patrón utilizada para el efecto fue fabricada por la empresa **MESSER** filial de **LINDE DE COLOMBIA**, cuyos datos principales son:

**ORDEN DE PRODUCCIÓN: 62380**  
**No. SERIE DEL CILINDRO: FF522540**  
**No. ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO: 15417**

Como referencia, en la siguiente página consta el Certificado de Análisis del gas patrón emitido por la empresa **MESSER** y el resultado de la verificación.

La validez de la calibración es de un año calendario a partir de la presente fecha.

Atentamente,

  
**IVAN AVILA**  
**GLOBALTECH**

**GLOBALTECH**  
**EQUIPOS AUTOMOTRICES**

*Nota.* En la figura se muestra el certificado de calibración del analizador de gases AGS – 688, cumpliendo las normas de precisión establecidas por el fabricante al realizar la verificación con gas patrón.

El analizador de gases AGS – 688 fue verificado en base al gas patrón en porcentajes máximos para los diferentes gases de escape 3.50 CO, 14.0 CO<sub>2</sub>, 10.15 HC obteniendo valores positivos en la calibración.

### Figura 18

Verificación de la máquina AGS-688 con gas patrón

 <b>BrainBee<sup>®</sup></b> <small>AUTOMOTIVE</small>		<b>ANÁLISIS GASES ESCAPE</b> <b>VERIFICACIÓN CON GAS PATRÓN</b>	
ANALIZADOR	AGS-688	CUENTARREVOLUCIONES	mgt300
Número de serie	16051300054	Número de serie	
<b>GLOBALTECH</b>			
CALLE: LUIS NAPOLEON DILLON N59-102		(02) 2294640 - 2535436	
QUITO		GLOBALTECHCAR@GMAIL.COM	
<b>Datos del vehículo:</b>			
Marca	:	Modelo	:
Matricula	:	No. Chasis	:
Combustible	: GASOLINA	Km recorridos	:
<b>Valores relevados:</b>			
Temp. Motor	[ °C ]	:	0
RPM	[ 1/min ]	:	0
COcorr	[ %Vol ]	:	3.50
Lambda	[ - ]	:	
CO	[ %Vol ]	:	3.52
CO <sub>2</sub>	[ %Vol ]	:	13.9
HC	[ ppmVol ]	:	1017
O <sub>2</sub>	[ %Vol ]	:	
NO	[ ppmVol ]	:	----
<b>VALORES DEL GAS PATRÓN CERTIFICADO: FF522540/15417</b> <b>- PATRÓN VÁLIDO HASTA 19-ENERO-2022</b>			
		VALOR	GAS
		RESULTADO	
		3.50	CO
		14.0	CO <sub>2</sub>
		1015	HC
			OK
			OK
			OK
Fecha y hora prueba	:	06/07/2021 12:05	
Sello	<b>Los valores medidos por el equipo cumplen con parámetros de exactitud fijados por el fabricante del Gas Patrón utilizado en la calibración del 2021-07-06</b>		
Firma			

*Nota.* Se observa el cumplimiento de los valores de gases de escape por medio de la calibración del equipo AGS – 688 utilizando gas patrón.

### 3.6 Rangos de temperatura del catalizador.

Se realizó las mediciones con la cámara termográfica para controlar la temperatura del catalizador, para lo cual se establece 4 puntos de medición.

#### Figura 19

*Puntos de medición de temperatura del catalizador de desecho*



*Nota.* Se muestran los diferentes puntos de mediciones a tomar en cuenta para el análisis

#### 3.9.1 Proceso de calentamiento del convertidor

El aumento de temperatura se registró durante 44 minutos, en intervalos de 2 minutos cada medición, hasta alcanzar su temperatura de funcionamiento, para establecer la curva de calentamiento.

**Tabla 5***Resultados obtenidos proceso de calentamiento*

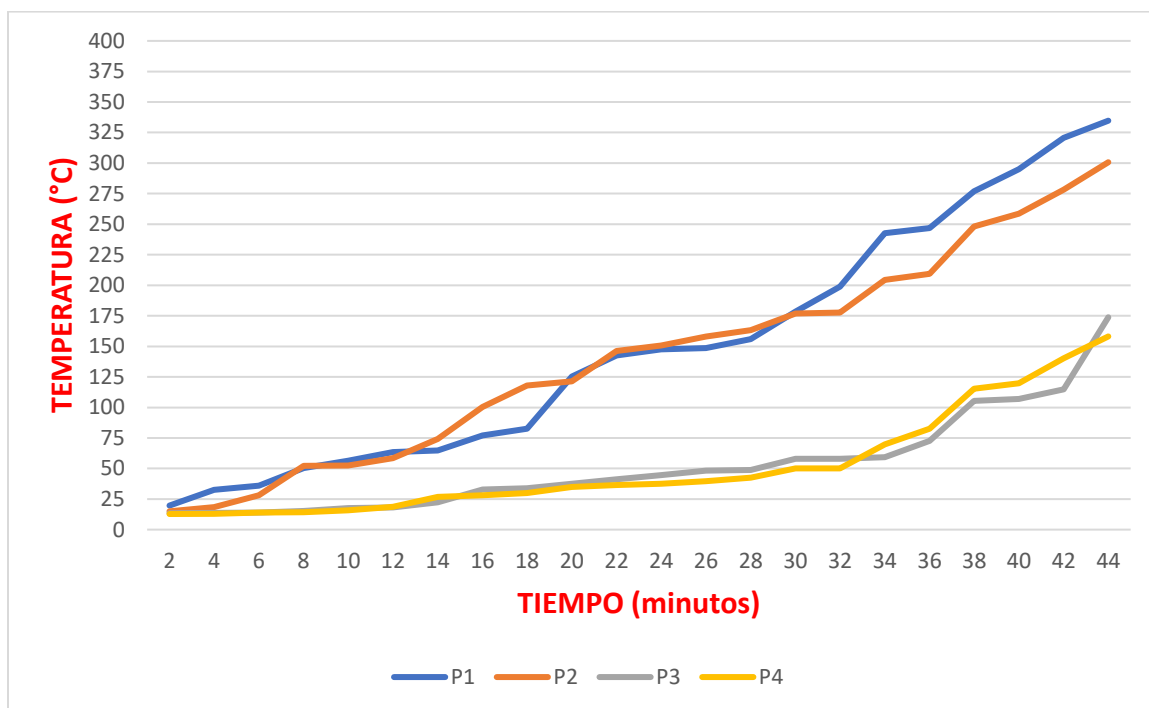
<b>Nº. Medición</b>	<b>Punto 1 (°C)</b>	<b>Punto 2 (°C)</b>	<b>Punto 3 (°C)</b>	<b>Punto 4 (°C)</b>
<b>1</b>	19.7	15.0	13.4	12.8
<b>2</b>	32.5	18.5	13.7	12.9
<b>3</b>	35.9	28.1	14.1	13.9
<b>4</b>	50.5	52.1	15.2	14.3
<b>5</b>	56.5	52.5	17.6	15.7
<b>6</b>	63.4	58.6	18.1	18.6
<b>7</b>	64.8	74.2	22.4	26.9
<b>8</b>	77.0	100.4	32.8	28.0
<b>9</b>	82.5	118.0	33.9	29.9
<b>10</b>	125.3	121.4	37.6	35.0
<b>11</b>	142.6	146.3	41.3	36.4
<b>12</b>	147.6	150.6	44.7	37.5
<b>13</b>	148.5	157.9	48.3	39.7
<b>114</b>	155.9	163.3	48.7	42.4
<b>15</b>	178.4	176.9	57.9	50.1
<b>16</b>	198.9	177.7	58.0	50.1
<b>17</b>	242.5	204.4	59.4	69.7
<b>18</b>	246.7	209.3	72.6	82.5
<b>19</b>	276.9	248.0	105.4	115.2
<b>20</b>	295.1	258.7	107.0	119.8
<b>21</b>	320.6	278.2	114.8	140.2
<b>22</b>	334.7	300.7	173.8	158.1

*Nota.* Registro del aumento de temperatura del catalizador durante todo el proceso de calentamiento del mismo.

Se analiza en la gráfica el aumento progresivo de temperatura, en todos los puntos de medición, se observa una variación de 19.7 °C a 334,7 °C en un tiempo total de 44 minutos estableciendo un aumento de 315 °C.

**Figura 20**

*Curva de calentamiento del convertidor*



*Nota.* La gráfica muestra, el valor máximo de temperatura en cada punto, siendo el más considerable el punto 1, con un valor de 334.7 °C.

### 3.9.2 Proceso de enfriamiento

Se realizó 30 mediciones durante 90 minutos con intervalos de medición cada 3 minutos para establecer la curva de enfriamiento del catalizador.

**Tabla 6***Resultados obtenidos proceso de enfriamiento*

<b>Nº. Medición</b>	<b>Punto 1 (°C)</b>	<b>Punto 2 (°C)</b>	<b>Punto 3 (°C)</b>	<b>Punto 4 (°C)</b>
1	334.7	300.7	173.8	158.1
2	308.0	253.8	109.4	147.1
3	258.0	233.3	98.3	129.0
4	245.2	205.3	89.2	113.3
5	222.8	191.8	86.1	94.9
6	195.1	177.8	85.0	89.5
7	177.6	161.9	78.6	88.7
8	173.6	143.8	75.9	78.9
9	150.4	142.5	71.9	70.4
10	141.8	120.4	68.6	65.3
11	133.9	107.6	65.6	58.0
12	124.0	103.0	57.6	55.2
13	119.0	92.9	59.6	49.9
14	109.1	86.4	53.5	48.1
15	102.3	82.2	53.4	47.3
16	91.3	81.6	43.4	44.8
17	84.5	78.3	44.8	42.7
18	76.1	67.5	43.8	42.6
19	73.4	61.2	40.3	40.6
20	67.7	57.8	38.0	40.0
21	62.6	53.7	37.2	35.5
22	54.9	50.2	31.5	33.9
23	48.4	47.2	30.1	31.4
24	46.0	39.4	25.3	26.2
25	42.5	36.1	21.6	21.5
26	40.9	34.8	20.7	20.3
27	35.3	30.6	19.4	20.0

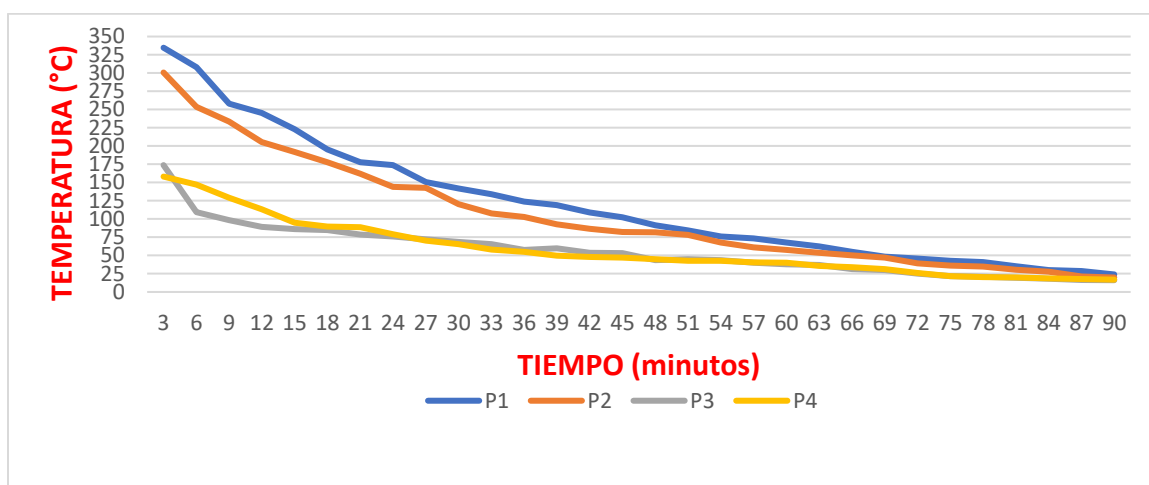
Nº. Medición	Punto 1 (°C)	Punto 2 (°C)	Punto 3 (°C)	Punto 4 (°C)
28	30.2	27.6	18.3	18.7
29	28.8	21.3	16.4	17.7
30	24.0	19.8	16.1	16.9

*Nota.* Valores de temperatura registrados durante el enfriamiento del catalizador de prueba.

Se aprecia la disminución progresiva de temperatura en el catalizador automotriz de desecho, se analiza en la gráfica, reduciéndose uniformemente en todos los puntos de medición establecidos, a través de una variación desde 334.7 °C a 16.9°C, con una disminución de 317.8 °C en un intervalo de tiempo de 1,5 h.

### Figura 21

*Curva de enfriamiento del convertidor*



*Nota:* La gráfica muestra la relación progresiva de disminución de temperatura en todos los puntos de medición del catalizador de desecho con la cámara termográfica.



## Capítulo IV

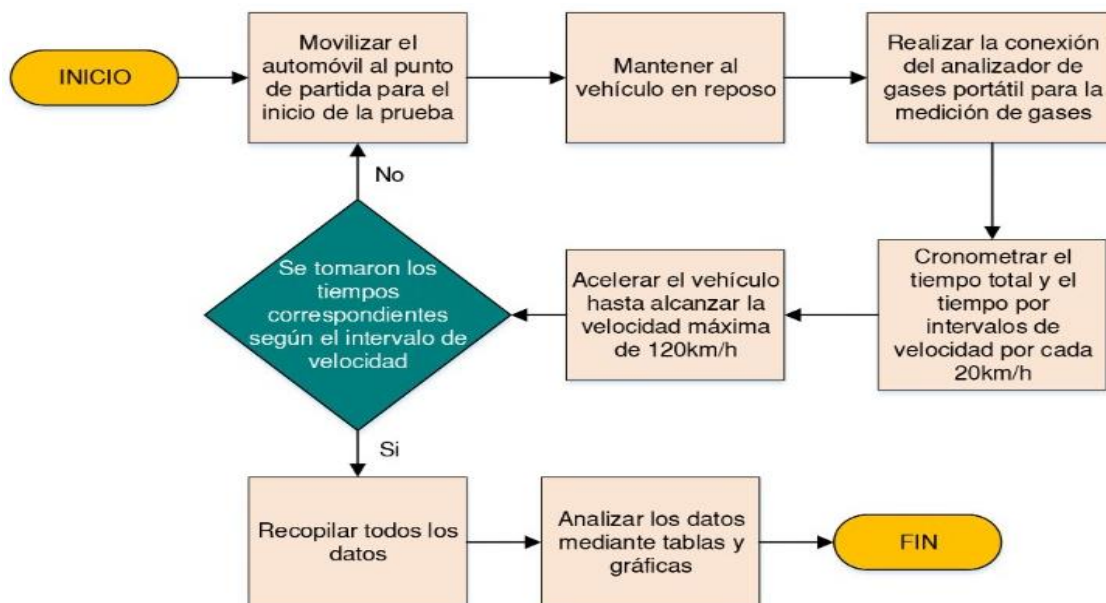
### 4. Ensayos de emisiones y análisis de resultados

#### 4.1 NEDC

Se consideró para la zona extraurbana la velocidad de prueba de 0 a 120 km/h, con un intervalo de medición de 20 km/h en un tiempo cronometrado de 0 a 29 segundos, para la obtención de las emisiones de gases.

**Figura 22**

*Zona extraurbana – NEDC*

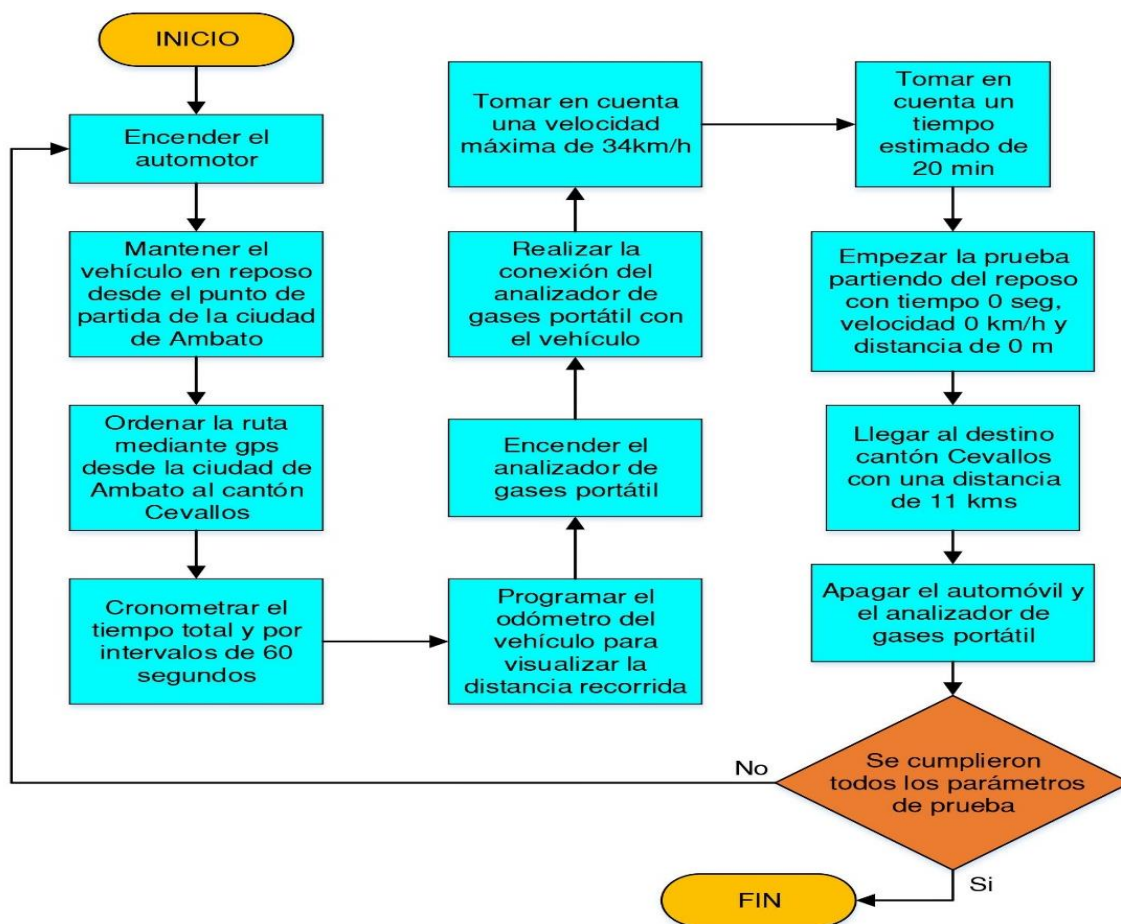


*Nota.* Se detallan los pasos a seguir para el cumplimiento de los ensayos.

La zona Urbana se efectuó con una velocidad variable dentro del rango de 0 a 34 km/h, con una distancia de 11km, en la ruta Ambato sector Huachi Chico - Cantón Cevallos, en un tiempo estimado de 20 minutos, con registro de valores cada 60 segundos

Figura 23

Zona Urbana - NEDC



Nota. La gráfica establece los parámetros establecidos para desarrollar las pruebas.

#### 4.1.1 Zona extraurbana – Catalizador de desecho

Se tabuló los resultados obtenidos a partir de los valores promedio de las emisiones de 7 ensayos con 6 mediciones.

Tabla 7

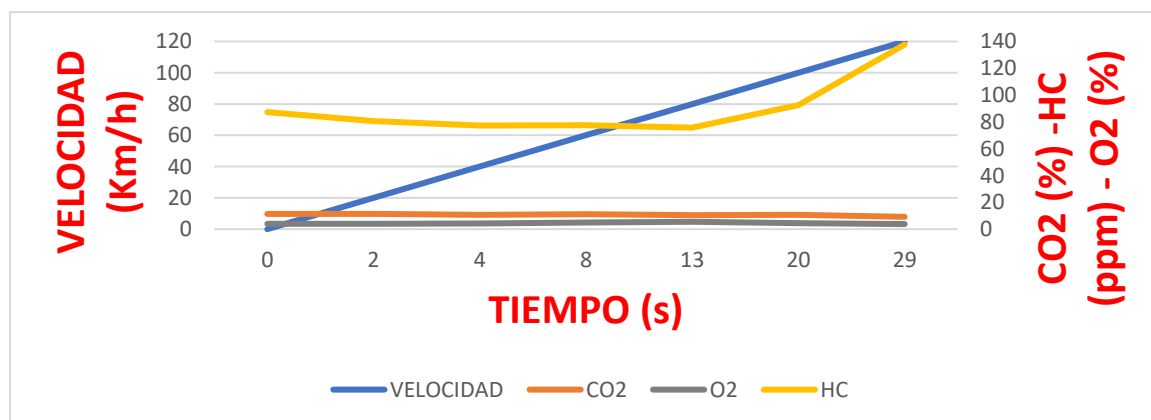
Promedios Zona extraurbana – NEDC – catalizador de desecho

Orden	Velocidad (Km/h)	Tiempo (s)	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (ppm)
0	0.0	0.0	11,4	0,2	3,9	87,3
1	20.0	2.0	11,3	0,1	4,0	80,7
2	40.0	4.0	10,8	0,1	4,2	77,3
3	60.0	8.0	11,2	0,1	5,1	77,4
4	80.0	13.0	10,6	0,1	5,5	75,7
5	100.0	20.0	10,7	0,2	4,4	92,4
6	120.0	29.0	9,2	2,6	3,8	137,7

Nota. La tabla, detalla las emisiones promedias tabuladas, al transcurrir los ensayos dinámicos efectuados al vehículo de prueba.

Figura 24

Relación emisiones de CO2-O2-HC – NEDC – catalizador de desecho



Nota. La gráfica proporciona una comparación significativa en relación a los valores de emisiones de CO2, HC y O2 para su respectivo análisis.

La relación de hidrocarburos, dióxidos de carbono y oxígenos, se observa, en la prueba NEDC catalizador de desecho, en diferentes rangos de velocidad, se aprecia a 120 km/h emisiones de HC en 137.7 ppm, CO<sub>2</sub> en 9.2 % y O<sub>2</sub> en 3.8%; mientras tanto a 60 km/h generación de subproductos de la combustión de HC 77.4 ppm y CO<sub>2</sub> 11.2% y O<sub>2</sub> 5.1%; estableciendo una deficiencia en el control de agentes contaminantes, a partir del incremento de oxígeno, en 1.3%, siendo lo ideal que disminuya.

#### 4.1.2 Zona extraurbana – Catalizador nuevo

Detalle de 6 mediciones, obtenidas al completar 7 ensayos propuestos para el registro de dióxido de carbono, monóxido de carbono, oxígeno e hidrocarburos no combustionados.

**Tabla 8**

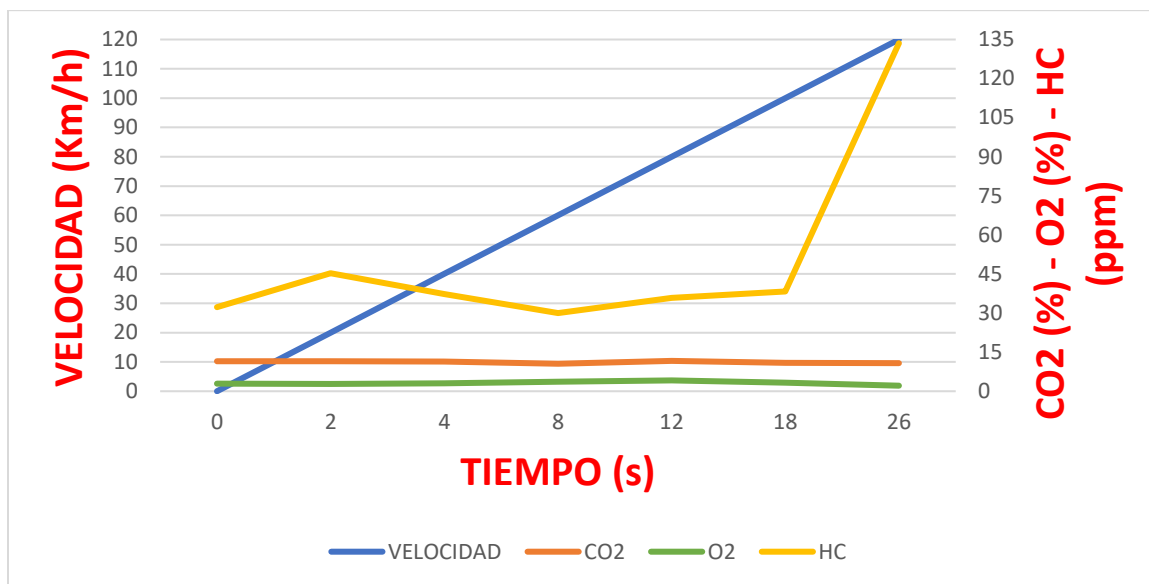
*Promedios Zona extraurbana – NEDC – catalizador nuevo*

Orden	Velocidad (Km/h)	Tiempo (s)	CO <sub>2</sub> (%)	CO (%)	O <sub>2</sub> (%)	HC (ppm)
0	0,0	0,0	11,5	0,0	2,9	32,3
1	20,0	2,0	11,5	0,1	2,8	45,3
2	40,0	4,0	11,4	0,0	3,0	37,3
3	60,0	8,0	11,6	0,1	3,7	30,0
4	80,0	12,0	10,6	0,1	4,2	35,9
5	100,0	18,0	10,9	0,1	3,3	38,3
6	120,0	26,0	10,8	1,0	2,1	133,6

*Nota.* La tabla analiza los valores tabulados, completado los ensayos en tiempo cronometrado de 26 segundos.

**Figura 25**

*Relación emisiones de CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>-HC – NEDC – Catalizador nuevo*



*Nota.* La gráfica complementa la relación CO<sub>2</sub>-HC, con los valores de O<sub>2</sub> producidos en todo el transcurso de los ensayos propuestos.

Los valores iniciales de dióxido de carbono, oxígeno e hidrocarburos no combustiónados son 11.5%, 2.9% y 32.3 ppm respectivamente, mientras tanto a 80km/h se visualiza registros de 10.6% CO<sub>2</sub>, 4.2% O<sub>2</sub> y 35.9 ppm HC, determinado óptimo el proceso de combustión, a partir de la disminución de CO<sub>2</sub> en 0.9%, junto con el aumento de O<sub>2</sub> y HC.

#### **4.1.3 Zona urbana – Catalizador de desecho**

Se tabuló los datos obtenidos cada 120 segundos para facilidad de análisis y una mejor visualización, efectuado 7 ensayos.

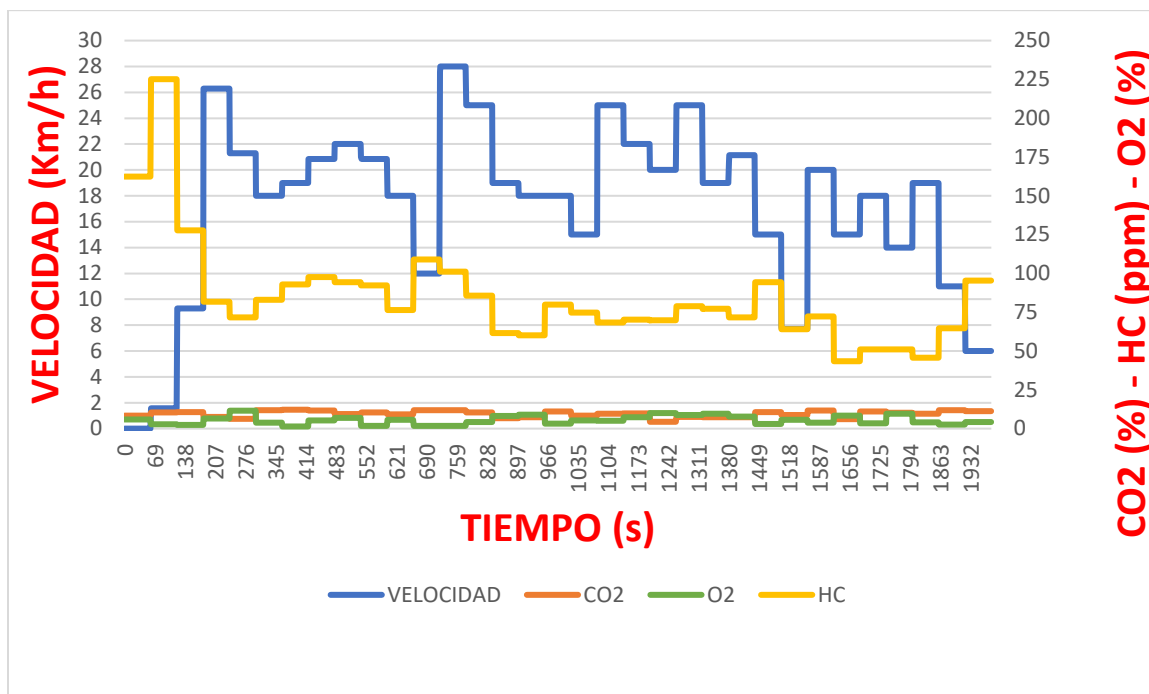
**Tabla 9***Promedios Zona urbana – NEDC – catalizador de desecho*

<b>Orden</b>	<b>Velocidad (Km/h)</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>CO2 (%)</b>	<b>CO (%)</b>	<b>O2 (%)</b>	<b>HC (ppm)</b>
1	0,0	0,0	8,3	0,2	6,0	162,3
2	9,0	120,0	10,6	0,5	2,4	127,7
3	21,0	240,0	6,3	0,1	11,6	71,6
4	19,0	360,0	12,2	0,2	1,4	92,9
5	22,0	480,0	9,3	0,4	6,9	94,4
6	18,0	600,0	9,2	0,2	5,7	76,4
7	28,0	720,0	11,8	0,5	1,8	101,1
8	19,0	840,0	6,8	0,4	8,2	61,6
9	18,0	960,0	11,1	0,4	3,2	80,0
10	25,0	1080,0	9,7	0,3	5,0	68,4
11	20,0	1200,0	4,4	0,4	10,1	69,7
12	19,0	1320,0	7,4	0,2	9,6	77,1
13	15,0	1440,0	10,7	0,2	3,0	94,3
14	20,0	1560,0	11,7	0,4	3,8	72,3
15	18,0	1680,0	11,0	0,2	3,4	51,1
16	19,0	1800,0	9,6	0,3	4,0	45,7
17	6,0	1920,0	11,3	0,4	4,3	95,3

*Nota.* La tabla, detalla la tabulación de los valores promedios de los gases CO2, CO, HC, O2.

**Figura 26**

*Relación emisiones de CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>-HC – NEDC – catalizador de desecho*



*Nota.* La gráfica complementa la relación CO<sub>2</sub>-HC con las emisiones de O<sub>2</sub> resultantes del proceso de combustión.

A los 720 segundos del ensayo, se evidencia valores de 11.8% dióxido de carbono, 1.8% oxígeno y 101.1 ppm hidrocarburos no combustionados, respecto a sus mediciones en los 1920 segundos de prueba, existe emisiones de 11.3% CO<sub>2</sub>, 4.3% O<sub>2</sub> y 95.3 ppm HC, lo cual establece una combustión inadecuada, siendo la proporcionalidad en el control de agentes contaminantes deficiente, debido a la disminución en 0.5% de CO<sub>2</sub> cuando los hidrocarburos disminuyen de igual forma.

#### 4.1.4 Zona urbana – Catalizador nuevo

En base a una ruta y parámetros establecidos, se realizó 4 ensayos con toma de datos cada 60 segundos, para una mejor visualización y facilidad de análisis se tabuló los registros obtenidos en 120 segundos.

**Tabla 10**

*Promedios Zona urbana – NEDC – Catalizador nuevo*

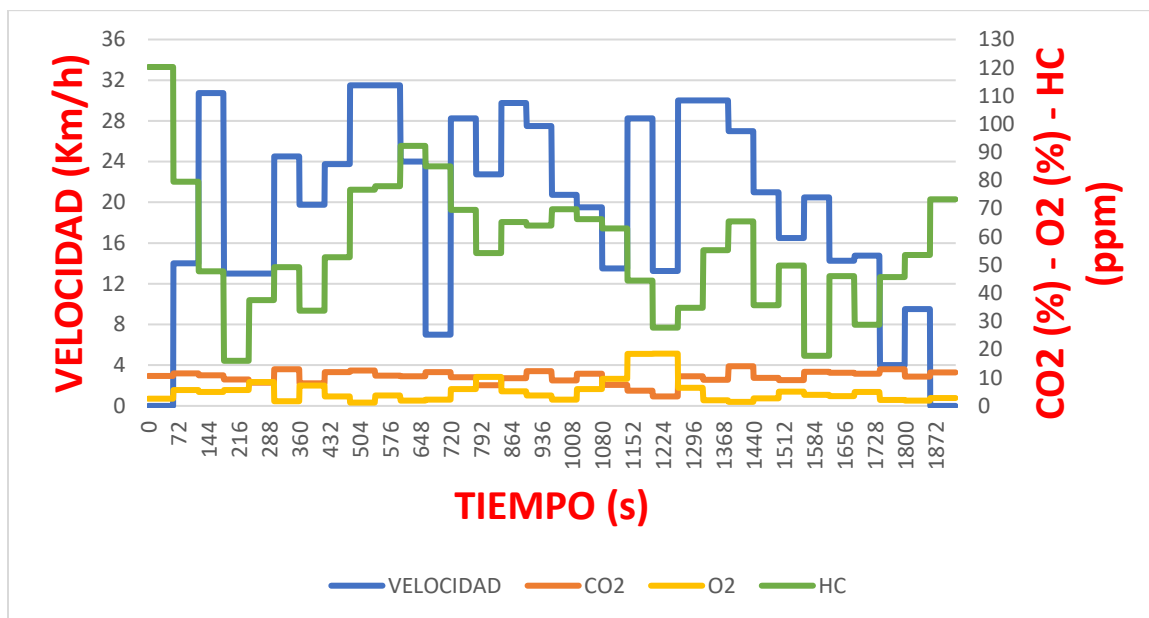
Orden	Velocidad (Km/h)	Tiempo (s)	CO <sub>2</sub> (%)	CO (%)	O <sub>2</sub> (%)	HC (ppm)
1	0,0	0,0	10,7	0,31	2,52	120,25
2	31,0	120,0	11,5	0,2	5,6	79,5
3	31,0	240,0	6,3	0,1	11,6	71,6
4	31,0	360,0	12,2	0,2	1,4	92,9
5	31,0	480,0	9,3	0,4	6,9	94,4
6	31,0	600,0	9,2	0,2	5,7	76,4
7	31	720,0	11,8	0,5	1,8	101,1
8	31	840,0	6,8	0,4	8,2	61,6
9	31	960,0	11,1	0,4	3,2	80,0
10	31	1080,0	7,5	0,1	9,7	63,0
11	31	1200,0	4,4	0,4	10,1	69,7
12	31	1320,0	7,4	0,2	9,6	77,1
13	31	1440,0	10,7	0,2	3,0	94,3
14	31	1560,0	11,7	0,4	3,8	72,3
15	31	1680,0	11,0	0,2	3,4	51,1
16	31	1800,0	10,4	0,3	1,8	53,5
17	31	1920,0	11,3	0,4	4,3	95,3

*Nota.* La tabla resume las 33 mediciones obtenidas en cada ensayo propuesto.



**Figura 27**

*Relación emisiones de CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>-HC – NEDC – Catalizador nuevo*



*Nota.* La gráfica complementa los valores de oxígeno con el análisis descrito anteriormente.

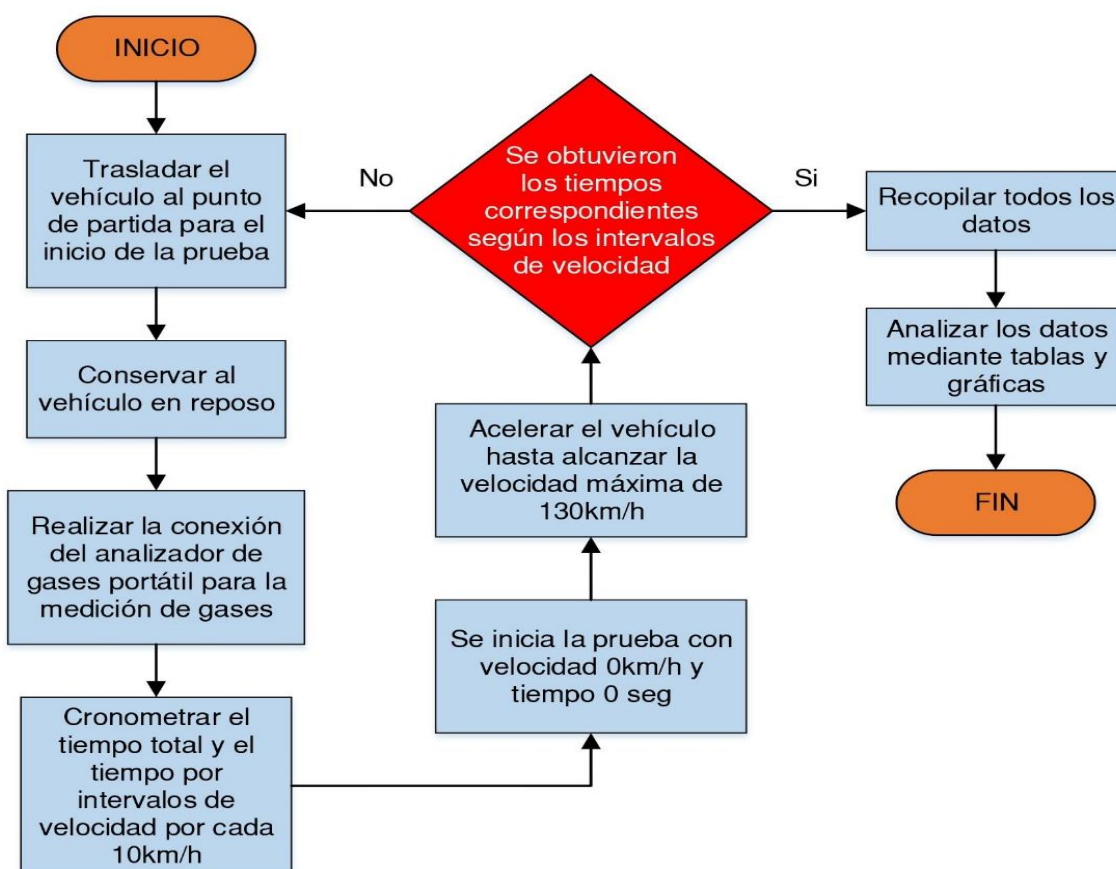
Los valores de hidrocarburos no combustionados, oxígenos, dióxidos de carbono en los 120 segundos, son 79.5 ppm, 5.6% y 0,2% respectivamente, en relación a los registros de los 1800 segundos, se visualiza valores de 53.3 ppm HC, 1.8% O<sub>2</sub> y 0.3% CO<sub>2</sub>, afirmando un proceso de oxidación – reducción eficiente, ya que se cumple con la característica esencial de O<sub>2</sub> - HC disminuyan y CO<sub>2</sub> aumenten conjuntamente en el mismo intervalo de tiempo y velocidad, acorde a un catalizador nuevo.

## 4.2 WLTP

Los parámetros para el desarrollo de este protocolo armonizado en zona extraurbana son un rango de velocidad de 0 a 130 km/h, con un intervalo de registro cada 10km/h, en un tiempo cronometrado de 0 a 32 segundos.

**Figura 28**

*Zona extraurbana – WLTP*

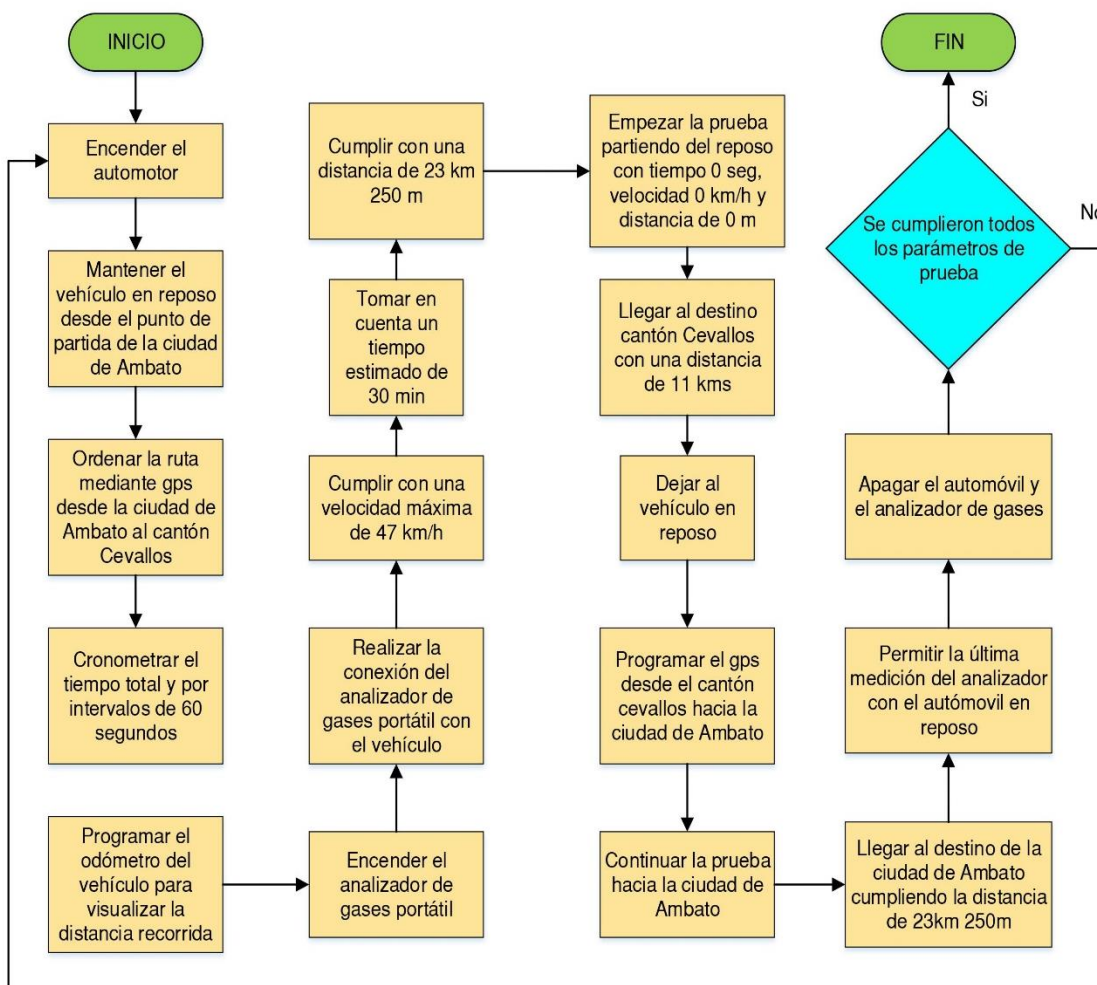


*Nota.* La gráfica desarrolla un procedimiento adecuado, para la ejecución de los ensayos.

La zona Urbana establece una distancia de 23 km 250 metros, con una velocidad dentro de un rango 0 a 47 km/h en un tiempo propuesto de 30 minutos, en la ruta Ambato sector Huachi Chico - Cantón Cevallos.

**Figura 29**

*Zona Urbana - WLTP*



*Nota.* Se detallan las condiciones de prueba para los ensayos.

#### **4.2.1 Zona extraurbana – catalizador de desecho**

Realizado los 7 ensayos establecidos, se obtiene 13 mediciones en cada uno, para el análisis de las emisiones de gases contaminantes.

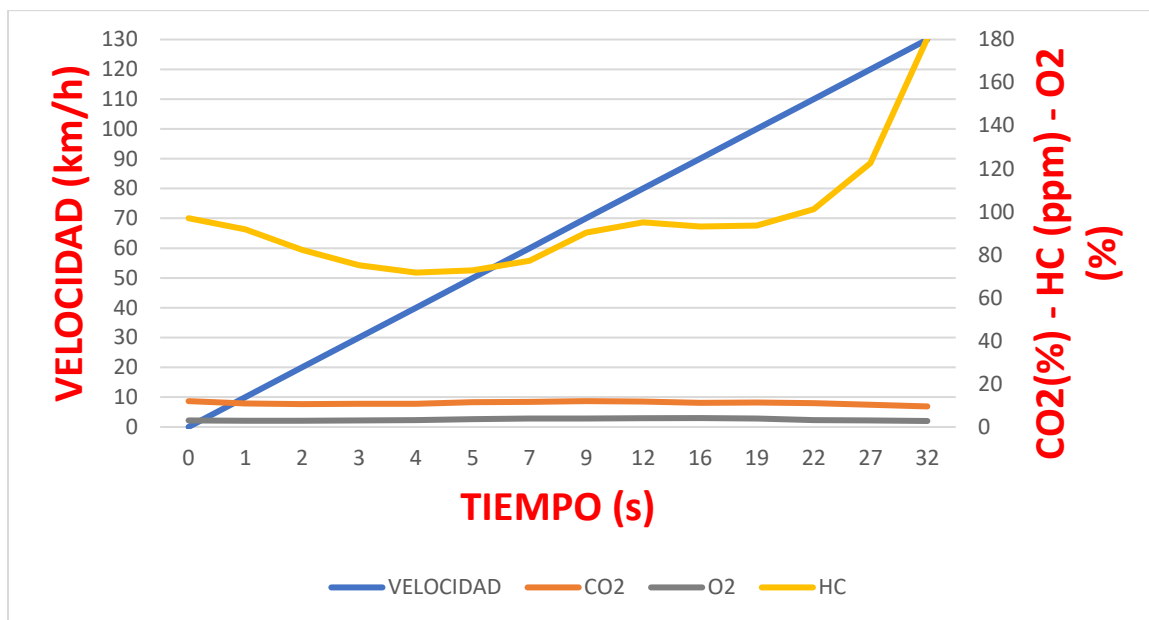
**Tabla 11***Promedios Zona extraurbana – WLTP – catalizador de desecho*

<b>Orden</b>	<b>Velocidad (Km/h)</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>CO2 (%)</b>	<b>CO (%)</b>	<b>O2 (%)</b>	<b>HC (ppm)</b>
0	0,0	0,0	12,0	0,1	3,0	97,0
1	10,0	1,0	10,9	0,1	3,0	91,9
2	20,0	2,0	10,6	0,0	3,0	82,3
3	30,0	3,0	10,7	0,0	3,0	75,1
4	40,0	4,0	10,8	0,0	3,2	71,7
5	50,0	5,0	11,5	0,1	3,6	72,7
6	60,0	7,0	11,7	0,1	3,9	77,3
7	70,0	9,0	12,0	0,2	4,0	90,3
8	80,0	12,0	11,9	0,2	4,1	95,0
9	90,0	16,0	11,3	0,2	4,1	93,1
10	100,0	19,0	11,4	0,2	3,9	93,6
11	110,0	22,0	11,0	0,3	3,1	101,1
12	120,0	27,0	10,4	0,8	3,0	122,6
13	130,0	32,0	9,5	3,1	2,8	180,6

*Nota.* La tabla, puntualiza los valores de emisiones promedios para los ensayos realizados, seguido de su posterior análisis.

**Figura 30**

Relación emisiones de CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>-HC – WLTP – catalizador desecho



*Nota.* La gráfica muestra, el análisis de emisiones vs un rango de velocidad establecida

Analizando los valores iniciales y finales del ensayo, se obtienen como datos de partida valores de HC en 97.0 ppm, CO<sub>2</sub> en 12.0% y O<sub>2</sub> en 3.0%; Mientras tanto a una velocidad de 130 km/h, se observa registros de emisiones de hidrocarburos no combustionados 180.6 ppm, dióxidos de carbono 9.5% y oxígenos 2.8%, determinando deficiente el proceso de oxidación – reducción, consecuencia de una disminución en 0.2% los O<sub>2</sub>, cuando la relación ideal dicta que aumente conjuntamente con los HC en tanto los CO<sub>2</sub>.

#### 4.2.2 Zona extraurbana – catalizador nuevo

La tabla, describe las emisiones dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), oxígenos (O<sub>2</sub>) e hidrocarburos no combustionados (HC), resultantes de 13 mediciones obtenidas en los ensayos propuestos.

**Tabla 12**

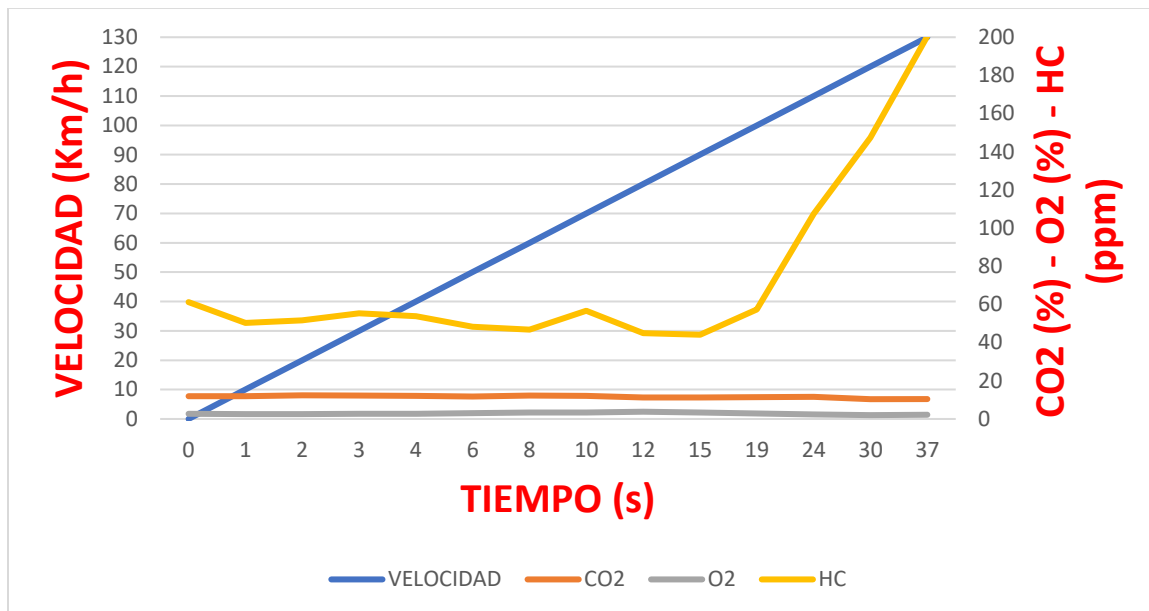
*Promedios Zona extraurbana – WLTP – Catalizador nuevo*

Orden	Velocidad (Km/h)	Tiempo (s)	CO <sub>2</sub> (%)	CO (%)	O <sub>2</sub> (%)	HC (ppm)
0	0,0	0,0	12,0	0,1	2,6	61,3
1	10,0	1,0	12,0	0,1	2,6	50,3
2	20,0	2,0	12,4	0,1	2,6	51,7
3	30,0	3,0	12,3	0,1	2,7	55,4
4	40,0	4,0	12,1	0,1	2,8	53,9
5	50,0	6,0	11,8	0,0	3,1	48,3
6	60,0	8,0	12,3	0,1	3,4	46,9
7	70,0	10,0	12,1	0,2	2,1	56,7
8	80,0	12,0	11,3	0,1	3,8	45,0
9	90,0	15,0	11,3	0,1	3,4	44,1
10	100,0	19,0	11,5	0,2	2,8	57,4
11	110,0	24,0	11,6	0,9	2,4	107,4
12	120,0	30,0	10,4	2,1	2,0	147,4
13	130,0	37,0	10,5	4,1	3,5	200,6

*Nota.* Se realizó cada medición en un intervalo de 10 km/h, para 7 ensayos.

Figura 31

Relación emisiones de CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>-HC – WLTP – Catalizador nuevo



*Nota.* La gráfica complementa la relación descrita anteriormente, junto a los valores de oxígeno que se libera al ambiente luego del proceso de combustión.

La relación de hidrocarburos no combustionados junto a dióxidos de carbono y oxígenos, se observa, en la prueba WLTP catalizador nuevo, en diferentes rangos de velocidad, se aprecia a 130 km/h emisiones de HC en 200.6 ppm, CO<sub>2</sub> en 10.5% y O<sub>2</sub> en 3.5%; mientras tanto a 70 km/h generación de subproductos de la combustión de HC 56.7 ppm, CO<sub>2</sub> 12.1% y O<sub>2</sub> en 2.1%; estableciendo la proporcionalidad en el control de agentes contaminantes del CO<sub>2</sub> como indicativo de una combustión adecuada, a partir del incremento del 1.6% para una disminución de 143.9 ppm, que representa el 71% en el control de emisiones.

### 4.2.3 Zona urbana – catalizador de desecho

Se obtuvo 60 mediciones en los ensayos realizados, para una mejor visualización y facilidad de análisis se tabuló en la tabla, las mediciones cada 120 segundos, las cuales describen las emisiones de CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub>, HC.

**Tabla 13**

*Promedios Zona urbana – WLTP – catalizador de desecho*

Orden	Velocidad (Km/h)	Tiempo (s)	CO <sub>2</sub> (%)	CO (%)	O <sub>2</sub> (%)	HC (ppm)
1	0,0	0,0	2,9	0,2	15,6	78,0
2	20,0	120,0	10,9	0,6	8,4	116,9
3	20,0	240,0	8,5	0,3	3,8	53,6
4	32,0	360,0	10,8	0,4	5,0	80,4
5	38,0	480,0	10,6	0,4	3,0	89,9
6	38,0	600,0	10,7	0,5	3,4	101,6
7	38,0	720,0	8,8	0,4	5,7	93,9
8	33,0	840,0	7,6	0,3	5,6	80,0
9	40,0	960,0	3,6	0,0	13,5	70,4
10	23,0	1080,0	6,3	0,3	10,6	64,1
11	20,0	1200,0	9,8	0,2	5,7	66,4
12	18,0	1320,0	10,3	0,3	5,3	80,0
13	16,0	1440,0	8,6	0,2	7,5	73,4
14	10,0	1560,0	6,9	0,2	6,7	40,6
15	16,0	1680,0	10,4	0,3	4,4	42,7
16	9,0	1800,0	7,1	0,2	8,9	40,4
17	25,0	1920,0	8,2	0,1	8,2	31,6
18	33,0	2040,0	7,6	0,3	10,1	45,0
19	37,0	2160,0	8,4	0,2	6,5	39,6
20	31,0	2280,0	9,3	0,4	6,0	52,4
21	31,0	2400,0	6,0	0,3	7,6	50,7

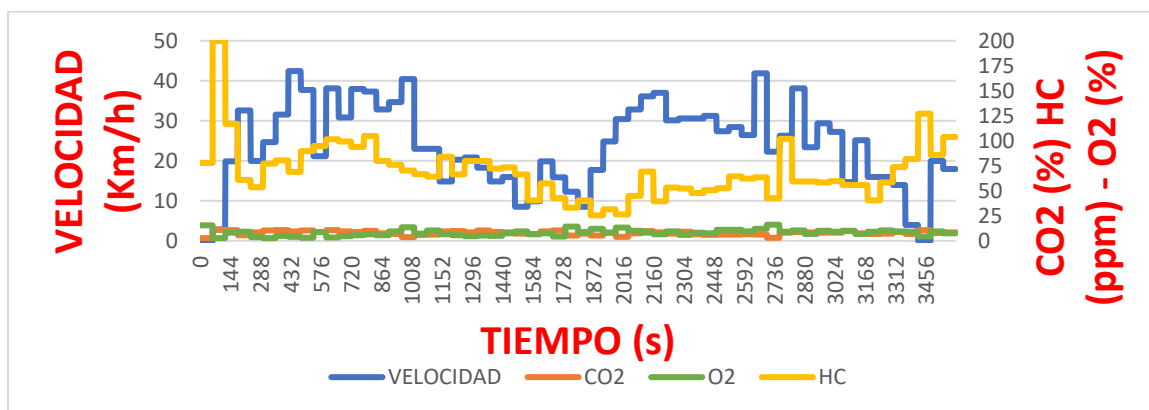


Orden	Velocidad (Km/h)	Tiempo (s)	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (ppm)
22	28,0	2520,0	6,2	0,3	11,2	64,6
23	42,0	2640,0	6,3	0,3	12,0	63,6
24	26,0	2760,0	8,3	0,3	9,3	102,0
25	23,0	2880,0	8,5	0,3	6,9	59,4
26	27,0	3000,0	8,2	0,5	9,1	59,9
27	25,0	3120,0	7,7	0,3	6,9	56,0
28	16,0	3240,0	7,2	0,3	10,6	58,3
29	4,0	3360,0	6,9	0,1	9,2	81,8
30	20,0	3480,0	7,8	0,5	9,6	86,0

*Nota.* La tabla, detalla las mediciones en condiciones urbanas normales, (tráfico, clima, etc.) que se visualiza en un analizador portable.

**Figura 32**

*Relación emisiones de CO2-O2-HC – WLTP – catalizador de desecho*



*Nota.* La gráfica muestra, el análisis completo de la relación CO2-HC, conjunto con los valores de O2

Puntualizando los 480 segundos de ensayo, en un catalizador de desecho prueba WLTP, a diferentes velocidades, se evidencia emisiones de dióxidos de carbono en 10.6%, oxígenos en 3.0% e hidrocarburos no combustionados 89.9 ppm, a

comparación de los 3120 segundos, se generan gases contaminantes en valores de CO<sub>2</sub> 7.7%, O<sub>2</sub> 6.9% e hidrocarburos no combustionados 56.0 ppm, determinando deficiente el proceso de combustión catalítica, consecuente de una disminución errónea de HC en 33.9 ppm.

#### 4.2.4 Zona urbana – catalizador nuevo

Establecido la ruta de ensayo, se realizó 4 pruebas y se tabuló datos obtenidos cada 120 segundos, registro de 28 mediciones, para un mejor análisis de los gases dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrocarburos no combustionados, y oxígenos.

**Tabla 14**

*Promedios Zona urbana – WLTP – Catalizador nuevo*

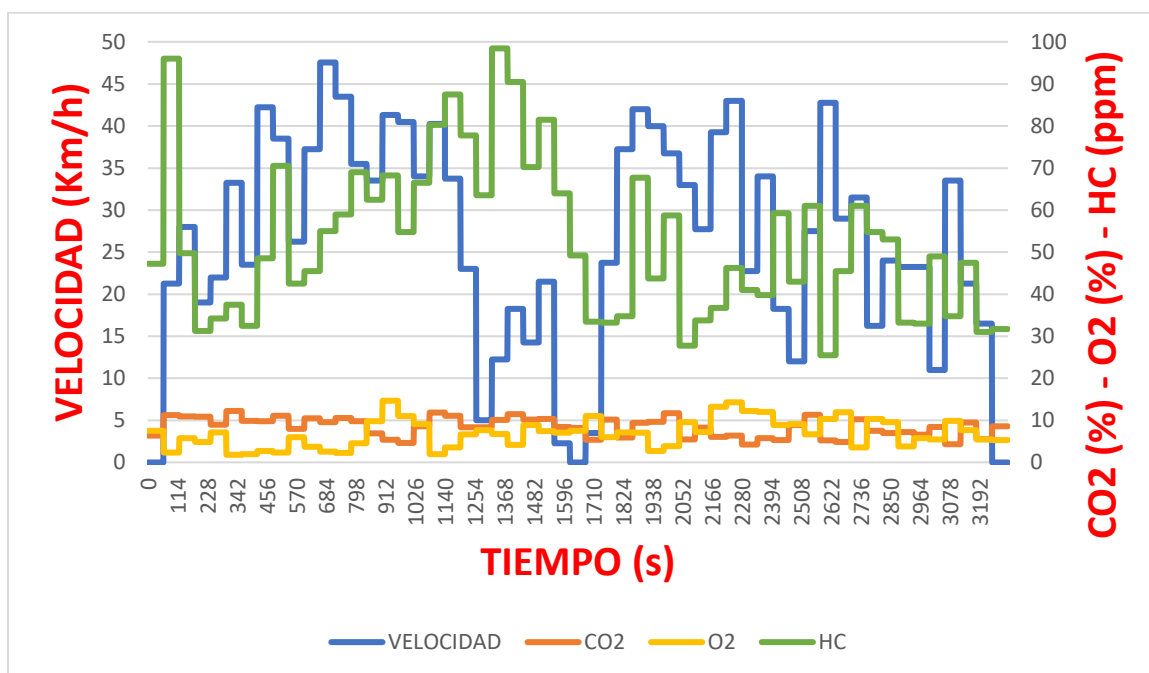
Orden	Velocidad (Km/h)	Tiempo (s)	CO <sub>2</sub> (%)	CO (%)	O <sub>2</sub> (%)	HC (ppm)
1	0	0	6,4	0,2	7,5	47,3
2	28	120	10,9	0,3	5,7	49,8
3	22	240	9,0	0,3	7,1	34,3
4	24	360	9,9	0,1	2,0	32,5
5	39	480	11,1	0,8	2,3	70,5
6	37	600	10,5	0,1	3,7	45,5
7	44,0	720,0	10,6	0,2	2,2	59,0
8	34,0	840,0	6,9	0,3	9,8	62,5
9	41,0	960,0	4,7	0,0	11,0	54,8
10	40,0	1080,0	11,9	0,5	2,0	80,3
11	23,0	1200,0	8,4	0,3	6,7	77,8
12	12,0	1320,0	10,1	0,5	6,7	98,5
13	14,0	1440,0	10,2	0,2	8,9	70,3

<b>Orden</b>	<b>Velocidad (Km/h)</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>CO2 (%)</b>	<b>CO (%)</b>	<b>O2 (%)</b>	<b>HC (ppm)</b>
14	2,0	1560,0	8,4	0,3	7,0	64,0
15	4,0	1680,0	5,4	0,3	11,0	33,5
16	37,0	1800,0	5,9	0,2	7,2	34,8
17	40,0	1920,0	9,6	0,4	2,7	43,8
18	33,0	2040,0	5,5	0,1	9,5	27,8
19	39,0	2160,0	6,0	0,1	13,2	36,8
20	23,0	2280,0	4,2	0,2	12,3	41,0
21	18,0	2400,0	5,3	0,3	8,9	59,3
22	28,0	2520,0	11,3	0,3	6,7	61,0
23	29,0	2640,0	4,8	0,3	11,9	45,5
24	16,0	2760,0	7,5	0,2	10,3	54,8
25	23,0	2880,0	7,2	0,2	3,8	33,3
26	11,0	3000,0	8,4	0,4	5,5	49,0
27	21,0	3120,0	9,5	0,4	7,6	47,5
28	0,0	3240,0	8,6	0,1	5,3	31,8

*Nota.* La tabla detalla un tiempo total de ensayo de 3240 segundos, analizando el comportamiento de las emisiones.

**Figura 33**

*Relación emisiones de CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>-HC – WLTP – Catalizador nuevo*



*Nota.* La gráfica complementa los valores de oxígeno, al análisis de relación CO<sub>2</sub>-HC, para establecer un correcto funcionamiento del convertidor catalítico.

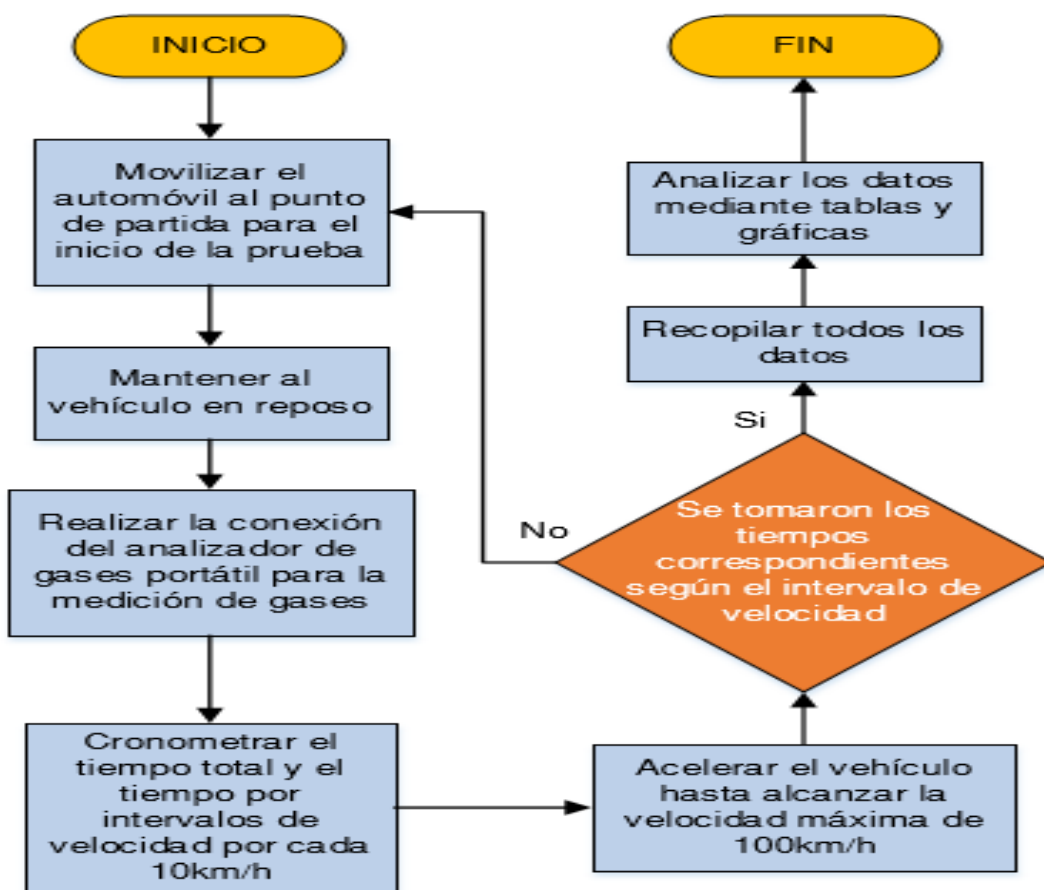
La figura analiza la disminución de emisiones de oxígeno de 7.5% a 5.3% vs la disminución de hidrocarburos no combustionados de 47.3 a 31.8 ppm junto al aumento de dióxidos de carbono de 6.4% a 8.6%, en sus puntos iniciales y finales del ensayo, se determina un proceso catalítico óptimo, valores acordes a un catalizador nuevo de 3 vías.

### 4.3 Implementado 1

La velocidad establecida para los ensayos en zonas extraurbanas es de 0 a 100 km/h, en un tiempo cronometrado de 23 segundos, con intervalos de mediciones cada 10km/h.

**Figura 34**

*Zona extraurbana – Implementado 1*

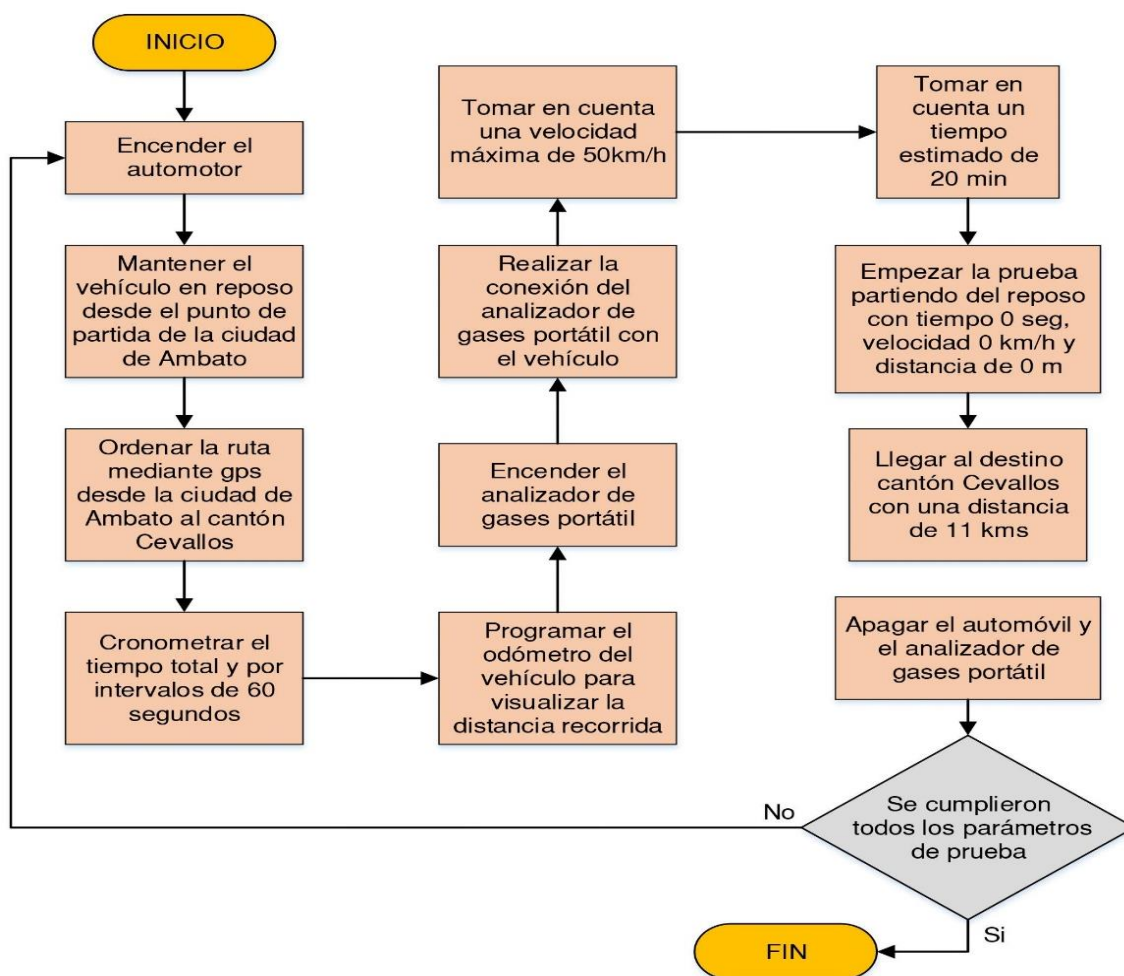


*Nota.* La gráfica desarrolla un procedimiento adecuado, para la ejecución de los ensayos.

Se cumplió una distancia de 11 km, en la ruta Ambato sector Huachi Chico - Cantón Cevallos, en un rango de velocidad variable de 0 a 50 km/h, con un tiempo aproximado de 20 minutos.

**Figura 35**

*Zona Urbana – implementado 1*



*Nota.* La gráfica detalla los lineamientos que se deben cumplir, para efectuar de forma óptima los ensayos establecidos.

#### 4.2.1 Zona extraurbana – catalizador de desecho

Se tabuló los valores promedio de las emisiones dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), oxígeno (O<sub>2</sub>) e hidrocarburos no combustionados (HC), al concluir 7 ensayos, con 10 mediciones cada uno.

**Tabla 15**

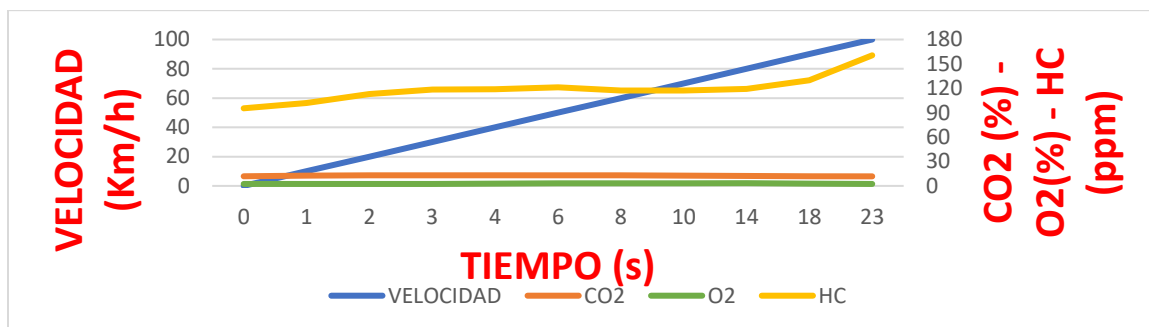
*Promedios Zona extraurbana – implementado 1- catalizador de desecho*

<b>Orden</b>	<b>Velocidad (Km/h)</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (%)</b>	<b>CO (%)</b>	<b>O<sub>2</sub> (%)</b>	<b>HC (ppm)</b>
0	0,0	0,0	11,9	0,2	2,4	95,4
1	10,0	1,0	12,7	0,1	2,4	101,9
2	20,0	2,0	13,0	0,2	2,5	113,0
3	30,0	3,0	13,0	0,2	2,5	118,4
4	40,0	4,0	13,1	0,2	2,6	118,7
5	50,0	6,0	13,0	0,2	3,0	121,3
6	60,0	8,0	13,0	0,2	3,2	117,4
7	70,0	10,0	12,6	0,2	3,3	117,1
8	80,0	14,0	12,2	0,2	3,3	119,1
9	90,0	18,0	11,8	0,3	2,7	129,7
10	100,0	23,0	12,6	1,3	2,5	160,6

*Nota.* La tabla, registra los valores promedios de las emisiones resultantes.

**Figura 36**

*Relación emisiones de CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>-HC – implementado 1 – catalizador de desecho*



*Nota.* La gráfica muestra, las curvas de emisiones de CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y HC respecto a la velocidad establecida.

Se puntualiza el aumento 160 ppm de HC, 12% de CO<sub>2</sub> y 2.5% de O<sub>2</sub> a una velocidad de 100km/h, respecto a sus datos iniciales de 95.4 ppm, 11.9% y 2.4%, respectivamente, lo que conlleva a un proceso de oxidación - reducción deficiente del catalizador, debido a que los hidrocarburos disminuyen y los dióxidos de carbono deben aumentar.

#### **4.2.2 Zona extraurbana – catalizador nuevo**

Se realizó 7 ensayos, con 10 mediciones de misiones promedio de los gases analizados, registros que se tabularon en la tabla.

**Tabla 16**

*Promedios pruebas Dinámica - Zona extraurbana – Protocolo implementado 1 – catalizador nuevo*

Orden	Velocidad (Km/h)	Tiempo (s)	CO <sub>2</sub> (%)	CO (%)	O <sub>2</sub> (%)	HC (ppm)
0	0,0	0,0	11,4	0,1	3,1	38,6
1	10,0	1,0	10,7	0,1	3,1	43,1

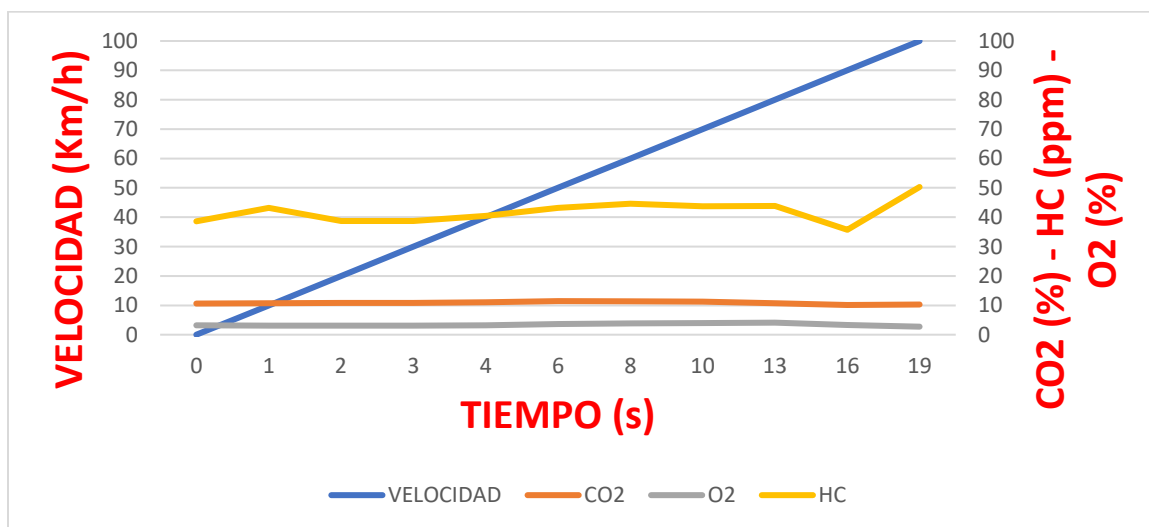


Orden	Velocidad (Km/h)	Tiempo (s)	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (ppm)
2	20,0	2,0	10,9	0,1	3,1	38,7
3	30,0	3,0	10,8	0,1	3,1	38,7
4	40,0	4,0	11,0	0,1	3,2	40,4
5	50,0	6,0	10,6	0,1	3,6	43,1
6	60,0	8,0	11,4	0,2	3,8	44,6
7	70,0	10,0	11,2	0,2	3,9	43,7
8	80,0	13,0	10,7	0,1	4,1	43,9
9	90,0	16,0	10,1	0,1	3,3	35,7
10	100,0	19,0	10,3	0,2	2,7	50,3

*Nota.* La tabla, resumen los registros de emisiones correspondiente a cada ensayo.

**Figura 37**

*Relación emisiones de CO2-O2-HC – implementado 1- Catalizador nuevo*



*Nota.* La gráfica analiza el comportamiento de las emisiones de oxígeno, junto con la relación de CO2 – HC

En base a la gráfica, los valores iniciales son 11.4 % CO<sub>2</sub>, 38.6 ppm HC y 3.1% O<sub>2</sub> referente a los puntos intermedios 10.6%, 43.1 ppm y 3.6% respectivamente, se observa que los hidrocarburos no combustionados y oxígenos aumentan en forma conjunta, mientras que los dióxidos de carbono disminuyen, lo cual determina un proceso de oxidación - reducción eficiente.

#### **4.2.3 Zona urbana – catalizador de desecho**

Respecto a los parámetros establecidos, se efectuó 7 ensayos, con toma de datos cada 60 segundos, para un mejor análisis se tabulo los datos en 120 segundos, siendo un total de 13 mediciones.

**Tabla 17**

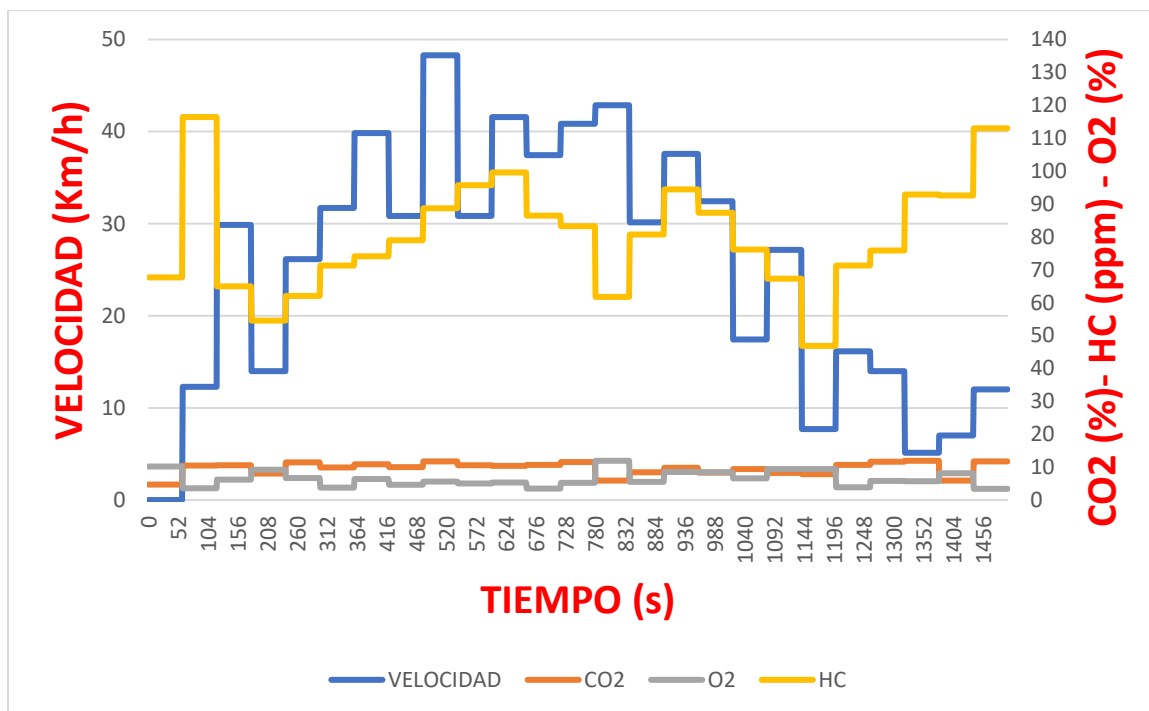
*Promedios Zona urbana – implementado 1 – catalizador de desecho*

<b>Orden</b>	<b>Velocidad (Km/h)</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (%)</b>	<b>CO (%)</b>	<b>O<sub>2</sub> (%)</b>	<b>HC (ppm)</b>
1	0,0	0,0	4,7	0,2	10,1	67,7
2	30,0	120,0	10,6	0,4	6,2	65,0
3	26,0	240,0	11,4	0,3	6,7	62,0
4	40,0	360,0	10,9	0,3	6,4	74,1
5	48,0	480,0	11,7	0,5	5,6	88,7
6	42,0	600,0	10,4	0,5	5,3	99,6
7	41,0	720,0	11,5	0,4	5,2	83,3
8	30,0	840,0	8,4	0,3	5,5	80,7
9	32,0	960,0	8,4	0,3	8,4	87,3
10	27,0	1080,0	8,3	0,1	9,4	67,3
11	16,0	1200,0	10,7	0,2	3,9	71,3
12	5,0	1320,0	11,9	0,5	5,7	92,9
13	12,0	1440,0	11,7	0,6	3,4	113,0

*Nota.* La tabla, resumen los valores promedio de emisiones, al completar 7 ensayos propuestos.

**Figura 38**

*Relación emisiones de CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>-HC – implementado 1 – catalizador de desecho*



*Nota.* La gráfica muestra, un análisis triple, con referencia a las emisiones de CO<sub>2</sub>-HC-O<sub>2</sub>, para un proceso de oxidación - reducción.

En referencia a los 720 segundos de prueba, los valores de dióxido de carbono 11.5%, hidrocarburos no combustionados 83.3 ppm y oxígenos son 5.2%, respecto a sus datos finales en los 1440 segundos de ensayo, con registros de CO<sub>2</sub> 11.7, HC 113 ppm y O<sub>2</sub> 3.4%, se determina un proceso de oxidación - reducción deficiente, valores que se analiza de la gráfica 38.

#### 4.2.4 Zona urbana – catalizador nuevo

Se realizó 4 ensayos, con toma de mediciones cada 60 segundos, obteniendo 25 datos, para lo cual la tabla resume las emisiones promedio obtenidas en valores cada 120 segundos, se logra una mejor visualización y facilidad de análisis.

**Tabla 18**

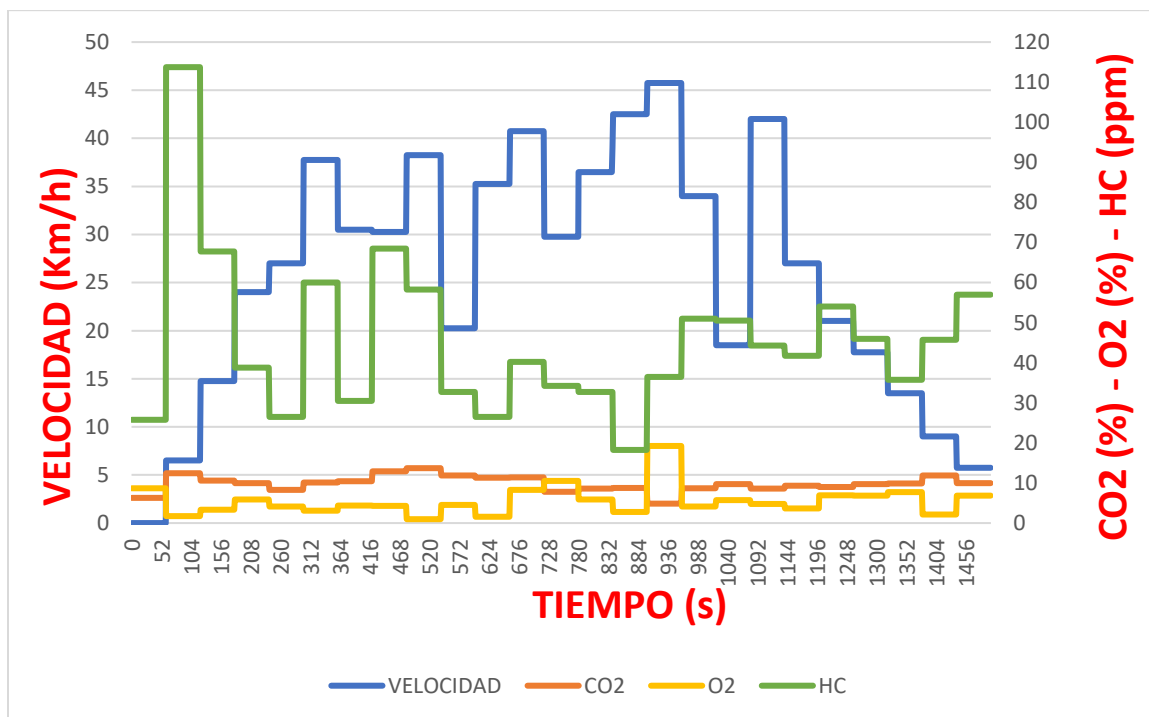
*Promedios Zona urbana – implementado 1 – Catalizador nuevo*

Orden	Velocidad (Km/h)	Tiempo (s)	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (ppm)
1	0,0	0,0	6,3	0,1	8,7	25,8
2	15,0	120,0	10,6	0,2	3,4	67,8
3	27,0	240,0	8,3	0,1	4,1	26,5
4	31,0	360,0	10,5	0,2	4,4	30,5
5	38,0	480,0	13,7	0,2	1,0	58,3
6	35,0	600,0	11,3	0,1	1,6	26,5
7	30,0	720,0	7,8	0,1	10,5	34,3
8	43,0	840,0	8,8	0,1	2,8	18,3
9	34,0	960,0	8,7	0,3	4,1	51,0
10	42,0	1080,0	8,6	0,1	4,8	44,3
11	21,0	1200,0	9,0	0,2	6,9	54,0
12	14,0	1320,0	9,9	0,1	7,7	35,8
13	6,0	1440,0	10,0	0,2	6,9	57,0

*Nota.* La tabla, describe un rango de velocidad de 0 a 50 km/h, para el análisis de las emisiones CO2, CO, HC y O2.

Figura 39

Relación emisiones de CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>-HC – implementado 1 – Catalizador nuevo



*Nota.* El análisis de emisiones de oxígeno junto con los HC-CO<sub>2</sub>, es fundamental para determinar un correcto desempeño del catalizador.

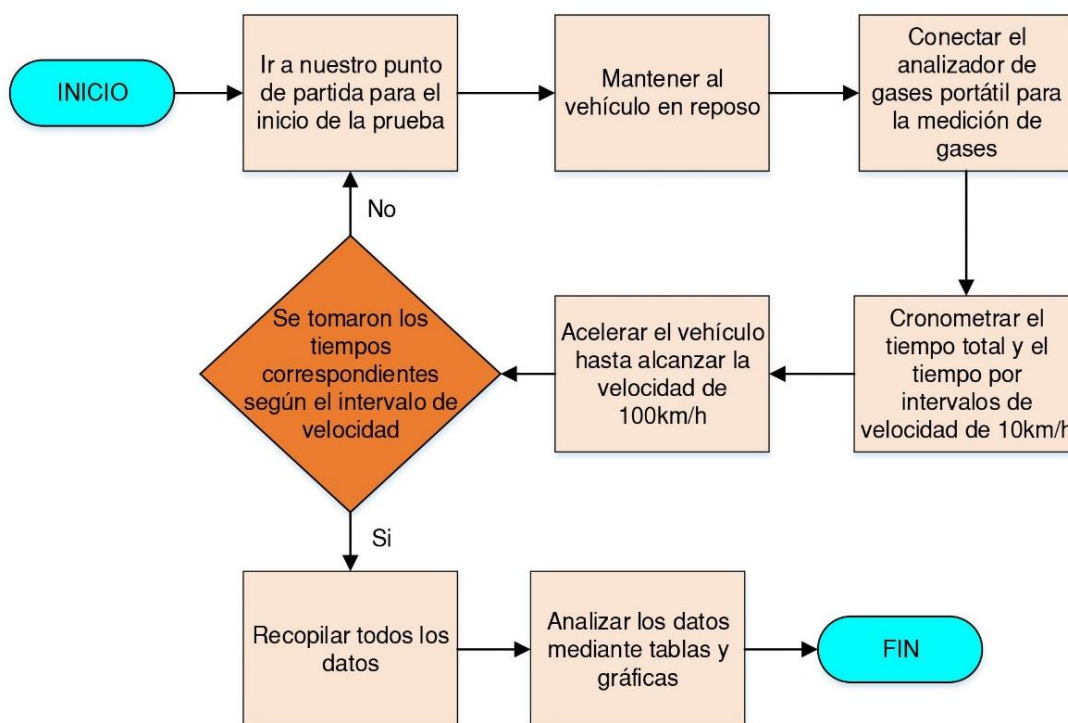
La gráfica, describe un valor inicial de 6,3% CO<sub>2</sub>, 8,7% O<sub>2</sub> y 25,8 ppm HC, a partir de estos valores, se toma como punto de referencia el segundo 840, se observa que el oxígeno disminuye a 2,8% junto que los hidrocarburos a 18,3 ppm a medida que los dióxidos de carbono aumentan a 8,8%, aspecto fundamental para un buen proceso de Oxidación – reducción.

#### 4.4 Implementado 2

Se consideró una velocidad de 100 km/h, en un tiempo cronometrado de 0 a 19 segundos, registrando valores de emisiones cada 10km/h para la zona extraurbana.

**Figura 40**

*Zona extraurbana – implementado 2*

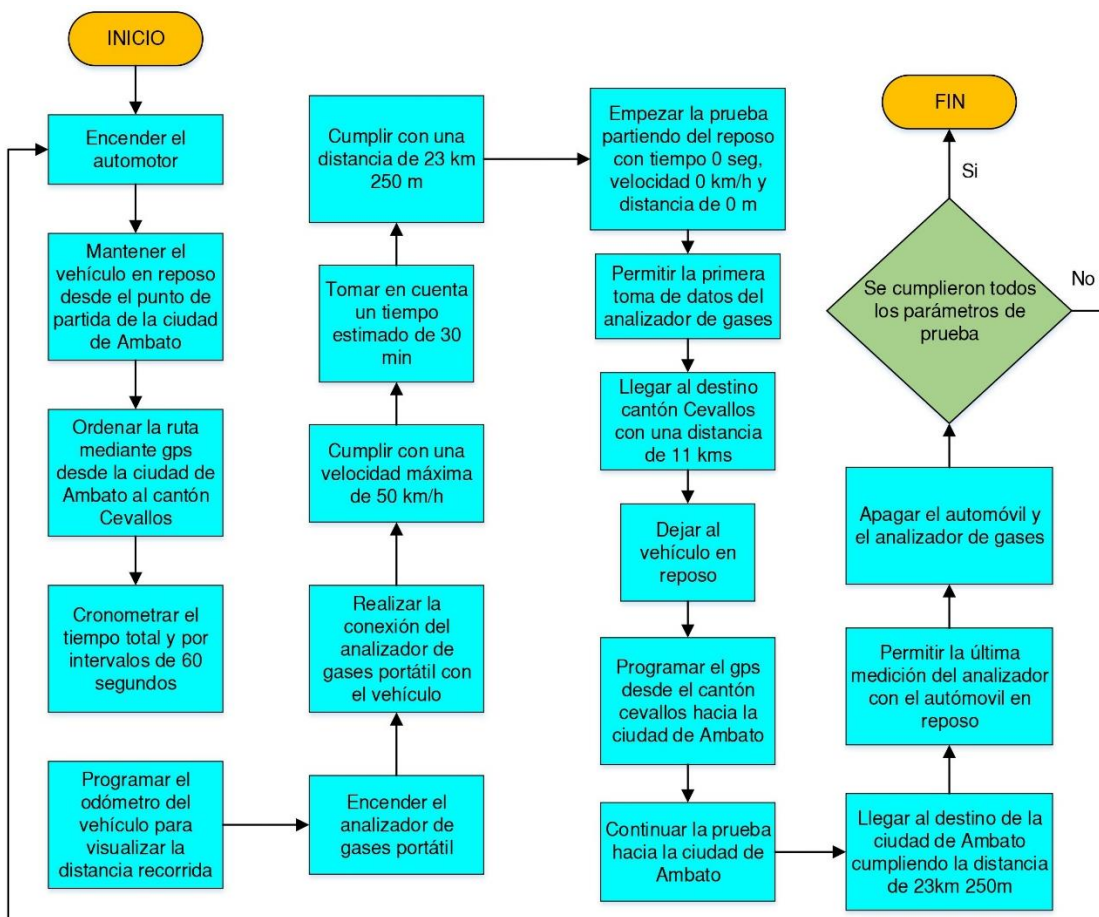


*Nota:* Se detallan los pasos a seguir para el cumplimiento de los ensayos.

La zona Urbana establece lineamientos que se siguieron para el desarrollo de los ensayos, con una velocidad de 0 a 50 km/h, con una distancia de 23km 250 metros, en la ruta Ambato sector Huachi Chico - Cantón Cevallos, en un tiempo estimado de 30 minutos, con registro de valores cada 60 segundos.

Figura 41

Zona Urbana – implementado 2



Nota. La gráfica establece los parámetros establecidos para desarrollar las pruebas

#### 4.2.1 Zona extraurbana – catalizador de desecho

Se obtuvo 10 mediciones en 7 ensayos realizados, tabulando los valores de emisiones dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), oxígeno (O<sub>2</sub>) e hidrocarburos no combustionados (HC).

Tabla 19

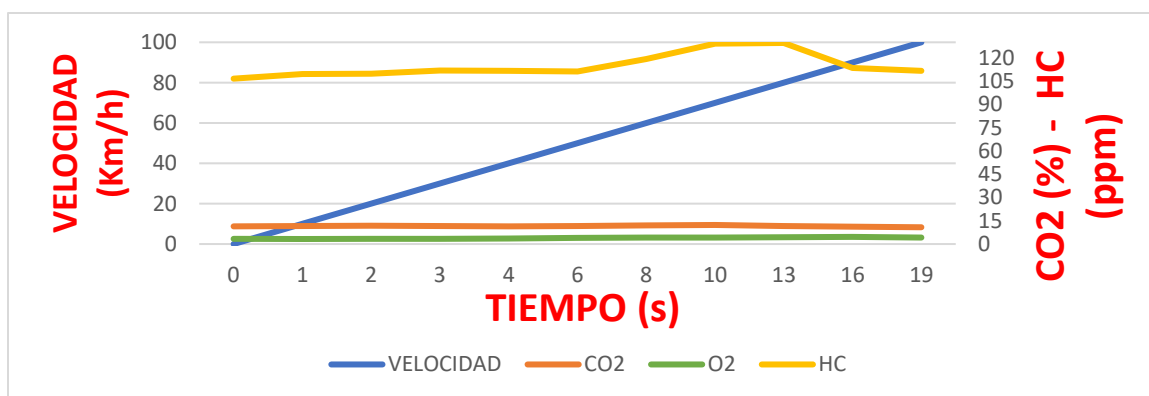
Promedios Zona extraurbana – implementado 2 – catalizador de desecho

Orden	Velocidad (Km/h)	Tiempo (s)	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (ppm)
0	0,0	0,0	11,4	0,1	3,3	106,6
1	10,0	1,0	11,5	0,1	3,3	109,6
2	20,0	2,0	11,7	0,1	3,3	109,7
3	30,0	3,0	11,6	0,1	3,4	111,9
4	40,0	4,0	11,4	0,1	3,6	111,7
5	50,0	6,0	11,6	0,1	3,9	111,3
6	60,0	8,0	12,0	0,1	4,2	119,3
7	70,0	10,0	12,3	0,2	4,2	129,1
8	80,0	13,0	11,6	0,3	4,4	129,6
9	90,0	16,0	11,1	0,1	4,6	113,6
10	100,0	19,0	10,8	0,1	4,3	111,7

Nota. La tabla resume los valores obtenidos trascurridos los ensayos planteados.

Figura 42

Relación emisiones de CO2-O2-HC – implementado 2 – catalizador de desecho



Nota. La gráfica establece la comparación entre la velocidad y las emisiones de CO2, O2 y HC.



A los 10 segundos de ensayo, a una velocidad de 70km/h existe un incremento tanto de dióxido de carbono, de oxígeno y de hidrocarburos alcanzando valores de 12,3 % de CO<sub>2</sub>, 4,2 % de O<sub>2</sub> y 129,1 ppm de HC respecto a sus datos iniciales, los cuales cuentan con valores de 11.4 % de CO<sub>2</sub>, 3.3 % de O<sub>2</sub> y 106.6 ppm de HC lo que conlleva a un proceso de oxidación - reducción deficiente del catalizador, debido a que los oxígenos junto con los hidrocarburos no combustionados deben aumentar y los dióxidos de carbono deben disminuir, característica que no se cumple, y se puede visualizar en la gráfica.

#### **4.2.2 Zona extraurbana – catalizador nuevo**

En la tabla, se describe 10 mediciones promedio de 7 ensayos realizados a un rango de velocidad determinado.

**Tabla 20**

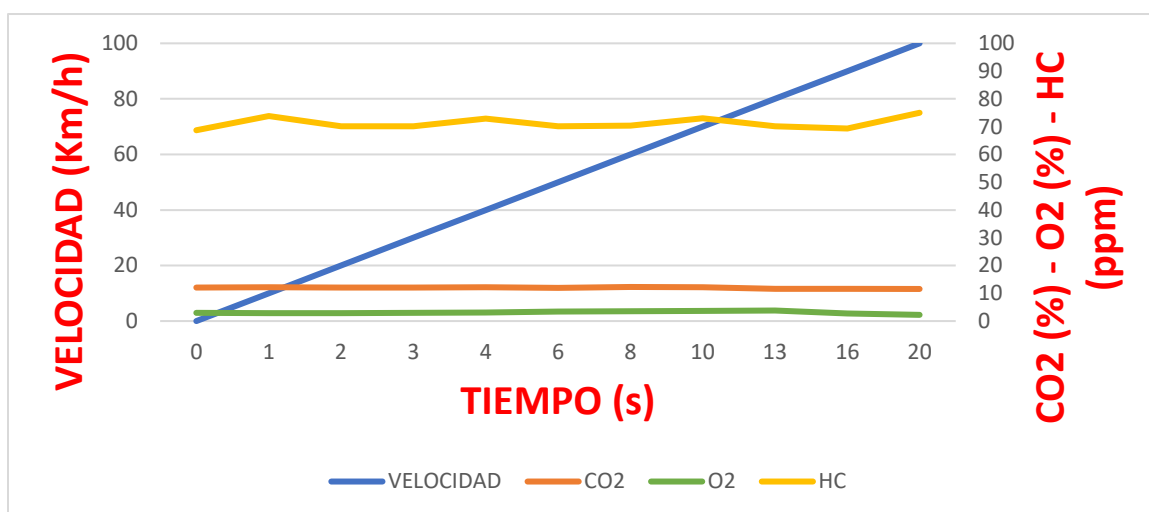
*Promedios pruebas Dinámica - Zona extraurbana – Protocolo implementado 2 – Catalizador nuevo*

<b>Orden</b>	<b>Velocidad (Km/h)</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (%)</b>	<b>CO (%)</b>	<b>O<sub>2</sub> (%)</b>	<b>HC (ppm)</b>
0	0,0	0,0	12,0	0,1	2,9	68,7
1	10,0	1,0	12,2	0,1	2,8	73,9
2	20,0	2,0	12,1	0,1	2,9	70,1
3	30,0	3,0	12,0	0,1	3,0	70,1
4	40,0	4,0	12,1	0,0	3,1	72,9
5	50,0	6,0	11,9	0,0	3,4	70,1
6	60,0	8,0	12,3	0,1	3,5	70,4
7	70,0	10,0	12,1	0,1	3,6	73,0
8	80,0	13,0	11,6	0,1	3,8	70,1
9	90,0	16,0	11,6	0,1	2,8	69,3
10	100,0	20,0	11,6	0,2	2,2	75,0

*Nota.* La tabla, detalla, las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), oxígenos (O<sub>2</sub>) e hidrocarburos no combustionados (HC), resultantes de los ensayos propuestos.

**Figura 43**

*Relación emisiones de CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>-HC – implementado 2 - Catalizador nuevo*



*Nota.* La gráfica analiza el comportamiento en emisiones de O<sub>2</sub>, en conjunto a las emisiones de CO<sub>2</sub> y HC.

Los datos iniciales son 12% de CO<sub>2</sub>, 2,9 % de O<sub>2</sub> y 68,7 ppm HC, y al analizar los valores intermedios segundo 6 a una velocidad de 50km/h se tiene 11.9% de CO<sub>2</sub>, 3.4% de O<sub>2</sub> y 70.1 ppm de HC, concluyendo con una eficiencia en el proceso de oxidación - reducción debido a que los O<sub>2</sub> y HC aumentan y CO<sub>2</sub> disminuyen conjuntamente en el mismo intervalo de tiempo y velocidad.

### 4.2.3 Zona urbana – catalizador de desecho

Establecido la ruta y parámetros claves, se realizó 7 ensayos con registro de datos cada 60 segundos, en la tabla se tabuló los promedios obtenidos cada 120 segundos para una mejor visualización y facilidad de análisis

**Tabla 21**

*Promedios Zona urbana – implementado 2 – catalizador de desecho*

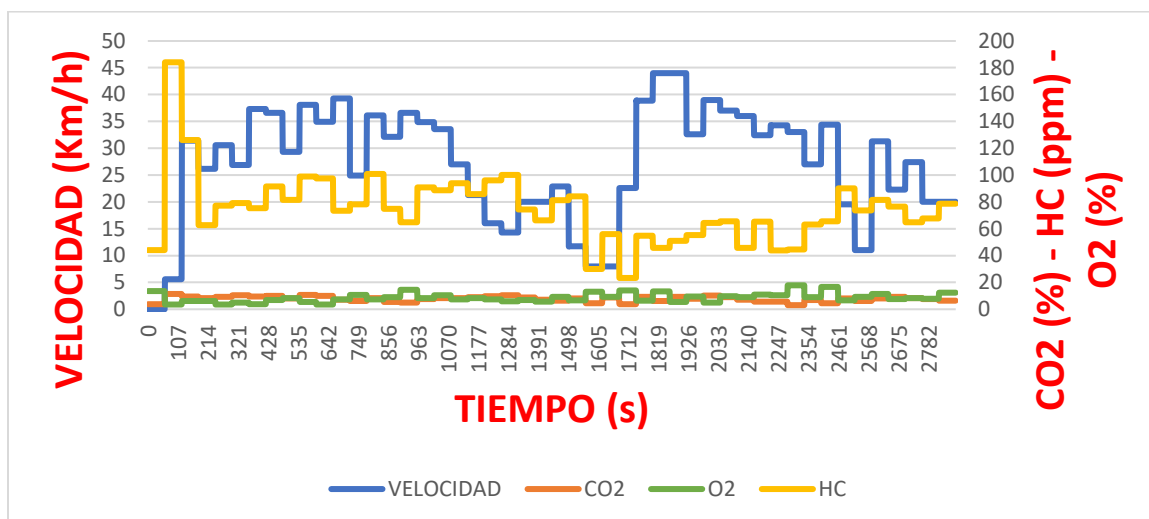
Orden	Velocidad (Km/h)	Tiempo (s)	CO <sub>2</sub> (%)	CO (%)	O <sub>2</sub> (%)	HC (ppm)
1	0,0	0,0	3,7	0,0	13,5	44,0
2	31,0	120,0	9,5	0,7	6,1	126,0
3	31,0	240,0	9,3	0,3	3,5	77,3
4	37,0	360,0	9,6	0,2	3,8	75,3
5	29,0	480,0	8,0	0,1	8,2	81,6
6	35,0	600,0	10,0	0,5	3,6	97,6
7	25,0	720,0	6,2	0,3	10,6	78,3
8	32,0	840,0	5,5	0,2	8,9	74,9
9	35,0	960,0	7,6	0,5	8,4	90,9
10	27,0	1080,0	8,2	0,3	7,3	93,9
11	16,0	1200,0	9,8	0,2	7,3	96,0
12	20,0	1320,0	8,9	0,2	6,9	74,3
13	23,0	1440,0	6,5	0,3	9,2	81,3
14	8,0	1560,0	4,5	0,0	13,0	30,0
15	23,0	1680,0	3,9	0,1	14,1	23,4
16	44,0	1800	6,1	0,3	13,2	45,7
17	33,0	1920	7,8	0,5	9,6	55,3
18	37,0	2040	9,1	0,7	9,7	65,6
19	32,0	2160	5,7	0,4	11,0	65,3
20	33,0	2280	3,1	0,2	17,9	44,4
21	34,0	2400	4,4	0,4	16,7	65,4

Orden	Velocidad (Km/h)	Tiempo (s)	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (ppm)
22	11,0	2520	6,2	0,2	9,2	73,7
23	22,0	2640	9,3	0,4	7,7	76,4
24	20,0	2760	7,7	0,3	7,8	67,7

*Nota.* La tabla, referencia las emisiones tomadas con un analizador de gases portátil, en los tiempos establecidos.

**Figura 44**

*Relación emisiones de CO2-O2-HC – implementado 2 – catalizador de desecho*



*Nota.* La gráfica explica, la asociación de los valores de oxígeno, para la relación HC-CO2, contribuyentes al proceso de Oxidación – Reducción.

Se analiza la gráfica y se toma en cuenta los puntos críticos y fluctuaciones de emisiones, estableciendo un proceso de oxidación - reducción deficiente del catalizador de desecho, debido a que los O2 y HC deben aumentar y el CO2 debe disminuir criterio que no se observa en los resultados obtenidos, siendo sus valores iniciales 3.7% CO2,

13.5% O<sub>2</sub> y 44 ppm HC, a comparación de sus registros finales 7.7% CO<sub>2</sub>, 7.8% O<sub>2</sub> y 67.7 ppm HC.

#### 4.2.4 Zona urbana – catalizador nuevo

Se registró valores cada 120 segundos, obteniendo 47 mediciones en 4 ensayos realizados, para el análisis de gases CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub> y HC.

**Tabla 22**

*Promedios Zona urbana – implementado 2 – catalizador nuevo*

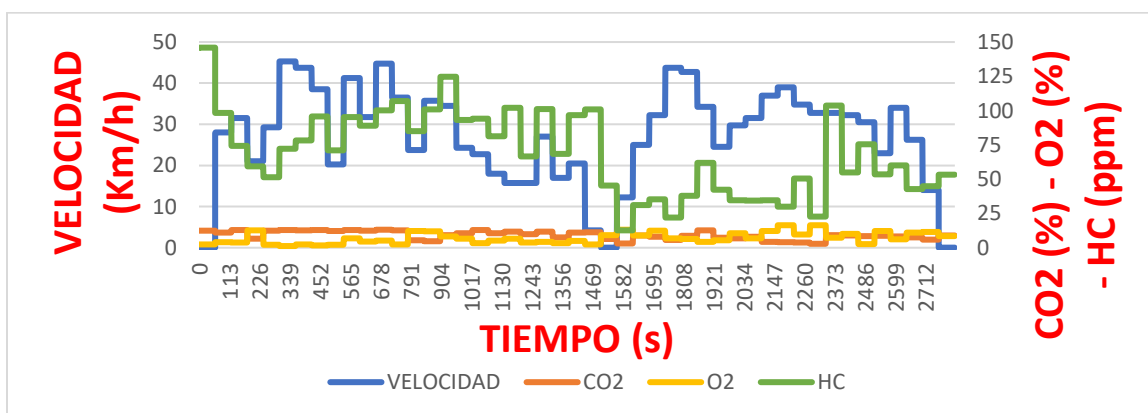
Orden	Velocidad (Km/h)	Tiempo (s)	CO <sub>2</sub> (%)	CO (%)	O <sub>2</sub> (%)	HC (ppm)
1	0,0	0,0	12,4	0,3	2,4	145,8
3	32,0	120,0	12,9	0,9	3,9	74,3
5	29,0	240,0	12,4	0,1	2,2	51,5
7	44,0	360,0	12,7	0,6	2,5	78,3
9	20,0	480,0	12,3	0,3	2,0	71,0
11	32,0	600,0	12,5	0,3	4,6	89,0
13	37,0	720,0	12,7	0,6	2,4	107,0
15	36,0	840,0	4,6	0,5	12,1	100,8
17	24,0	960,0	10,6	0,8	6,6	93,3
19	18,0	1080,0	10,5	0,3	5,1	81,3
21	16,0	1200,0	10,0	0,3	3,8	51,5
23	17,0	1320,0	7,6	0,1	3,4	68,5
25	4,0	1440,0	11,4	0,3	2,3	100,8
27	12,0	1560,0	3,2	0,1	13,2	12,8
29	32,0	1680,0	8,1	0,4	12,5	35,3
31	43,0	1800,0	8,8	0,2	6,4	37,8
33	25,0	1920,0	7,2	0,3	5,4	42,3
35	32,0	2040,0	8,0	0,1	6,9	34,3
37	39,0	2160,0	4,0	0,2	16,5	30,0
39	33,0	2280,0	3,0	0,0	16,4	22,8

Orden	Velocidad (Km/h)	Tiempo (s)	CO2 (%)	CO (%)	O2 (%)	HC (ppm)
41	32,0	2400,0	9,0	0,2	10,1	55,0
43	23,0	2520,0	8,7	0,6	12,3	53,5
45	26,0	2640,0	7,6	0,2	11,1	42,8
47	0,0	2760,0	8,8	0,3	8,4	53,3

*Nota.* La tabla, detalla los valores resultantes de los ensayos con velocidades variables.

**Figura 45**

*Relación emisiones de CO2-O2-HC – implementado 2 – Catalizador nuevo*



*Nota.* La gráfica muestra, la comparación entre la velocidad y las emisiones resultantes de CO2, O2 y HC

La relación de oxígenos junto a hidrocarburos no combustionados y dióxidos de carbono, se observa, a una velocidad variable, bajo el protocolo IMPLEMENTADO 2, catalizador nuevo, las emisiones de HC en 53.3 ppm, CO2 en 8.8% y O2 en 8.4%; mientras tanto los 1200 segundos de ensayo, la generación de gases subproductos de la combustión de HC 51.5 ppm, CO2 10% y O2 en 3.8%; estableciendo el control de agentes contaminantes a partir del incremento del 1.2% para una disminución de 1.8 ppm, que representa el 4% en el control de emisiones.

#### **4.5 Pruebas estáticas**

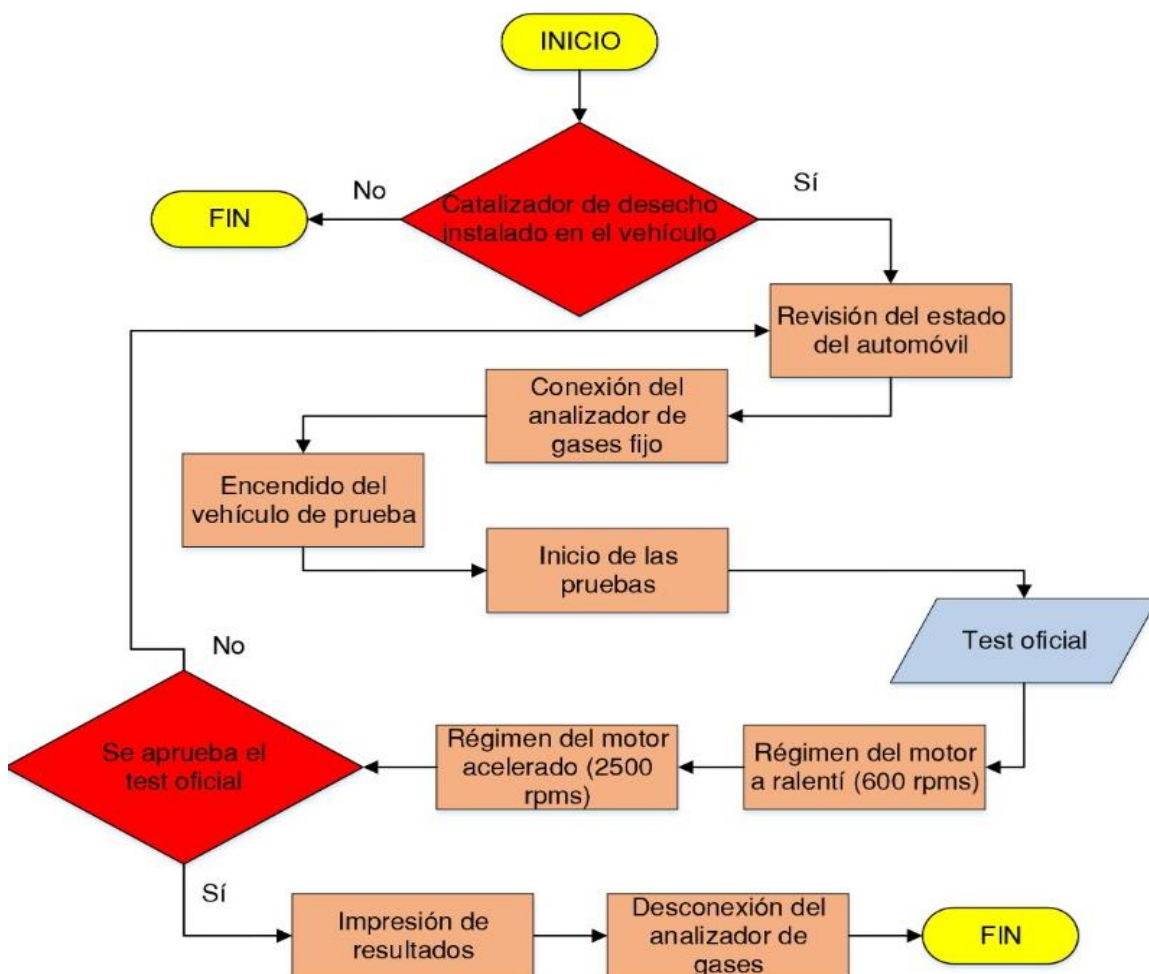
Se realizó pruebas estáticas con un analizador fijo cada mil kilómetros de recorrido del vehículo de prueba, en base a la normativa INEN 2:203 que describe el proceso de ensayo y la normativa INEN 2:204 la cual habla de los límites permitidos de emisiones contaminantes para vehículos a gasolina.

#### **4.6 Test Oficial – Catalizador de desecho**

Para el desarrollo de un test oficial, se efectuó ensayos a régimen ralentí en un rango de 500 a 1200 rpm y régimen acelerado en un rango de 2400 a 2600 rpm obteniendo el rechazo o aprobación de la prueba efectuada.

Figura 46

Proceso Test Oficial – catalizador de desecho



*Nota.* La gráfica desarrolla un procedimiento adecuado para ejecutar test oficiales con un analizador fijo.

La tabla, muestra los resultados promediados de emisiones CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub>, HC y Factor LAMBDA obtenidos de 3 ensayos realizados cada 1000 km de recorrido del vehículo de prueba.



Tabla 23

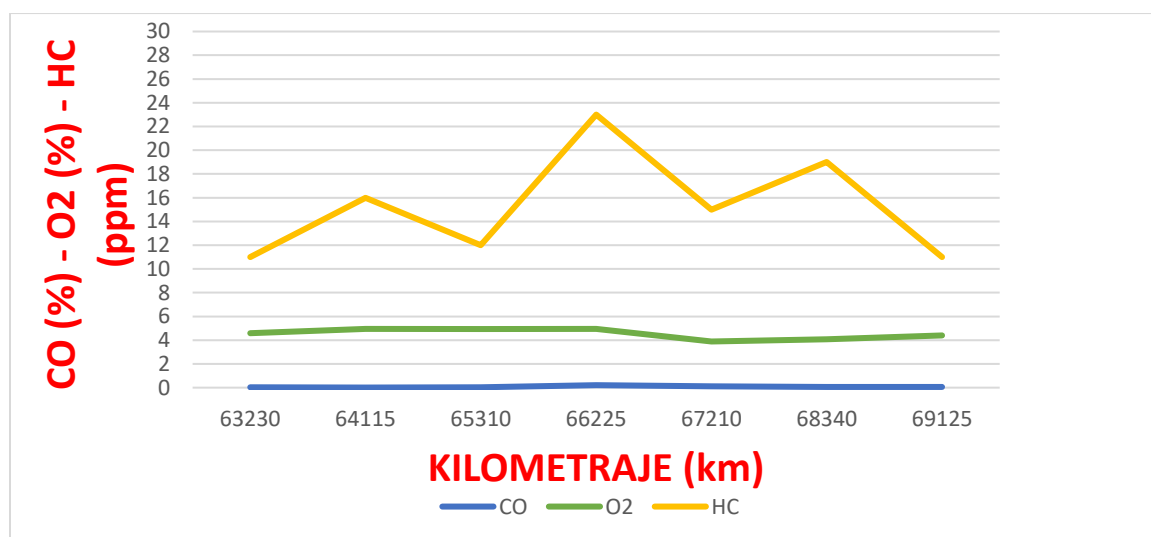
Promedios Test oficial – Catalizador de desecho

Orden	Kilometraje (Km)	CO (%)	CO2 (%)	O2 (%)	HC (ppm)	LAMBDA
1	63230	0,03	11,1	4,59	11,0	1,3
2	64115	0,01	11,0	4,95	16,0	1,3
3	65310	0,03	10,2	4,94	12,0	1,3
4	66225	0,21	10,2	4,95	23,0	1,3
5	67210	0,1	10,9	3,89	15,0	1,3
6	68340	0,06	11,4	4,08	19,0	1,3
7	69125	0,05	10,3	4,39	11,0	1,3

Nota. La tabla, describe los valores de emisiones resultandos en base al kilometraje

Figura 47

Relación emisiones CO-HC-O2 – Catalizador de desecho



Nota. La gráfica muestra, el comportamiento de las emisiones de CO, HC, O2 para su análisis.

El máximo porcentaje de monóxido de carbono es 0.21%, registro que se encuentra dentro de los valores aceptables con un 21% de reducción respecto de la norma.

El límite descrito en la normativa es 5% como punto máximo de emisión, respecto al cual, se analiza el valor de 4.95% de O<sub>2</sub>, como resultado del test oficial (Aprobado con falta tipo 2), debido a que está dentro del límite, pero a punto de llegar al valor máximo permitido.

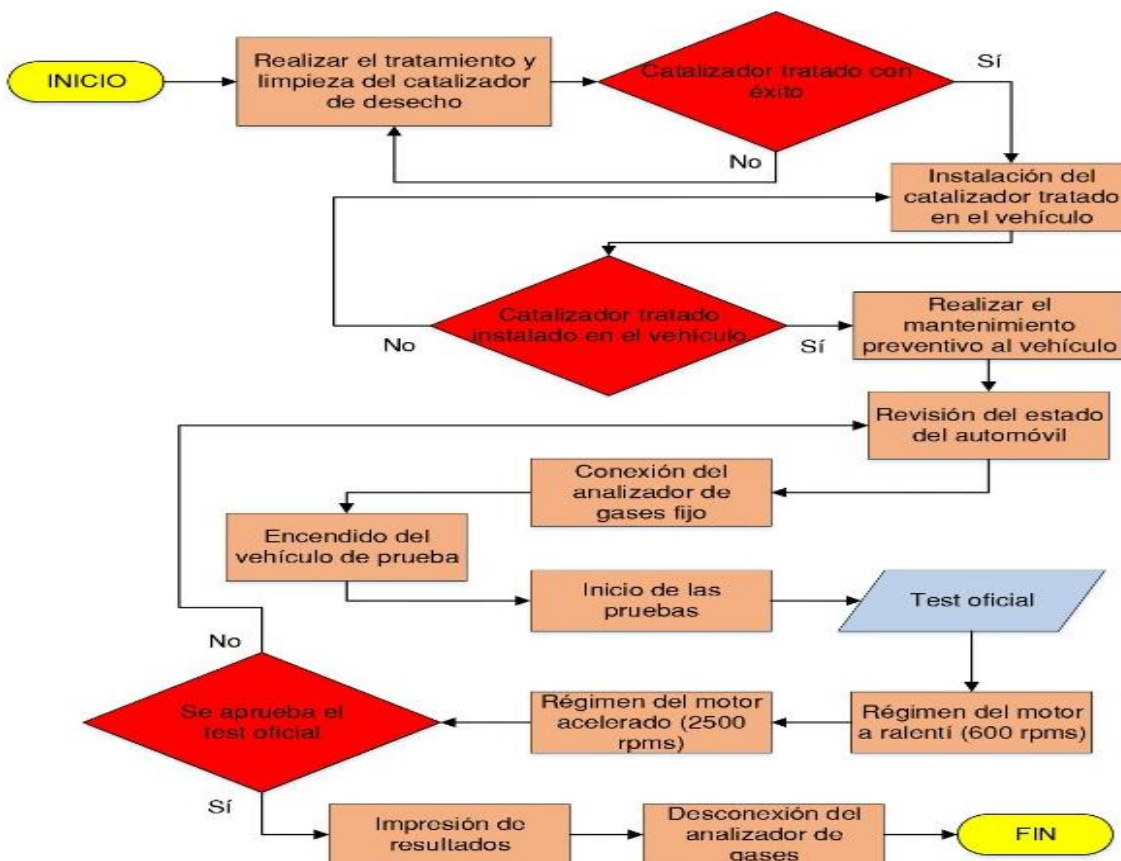
Los registros de hidrocarburos no combustionados, detallan un valor máximo de 23 ppm, el cual se encuentra 11,5% de reducción respecto al límite descrito en la norma.

#### **4.7 Test Oficial – Catalizador tratado**

Se efectuó un tratamiento de limpieza al convertidor catalítico, seguido de un mantenimiento general al Motor del vehículo de prueba para el desarrollo de test oficiales, en régimen ralenti y acelerado.

Figura 48

Proceso Test Oficial – catalizador tratado



*Nota.* La gráfica visualiza los pasos a seguir para ejecutar test oficiales con un analizador fijo.

La tabla describe los resultados promedios obtenidos en 3 ensayos realizados cada 1000 km, para mejores registros de emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), oxígeno (O<sub>2</sub>), hidrocarburos (HC) y el factor lambda.

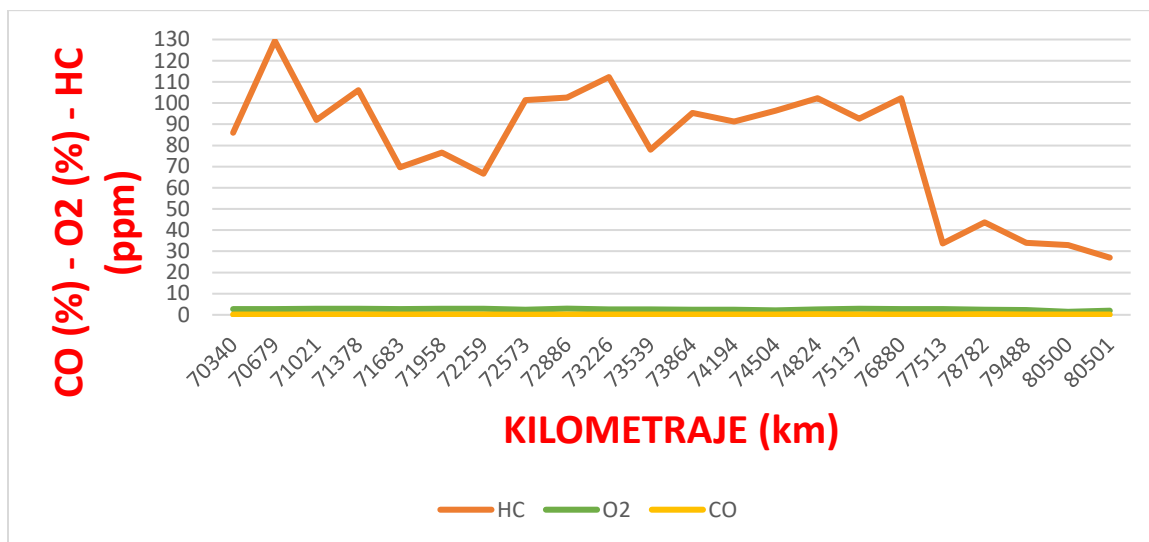
**Tabla 24***Promedios Test oficial – Catalizador tratado*

<b>Orden</b>	<b>Kilometraje (Km)</b>	<b>CO (%)</b>	<b>CO2 (%)</b>	<b>O2 (%)</b>	<b>HC (ppm)</b>	<b>LAMBDA</b>
1	70340	0,1	13,2	2,7	86,0	1,1
2	70679	0,2	13,3	2,7	129,0	1,1
3	71021	0,2	13,3	2,8	92,0	1,1
4	71378	0,2	13,3	2,8	106,0	1,1
5	71683	0,1	13,4	2,7	70,0	1,1
6	71958	0,1	13,2	2,8	77,0	1,1
7	72259	0,1	13,3	2,8	67,0	1,1
8	72573	0,1	13,4	2,3	101,0	1,1
9	72886	0,1	13,0	2,9	103,0	1,1
10	73226	0,1	13,5	2,5	112,0	1,1
11	73539	0,1	13,6	2,5	78,0	1,1
12	73864	0,2	13,2	2,4	95,0	1,1
13	74194	0,2	13,4	2,4	91,0	1,1
14	74504	0,2	13,8	2,0	96,0	1,1
15	74824	0,3	13,2	2,5	102,0	1,1
16	75137	0,1	13,3	2,8	93,0	1,1
17	76880	0,2	13,4	2,6	102,0	1,1
18	77513	0,2	13,4	2,6	34,0	1,1
19	78782	0,3	13,7	2,3	44,0	1,1
20	79488	0,1	13,5	2,3	34,0	1,1
21	80500	0,2	14,2	1,4	33,0	1,1
22	80501	0,1	13,9	2,0	27,0	1,1

*Nota.* La tabla, describe los valores de emisiones resultantes de test oficiales.

**Figura 49**

Relación emisiones CO-O<sub>2</sub>-HC – Catalizador tratado



*Nota:* La gráfica muestra, la variación de emisiones de CO, O<sub>2</sub>, HC aplicado un tratamiento de limpieza.

Se observa en la figura que las emisiones están dentro del límite descrito en la normativa de 1% máximo de monóxido de carbono (CO), siendo su punto alto un valor de 0,29%.

Los resultados en el test oficial de todos los ensayos muestran (Aprobado) sin ninguna falta, es decir, que los valores oxígenos están por debajo de 3% alcanzando una eficiencia completa del convertidor catalítico tratado.

La figura, detalla emisiones de HC que están dentro del rango aceptable con un pico máximo 130ppm, que indica un 65% de reducción respecto al límite descrito en la normativa.

## Capítulo V

### 5. Marco administrativo

Se detallan los recursos utilizados en el proyecto denominado: Análisis de la aplicación del proceso de Oxidación- Reducción para la recuperación de convertidores catalíticos de automóviles.

#### 5.1 Recursos

Los recursos utilizados en el desarrollo del proyecto son económicos, tecnológicos, humanos y materiales necesarios para cumplir los objetivos planteados.

##### 5.1.1 Recursos Humanos

Los recursos humanos inmersos en el proyecto de titulación quienes proporcionaron su intelecto e ideas significativas para el desarrollo del mismo.

**Tabla 25**

*Recursos Humanos*

Orden	Detalle	Cantidad	Función
1	Sr. Jefferson Paul Romero Merino	1	Investigador
2	Sr. Bryam Alexander Sánchez Sánchez	1	Investigador
			Director del trabajo de Titulación
3	Ing. Leonidas Antonio Quiroz Erazo	1	Investigador – Capacitador equipo de diagnóstico y medición automotriz
			Investigador – Analista de emisiones vehiculares

Orden	Detalle	Cantidad	Función
			Investigador – Analista diseño

*Nota.* La tabla plasma la configuración y aporte de talento humano para el proyecto

### 5.1.2 Recursos Tecnológicos

Los recursos tecnológicos usados en cada prueba estática como dinámica, cuyo análisis, así lo requirió.

**Tabla 26**

*Recursos tecnológicos*

Orden	Descripción	Función
1	Analizador de Gases portátil KANE 4-2 plus	Mide las emisiones de gases contaminantes en condiciones estáticas y dinámicas.
2	MGT-300 EVO RPM COUNTER	Muestra el régimen de giro y temperatura del motor en los vehículos de prueba
3	Cámara termográfica FLUKE TI SBC3B	Determina el comportamiento térmico del catalizador y del motor en base a fotografías
4	Analizador de Gases BRAIN BEE AGS - 688	Mide las emisiones de gases contaminantes por medio de test oficiales y pruebas continuas, en condiciones estática

Orden	Descripción	Función
5	Equipo de Limpieza Convertidores Catalíticos (ESPE-L)	Limpia los catalizadores en el proceso de Oxidación
6	Computadora	Permite la conexión con los analizadores de gases BRAIN BEE AGS - 688 y KANE Autoplus 4-2 con sus programa base para visualizar las mediciones de gases contaminantes

*Nota.* La tabla muestra los recursos Tecnológicos necesarios para la ejecución de las pruebas dinámicas como estáticas en el proyecto de investigación

### 5.1.3 Recursos Materiales

Los materiales utilizados en el desarrollo del proyecto son los detallados en la tabla.

**Tabla 27**

*Recursos Materiales*

Cantidad	Descripción
1	Catalizador nuevo Kia Rio 2018
4	Catalizadores usados Kia Rio 2018
1 Gal.	Aceite Sintético S-OIL SEVEN 5W-30
1	Filtro de Aceite
4	Microfiltros inyectores
4	bujías IRIDIUM POWER



Cantidad	Descripción
1	Limpiador de carburador

*Nota.* La tabla, detalla los materiales usados, en el transcurso del proyecto, antes y después de la limpieza del catalizador usado.

#### 5.1.4 Recurso Financiero

El financiamiento por parte de los investigadores empleado en la obtención de materiales y pruebas implementadas en las fases estáticas y dinámicas fundamentales en el desarrollo del proyecto tuvo un costo total de 1.411,93 USD.

**Tabla 28**

*Recurso Financiero Materiales - Insumos- Equipos*

Detalle	Cantidad	Valor Unitario (USD)	Valor Total (USD)
Catalizadores de prueba nuevos	1	150,00	150,00
Catalizadores de prueba Usados	4	94,30	377,20
Calibración equipos de medición de emisiones	2	51,00	102,00
Certificación equipos de medición de emisiones	2	50,00	100,00

<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario (USD)</b>	<b>Valor Total (USD)</b>
Puesta a punto del equipo de Limpieza de Catalizadores Laboratorio de Autotrónica	1	50,00	50,00
Mantenimiento del vehículo de prueba	1	85,8	85,8
Combustible de pruebas	187 Gal	2,39	446,93
Gastos Varios		100,00	100,00
	<b>TOTAL</b>		<b>1.411,93</b>

*Nota.* La tabla, desglosa los costos de materiales, insumos y equipos necesarios, utilizados en el desarrollo de la investigación.

## Capítulo VI

### 6. Conclusiones y Recomendaciones

#### 6.1 Conclusiones

- Se analizó la recuperación de convertidores catalíticos, respecto al proceso de oxidación – reducción con pruebas estáticas y dinámicas en diferentes ciclos de circulación urbanos y extraurbanos.
- Se fundamentó científicamente las fuentes bibliográficas confiables, los diferentes tipos de sistemas de limpieza, tratamiento y reutilización de los catalizadores automotrices de 2 y 3 vías que avalé el procedimiento efectuado en el proyecto de titulación
- Se aplicó un método de limpieza y tratamiento técnico – científico para convertidores catalíticos de desecho, a través de un protocolo de prueba, considerando rangos idóneos de temperaturas programada, flujo de gases inertes nitrógeno y oxígeno, que permitan la reutilización de los mismos.
- Se calibró los analizadores de gases, mediante una certificación por parte de la empresa representante en el país de las marcas de los equipos acorde a los parámetros fijados y establecidos por el fabricante.
- Se ejecutó ensayos de test oficial de medición de emisiones acordes a las normativas vigentes aplicada en los Centros de Revisión Técnica Vehicular.
- El tratamiento de limpieza aplicado al reciclaje de catalizadores de uso automotriz, mejoró el proceso de oxidación- reducción y permitió obtener un ratio de eficiencia de conversión catalítica del 90% para el control de emisiones de hidrocarburos y óxidos nitrosos para catalizadores de 2 y 3 vías.

- Se realizó pruebas dinámicas – ciclos extraurbanos a un catalizador de desecho, y se analizó los valores iniciales y finales del ensayo, se obtienen como datos de partida valores de HC en 97.0 ppm, CO<sub>2</sub> en 12.0% y O<sub>2</sub> en 3.0%; Mientras tanto a una velocidad de 130 km/h, se observa registros de emisiones de hidrocarburos no combustionados 180.6 ppm, dióxidos de carbono 9.5% y oxígenos 2.8%, determinando deficiente el proceso de oxidación – reducción, consecuencia de una disminución en 0.2% los O<sub>2</sub>, cuando la relación ideal dicta que aumente conjuntamente con los HC en tanto los CO<sub>2</sub> disminuyan.
- La relación de hidrocarburos no combustionados junto a dióxidos de carbono y oxígenos, se observó, en la prueba extraurbana catalizador nuevo, en diferentes rangos de velocidad, a 130 km/h emisiones de HC en 200.6 ppm, CO<sub>2</sub> en 10.5% y O<sub>2</sub> en 3.5%; mientras tanto a 70 km/h la generación de subproductos de la combustión de HC 56.7 ppm, CO<sub>2</sub> 12.1% y O<sub>2</sub> en 2.1%; estableciendo la proporcionalidad en el control de agentes contaminantes del CO<sub>2</sub> como indicativo de una combustión adecuada, a partir del incremento del 1.6% para una disminución de 143.9 ppm, que representa el 71% en el control de emisiones.
- El catalizador de desecho en las pruebas dinámicas – zona urbana presentó en los tramos intermedios del ensayo, valores de 11.8% dióxido de carbono, 1.8% oxígeno y 101.1 ppm hidrocarburos no combustionados, respecto a sus mediciones finales, existe emisiones de 11.3% CO<sub>2</sub>, 4.3% O<sub>2</sub> y 95.3 ppm HC, lo cual establece una combustión inadecuada, siendo la proporcionalidad en el control de agentes contaminantes deficiente, debido a la disminución en 0.5% de CO<sub>2</sub> cuando los hidrocarburos disminuyen de igual forma.

- La valores de hidrocarburos no combustionados, oxígenos, dióxidos de carbono en las pruebas dinámicas para un catalizador nuevo en ciclos urbanos, en los 120 segundos de ensayo, son 79.5 ppm, 5.6% y 0,2% respectivamente, en relación a los 1800 segundos, se visualizó valores de 53.3 ppm HC, 1.8% O<sub>2</sub> y 0.3% CO<sub>2</sub>, afirmando un proceso de oxidación – reducción eficiente, ya que se cumple con la característica esencial de O<sub>2</sub> - HC disminuyan y CO<sub>2</sub> aumenten conjuntamente en el mismo intervalo de tiempo y velocidad.
- El catalizador de desecho acumuló gran cantidad de material producto de los gases de combustión, el cual hace que su eficiencia baje y necesite un tratamiento de limpieza, para mejorar sus características y su óptimo desempeño.
- Se determinó una producción baja de hidrocarburos no combustionados y valores que están fuera de los límites aceptables para cada gas estudiado, en consecuencia, de un factor lambda inadecuado, siendo una mezcla pobre, en un catalizador de desecho.
- Se aplicó un tratamiento de limpieza con la inserción de gases inertes junto con un mantenimiento preventivo y correctivo del catalizador de desecho, visualizando una mejora prominente del catalizador, en su proceso catalítico de disminución de gases contaminantes.
- Se obtuvo una mezcla estequiométrica lambda ideal aplicado el tratamiento de limpieza, lo que provocó una reducción de oxígenos llegando a valores inferiores del 3%, los monóxidos de carbono (CO) se mantienen muy bajos con valores del 0,01% en algunos casos y la producción de hidrocarburos es baja con una

mezcla ideal, lo que conlleva a determinar que el tratamiento de limpieza fue correcto.

- Finalizado el tratamiento de limpieza se logró la recuperación del 80% del catalizador de desecho alcanzando un rendimiento óptimo de más del 90% de fiabilidad en su función de reducir gases contaminantes.

## **6.2 Recomendaciones**

- La investigación se puede continuar bajo parámetros de análisis del comportamiento de los diferentes sensores y actuadores que posee el automóvil por medio de diagnóstico a bordo OBDII y comportamiento del motor de combustión interna al ser sometido a pruebas de emisiones estáticas y dinámicas cumpliendo con los protocolos vigentes.
- Realizar pruebas para la determinación de la curva de calentamiento y enfriamiento del convertidor catalítico en las zonas de mayor temperatura del país como lo es la zona 4 o zona 8 y estudiar el comportamiento del catalizador en los procesos de oxidación y reducción de un analizador de gases.
- Comparar los resultados de emisiones contaminantes del convertidor catalítico tratado con un catalizador de alto flujo en pruebas estáticas modificando el sistema de escape del vehículo de prueba y la utilización de tubos de escape individuales o headers.
- Aplicar el procedimiento armonizado Característico del desarrollo del ciclo en conducción por medio del método SAE International 961112.
- Tabular los datos obtenidos de las pruebas realizadas, en base a las normativas NTE INEN 2349:2003, SAE ISO/IEC 17025:2006 y EURO III bajo la consideración de la calidad de los combustibles en el Ecuador.

- Relacionar los resultados obtenidos con los métodos de referencia EPA CTM 34. 40 CFR, 1999, ISO 15031-5 / SAE J1979, SAE J2012, y ISO 8178
- Después del proceso de tratamiento se recomienda tomar muestras del monolito tratado para posteriores análisis de pruebas en laboratorio.
- Se puede realizar un análisis termogravimétrico con las muestras del monolito del catalizador tratado para conocer el porcentaje de carbón que existe en su interior.
- Elaborar una prueba de microcopía electrónica de barrido para obtener datos del tamaño y forma de las partículas del monolito.
- En base a la prueba de quimisorción de hidrógeno se podrá conocer el porcentaje del metal precioso que sigue cumpliendo con sus diferentes funciones tanto de oxidación como de reducción al interior del monolito.
- Determinar las temperaturas adecuadas con las cuales se generan los procesos de oxidación y reducción cumpliendo con la fase activa de los metales nobles.
- Observar los termogramas TCD del monolito de muestra obtenidos con la realización de pruebas de reducción y oxidación a temperatura programada (TPR y TPO).
- Realizar la prueba de espectroscopía de dispersión por rayos x para determinar la presencia de algún elemento no perteneciente a los metales nobles al interior del monolito.
- Investigar acerca de máquinas de limpieza para catalizadores automotrices que se encuentren dentro del país para facilitar los estudios y pruebas de emisiones.

### Bibliografía

- Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador [AEADE]. (2020). *Sector Automotor en cifras*. Recuperado el 18 de Octubre de 2021, de <https://www.aeade.net/wp-content/uploads/2020/12/Boletin-Sector-en-cifras-50-resumen-en-espanol.pdf>
- BOSCH. (2003). *Técnica de gases de escape para motores de gasolina*.
- Coba, C. (2015). *En Ecuador el 35% de vehículos causan altos niveles de contaminación*. Recuperado el 18 de Octubre de 2021, de <https://ecuador.seguros123.com/causan-altos-niveles-de-contaminacion-el-35-de-vehiculos-en-ecuador/#:~:text=Seg%C3%BAn%20la%20norma%20de%20gesti%C3%B3n,37%2C1%20g%2Fkm>.
- Crouse, W. (1993). *Mecánica del automóvil II*. Barcelona: Boixareu.
- DRIVIM. (22 de 10 de 2020). *¿Cuánto contamina un coche? NEDC y WLTP*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2021, de <https://www.drivim.com/blog/cuanto-contamina-un-coche-nedc-y-wltp/>
- FLUKE. (s.f.). *Cámara de infrarrojos Fluke TiS60*. Recuperado el 18 de Diciembre de 2021, de <https://www.fluke.com/es-es/producto/camara-termografica/tis60#>
- GLOBALTECH. (s.f.). *Analizador de gases BRAINBEE - modelo AGS-688*. Recuperado el 14 de Diciembre de 2021, de <https://globaltech-car.com/producto/analizador-de-gases-brain-bee-modelo-ags-688/#dfp>



- GLOBALTECH. (s.f.). *Analizador de gases portátil Kane Autoplus 4-2, Ficha Técnica*. Recuperado el 14 de Diciembre de 2021, de <https://globaltech-car.com/producto/analizador-de-gases-portatil-kane-autoplus-4-2/#dfp>
- GLOBALTECH. (s.f.). *Tacómetro de rpm y temperatura - MGT - 300 EVO*. Recuperado el 14 de Diciembre de 2021, de <https://globaltech-car.com/producto/tacometro-de-rpm-y-temperatura-mgt-300-evo/>
- Gualtieri, P. J. (2008). *Gestión electrónica de motores*. Buenos Aires: Hasa.
- HHO IBÉRICA. (s.f.). *HHO Carbon cleaner 6.0*. Recuperado el 8 de Diciembre de 2021, de <https://hhoiberica.com/hho-carbon-cleaner-6-0/>
- Iberisa. (2018). *Cómo limpiar el catalizador con la última tecnología del mercado*. Recuperado el 18 de Octubre de 2021, de <https://iberisasl.com/blog/como-limpiar-el-catalizador/>
- INFOTALLER. (2018). *Cómo saber si el catalizador está obstruido*. Recuperado el 18 de Octubre de 2021, de [https://www.infotaller.tv/electromecanica/saber-catalizador-obstruido\\_0\\_1252674741.html#:~:text=Cuando%20el%20holl%C3%ADn%20ata sca%20las,se%20quema%20en%20el%20catalizador.](https://www.infotaller.tv/electromecanica/saber-catalizador-obstruido_0_1252674741.html#:~:text=Cuando%20el%20holl%C3%ADn%20ata sca%20las,se%20quema%20en%20el%20catalizador.)
- Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN] 2203. (2000). *Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Determinación de la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o "ralentí". Prueba estática*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.

- Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN] 2204. (01 de 2002). *Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres que utilizan gasolina*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- LOCTITE TEROSON. (22 de 05 de 2020). *¿Es recomendable limpiar el catalizador del coche?* Recuperado el 8 de Diciembre de 2021, de <https://blog.reparacion-vehiculos.es/limpiar-catalizador>
- Montecelos, J. T. (2019). *Vehículos eléctricos*. Madrid: Paraninfo.
- Pedraza, J. Á. (2019). *El reciclaje de catalizadores permite recuperar cada vez más metales del grupo de platino*. Recuperado el 18 de Octubre de 2021, de <https://oroinformacion.com/el-reciclaje-de-catalizadores-permite-recuperar-cada-vez-mas-metales-del-grupo-de-platino/>
- Pérez Belló, M. Á. (2011). *Figura, Sistemas auxiliares del motor*. Madrid: Paraninfo.
- Prieto Amaya, Á. (30 de 06 de 2021). *El catalizador: Qué es, qué elementos lo componen y cómo funciona*. Recuperado el 5 de Diciembre de 2021, de <https://www.autonocion.com/el-catalizador-que-es-partes-componentes-y-funcionamiento/>
- Rodríguez Melchor, J. C. (2012). *Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo otto*. Málaga: ic editorial.

**Anexos**