



**Investigación de la incidencia del sistema de alimentación de combustible GLP en el motor de combustión interna GDI en el control de emisiones vehiculares**

Angamarca Nicaragua, Lennin Ronaldo y Tonato Nata, Stalin Iván

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de Unidad de Integración Curricular, previo a la obtención del Título de Ingeniería

Automotriz

Ing. Quiroz Erazo, Leonidas Antonio

29 febrero del 2024

Latacunga

## Reporte de Verificación de Contenido



### Plagiarism and AI Content Detection Report

UIC ANGAMARCA\_TONATO.docx

*Handwritten signature and text:*  
 2024-05-02 05:02:50 9995

#### Scan details

Scan time: February 29th, 2024 at 19:30 UTC  
 Total Pages: 55  
 Total Words: 13710

#### Plagiarism Detection

Types of plagiarism	Words
Identical	2.2% 305
Minor Changes	0.9% 127
Paraphrased	0.9% 125
Omitted Words	0% 0

4.1%

#### AI Content Detection

Text coverage	Words
AI text	1% 141
Human text	99% 13569

1%

[Learn more](#)

#### Plagiarism Results: (51)

**Centro de Documentación de Fundación MAPFRE - Vehículos a gas, una al...** 0.6%

<https://documentacion.fundacionmapfre.org/documentacion/publico/pt/bib/165752.do?queryid=27045&posi...>  
 Pesquisa de referências ...

**Centro de Documentación de Fundación MAPFRE - Vehículos a gas, una al...** 0.6%

<https://documentacion.fundacionmapfre.org/documentacion/publico/pt/bib/165752.do>  
 Pesquisa de referências ...

**documento\_diagnostico\_e\_identificacion\_de\_factores\_estrategicos\_-\_cam...** 0.5%

[https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/documento\\_diagnostico\\_e\\_identificacion\\_de\\_factores\\_estrategicos\\_...](https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/documento_diagnostico_e_identificacion_de_factores_estrategicos_...)

Alejandra Cifuentes

DOCUMENTO DE DIAGNÓSTICO E IDENTIFICACIÓN DE FACTORES ESTRATÉGICOS Política Pública de Acción Climática Bogotá 2050 Secretaría Distrital...

**download** 0.5%

<https://repositorio.ug.edu.ec/server/api/core/bitstreams/653eb98d-13ef-45e3-90ed-2a7bc3ceccb7/content>

Vallejo,Rosa,EC-Guayaquil

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A L...



**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica**

**Carrera de Ingeniería Automotriz**

### **Certificación**

Certifico que el trabajo de unidad de integración curricular: **“Investigación de la incidencia del sistema de alimentación de combustible GLP en el motor de combustión interna GDI en el control de emisiones vehiculares”** fue realizado por los señores **Angamarca Nicaragua, Lennin Ronaldo y Tonato Nata, Stalin Iván**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 29 febrero 2024

Firma:

**Ing. Quiroz Erazo, Leónidas Antonio**

C.C0502509995

Director del Proyecto



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Angamarca Nicaragua, Lennin Ronaldo**, con cédula de ciudadanía N° **1003759022** y **Tonato Nata, Stalin Iván**, con cédula de ciudadanía N° **1804423356**, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de unidad de integración curricular: **“Investigación de la incidencia del sistema de alimentación de combustible GLP en el motor de combustión interna GDI en el control de emisiones vehiculares”** 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, 29 de febrero 2024

Firma

.....  
Sr. Angamarca Nicaragua, Lennin Ronaldo

C.C:1003759022

Firma

.....  
Sr. Tonato Nata, Stalin Iván

C.C:1804423356



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Autorización de Publicación

Nosotros **Angamarca Nicaragua, Lennin Ronaldo**, con cédula de ciudadanía N° **1003759022** y **Tonato Nata, Stalin Iván**, con cédula de ciudadanía N° **1804423356**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de unidad de integración curricular: **“Investigación de la incidencia del sistema de alimentación de combustible GLP en el motor de combustión interna GDI en el control de emisiones vehiculares”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 29 de febrero 2024

Firma

Sr. Angamarca Nicaragua, Lennin Ronaldo  
C.C: 1003759022

Firma

Sr. Tonato Nata, Stalin Iván  
C.C: 1804423356

### **Dedicatoria**

Dedico este proyecto en primer lugar a Dios que me brindó salud y perseverancia en el transcurso de mi carrera universitaria.

A mis padres Víctor Angamarca y Clemencia Nicaragua que siempre me brindaron su apoyo incondicional a pesar de las caídas y momentos difíciles me inculcaron que hay que luchar por los objetivos que se propone y persistentemente me acompañaron siendo un pilar fundamental en este trayecto universitario.

A mis hermanos Israel, Grace y Danna que con su cariño y sus palabras de aliento fueron mi camisa de fuerza para seguir adelante y tener en mente cumplir con mi propósito.

A mi abuelito Oswaldo que siempre estuvo pendiente dándome su amor y su bendición cuando salía a mis estudios.

A una persona muy especial como Dani que a pesar de la distancia me brindó su apoyo incondicional desde el inicio de mi travesía universitaria, me aconsejó y enseñó a ser perseverante.

A mis amigos que me brindaron su apoyo este transcurso.

***Lennin Ronaldo Angamarca Nicaragua***

## **Agradecimiento**

Agradezco a Dios por brindarme fortaleza, sabiduría y permitirme llegar a culminar esta etapa de mi carrera universitaria de la mejor manera.

A mis padres los cuales me han apoyado durante toda mi vida y nunca me han dejado solo a pesar de las adversidades que se presentaron en este largo camino.

A mis hermanos que siempre estuvieron pendientes y me brindaron su apoyo a pesar de estar lejos de mi hogar.

A Dani, una persona muy importante que me brindó un apoyo sincero, me acompañó desde el inicio del transcurso de mi carrera, y me demostró que no hay obstáculos que no se puedan superar.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga por permitirme desarrollar como un futuro profesional del país.

De manera muy especial al Ingeniero Leónidas Quiroz, tutor de la unidad de integración curricular por permitirme ser parte de su proyecto y brindarnos su apoyo incondicional durante el desarrollo de la investigación.

A mis amigos de la universidad que me acompañaron en este transcurso y me manifestaron su apoyo.

***Lennin Ronaldo Angamarca Nicaragua***

## **Dedicatoria**

Dedico este proyecto primero a Dios por siempre darme salud, perseverancia e inteligencia, pero ante todo guiar mi camino y darme la fuerza necesaria para afrontar todas las cosas que pasaron en mi proceso académico.

A mis padres, por todo su apoyo económico y emocional, por los consejos que me brindaron porque a pesar de los momentos difíciles nunca me dejaron solo me dieron ese aliento para poder superar este escalón y poder cumplir con éxito una fase más de mi vida.

A mi herma, sobrinas y resto de mi familia que me apoyaron emocionalmente para no rendirme en el camino y demostrarme que no porque sea duro sea imposible de lograr.

A mi enamorada, que fue, es y seguirá siendo un apoyo en mi vida, me demostró que un consejo no es por molestar sino porque quería que piense bien las cosas que estaba haciendo.

A mi compañero de tesis, que más que un compañero era un amigo y hermano, con quien, a pesar de las dificultades y sacrificios, salimos adelante.

Finalmente, a mis amigos de la universidad los cuales me daban una palabras de aliento y me apoyaron en las decisiones buenas y malas que tome.

**Stalin Iván Tonato Nata**



## **Agradecimiento**

A mi padre, por su apoyo, por sus consejos cuando sin decirle que me pasaba se acercaba y me decía todo está bien, por confiar en mí y no abandonarme cuando fallaba, por ayudarme con las herramientas de su taller que son esenciales para su trabajo, pero él nunca me negaba su ayuda, por prestarme su vehículo a pesar de ser el medio de movilización.

A mi madre, por levantarse en las mañanas frías a despertarme, por siempre brindarme un desayuno y su bendición al salir de la casa, por preguntarme como estoy e intentar alegrarme con sus ocurrencias o sus juegos, por siempre pedir a Dios que todo me vaya bien en la universidad.

A mi hermana Yessenia y mis sobrinas Camila y Laila, por estar ahí en mi vida y llenarme de felicidad con sus ocurrencias y locuras, por alentarme a ser mejor persona, y ser el orgullo de nuestros padres, por escucharme cuando ya no podía con algún problema, por decirme que no porque una persona se va de tu vida vas a dejar de luchar por tus metas.

A Nicol o como yo la se llamar "mi niña", por estar ahí desde que empecé mi carrera universitaria, por la preocupación de si ya comí, ya llegué a la casa, ya terminé los deberes de cómo me fue en clases, por sacarme una sonrisa cuando me sentía triste o cansado, con sus ocurrencias, por regañarme cuando hacía las cosas incorrectas.

A mi tutor de tesis Ingeniero Leónidas Quiroz por apoyo en el proceso de realizar este proyecto para cumplir con todos los objetivos planteados, por tenernos esa paciencia de padre en el proceso de análisis de datos con los analizadores de gases.

***Stalin Iván Tonato Nata***

## INDICE DE CONTENIDO

Caratula.....	1
Reporte de Verificación de Contenido.....	2
Certificación .....	3
Responsabilidad de Autoría .....	4
Autorización de Publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	7
Dedicatoria.....	8
Agradecimiento.....	9
Indice de contenido.....	10
Índice de Figuras .....	14
Índice de Tablas.....	16
Resumen.....	17
Abstract.....	18
Capítulo I: Planteamiento del problema de investigación.....	19
Antecedentes investigativos.....	19
Planteamiento del problema.....	20
Justificación e importancia y alcance .....	21
Objetivos.....	22
<i>Objetivo General</i> .....	22
<i>Objetivos Específicos</i> .....	23
Descripción del proyecto.....	23
Metas del Proyecto .....	24
Hipótesis.....	24
Capítulo II: Marco Teórico.....	25

Combustión .....	25
Combustible .....	25
Comburente .....	25
Productos de la combustión .....	25
Principales productos generados por la combustión .....	27
<i>Monóxido de carbono (CO)</i> .....	27
<i>Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)</i> .....	28
<i>Hidrocarburos (HC)</i> .....	28
<i>Oxígeno (O<sub>2</sub>)</i> .....	28
<i>Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)</i> .....	28
Relación lambda .....	30
Recirculación de gases de escape .....	31
Gas licuado de petróleo (GLP).....	32
Normativas.....	32
<i>Normativa NTE INEN 2 203:2000</i> .....	32
<i>Normativa NTE INEN 2 204: 2002</i> .....	33
<i>Rangos de aprobación</i> .....	33
Protocolos para emisiones de gases .....	35
<i>Protocolo NEDC</i> .....	35
<i>Protocolo FTP-75</i> .....	35
Equipos de medición.....	36
<i>Analizador de gases KANE AUTOPLUS 4-2</i> .....	36
<i>Analizador de gases AGS-688</i> .....	37
Vehículo de prueba - VP.....	40

<b>Capítulo III: Diseño de la propuesta de incidencia del sistema de alimentación de combustible GLP en el motor de combustión interna GDI en el control de emisiones vehiculares.....</b>	<b>41</b>
<b>Uso de los equipos de medición.....</b>	<b>41</b>
<i>Uso del equipo portátil.....</i>	<i>41</i>
<i>Uso del analizador estático .....</i>	<i>43</i>
<b>Protocolos de medición dinámico .....</b>	<b>44</b>
<b>Protocolos de medición estático.....</b>	<b>44</b>
<i>Test oficial .....</i>	<i>45</i>
<i>Protocolo de medición del test continuo.....</i>	<i>46</i>
<b>Parámetros recopilados antes de la instalación del kit GLP de quinta generación .....</b>	<b>47</b>
<i>Pruebas en los ciclos homologados dinámicos.....</i>	<i>47</i>
<i>Pruebas Estáticas.....</i>	<i>51</i>
<b>Capitulo IV: Análisis de resultados de emisiones.....</b>	<b>57</b>
<b>Resultados de las pruebas en los ciclos homologados dinámicos .....</b>	<b>57</b>
<i>Ruta en carretera .....</i>	<i>57</i>
<i>Ruta Urbana.....</i>	<i>62</i>
<i>Ruta Combinada .....</i>	<i>67</i>
<b>Resultados de las Pruebas Estáticas.....</b>	<b>72</b>
<i>Resultados Test Oficial – Ralentí/Aceleración .....</i>	<i>72</i>
<i>Resultados test continuo.....</i>	<i>77</i>
<b>Capítulo V: Marco Administrativo.....</b>	<b>82</b>
<b>Recursos Humanos .....</b>	<b>82</b>
<b>Recursos Tecnológicos .....</b>	<b>82</b>
<b>Recursos Materiales.....</b>	<b>84</b>

Recurso Financiero .....	84
Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones.....	87
Conclusiones.....	87
Recomendaciones.....	88
Bibliografía .....	90
Anexos .....	97

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Productos de la combustión ideal e incompleta</i> .....	27
<b>Figura 2</b> <i>Comportamiento de Lambda</i> .....	31
<b>Figura 3</b> <i>Funcionamiento de la válvula EGR</i> .....	32
<b>Figura 4</b> <i>Analizador de gases KANE AUTOPLUS 4-2</i> .....	36
<b>Figura 5</b> <i>Analizador de gases AGS-688</i> .....	38
<b>Figura 6</b> <i>MGT 300-EVO</i> .....	39
<b>Figura 7</b> <i>Protocolo de uso del KANE AUTOPLUS</i> .....	42
<b>Figura 8</b> <i>Protocolo de uso de AGS 688 Brain Bee</i> .....	43
<b>Figura 9</b> <i>Protocolos de Medición Dinámico</i> .....	44
<b>Figura 10</b> <i>Protocolos de medición test oficial</i> .....	45
<b>Figura 11</b> <i>Protocolos de medición test continuo</i> .....	46
<b>Figura 12</b> <i>Preparación de la sonda del analizador de emisiones</i> .....	47
<b>Figura 13</b> <i>Mapas de las rutas de prueba</i> .....	48
<b>Figura 14</b> <i>Mediciones en software KANE LIVE</i> .....	49
<b>Figura 15</b> <i>Preparación del analizador de gases en el motor del vehículo de pruebas</i> .....	51
<b>Figura 16</b> <i>Recolección de datos en el Test oficial</i> .....	52
<b>Figura 17</b> <i>Reporte de test oficial con el uso de combustible gasolina/GLP</i> .....	53
<b>Figura 18</b> <i>Reporte de emisiones de escape de la prueba continua.</i> .....	54
<b>Figura 19</b> <i>Comparación de O2 Gasolina-GLP ruta carretera</i> .....	58
<b>Figura 20</b> <i>Comparación de CO2 Gasolina-GLP ruta carretera</i> .....	59
<b>Figura 21</b> <i>Comparación de CO Gasolina-GLP ruta carretera</i> .....	60
<b>Figura 22</b> <i>Comparación de HC Gasolina-GLP ruta carretera</i> .....	61
<b>Figura 23</b> <i>Comparación de Lambda Gasolina-GLP ruta carretera</i> .....	62
<b>Figura 24</b> <i>Comparación de O2 Gasolina-GLP ruta urbana</i> .....	63
<b>Figura 25</b> <i>Comparación de CO2 Gasolina-GLP ruta urbana</i> .....	64

<b>Figura 26</b> <i>Comparación de CO Gasolina-GLP ruta urbana</i> .....	65
<b>Figura 27</b> <i>Comparación de HC Gasolina-GLP ruta urbana</i> .....	66
<b>Figura 28</b> <i>Comparación de Lambda Gasolina-GLP ruta urbana</i> .....	67
<b>Figura 29</b> <i>Comparación de O2 Gasolina-GLP ruta combinada</i> .....	68
<b>Figura 30</b> <i>Comparación de CO2 Gasolina-GLP ruta combinada</i> .....	69
<b>Figura 31</b> <i>Comparación de CO Gasolina-GLP ruta combinada</i> .....	70
<b>Figura 32</b> <i>Comparación de HC Gasolina-GLP ruta combinada</i> .....	71
<b>Figura 33</b> <i>Comparación de Lambda Gasolina-GLP ruta combinada</i> .....	72
<b>Figura 34</b> <i>Comparación de O2 - Test Oficial</i> .....	73
<b>Figura 35</b> <i>Comparación de CO2 - Test Oficial</i> .....	74
<b>Figura 36</b> <i>Comparación de CO - Test Oficial</i> .....	75
<b>Figura 37</b> <i>Comparación de HC - Test Oficial</i> .....	76
<b>Figura 38</b> <i>Comparación de Lambda - Test Oficial</i> .....	77
<b>Figura 39</b> <i>Comparación de O2 - Test Continuo</i> .....	78
<b>Figura 40</b> <i>Comparación de CO2 - Test Continuo</i> .....	79
<b>Figura 41</b> <i>Comparación de CO - Test Continuo</i> .....	79
<b>Figura 42</b> <i>Comparación de HC - Test Continuo</i> .....	80
<b>Figura 43</b> <i>Comparación de Lambda - Test Continuo</i> .....	81

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Posibles causas del aumento de emisiones.....	29
<b>Tabla 2</b> Valores de lambda .....	30
<b>Tabla 3</b> Límites máximos permitidos en marcha mínima o ralentí (prueba estática). .....	33
<b>Tabla 4</b> Normativa aplicada en el C.R.T.V del D.M.Q.....	34
<b>Tabla 5</b> Tipo de Faltas.....	34
<b>Tabla 6</b> Rango de mediciones del analizador KANE AUTOPLUS.....	37
<b>Tabla 7</b> Especificaciones técnicas del analizador de gases Brain Bee AGS – 688.....	38
<b>Tabla 8</b> Especificaciones técnicas del MGT 300-EVO.....	39
<b>Tabla 9</b> Ficha técnica del vehículo de pruebas .....	40
<b>Tabla 10</b> Condiciones de ruta .....	48
<b>Tabla 11</b> Valores de las pruebas dinámicas con el uso de combustible Gasolina/GLP.....	50
<b>Tabla 12</b> Datos del test oficial con el uso de combustible gasolina/GLP.....	53
<b>Tabla 13</b> Datos de la prueba continua con el uso de combustible gasolina/GLP.....	55
<b>Tabla 14</b> Promedios de la prueba continua con el uso de combustible gasolina/GLP.....	56
<b>Tabla 15</b> Recursos humanos .....	82
<b>Tabla 16</b> Recursos tecnológicos.....	83
<b>Tabla 17</b> Recursos materiales .....	84
<b>Tabla 18</b> Recurso Financiero Materiales - Insumos- Equipos.....	85



## Resumen

La investigación de la incidencia del sistema de alimentación de combustible GLP en el motor de combustión interna GDI en el control de emisiones vehiculares, evaluó los efectos del uso del gas licuado de petróleo en la generación de subproductos de la combustión como: dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrocarburos no combustionados, oxígeno y lambda. El estudio se desarrolló en un automóvil de inyección directa gasolina con sistema electrónico de alimentación de alternativo GLP/gasolina de quinta generación a través de pruebas dinámicas y estáticas fundamentadas a partir de protocolos válidos a nivel internacional en ciclos urbanos – extraurbanos y en función de la normativa nacional actual para test continuo – oficial, a través del uso de equipos de medición homologados y calibrados con gases patrones. Se obtuvo datos tabulados y analizados de acuerdo a los límites permisibles de emisiones vehiculares vigentes, desde punto de vista analítico – estadísticos. Los resultados obtenidos de los ensayos en diferentes condiciones de funcionamiento evidencian un incremento del oxígeno, hidrocarburos y monóxido de carbono, y registra una disminución del dióxido de carbono y lambda, debido a que la mezcla de GLP que ingresa al cilindro trabaja por encima de los valores tradicionales que es 14,7 partes de aire por una parte de combustible, en la relación proporción sube los hidrocarburos , por este motivo cuando se utiliza vehículos con combustible gaseoso se recomienda utilizar bujías de alta performance con materiales como iridio o platino en su relación lambda de 15,63.

*Palabras clave:* GDI, GLP, Hidrocarburos, LAMBDA

### **Abstract**

The research on the incidence of the LPG fuel system in the GDI internal combustion engine in vehicle emissions control evaluated the effects of using liquefied petroleum gas on the generation of combustion by-products such as carbon dioxide, carbon monoxide, unburned hydrocarbons, oxygen, and lambda. The study was conducted on a gasoline direct injection vehicle with a fifth-generation electronic alternative LPG/gasoline fuel system through dynamic and static tests based on internationally valid protocols in urban-extrurban cycles and in accordance with current national regulations for continuous-official testing, using approved and calibrated measurement equipment with standard gases. Tabulated and analyzed data were obtained according to the permissible limits of current vehicle emissions from an analytical-statistical perspective. The results obtained from the tests under different operating conditions show an increase in oxygen, hydrocarbons, and carbon monoxide, along with a decrease in carbon dioxide and lambda. This is because the LPG mixture entering the cylinder operates above the traditional values of 14.7 parts of air to one part of fuel. As the proportion increases, so do the hydrocarbons. Therefore, when using vehicles with gaseous fuel, it is recommended to use high-performance spark plugs made of materials like iridium or platinum with a lambda ratio of 15.63.

*Keywords:* GDI, LPG, Hydrocarbons, LAMBDA

## Capítulo I

### Planteamiento del problema de investigación

#### Antecedentes investigativos

El mundo automotriz debe adaptarse con proyectos e innovaciones que contribuyan a la conservación de la naturaleza y el medio ambiente debido a que los valores ideológicos han cambiado con el tiempo. En línea con el fin de mantener la utilización de estos tipos de motores de combustión interna, la Industria Automotriz ha comenzado en el desarrollo de diversos métodos para disminuir la huella de carbono de la producción y el uso de vehículos de motores. Por lo tanto, ha buscado nuevos combustibles que contribuyan a esta idea, resultando en el sistema de GLP, el cual utiliza un motor de combustión interna de ciclo Otto que utiliza el gas licuado de petróleo.

(Pérez, 2018) afirma que en Europa circulan más de quince millones de vehículos con gas como combustible; en España, su uso es muy reducido. Probablemente, por el desconocimiento de su funcionamiento y de sus ventajas. Los vehículos a gas, ya sea en su variante más extendida, gas licuado del petróleo (GLP), o como gas natural comprimido (GNC), son vehículos bifuel, que utilizan gasolina y gas como combustible, más limpios y menos contaminantes frente a los habituales. Además, suponen una alternativa a los vehículos híbridos y eléctricos.

Según (AUTOGAS ITALIA) uno de los combustibles fácilmente disponible y convencionales más limpio es el GLP. No es venenoso y no tiene ningún efecto sobre el agua, o el suelo, produce menos partículas (NOX) de gasolina, aceite, madera o carbón, también ayuda a mejorar la calidad del aire tanto interior como exterior. La elección del combustible puede tener un impacto significativo en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, incluido el dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero, al considerar el calentamiento global.

Los kits de conversión de las marcas de mayor venta a nivel mundial cumplen con estándares fundamentales en dos certificaciones importantes en el campo automotriz: el Sistema de Gestión de Calidad ISO / TS 16949 del Sector Automotriz y el Sistema de Gestión de Calidad ISO 9001. Además, la aplicación de la ISO/TS 16949 es una especificación técnica establecida por el "ISO" IATF International Automotive Task Force, cuya aplicación ha permitido optimizar tanto la cadena de suministro como los procesos, evitando fallos y mejorando la calidad de los sistemas y componentes de GLP. Además, Hyundai, Kia, Renault, Dacia, Nissan, Mazda, GM, Chevrolet, BMW y Volvo se encuentran entre los vehículos que pueden convertirse a GLP si cuentan con un motor de combustión interna MEP con sistema GDI, con potencias que van desde 60 Cv a 200 Cv y cilindradas que van desde 1000 cc a 2500 cc (LOVATO GAS, 2024).

### **Planteamiento del problema**

Los cambios constantes en las ventas de gasolina y diésel llevan a considerar otros combustibles, como reemplazo, para el uso en los automóviles. El 80% de la demanda mundial de energía primaria actual proviene de los combustibles fósiles, y el sistema energético es la fuente de aproximadamente dos tercios de las emisiones globales de CO<sub>2</sub>. Existen diversas operaciones relacionadas con el Gas Licuado de Petróleo (GLP), ya que es un combustible más amigable con el medio ambiente que la gasolina y el diesel (Foster & Elzinga).

Según (Otero, 2020) el GLP, es ahora y desde hace varios años el combustible alternativo más utilizado en el mundo, con más de 15 millones de vehículos GLP en Europa. Por lo cual, indica que el uso del gas hoy en día es muy usual en los vehículos. Además, (ASTRAVE, 2024) afirma que existen miles de vehículos en EE. UU, Canadá, y otros países donde los propietarios han modificado su vehículo para utilizar gas como combustible.

A escala mundial, los precios de los derivados del petróleo que importa el Ecuador están subiendo paulatinamente. Es una oportunidad para incentivar el uso del GLP, llegando a

más ecuatorianos que se beneficiarán de este tipo de combustible y evitarán el consumo de combustibles costosos. Por tanto, es necesario implementar una nueva alternativa de combustible más económica y de manera dual (GLP-Gasolina) ya que estos vehículos cuentan con sistemas de alimentación que requieren la gasolina Súper para su correcto desempeño (Orozco, 2022).

Además, con la legalización y restricción de uso exclusivo del combustible por parte del gremio del sector del taxi, ha habido un aumento en el uso del GLP como combustible alternativo para el transporte público en la flota nacional. La implementación de un sistema GLP es crucial para reducir la contaminación ambiental y ahorrar dinero debido a los costos del combustible que están aumentando. Como resultado, este análisis proporciona una visión práctica de las preocupaciones que los usuarios tienen sobre la eficacia de estos sistemas. El objetivo principal de este estudio es sustituir el combustible por un sistema de gestión de GLP, entendiendo que esto liberará a los propietarios de vehículos de tener que gastar tanto.

El uso de gas licuado de petróleo (GLP) como combustible alternativo en vehículos es una práctica que ha ido en aumento debido a diversos factores como el precio de los combustibles tradicionales, las políticas ambientales y la disponibilidad de la tecnología de conversión.

### **Justificación e importancia y alcance**

En la actualidad un sistema de alimentación de combustible GLP ofrece en comparación con los combustibles tradicionales múltiples ventajas. El GLP tiene un contenido más bajo de carbono, lo que significa que las emisiones de gases de efecto invernadero se reducen. Además, al ser un combustible más limpio, crea menos partículas contaminantes en la combustión, mejorando la calidad del aire.

Por otro lado, el motor de combustión interna GDI (Inyección Directa de Gasolina) es una tecnología que ha ganado popularidad en los últimos años debido a su mayor eficiencia y mejor rendimiento en comparación con los motores convencionales. Sin embargo, este tipo de motores son una tecnología relativamente nueva que busca mejorar la eficiencia de combustión, reducir las emisiones contaminantes y aumentar el desempeño del motor. Sin embargo, la mayoría están optimizados para operar con gasolina.

Al combinar dos tecnologías, surgen interrogantes sobre su compatibilidad y efectos. Por ello, es imprescindible investigar la incidencia de utilizar sistemas de alimentación de GLP en lugar de gasolina en motores GDI, para determinar si existen efectos positivos o negativos en las emisiones contaminantes.

Los resultados de la investigación permitirán averiguar si es viable y beneficiosa la implementación de motores GDI duales para operar con gasolina y GLP. Se establecerán recomendaciones para las calibraciones o ajustes requeridos en el motor para optimizar el control de emisiones.

La incidencia del sistema de alimentación de combustible GLP en el motor de combustión interna GDI en el control de emisiones vehiculares es un tema de gran relevancia en la actualidad. Con la necesidad de reducir las emisiones de gases nocivos y el creciente problema de la contaminación ambiental, es importante investigar cómo el uso de GLP como combustible alternativo puede contribuir a mitigar este problema.

## **Objetivos**

### ***Objetivo General***

Investigar la incidencia del sistema de alimentación de combustible GLP en el motor de combustión interna GDI en el control de emisiones vehiculares.

### **Objetivos Específicos**

- Realizar ensayos de emisiones en tiempo real en el motor de combustión interna GDI a través de pruebas continuas y test oficial según la NTE INEN 2 203 y NTE INEN 2 204.
- Cuantificar la relación aire – combustible del sistema de alimentación de combustible GLP en el motor de combustión interna GDI de acuerdo a los valores de HC, CO, CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>.

### **Descripción del proyecto**

El en proyecto "Investigación de los Sistemas de Alimentación de Combustible GLP de Quinta Generación en Motores GDI" se estudió y analizó los efectos de la implementación un sistema de alimentación de Gas Licuado de Petróleo (GLP) de quinta generación a motores de combustión interna con tecnología de Inyección Directa de Gasolina (GDI). El objetivo principal fue investigar cómo esta tecnología puede influir en la reducción de emisiones contaminantes y mejorar la eficiencia en vehículos equipados con motores GDI.

El proyecto propuso una serie de pasos. Se llevó a cabo una revisión exhaustiva de la literatura científica y técnica relacionada con los sistemas de alimentación de GLP de última generación y los motores GDI. Esta revisión permitió obtener un entendimiento sólido de la tecnología existente, sus beneficios y posibles desafíos.

Se seleccionó un motor GDI representativo en el que se realizó adaptaciones en sus sistemas de alimentación para incorporar la tecnología GLP de quinta generación. Estos cambios se hicieron siguiendo los estándares y mejores prácticas de conversión.

Una vez adaptado el motor, se realizó las pruebas experimentales mediante pruebas controladas. Durante las pruebas, se midió las emisiones de gases contaminantes, el rendimiento y la eficiencia de los motores tanto con el sistema de GLP como con gasolina

convencional. Estos datos permitieron hacer comparaciones directas y de esta forma se determinó que la tecnología de GLP de quinta generación tiene un impacto significativo en estos aspectos.

Los resultados de las pruebas y el análisis de los datos recopilados fueron esenciales para evaluar la efectividad del sistema de GLP en el motor GDI del vehículo de pruebas. Se analizó si existió una reducción significativa en las emisiones de gases contaminantes y se logró una mejora palpable en la eficiencia de combustible y el rendimiento del motor.

Además, se evaluó los aspectos técnicos, el proyecto consideró las implicaciones económicas y ambientales de implementar esta tecnología. Se examinó los posibles beneficios a nivel de costos operativos y de mantenimiento, así como su contribución a la reducción global de la contaminación del aire.

### **Metas del Proyecto**

Evaluar de manera integral y precisa el impacto del sistema de alimentación de combustible GLP en motores de combustión interna GDI, centrándose en el control de emisiones vehiculares.

### **Hipótesis**

Utilizar un sistema de alimentación de combustible GLP en un motor GDI, para observar una reducción significativa en las emisiones vehiculares en comparación con el uso exclusivo de gasolina convencional, debido a las propiedades de combustión más limpias inherentes al GLP.



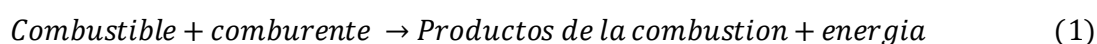
## Capítulo II

### Marco Teórico

#### Combustión

El proceso de combustión es una reacción química muy rápida de oxidación acompañada de un gran flujo de calor exotérmico y un flujo de sustancias que desaparecen (Naranjo, 2007, pág. 25).

De forma específica, se puede expresar la combustión como:



#### Combustible

El combustible es el elemento principal de la reacción de combustión ya que sus propiedades definen y caracterizan al proceso. Una de las más importantes y de la cual depende el proceso de combustión es su capacidad de liberar energía (Fuentes, 2015, pág. 7).

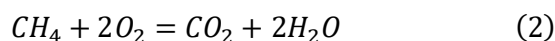
#### Comburente

Es la sustancia que se combina con un combustible para provocar la combustión, el más conocido es el oxígeno por lo tanto se utiliza el aire como comburente, debido a su composición de 21% Oxígeno (O<sub>2</sub>) y 79% Nitrógeno (N<sub>2</sub>) (García, 2001, pág. 3).

#### Productos de la combustión

La combustión en motores de combustión interna (MCI) produce principalmente CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y calor, pero también puede generar subproductos como CO, NO<sub>x</sub>, HC, partículas de hollín y compuestos orgánicos volátiles (VOCs), con impactos ambientales y de salud. Los motores modernos se diseñan para reducir su formación y emisión.

La fórmula química correspondiente a un proceso de combustión completa, se define de la siguiente manera:



Donde:

$C = \text{carbono}$

$O = \text{oxígeno}$

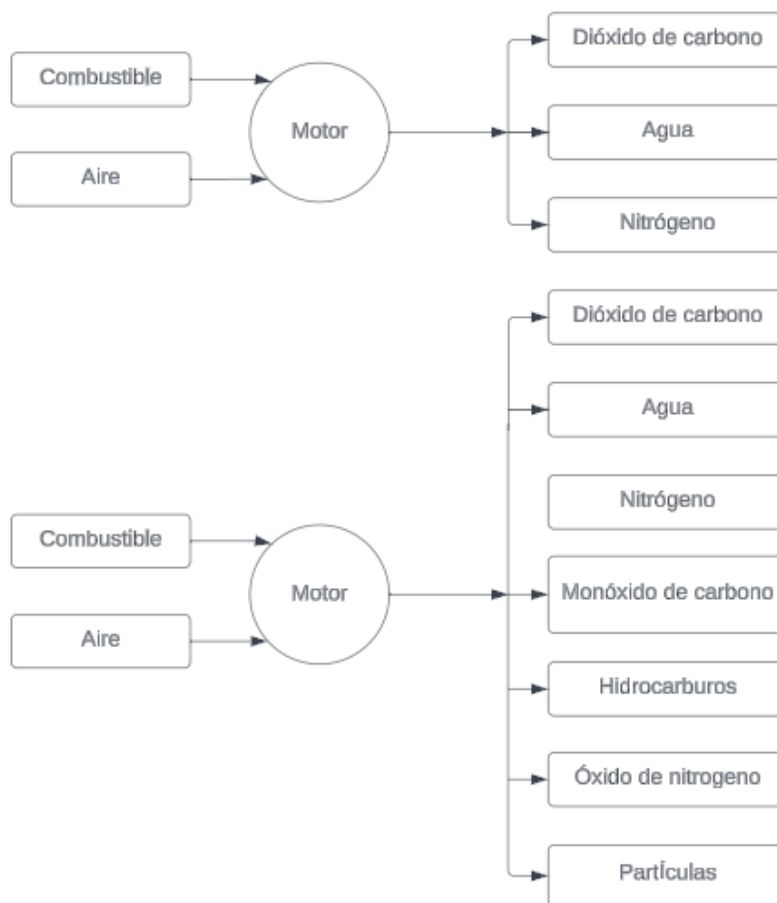
$H = \text{hidrógeno}$

En la Figura 1 se detalla los productos de la combustión tanto ideal como incompleta, donde según (Salvi, 1972) una combustión ideal representa una reacción de combustión perfecta en la que un combustible se quema completamente con oxígeno, generando solo  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  y calor. Mientras que una mezcla incompleta ocurre cuando el combustible no se quema totalmente debido a diversas razones, como falta de oxígeno, distribución desigual de combustible y aire, o condiciones subóptimas de temperatura y presión. Esto resulta en la formación de subproductos no deseados como  $\text{CO}$ ,  $\text{HC}$ ,  $\text{NO}_x$  y hollín, los cuales son dañinos para la salud y el medio ambiente, y afectan la eficiencia energética.

En la ingeniería de motores, se persigue la meta de una mezcla ideal para reducir el impacto ambiental y maximizar la eficiencia energética. Sin embargo, en la realidad, factores como la mezcla inadecuada de combustible y aire, la temperatura y presión de la combustión, y las propiedades del combustible hacen que las combustiones reales se alejen de la perfección.

**Figura 1**

*Productos de la combustión ideal e incompleta*



*Nota.* En la parte superior, se indica los productos de una combustión ideal (dióxido de carbono, agua y nitrógeno), mientras que los de una incompleta (parte inferior) (monóxido de carbono, hidrocarburos, óxidos nitrosos y partículas.). Tomado de (Denton, 2016).

### **Principales productos generados por la combustión**

#### ***Monóxido de carbono (CO)***

Es un gas inodoro e incoloro que se forma cuando el carbono no encuentra oxígeno suficiente para formar dióxido de carbono durante la combustión incompleta de la mezcla (Alonso J. , 2002).

Los valores altos de CO durante la combustión se deben a múltiples factores como lo detalla la Tabla 1. Normalmente el valor correcto está comprendido entre 0,5 y 1 %, siendo la unidad de medida el porcentaje %. Obtenido de (Rondón, Torres, Niño, Monterrosa, & Romero, 2012).

### ***Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)***

Es un indicador de la eficiencia de la combustión. Los problemas de aumento de CO<sub>2</sub> se deben a diversos factores como se indica en la Tabla 1, los MCI generan entre 15 a 17% de CO<sub>2</sub>, entre estos valores se asume que el MCI funciona correctamente. Obtenido de (Rondón, Torres, Niño, Monterrosa, & Romero, 2012, pág. 1012).

### ***Hidrocarburos (HC)***

Constituyen al combustible no quemado durante el proceso de combustión, son medidos en partes por millón (ppm). El valor normal está comprendido entre 100 y 200 ppm (Rondón, Torres, Niño, Monterrosa, & Romero, 2012, pág. 1011). En la Tabla 3 se detalla las posibles fallas que generan un aumento de HC.

### ***Oxígeno (O<sub>2</sub>)***

Es compuesto indispensable en la combustión y conocido como comburente, es inversamente proporcional al monóxido de carbono (CO). Normalmente una lectura cercana al cero indica una mezcla perfecta. Pero puede estar en un rango de 0 a 3%. (Rondón, Torres, Niño, Monterrosa, & Romero, 2012, pág. 1012). El aumento de O<sub>2</sub> se da principalmente por fugas dentro del MCI, en la Tabla 1 se enlista que tipos de fugas aumentan la producción de O<sub>2</sub> en un MCI.

### ***Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)***

Surge del resultado de reacciones secundarias durante el proceso de combustión, se trata de NO y NO<sub>2</sub> que surgen de las elevadas temperaturas entre el nitrógeno del aire y el oxígeno.

**Tabla 1***Posibles causas del aumento de emisiones*

<b>Gases resultantes</b>	<b>Causas</b>
<b>Monóxido de carbono (CO)</b>	Sistema de admisión (filtro de aire)
	Válvula EGR
	Válvula PCV
	Sensor MAP
	Sensor TPS
<b>Dióxido de Carbono (CO2)</b>	Mezcla Rica
	Problemas en el Sensor de Oxígeno
	Filtro de Aire Sucio
	Sistemas de Inyección de
	Combustible Defectuosos
	Retraso en el Encendido o Avance del Encendido Incorrecto
	Temperatura del Motor Incorrecta
Problemas en el Convertidor Catalítico	
<b>Hidrocarburos (HC)</b>	Inyectores (abiertos)
	Sistema de encendido (bobina, cables, bujías, distribuidor)
	Problema mecánico del motor
	Sensor de temperatura del refrigerante
	Sensor MAP
<b>Oxígeno (O2)</b>	Fugas de vacío
	Fugas o pérdidas de presión en el sistema de alimentación y admisión
	Tubo de escape perforado y filtro de aire obstruido

*Nota.* Tomado de (Rondón, Torres, Niño, Monterrosa, & Romero, 2012).

### Relación lambda

Según (Bosch, 2000, pág. 16) la relación lambda se define como la relación estequiométrica de aire combustible que es de 14,7 unidades de aire por 1 unidad de gasolina. Esta relación indica hasta qué punto difiere la mezcla real con respecto a la teórica.

$$\lambda = \frac{\text{Mas de aire aportado}}{\text{Necesidad de aire teorico}} \quad (2)$$

**Tabla 2**

*Valores de lambda*

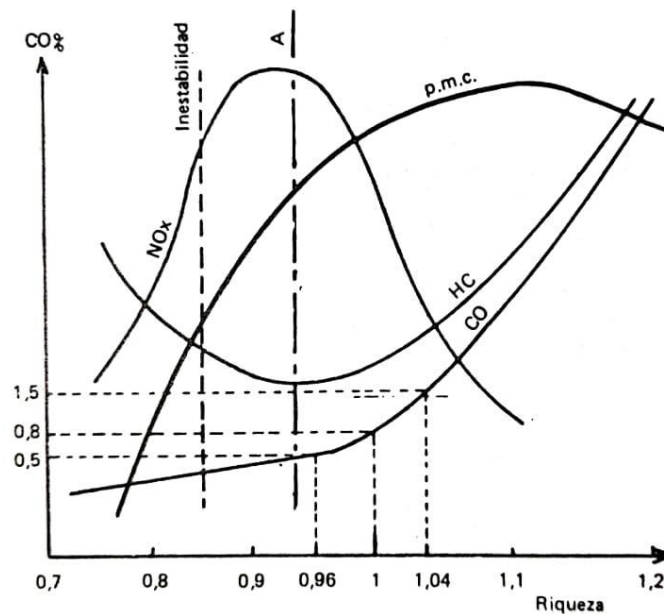
Valores	Indicaciones
$\lambda < 1$	mezcla de aire – combustible rica
$\lambda > 1$	mezcla de aire – combustible pobre
$\lambda = 1$	mezcla de aire – combustible ideal

*Nota.* El valor que todo MCI busca acercarse es al 1

En la Tabla 2, se entiende las causas de variación del valor de lambda, en los motores de combustión interna, el valor se debe aproximar siempre a la estequiometria de lambda igual 1 para la relación de aire combustible.

## Figura 2

### Comportamiento de Lambda



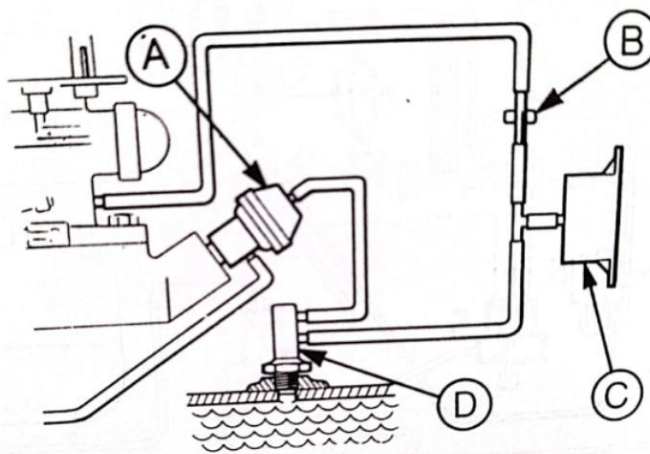
*Nota.* La figura, representa los valores de Lambda para rico, pobre y la variación de los gases, Óxidos de nitrógeno (NOx), Hidrocarburos (HC), Monóxido de carbono (CO) en relación de la potencia media efectiva (p.m.c.). Tomado de (Alonso J. , 2000, pág. 119).

### Recirculación de gases de escape

Otro de los dispositivos utilizados para reducir la contaminación es el sistema de recirculación de gases de escape, denominado EGR, cuyo propósito fundamental es de disminuir los NOx emitidos durante el funcionamiento del motor. Esto se consigue regresando una pequeña proporción de los gases de escape al colector de admisión, para ser introducidos en la cámara de combustión, juntamente con el aire fresco (Alonso J. , 2000, pág. 123).

### Figura 3

#### Funcionamiento de la válvula EGR



*Nota.* La cantidad de componentes para mejorar el funcionamiento de la válvula EGR depende de cada marca vehículo. Obtenido de (Alonso J. , 2002, pág. 124).

En la Figura 3 se puede observar la válvula de recirculación A que es gobernada por el vacío, regulado por el interruptor termométrico D, el vacío es tomado del colector de admisión a través del limitador B y depósito C (Alonso J. , 2002, pág. 124).

### Gas licuado de petróleo (GLP)

El propano o el gas licuado de petróleo (LPG, liquefied petroleum gas) es un combustible fósil producto de un 70% butano y un 30 % de propano que puede usarse para energizar los motores de combustión interna, una de las ventajas de este carburante es la menor contaminación al disminuir residuos tóxicos (Denton, 2016).

### Normativas

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

Establece un método de prueba para determinar las concentraciones de gases de escape en vehículos equipados con motores a gasolina de encendido por chispa (NTE INEN 2



203, 2000). Los valores de esta normativa se pueden observar en la Tabla 3, que se presenta a continuación:

**Tabla 3**

*Límites máximos permitidos en marcha mínima o ralentí (prueba estática).*

Año modelo	% CO*		ppm HC*	
	0 - 1 500 **	1 500 - 3 000 **	0 - 1 500 **	1 500 - 3 000 **
2000 y posteriores	1,0	1,0	200	200

\* Volumen

\*\*Altitud = metros sobre el nivel del mar (msnm).

*Nota.* Se consideró los valores de acuerdo a los datos del vehículo de pruebas (NTE INEN 2 203, 2000).

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

La Normativa NTE INEN 2 204 fija los niveles máximos de emisión de gases dañinos como el monóxido de carbono (CO), los hidrocarburos no quemados (HC), los óxidos de nitrógeno (NOx) y las partículas contaminantes. Los cuales varían según el tipo y tamaño del motor de los vehículos. La normativa ecuatoriana tiene como objetivo reducir la contaminación del aire estableciendo límites estrictos para proteger la salud pública y el medio ambiente. Es crucial que los fabricantes cumplan con estas reglas para garantizar el cumplimiento en las emisiones, asegurando así la protección ambiental. (NTE INEN 2 204, 2002).

### **Rangos de aprobación**

Normas establecidas por la Revisión Técnica Vehicular de la ciudad de Quito.

**Tabla 4***Normativa aplicada en el C.R.T.V del D.M.Q*

Año	HC (PPM)	CO (%)	O2 (%)	TIPO	Resultado
				DE FALTA	
<b>DEL 2000 EN ADELANTE</b>	$0 \leq X < 160$	$0 \leq X < 0,6$	$0 \leq X < 3$	0	<b>Aprobado sin faltas</b>
	$160 \leq X < 180$	$0,6 \leq X < 0,8$	$3 \leq X < 4$	1	<b>Aprobado con falta tipo 1</b>
	$180 \leq X < 200$	$0,8 \leq X < 1$	$4 \leq X < 5$	2	<b>Aprobado con falta tipo 2</b>
	$X \geq 200$	$X \geq 1$	$X \geq 5$	3	<b>Rechazado</b>

*Nota.* Tomado de (GLOBALTECH, 2023).**Tabla 5***Tipo de Faltas*

	<b>0</b>	<b>CERO</b>	<b>VEHICULO SIN PROBLEMAS</b>
<b>TIPO DE FALTA</b>	<b>1</b>	<b>MODERADO</b>	<b>EL VEHICULO PASA</b>
	<b>2</b>	<b>GRAVE</b>	<b>EL VEHICULO PASA CONDICIONADO</b>
	<b>3</b>	<b>PELIGROSO</b>	<b>EL VEHICULO NO PASA</b>

*Nota.* Tomado de (GLOBALTECH, 2023).

## **Protocolos para emisiones de gases**

Para el control en las pruebas de emisiones contaminantes se utiliza el Protocolo Armonizado NEDC, el cual supervisa los diferentes gases como el CO, HC, NOx (Drivim, 2020).

### ***Protocolo NEDC***

El ciclo de conducción NEDC se realizan de acuerdo a las funciones de manejo en condiciones urbanas y extraurbanas, desarrollado por etapas de aceleración, desaceleración y velocidad constante. Durante este ciclo, se evalúan las emisiones de gases contaminantes como CO, HC, NOx y partículas, junto con el consumo de combustible y las emisiones de CO<sub>2</sub>.

- **Condiciones 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 urbanas y extraurbanas (Drivim, 2020).

### ***Protocolo FTP-75***

El Protocolo FTP-75, también conocido como Federal Test Procedure, es un estándar utilizado para evaluar las emisiones y el desempeño de vehículos en los Estados Unidos. Este procedimiento implica un ciclo de manejo en laboratorio diseñado para imitar tanto las condiciones urbanas como extraurbanas.

- **Condiciones protocolo FTP-75**

Se llevan a cabo secuencias de manejo que simulan una serie de aceleraciones, desaceleraciones y velocidades constantes, todo diseñado para reflejar los patrones de manejo comunes en áreas urbanas. Con una duración de 30 minutos, una distancia de 17 km y una velocidad promedio de 34 km/h (Tapia, Tigre, & Torres, 2017).

Las emisiones de gases contaminantes como CO, HC, NOx y partículas durante la prueba, se registran, junto con el consumo de combustible y las emisiones de CO<sub>2</sub>. Estos datos se utilizan para determinar si los vehículos cumplen con los estándares de emisiones establecidos por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos.

## Equipos de medición

### *Analizador de gases KANE AUTOPLUS 4-2*

Realiza mediciones dinámicas de emisiones de CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub>, y factor LAMBDA, que genera un MCI, (GLOBALTECH, 2021).

#### Figura 4

*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. Tomado de (GLOBALTECH, 2024).

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 39 nitrógeno de 0 a 5000 partes por millón y Lambda de 0.8 a 1.2 valor calculado automático (GLOBALTECH, 2021).

**Tabla 6**

*Rango de mediciones del analizador KANE AUTOPLUS*

<b>RANGO DE MEDICION</b>		
CO	0-10%	sistema infrarrojo
CO2	0-16%	sistema infrarrojo
HC	0-5000 ppm	sistema infrarrojo
O2	0-21%	celda electro-química
NOX	0-5000 ppm	con sensor opcional
Λ	0.8-1.2	calculado

*Nota.* Tomado de (GLOBALTECH, 2021).

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

Registra mediciones en porcentaje y partículas por millón de emisiones de, CO (%), HC (ppm), O2 (%), CO2 (%) y NOx, realiza pruebas en test continuas y test oficiales (GLOBALTECH, 2021).

**Figura 5**

*Analizador de gases AGS-688*



*Nota.* Tomado de (GLOBALTECH, 2021).

**Tabla 7**

*Especificaciones técnicas del analizador de gases Brain Bee AGS – 688*

<b>Variables</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Intervalo</b>	<b>Unidad</b>
Oxígeno	(O <sub>2</sub> )	0-25	[%]
Dióxido de carbono	(CO <sub>2</sub> )	0-19,9	[%]
Hidrocarburos no combustionados	(CH)	0-9999	[ppm]
Monóxido de carbono	(CO)	0-9,99	[%]
Óxidos de nitrógeno	(NO <sub>x</sub> )	0-5000	[ppm]
Lambda	(λ)	0,5-5	[-]

*Nota.* se especifica las técnicas que utiliza el analizador de gases Brain Bee AGS – 688 para medir la generación de gases de la combustión de un MCI. Tomado de (Apolo & Ávila, 2019).

Medidor de revoluciones y temperatura del motor, por medio de señales enviadas al analizador de gases, los modos de medición de vibraciones se desarrollan por medio de armónicos del sistema de carga y batería o mediante el sensor de vibraciones (GLOBALTECH, 2021).

**Figura 6**

*MGT 300-EVO*



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

Obtenido de (GLOBALTECH, 2021).

**Tabla 8**

*Especificaciones técnicas del MGT 300-EVO*

Variables	Símbolo	Intervalo	Unidad
Contador de rpm	(RPM)	300-9990	[min <sup>-1</sup> ]
Medidor de temperatura		20-150	[°C]

*Nota.* Tomado de (GLOBALTECH, 2021).

### Vehículo de prueba - VP

El un vehiculó marca Mazda, modelo CX-7, cuenta con un sistema de inyección directa (GDI por sus siglas en inglés).

### Tabla 9

*Ficha técnica del vehículo de pruebas*

Mazda CX-7	
Combustible	Gasolina
Depósito de combustible	69 L
Potencia máxima	260 CV / 191 kW
Revoluciones potencia máxima	5 500 rpm
Par máximo	380 Nm
Revoluciones par máximo	3 000 rpm
Numero de cilindros	4
Disposición de los cilindros	En línea
Diámetro	87,5 mm
Carrera	94 mm
Cilindrada	2 261 cm <sup>3</sup>
Relación de compresión	9,5 a 1
Alimentación	Inyección directa, turbo, intercooler

*Nota.* Datos técnicos del vehículo. Tomado de (KM77.COM, 2007).



## Capítulo III

### **Diseño de la propuesta de incidencia del sistema de alimentación de combustible GLP en el motor de combustión interna GDI en el control de emisiones vehiculares**

Se desarrolló protocolos y métodos de ensayo de uso de equipos de medición de emisión de gases de la forma que especifica la normativa técnica ecuatoriana NTE INEN 2203 y NTE INEN 2204 para pruebas estáticas y dinámicas.

Se ha establecido tres rutas de circulación; la primera ruta por zona urbana, otra por carretera y por último combinada. Estos trayectos se realizaron únicamente en el día, de igual forma se debe considerar que en este tipo de estudios no existe una distancia de ruta determinada para la elaboración de un ciclo de conducción y que tampoco se ha logrado establecer un procedimiento normalizado para seleccionar una ruta apropiada. Por tal motivo, se planteó una relación de las distancias de los ciclos más comunes y de manera semejante se realizó un rango entre los 2,1 km y 11,9 km para la zona urbana; entre 8,8 km y 29,5 km para carretera y entre 6,2 km y 25,6 km para la zona combinada.

#### **Uso de los equipos de medición**

##### ***Uso del equipo portátil***

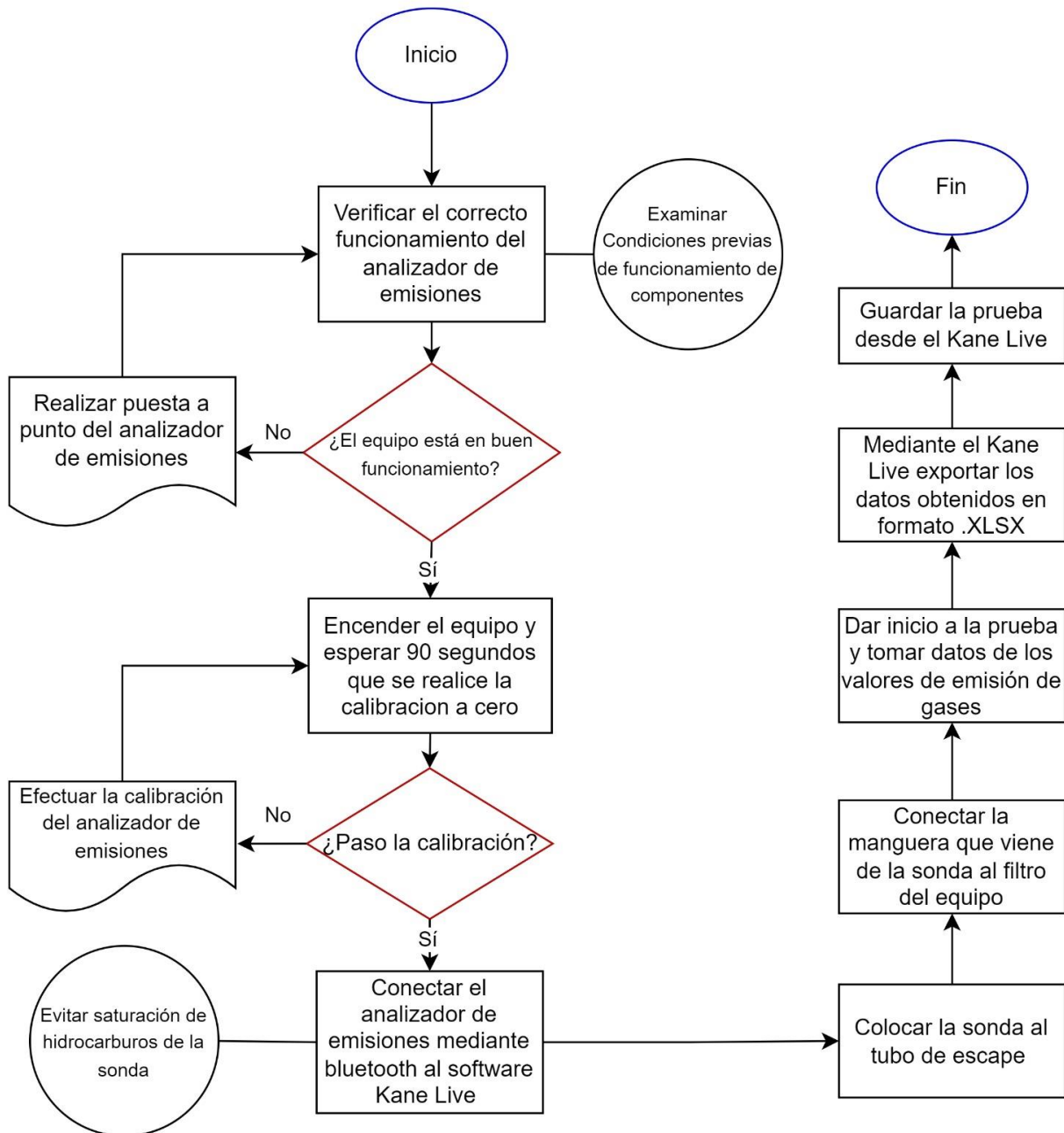
El uso del equipo se estandariza en cuatro etapas;

1. Revisión de condiciones de funcionamiento adecuado
2. Auto calibración del equipo
3. Medición del oxígeno
4. Conexión de la sonda al analizador y al escape.

Es un analizador de emisiones portátil cuyas condiciones de trabajo está orientado a realizar pruebas estáticas y dinámicas. Permite registrar mediciones de gases de oxígeno (O<sub>2</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y Lambda.

Figura 7

Protocolo de uso del KANE AUTOPLUS



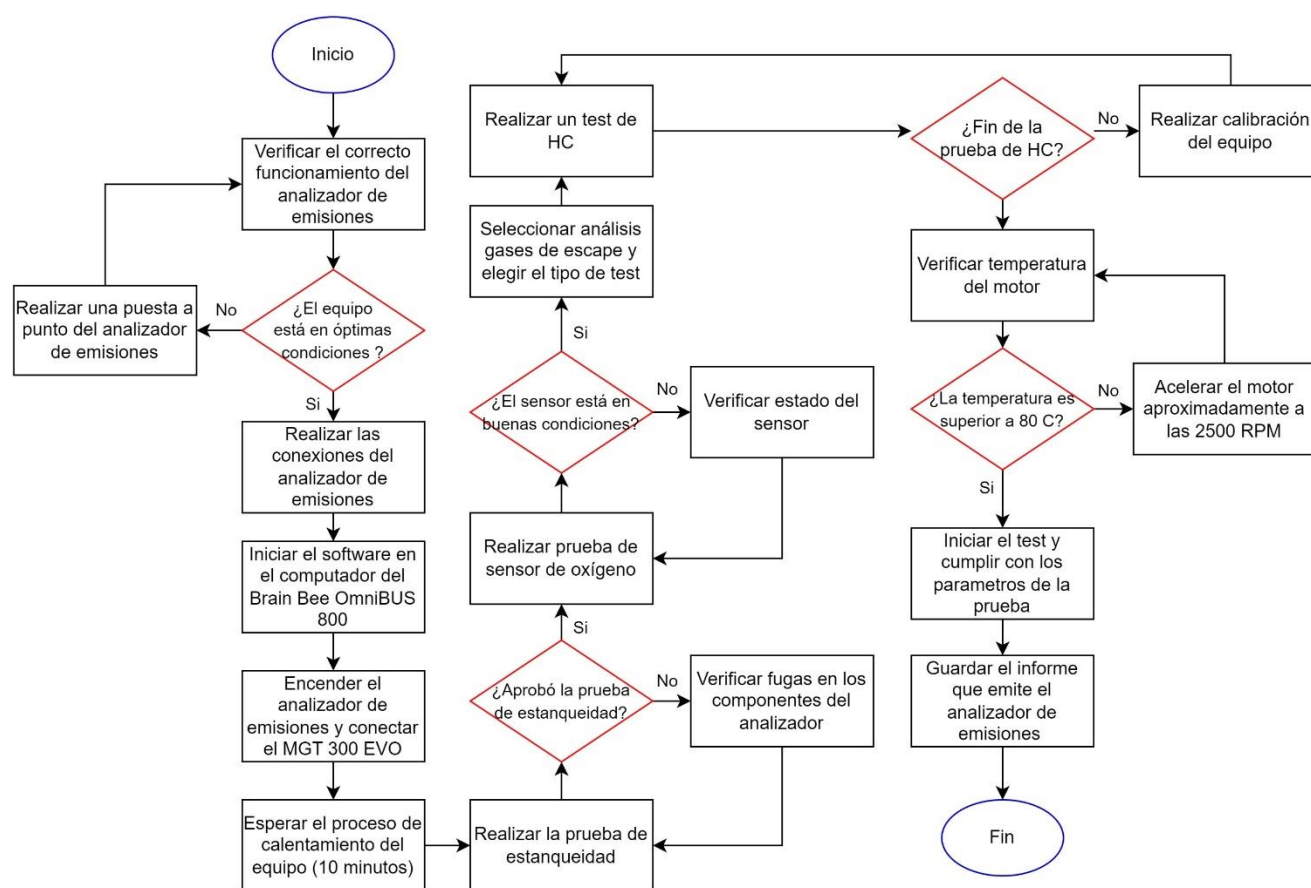
*Nota.* En el diagrama se detalla el uso del analizador portátil para obtener mediciones en la prueba estática o dinámica.

### Uso del analizador estático

El equipo debe cumplir fases necesarias para empezar las mediciones, el autocero del equipo, prueba de estanqueidad, el test residual de hidrocarburos, verificar la temperatura de funcionamiento del motor, comprobar revoluciones, estado del sensor de oxígeno.

**Figura 8**

*Protocolo de uso de AGS 688 Brain Bee*

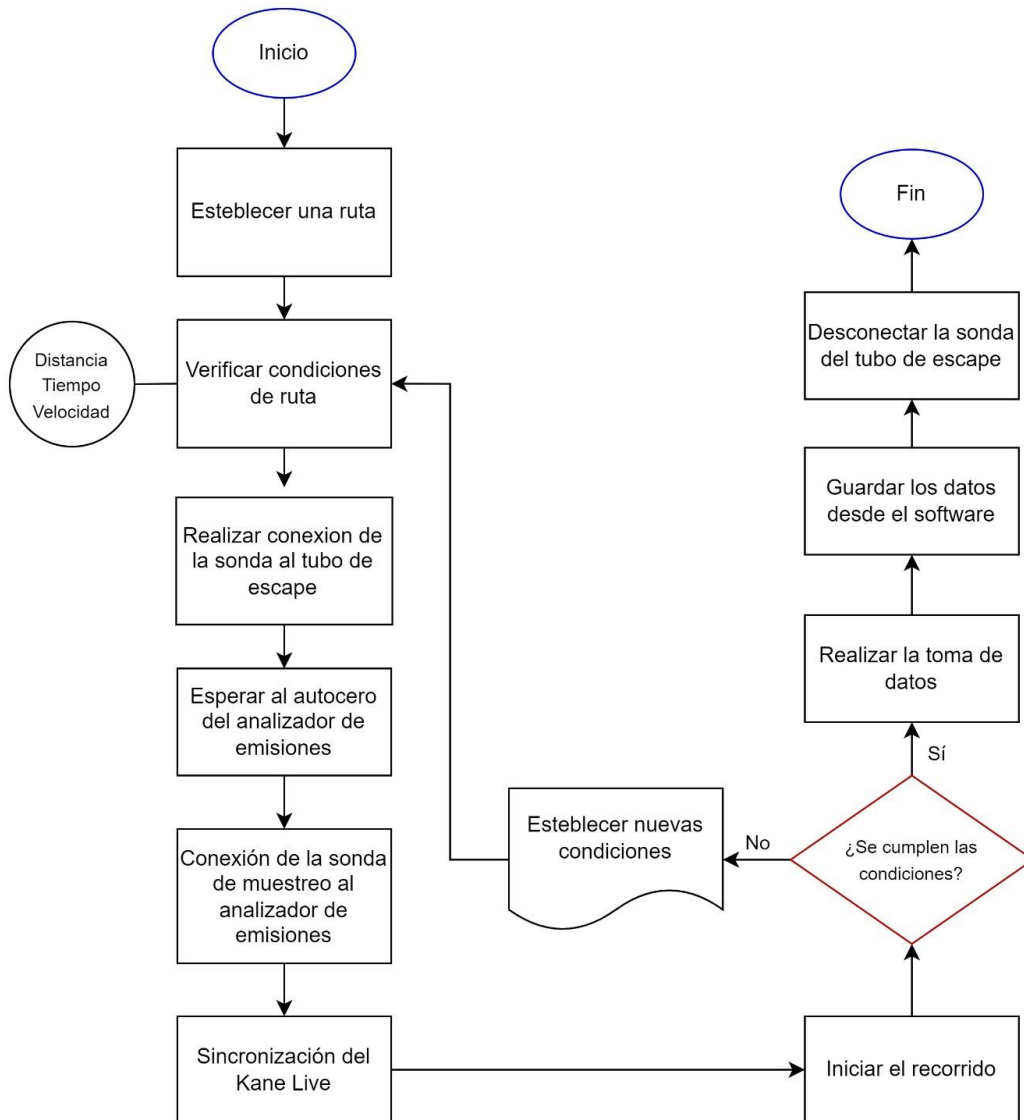


*Nota.* En la figura se detalla mediante un diagrama de flujo el proceso para iniciar con el procedimiento de toma datos de emisiones de gases para el test oficial o la prueba continua.

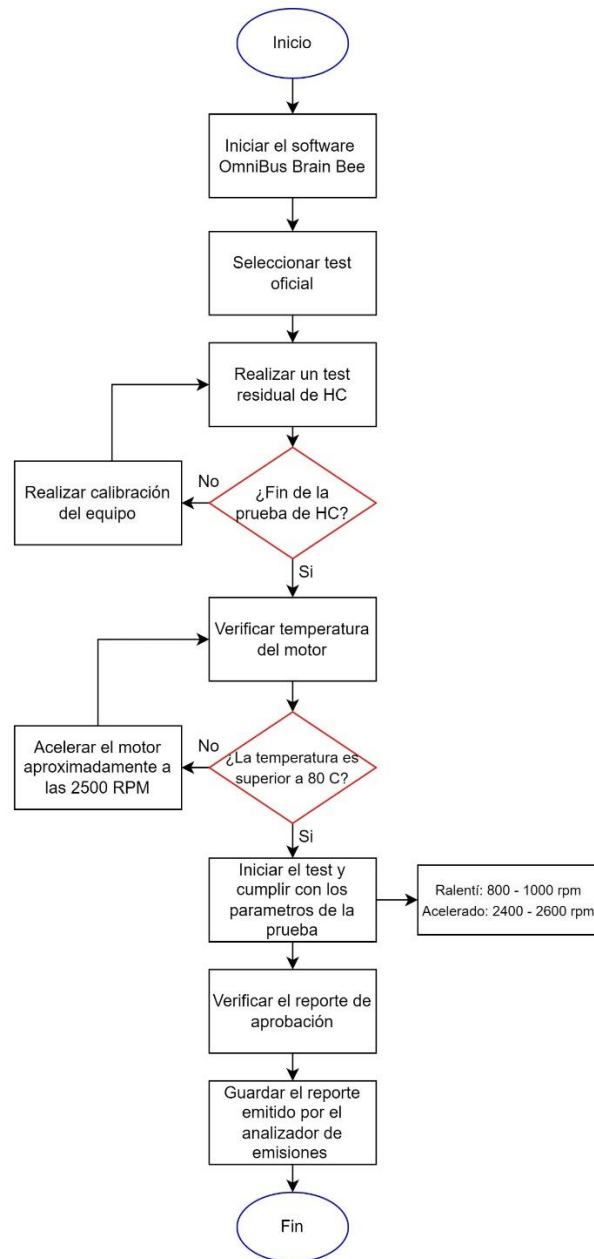
## Protocolos de medición dinámico

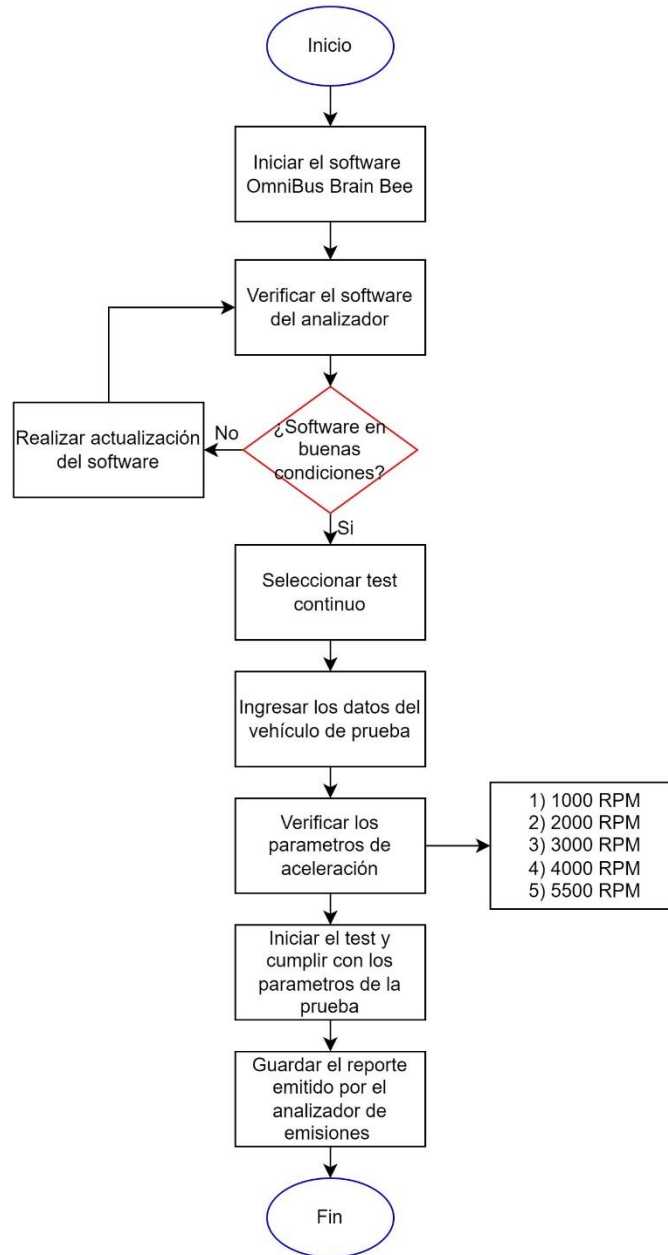
Figura 9

*Protocolos de Medición Dinámico*



## Protocolos de medición estático

**Test oficial****Figura 10***Protocolos de medición test oficial*

**Protocolo de medición del test continuo****Figura 11***Protocolos de medición test continuo*

## Parámetros recopilados antes de la instalación del kit GLP de quinta generación

### *Pruebas en los ciclos homologados dinámicos*

Este ensayo consiste en realizar la medición de gases con el analizador portátil cuando el vehículo de prueba se encuentre en movimiento en la ruta establecida.

### **Figura 12**

*Preparación de la sonda del analizador de emisiones*



*Nota.* Modo de conexión de la sonda del analizador de gases para la prueba dinámica.

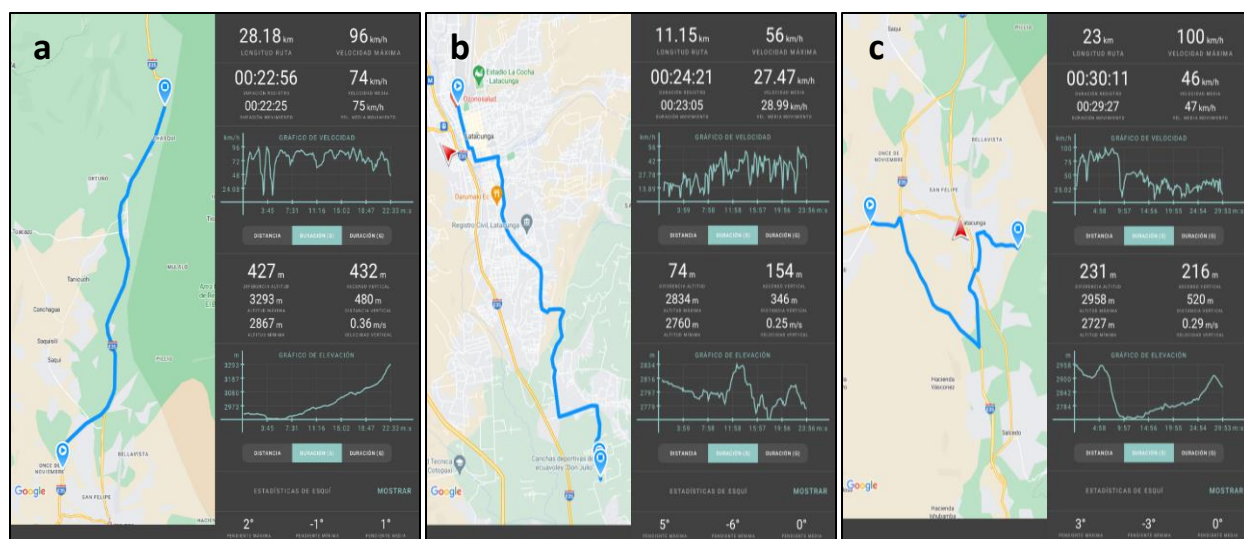
- **Rutas de prueba**

Para las pruebas de ruta, se determinó en función de condiciones de distancia, tiempo y velocidad máxima, de acuerdo a los ciclos de conducción armonizados.

**Tabla 10***Condiciones de ruta*

Ruta	Distancia [Km]	Tiempo [min]	Velocidad máxima [Km/h]
Carretera	27	23	100
Urbana	11	25	50
Combinada	23	30	50 (urbana) 100 (carretera)

Nota. Especificaciones de cada ruta para la obtención de datos.

**Figura 13***Mapas de las rutas de prueba*

Nota. Se puede evidenciar los detalles y características principales de la ruta de carretera (a), urbana (b) y combinada (c).

En las pruebas se realizó las mediciones de emisiones de gases con el vehículo de prueba utilizando de combustible gasolina y GLP, para la toma de emisiones de oxígeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrocarburos y lambda.



Los resultados de las pruebas de ruta en carretera, urbana y combinada registraron los resultados de las mediciones de oxígeno (O<sub>2</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y lambda, se analizaron con la aplicación KANE LIVE del analizador de gases utilizado.

## Figura 14

*Mediciones en software KANE LIVE*



Tabla 11

Valores de las pruebas dinámicas con el uso de combustible Gasolina/GLP

		GASOLINA					GLP						
		O2 [%]	CO2 [%]	CO [%]	HC [ppm]	Lambda / AFR	COK [%]	O2 [%]	CO2 [%]	CO [%]	HC [ppm]	Lambda / AFR	COK [%]
		CARRETERA		1,125	14,000	0,035	15,000	1,057	0,035	1,075	12,900	0,965	58,000
	1,065		13,600	0,035	15,500	1,053	0,030	1,090	12,900	0,970	51,500	1,027	0,940
	2,470		11,650	0,185	9,000	1,140	0,240	1,845	12,700	1,310	58,000	1,050	1,315
	2,340		11,700	0,190	9,500	1,123	0,235	1,850	12,950	1,450	74,500	1,048	1,390
	3,560		11,700	0,030	12,000	1,210	0,030	3,750	11,700	0,050	67,000	1,221	0,060
	3,380		11,600	0,020	9,000	1,203	0,020	3,830	11,500	0,040	65,000	1,226	0,050
URBANO		0,970	13,400	0,055	12,000	1,048	0,095	1,515	12,050	1,325	67,500	1,033	1,420
		0,985	13,550	0,085	12,500	1,048	0,090	1,475	13,150	1,830	89,500	1,010	1,840
		2,455	8,700	0,150	25,000	1,166	0,280	2,645	11,400	1,150	74,000	1,098	1,385
		2,430	11,05	0,195	25,500	1,139	0,275	2,550	11,75	1,085	74,500	1,108	1,155
		3,495	12,000	0,185	30,000	1,193	0,220	3,200	12,300	1,040	127,000	1,129	1,020
		3,460	12,100	0,185	27,500	1,187	0,210	3,170	10,300	0,770	125,000	1,171	1,120
COMBINADO		0,925	13,85	0,005	24,500	1,046	0,005	1,180	13,150	0,845	49,000	1,031	0,935
		0,940	13,900	0,045	37,500	1,046	0,045	1,170	12,450	0,890	50,000	1,029	1,005
		2,590	13,400	0,210	4,500	1,127	0,230	3,060	12,100	0,820	66,500	1,143	0,920
		2,570	13,250	0,175	5,000	1,128	0,195	3,030	11,900	0,580	68,500	1,156	0,545
		3,420	12,200	0,355	8,500	1,181	0,430	1,190	12,500	0,090	6,000	1,065	0,110
		3,500	11,850	0,270	8,000	1,197	0,330	1,160	12,100	0,080	5,000	1,064	0,090

Nota. Referencia los valores de emisiones de O2, CO2, CO, HC y Lambda

### **Pruebas Estáticas**

Es una prueba que se realiza con el analizador de emisiones fijo, el vehículo de prueba debe permanecer de manera inmóvil y consta del test oficial y la prueba continua

#### **Figura 15**

*Preparación del analizador de gases en el motor del vehículo de pruebas*



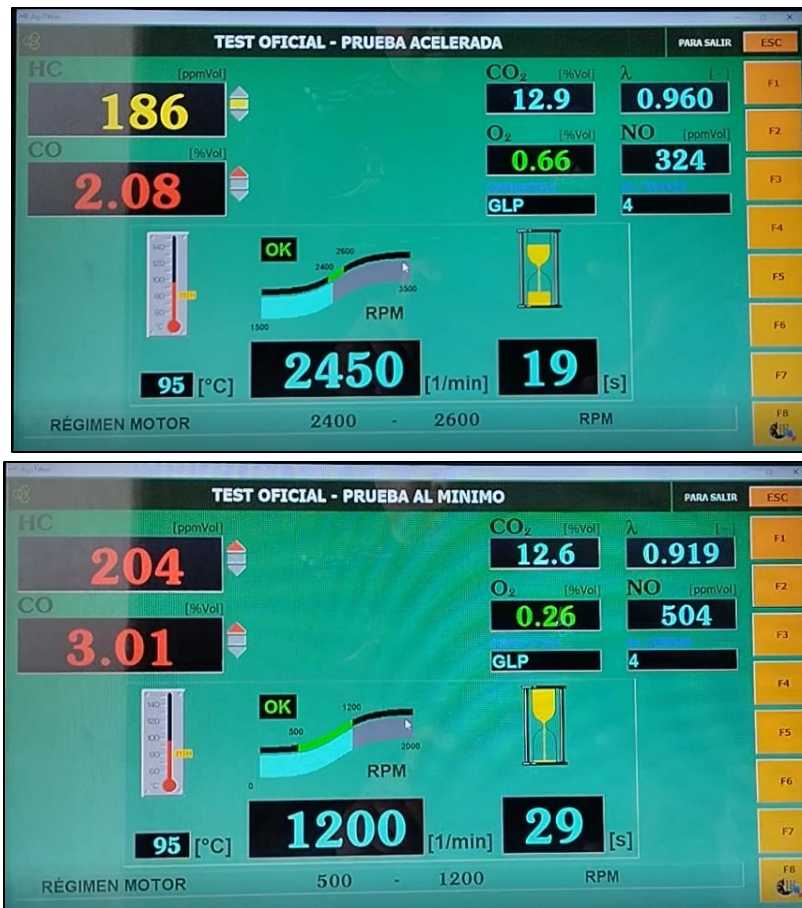
Nota. Se identifica la conexión del MGT 300 EVO para el registro de revoluciones por medio del sensor captador de vibraciones, la selección de cilindros del motor, la temperatura.

- **Test Oficial**

Esta prueba permite conocer si el vehículo aprueba el test de emisiones de gases, teniendo en cuenta los rangos permitidos en la normativa nacional **NTE INEN 2 204:2000**.

Figura 16

Recolección de datos en el Test oficial



*Nota.* En la figura se observa el software del analizador estático en el desarrollo del test oficial a condiciones acelerado y ralenti.

Figura 17

Reporte de test oficial con el uso de combustible gasolina/GLP

BrainBee® WORKSHOP SOLUTIONS		TEST OFICIAL GASES DE ESCAPE	
ANALIZADOR GASES	AGS-688	TACÓMETRO	
Número de Serie	160513002054	Número de Serie	
Número de Homologación	OM02925E5T0064NET	Número de Homologación	
Fecha vencimiento calibración	15/06/2024	Fecha vencimiento calibración	
DATOS TALLER			
NAME			
TELEPHONE			
ADDRESS			
ZIP-CITY			
FAX-EMAIL			
DATOS DEL VEHICULO			
Placa	: PBE-4563	No. Chasis	: J40BF23300216937
Marca	: MAZDA	No. Tubos de Escape	: 2
Modelo	: CX7	2 Tiempos / 4 Tiempos	: 4
Año de Construcción	: 2009	Odometro	: 119730
Combustible	: GASOLINA		
LIMITES PRESCRITOS			
Temperatura Motor	: 80 [°C]	Regimen Motor en Aceleración	: 2400-2600 [1/min]
Regimen Motor Mínimo	: 500-1200 [1/min]	CO	: 1.0 [%/Vol]
CO2	: 5.0 [%/Vol]	HC	: 200 [ppm/Al]
VALORES MEDIDOS			
PRUEBA AL MINIMO		PRUEBA EN ACELERACIONE	
Temp. Motor	: 96 [°C]	Temp. Motor	: 94 [°C]
RPM	: 1080 1070 1076 [1/min]	RPM	: 2490 2620 2495 [1/min]
CO	: 0.01 0.01 0.01 [%/Vol]	CO	: 0.02 0.01 0.02 [%/Vol]
CO2	: 15.1 15.2 15.2 [%/Vol]	CO2	: 15.0 15.1 15.1 [%/Vol]
O2	: 0.28 0.34 0.28 [%/Vol]	O2	: 0.60 0.34 0.47 [%/Vol]
HC	: 11 10 11 [ppm/Al]	HC	: 11 12 12 [ppm/Al]
Lambda	: 1.012 1.010 1.011 [-]	Lambda	: 1.027 1.016 1.021 [-]
RESULTADO DEL TEST : <b>APROBADO SIN FALTAS</b>			
Fecha y hora de inicio prueba : 29/12/2023 11:07:33			
Fecha y hora de termine prueba : 29/12/2023 11:12:30			
Brazador : STALIN			
Firma			

BrainBee® WORKSHOP SOLUTIONS		TEST OFICIAL GASES DE ESCAPE	
ANALIZADOR GASES	AGS-688	TACÓMETRO	
Número de Serie	160513002054	Número de Serie	
Número de Homologación	OM02925E5T0064NET	Número de Homologación	
Fecha vencimiento calibración	15/06/2024	Fecha vencimiento calibración	
DATOS TALLER			
NAME			
TELEPHONE			
ADDRESS			
ZIP-CITY			
FAX-EMAIL			
DATOS DEL VEHICULO			
Placa	: PBE-4563	No. Chasis	: J40BF23300216937
Marca	: MAZDA	No. Tubos de Escape	: 2
Modelo	: CX7	2 Tiempos / 4 Tiempos	: 4
Año de Construcción	: 2009	Odometro	: 120796
Combustible	: GLP		
LIMITES PRESCRITOS			
Temperatura Motor	: 80 [°C]	Regimen Motor en Aceleración	: 2400-2600 [1/min]
Regimen Motor Mínimo	: 500-1200 [1/min]	CO	: 1.0 [%/Vol]
CO2	: 5.0 [%/Vol]	HC	: 200 [ppm/Al]
VALORES MEDIDOS			
PRUEBA AL MINIMO		PRUEBA EN ACELERACIONE	
Temp. Motor	: 94 [°C]	Temp. Motor	: 94 [°C]
RPM	: 1190 1200 1196 [1/min]	RPM	: 2460 2460 2460 [1/min]
CO	: 2.26 2.12 2.18 [%/Vol]	CO	: 2.42 2.52 2.42 [%/Vol]
CO2	: 13.2 13.2 13.2 [%/Vol]	CO2	: 12.8 12.9 12.9 [%/Vol]
O2	: 0.13 0.09 0.11 [%/Vol]	O2	: 0.32 0.10 0.18 [%/Vol]
HC	: 117 121 119 [ppm/Al]	HC	: 219 212 218 [ppm/Al]
Lambda	: 0.938 0.939 0.939 [-]	Lambda	: 0.952 0.925 0.928 [-]
RESULTADO DEL TEST : <b>RECHAZADO</b>			
Fecha y hora de inicio prueba : 28/01/2024 10:59:28			
Fecha y hora de termine prueba : 28/01/2024 11:04:56			
Brazador : TOMATO			
Firma			

Se evidencia que el test oficial usando como combustible la gasolina produce como resultado que se encuentra aprobado sin falla y el reporte del test oficial con el uso de combustible a GLP se encuentra rechazado.

Tabla 12

Datos del test oficial con el uso de combustible gasolina/GLP

	GASOLINA					GLP				
	CO [%]	CO2 [%]	O2 [%]	HC [ppm]	LAMBDA	CO [%]	CO2 [%]	O2 [%]	HC [ppm]	LAMBDA
PRUEBA A RALENTÍ	0,010	15,000	0,080	5,000	1,003	1,450	13,700	0,140	103,000	0,961
	0,000	15,100	0,170	14,000	1,008	2,380	13,100	0,160	118,000	0,935
	0,010	15,200	0,260	11,000	1,011	2,600	13,000	0,180	110,000	0,931
	0,010	15,000	0,210	7,000	1,009	2,190	13,200	0,110	119,000	0,939
	0,010	15,100	0,190	7,000	1,008	2,050	13,300	0,140	118,000	0,944
PRUEBA EN ACELERACION	0,020	15,000	0,180	7,000	1,008	2,520	12,800	0,200	215,000	0,929
	0,020	15,000	0,340	18,000	1,015	2,500	13,000	0,240	202,000	0,932
	0,020	15,100	0,470	12,000	1,021	2,480	12,900	0,250	199,000	0,933
	0,020	14,900	0,380	8,000	1,017	2,470	12,900	0,160	216,000	0,929
	0,020	15,000	0,380	9,000	1,017	2,360	13,000	0,230	203,000	0,936

Nota. Se indica los datos de emisiones de gases en prueba al mínimo, en aceleración y se analiza que los valores de lambda varían con el uso de los combustibles gasolina/GLP.

- **Test Continuo**

Esta prueba se realizó a diferentes rangos de aceleración de 1000 rpm a 4000 rpm con incrementos de 1000 revoluciones y a régimen de 5500 rpm de su potencia máxima, según la ficha técnica del vehículo de pruebas; con una duración de cada prueba de 30 segundos y un intervalo de reposo de 10 segundos.

### Figura 18

*Reporte de emisiones de escape de la prueba continua.*

BrainBee® ANÁLISIS GASES ESCAPE		BrainBee® ANÁLISIS GASES ESCAPE	
WORKSHOP SOLUTIONS		WORKSHOP SOLUTIONS	
ANALIZADOR	AGS-488	CUENTARREVOLUCIONES	
Número de serie	160513000054	Número de serie	
NAME		NAME	
ADDRESS	TELEPHONE	ADDRESS	TELEPHONE
ZIP - CITY	FAX - EMAIL	ZIP - CITY	FAX - EMAIL
Datos del vehículo:			
Marca	: MAZDA	Modelo	: CX-7
Matrícula	: PBE-4563	No. Chasis	: JM5ER263190218697
Combustible	: GASOLINA	Km recorridos	: 119730
Valores relevados:			
Temp. motor	[ °C ] : 93	Temp. motor	[ °C ] : 93
RPM	[ 1/min ] : 1080	RPM	[ 1/min ] : 2010
COcorr	[ %Vol ] : 0.00	COcorr	[ %Vol ] : 0.00
Lambda	[ - ] : 1.016	Lambda	[ - ] : 1.009
CO	[ %Vol ] : 0.00	CO	[ %Vol ] : 0.00
CO <sub>2</sub>	[ %Vol ] : 15.0	CO <sub>2</sub>	[ %Vol ] : 15.1
HC	[ ppmVol ] : 3	HC	[ ppmVol ] : 8
O <sub>2</sub>	[ %Vol ] : 0.35	O <sub>2</sub>	[ %Vol ] : 0.19
NO	[ ppmVol ] : 75	NO	[ ppmVol ] : 330
Fecha y hora prueba	: 29/12/2023 13:50	Fecha y hora prueba	: 29/12/2023 13:52
Sello		Sello	
Firma		Firma	

BrainBee® ANÁLISIS GASES ESCAPE		BrainBee® ANÁLISIS GASES ESCAPE	
WORKSHOP SOLUTIONS		WORKSHOP SOLUTIONS	
ANALIZADOR	AGS-488	CUENTARREVOLUCIONES	
Número de serie	160513000054	Número de serie	
NAME		NAME	
ADDRESS	TELEPHONE	ADDRESS	TELEPHONE
ZIP - CITY	FAX - EMAIL	ZIP - CITY	FAX - EMAIL
Datos del vehículo:			
Marca	: MAZDA	Modelo	: CX-7
Matrícula	: PBE-4563	No. Chasis	: JM5ER263190218697
Combustible	: GASOLINA	Km recorridos	: 119730
Valores relevados:			
Temp. motor	[ °C ] : 93	Temp. motor	[ °C ] : 94
RPM	[ 1/min ] : 3020	RPM	[ 1/min ] : 5510
COcorr	[ %Vol ] : 0.00	COcorr	[ %Vol ] : 0.00
Lambda	[ - ] : 1.009	Lambda	[ - ] : 1.004
CO	[ %Vol ] : 0.00	CO	[ %Vol ] : 0.00
CO <sub>2</sub>	[ %Vol ] : 15.1	CO <sub>2</sub>	[ %Vol ] : 15.2
HC	[ ppmVol ] : 7	HC	[ ppmVol ] : 6
O <sub>2</sub>	[ %Vol ] : 0.20	O <sub>2</sub>	[ %Vol ] : 0.10
NO	[ ppmVol ] : 377	NO	[ ppmVol ] : 461
Fecha y hora prueba	: 29/12/2023 13:53	Fecha y hora prueba	: 29/12/2023 13:58
Sello		Sello	
Firma		Firma	

Nota. La Figura revela los valores de rango de medición establecidos en las condiciones antes descritas.

Tabla 13

Datos de la prueba continua con el uso de combustible gasolina/GLP

RÉGIMEN DE GIRO [RPM]	GASOLINA						GLP					
	LAMBDA	CO [%]	CO2 [%]	HC [ppm]	O2 [%]	NO [ppm]	LAMBDA	CO [%]	CO2 [%]	HC [ppm]	O2 [%]	NO [ppm]
1000	1,010	0,010	14,900	2,000	0,230	125,000	0,957	1,720	13,500	84,000	0,210	42,000
	1,027	0,000	14,800	8,000	0,570	92,000	0,961	1,920	13,300	78,000	0,460	37,000
	1,022	0,000	14,900	3,000	0,460	86,000	0,960	1,840	13,300	74,000	0,360	21,000
	1,016	0,000	15,000	3,000	0,350	75,000	0,950	2,040	13,200	78,000	0,270	34,000
	1,009	0,010	15,100	5,000	0,210	10,000	0,933	2,610	12,700	101,000	0,280	51,000
2000	1,006	0,010	15,000	2,000	0,130	191,000	0,944	1,880	13,300	208,000	0,120	301,000
	1,014	0,000	15,000	7,000	0,310	316,000	0,940	2,080	13,200	201,000	0,140	373,000
	1,007	0,000	15,100	7,000	0,150	169,000	0,934	2,360	13,200	179,000	0,150	222,000
	1,009	0,000	15,100	8,000	0,190	330,000	0,899	3,530	12,300	219,000	0,130	243,000
	1,006	0,010	15,200	8,000	0,150	180,000	0,933	2,270	12,900	207,000	0,140	446,000
3000	1,020	0,010	14,800	9,000	0,430	596,000	0,945	1,890	13,400	165,000	0,100	502,000
	1,009	0,000	15,000	10,000	0,200	498,000	0,947	1,840	13,400	166,000	0,120	549,000
	1,010	0,000	15,100	7,000	0,220	509,000	0,954	1,600	13,500	146,000	0,120	237,000
	1,009	0,000	15,100	7,000	0,200	377,000	0,950	1,730	13,400	157,000	0,120	249,000
	1,008	0,010	15,100	9,000	0,180	423,000	0,951	1,670	13,500	152,000	0,100	387,000
4000	1,009	0,010	15,000	1,000	0,200	56,000	0,931	2,410	13,000	128,000	0,090	978,000
	1,005	0,010	15,100	11,000	0,120	29,000	0,912	3,150	12,600	142,000	0,120	583,000
	1,004	0,010	15,100	8,000	0,100	168,000	0,914	3,060	12,700	167,000	0,110	503,000
	1,004	0,010	15,200	7,000	0,100	220,000	0,931	2,490	13,100	113,000	0,120	374,000
	1,006	0,010	15,100	11,000	0,140	424,000	1,270	0,000	0,030	0,000	19,800	87,000
5500	1,013	0,010	14,900	1,000	0,280	312,000	0,972	1,060	14,200	49,000	0,090	434,000
	1,005	0,000	15,100	6,000	0,120	446,000	1,002	0,060	14,700	42,000	0,120	297,000
	1,005	0,000	15,200	5,000	0,110	848,000	1,002	0,040	14,600	32,000	0,110	1128,000
	1,004	0,000	15,200	6,000	0,100	461,000	1,002	0,050	14,600	32,000	0,120	739,000
	1,005	0,010	15,200	6,000	0,120	520,000	1,008	0,030	14,600	32,000	0,230	434,000

*Nota.* La tabla presenta los resultados de las pruebas en condición de medición estática en test continuo en los rangos de revolución de motor para el vehículo propulsado por gasolina y gas licuado de petróleo.

**Tabla 14**

*Promedios de la prueba continua con el uso de combustible gasolina/GLP*

REGIMEN DE GIRO [RPM]	GASOLINA						GLP					
	LAMBDA	CO [%]	CO2 [%]	HC [ppm]	O2 [%]	NO [ppm]	LAMBDA	CO [%]	CO2 [%]	HC [ppm]	O2 [%]	NO [ppm]
1000	1,017	0,004	14,940	4,200	0,364	77,600	0,952	2,026	13,200	83,000	0,316	37,000
2000	1,008	0,004	15,080	6,400	0,186	237,200	0,930	2,424	12,980	202,800	0,136	317,000
3000	1,011	0,004	15,020	8,400	0,246	480,600	0,949	1,746	13,440	157,200	0,112	384,800
4000	1,006	0,010	15,100	7,600	0,132	179,400	0,992	2,222	10,286	110,000	4,048	505,000
5500	0,839	0,003	12,600	4,000	0,122	431,167	0,997	0,248	14,540	37,400	0,134	606,400

*Nota.* Con los valores indicados en la Tabla se puede observar la variación de HC tanto para el uso de combustible gasolina como para GLP.



## Capítulo IV

### Análisis de resultados de emisiones

A partir de los datos obtenidos de las pruebas de emisiones dinámicas y estáticas, se procede al análisis en base a gráficas de comparación entre las variaciones existentes entre el uso de un carburante tradicional como la gasolina y el uso de un combustible alternativo como es el caso del GLP

#### Resultados de las pruebas en los ciclos homologados dinámicos

##### *Ruta en carretera*

De acuerdo a los datos detallados en el capítulo 3 se desarrolla un análisis gráfico que establece la comparación de los componentes como el O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, HC y lambda con el uso de gasolina y GLP en condiciones de ruta en carretera.

- **Análisis O<sub>2</sub>**

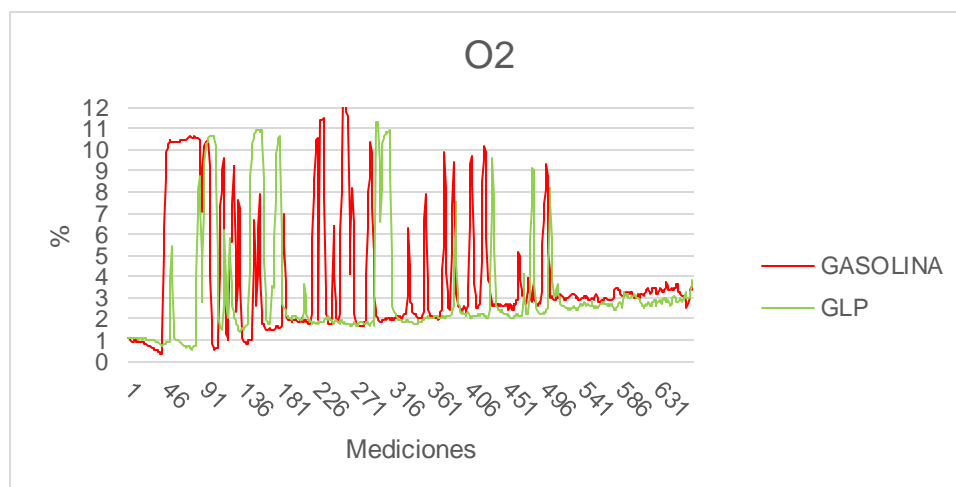
La generación de O<sub>2</sub> en el motor propulsado mediante GLP en ciertas condiciones de ruta se observa que disminuye, pero en la mayor parte del trayecto no hay un cambio significativo que sobrepase la generación de O<sub>2</sub> respecto al motor impulsado por gasolina.

La variación que existe entre los valores de generación de O<sub>2</sub> entre los dos combustibles en su registro máximo con gasolina y GLP son 15,950 [%] y 11,335 [%] respectivamente, un mínimo de 0,425 [%] en gasolina, 0,615 [%] en GLP, lo que indica que un motor impulsado por GLP genera menos O<sub>2</sub> que un motor con gasolina, una causa importante es la calidad de combustible es una razón por que se evidencia los picos altos de generación de O<sub>2</sub>, mala conducción, aceleración brusca y el tráfico.

Según la normativa aplicada en D.M.Q los valores de generación de O<sub>2</sub> deben estar entre un rango de  $(0 \leq x \leq 4)$ , para esta prueba se obtiene como resultado una aprobación con falta tipo 1(moderada).

**Figura 19**

Comparación de O<sub>2</sub> Gasolina-GLP ruta carretera



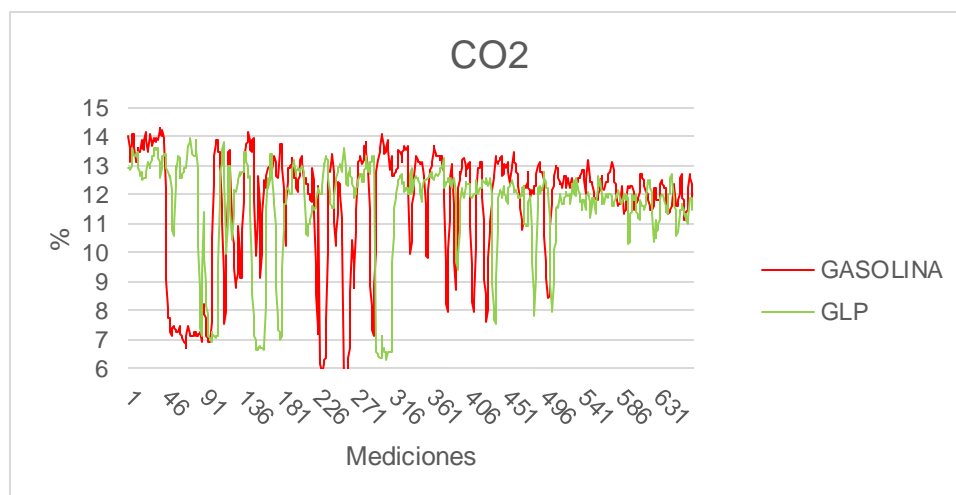
- **Análisis CO<sub>2</sub>**

La variación que existe entre los valores máximos de generación de CO<sub>2</sub> entre los dos combustibles en su registro máximo con gasolina y GLP son 14,300[%] y 13,950 [%] respectivamente y mínimo de 5,350 [%] en gasolina, 6,450 [%] en GLP, se puede observar que los valores de un motor impulsado por GLP están por debajo de los valores de generación de un motor con combustible tradicional. Se debe tomar en cuenta que los picos bajos de las señales se deben a que el motor no tiene potencia ni eficiencia, esto es un indicativo de que el vehículo se encuentra trabajando bajo una mezcla pobre.

Por norma general se especifica que la generación de CO<sub>2</sub> debe establecerse entre 13 [%] y 14 [%], caso contrario se tiene problemas con el ingreso de aire en la combustión.

**Figura 20**

Comparación de CO<sub>2</sub> Gasolina-GLP ruta carretera



- **Análisis CO**

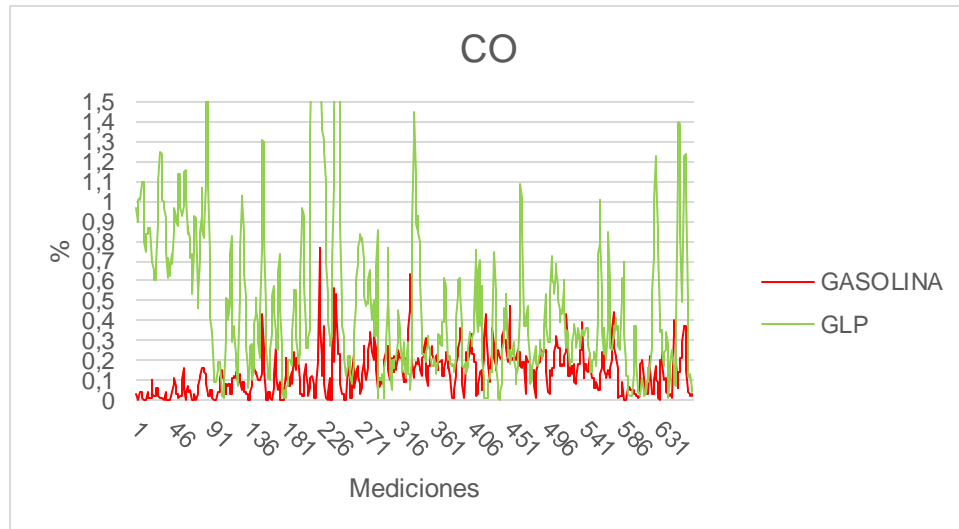
Se observa los picos altos de las señales de generación de CO son resultado de una mezcla rica, esto se da como consecuencia de la excesiva presión de la bomba de combustible, o cuando existen fugas de combustible en los inyectores de gasolina.

El cambio de los valores máximos que genera el CO entre los dos combustibles en régimen máximo con gasolina y GLP son 0,770 [%] y 2,235 [%] respectivamente y en mínimo de 0,000 [%] en gasolina, 0,001 [%] en GLP, en esta prueba los valores con el combustible de GLP están altos en comparación que un motor con combustible de gasolina.

Según la normativa aplicada en D.M.Q los valores de generación de CO deben variar en un rango de  $(0 \leq x \leq 1.3)$ , para el caso de uso de GLP, da como resultado rechazado en parámetros de la revisión técnica vehicular.

**Figura 21**

Comparación de CO Gasolina-GLP ruta carretera



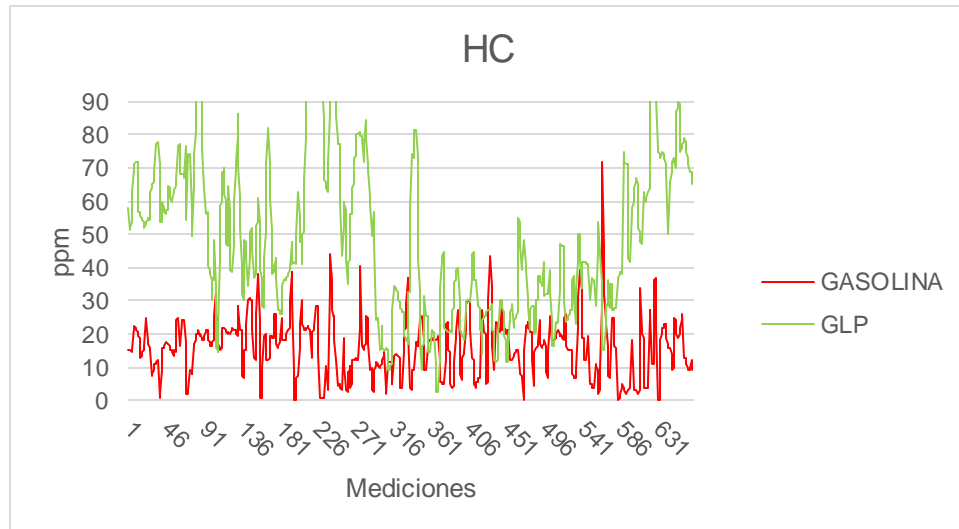
- **Análisis HC**

El cambio que se evidencia en los valores máximos y mínimos de HC con los dos combustibles en máximo con gasolina y GLP son 71,500 [ppm] y 144,000 [ppm] respectivamente y mínimo de 0,000 [ppm] en gasolina, 9,000 [ppm] en GLP, que demuestra que no existe una mezcla aire-combustible adecuado y por ese motivo se ve un desfase en las curvas de emisiones, esto puede ser causado por una obstrucción en la entrada de aire o mal funcionamiento del motor.

Tomando en consideración la normativa aplicada en D.M.Q los valores varían en un rango de  $(0 \leq x \leq 160)$ , lo que da como resultado una aprobación sin faltas.

**Figura 22**

*Comparación de HC Gasolina-GLP ruta carretera*

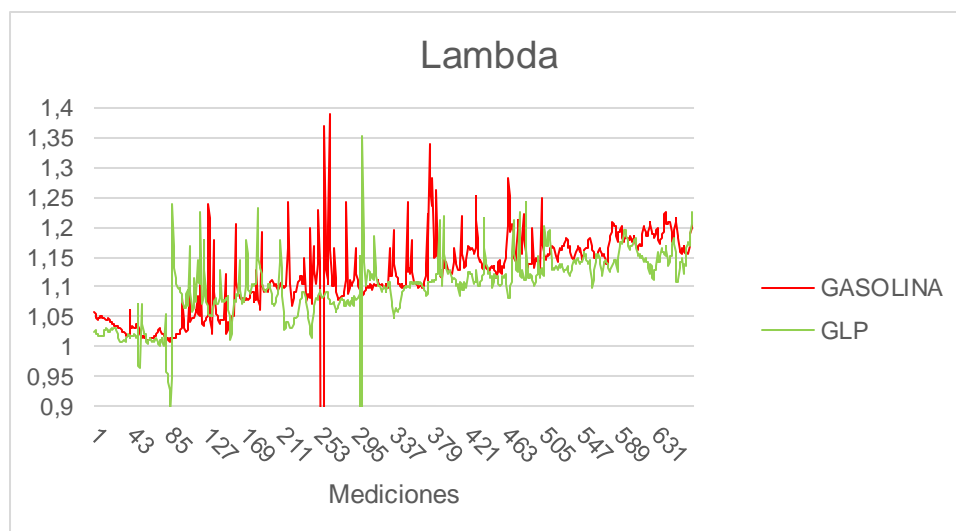


- **Análisis de Lambda**

Revisada la gráfica, se obtuvo una disminución considerable en GLP con respecto al combustible común, valor máximo con gasolina y GLP son 1,389 [%] y 1,351 [%] correspondientemente y mínimo de 1,011[%] en gasolina, 0,949 [%] en GLP, sin embargo, se debe recalcar que los datos se encuentran en el rango normal, pero tiende a estar en un régimen alto al establecido, por ese motivo el motor está trabajando con una cantidad pobre de carburante y exceso de comburente.

**Figura 23**

*Comparación de Lambda Gasolina-GLP ruta carretera*



### **Ruta Urbana**

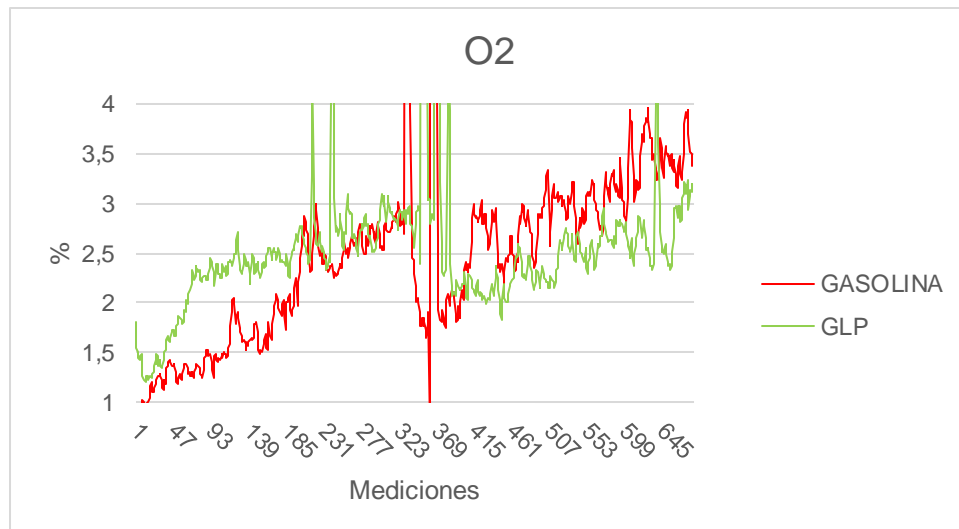
- **Análisis O2**

El oxígeno generado por el proceso de combustión con el combustible alternativo registra un cambio elevado con respecto al combustible común. La diferencia que existe entre los valores de O2 con los dos combustibles es valor máximo con gasolina y GLP son 11,965 [%] y 11,995 [%] respectivamente y mínimo de 0,940 [%] en gasolina, 1,235 [%] en GLP, lo que indica que los valores con GLP están cerca del valor óptimo a lo largo de la ruta, se debe tomar en cuenta las variaciones altas de las señales se deben a las aceleraciones bruscas y frenados repentinos.

Considerando la normativa aplicada en D.M.Q el vehículo se encuentra en el rango de  $(0 \leq x \leq 4)$ , siendo condiciones normales para aprobar la revisión con una aprobación con falta 1.

**Figura 24**

Comparación de O<sub>2</sub> Gasolina-GLP ruta urbana



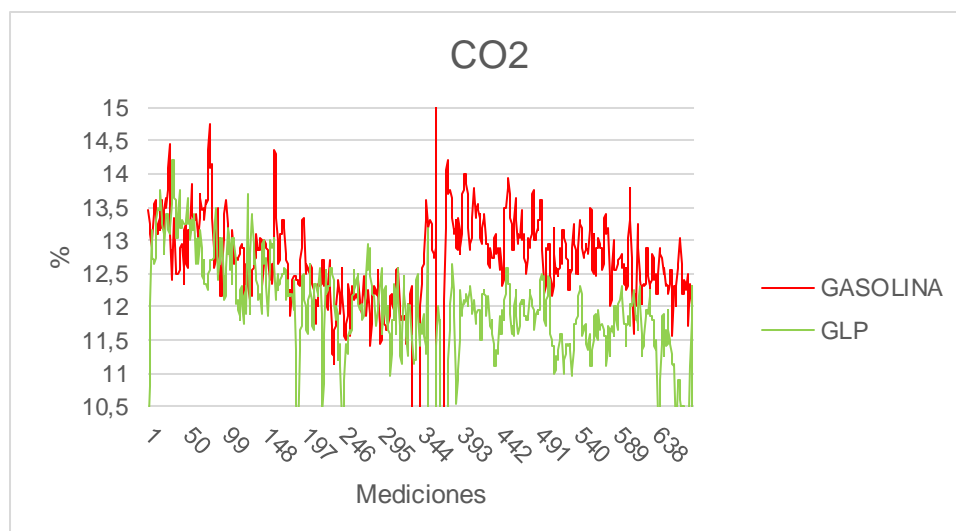
- **Análisis CO<sub>2</sub>**

El dióxido de carbono disminuye considerando los valores máximos con gasolina y GLP son 15,200 [%] y 14,200 [%] respectivamente y mínimo de 5,950 [%] en gasolina, 5,900 [%] en GLP, es esencial tomar en cuenta que el valor normal debe estar entre 13 [%] o 14 [%], pero existe un descenso por motivos del O<sub>2</sub> lo que da como resultado una combustión pobre.

Por el motivo el vehículo con GLP genera menor CO<sub>2</sub> en comparación con el combustible fósil de manera que el GLP emite menor cantidad de emisiones y mantiene una eficiencia en la combustión.

**Figura 25**

*Comparación de CO2 Gasolina-GLP ruta urbana*



- **Análisis CO**

Analizado el monóxido de carbono se determina que se encuentra dentro de los parámetros controlados por la norma, sin embargo, las mediciones con el combustible GLP registran datos elevados en su mayoría con respecto a los obtenidos por el combustible común.

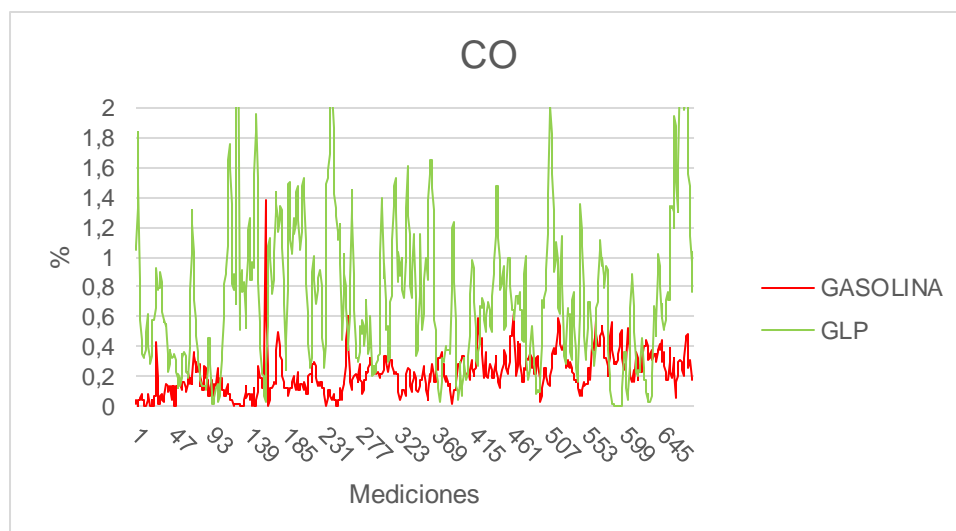
Indica que posee valores máximos con gasolina y GLP de 1,375 [%] y 4,440 [%] respectivamente y mínimo de 0,002 [%] en gasolina, 0,005 [%] en GLP, una razón para tener estos valores es al tipo de conducción dentro de la ciudad donde existe un continuo régimen de paradas y aceleraciones.

Citando la normativa aplicada en D.M.Q los datos graficados varían en un rango de ( $0 \leq x \leq 1.6$ ), por lo que se tiene como resultado un rechazo debido a que sus valores exceden los parámetros de la RTV.



**Figura 26**

Comparación de CO Gasolina-GLP ruta urbana



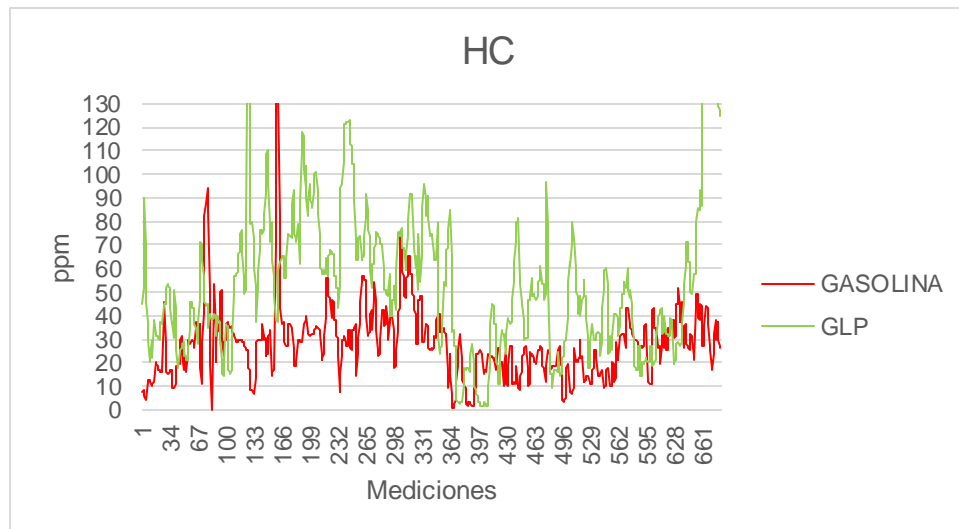
- **Análisis HC**

En la gráfica se muestra el valor máximo de hidrocarburos con gasolina y GLP que son 303,500 [ppm] y 196,000 [ppm] respectivamente y mínimo de 1,500ppm en gasolina, 2,000 [ppm] en GLP, se observa una tendencia entre ( $0 \leq x < 160$ ), por lo que ambos combustibles cumplen con los rangos permitidos. En el caso del GLP registra datos mayores en comparación a la gasolina, que se debe al aumento de la dosificación del gas a altas revoluciones.

Tomando los valores de la RTV para la ciudad de Quito el vehículo de prueba pasa con falta 0 que significa que el vehículo se encuentra sin problemas.

**Figura 27**

*Comparación de HC Gasolina-GLP ruta urbana*



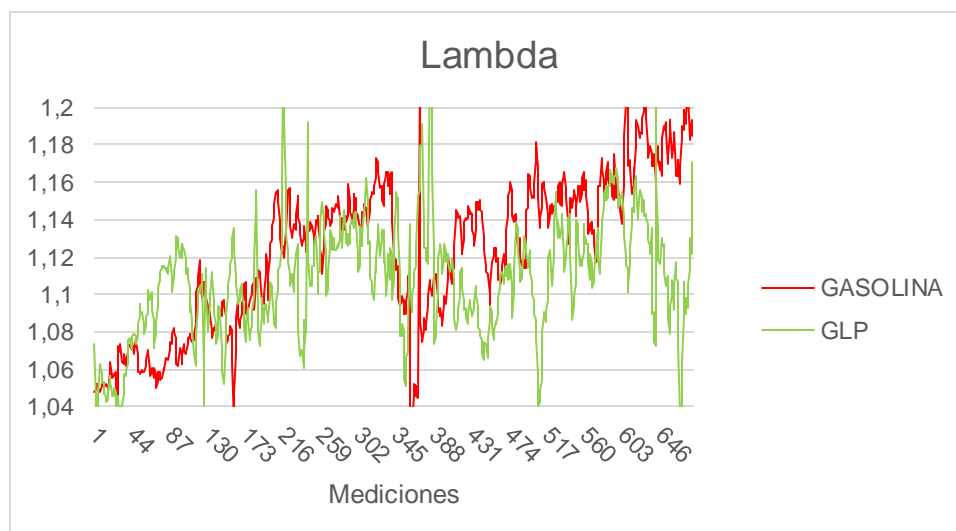
- **Análisis Lambda**

Se representa gráficamente valores máximos con gasolina y GLP siendo 1,223 [%] y 1,255 [%] respectivamente y mínimo de 1,031 [%] en gasolina, 1,030 [%] en GLP, si la relación de aire combustible ideal para una combustión completa tiene el valor de Lambda igual a 1.

Al analizar la gráfica, se observa un incremento de la relación, sin embargo, se debe recalcar que en su mayoría la combustión que existe con el gas butanado es menor que la del combustible fósil.

## Figura 28

### Comparación de Lambda Gasolina-GLP ruta urbana



### Ruta Combinada

En el análisis de las emisiones obtenidas con el analizador portátil con los combustibles gasolina/GLP en la ruta combinada se obtuvo los valores de O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, HC y la relación lambda

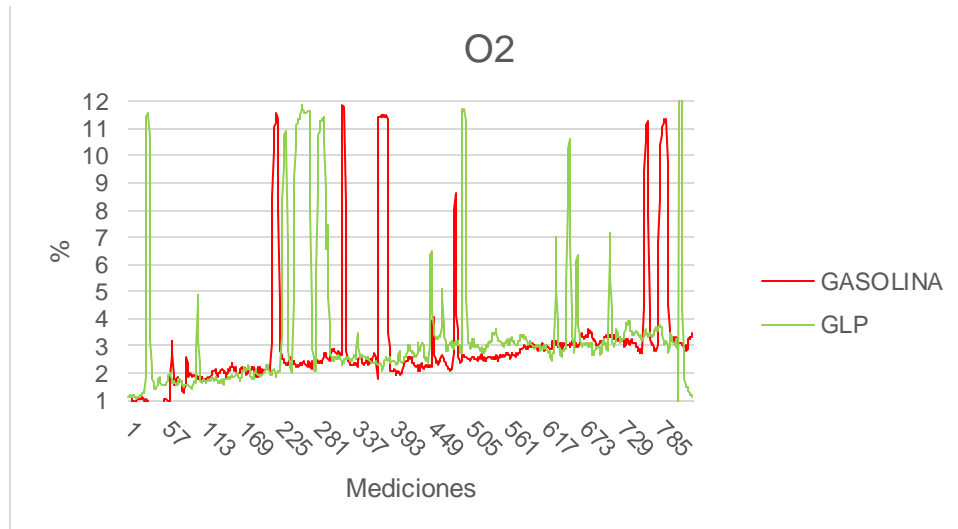
- **Análisis O<sub>2</sub>**

La generación de O<sub>2</sub> en el motor en condiciones de ruta combinada se observa que en el tramo urbano tiene una similitud en relación a las emisiones que presentan el combustible gasolina y GLP, mientras que los valores correspondientes al tramo de carretera se evidencia una disminución de emisiones de O<sub>2</sub>, en la mayor parte del recorrido no existe un cambio característico referente a los valores descritos con algunos picos en varios tramos lo que significa que tiene relación el tipo de combustible y la manera de conducción.

Según la normativa aplicada en D.M.Q los valores de generación de O<sub>2</sub> se encuentran en un rango de  $(3 \leq x \leq 4)$ , el resultado de la prueba es aprobación con falta tipo 1(moderada).

**Figura 29**

*Comparación de O2 Gasolina-GLP ruta combinada*



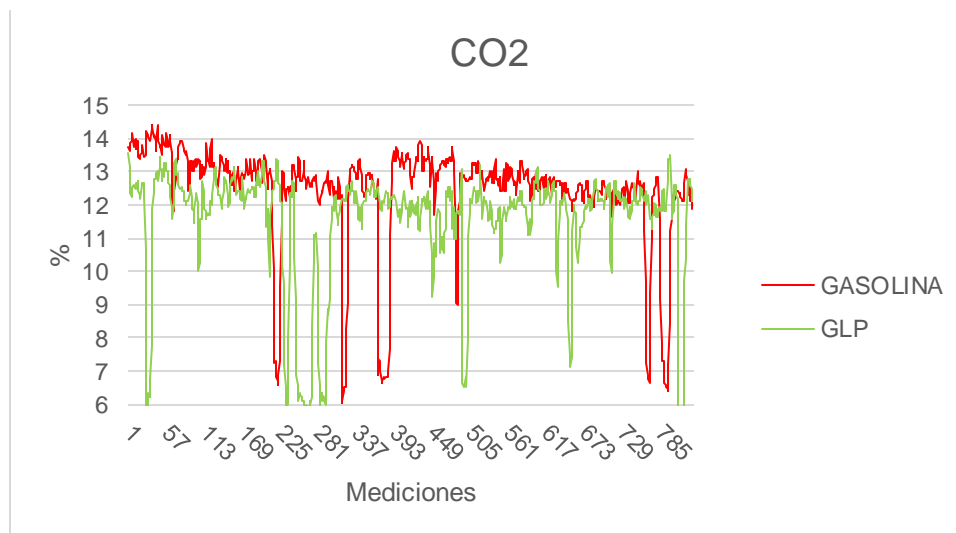
- **Análisis CO2**

Al examinar el dióxido de carbono se contempla que las emisiones con el combustible GLP se encuentra un porcentaje de por debajo de las emisiones emitidas con gasolina, en esta parte si existe un cambio significativo porque un valor normal se debe encontrar en 14 [%] pero en este caso el GLP se encuentra un valor máximo 13,55 [%]

Por esta causa el vehículo con combustible GLP genera menor CO2 en comparación con la combustible gasolina de manera que, el GLP emite menor cantidad de emisiones y mantiene una eficacia en la combustión.

**Figura 30**

*Comparación de CO2 Gasolina-GLP ruta combinada*



- **Análisis CO**

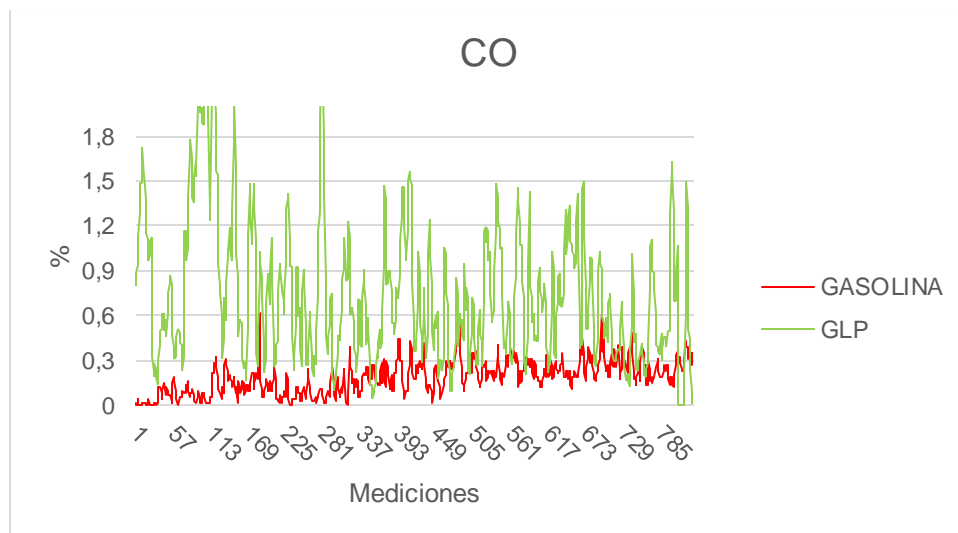
El monóxido de carbono indica en la ruta combinado el combustible GLP emite un porcentaje alto de CO lo cual puede referirse al tipo de conducción que se efectúa obteniendo como resultado que la prueba se rechaza ya que la norma establece que solo valores que tengan mayor a 1 [%] no estén dentro de los rangos permisibles.

En la gráfica los valores de la gasolina como combustible, se encuentra en un porcentaje de 0 a 0,5 [%] mientras que los valores de GLP se encuentran con picos que llegan hasta el 1,5 [%].

El valor máximo que se obtiene en el combustible de GLP es de 2,8 [%] y el resultado es que no aprueba, mientras que en gasolina tiene un valor de 0,38 [%] obteniendo como resultado que aprueba con sin faltas.

**Figura 31**

*Comparación de CO Gasolina-GLP ruta combinada*

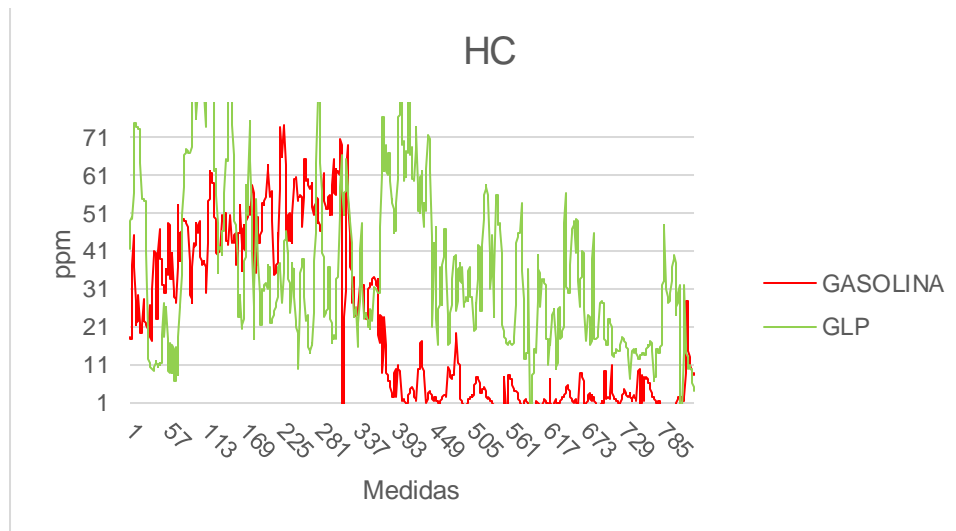


- **Análisis HC**

En hidrocarburos se analiza que en el tramo correspondiente a urbano con combustible gasolina se tiene un pico de 70 [ppm], mientras que en el tramo de carretera se las emisiones de HC disminuyen considerablemente, se asevera que con el combustible GLP existe mayores emisiones de HC en toda la ruta recorrida, estos valores pueden ser consecuencia de una combustión no adecuada, esto puede ser derivación de un problema de encendido.

**Figura 32**

*Comparación de HC Gasolina-GLP ruta combinada*

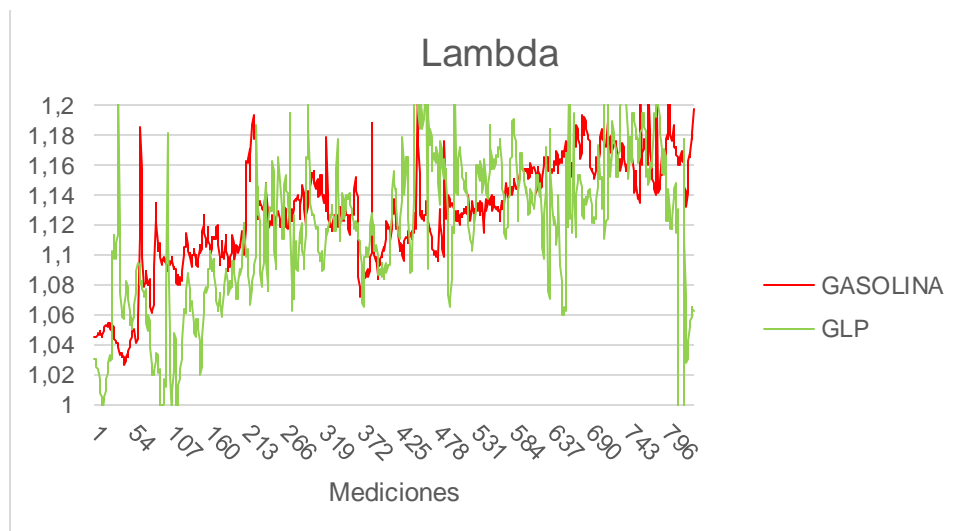


- **Análisis Lambda**

La relación lambda para GLP se encuentran por debajo de los valores de gasolina e indica la proporción aire combustible que ingresa a los cilindros, y se evidencia que se encuentra dentro de rango permisible, los datos de combustible de gasolina y GLP oscilan entre 1,06 [%] y 1,18 [%] según la norma indica que este valor corresponde a una mezcla de aire-combustible pobre

**Figura 33**

*Comparación de Lambda Gasolina-GLP ruta combinada*



## Resultados de las Pruebas Estáticas

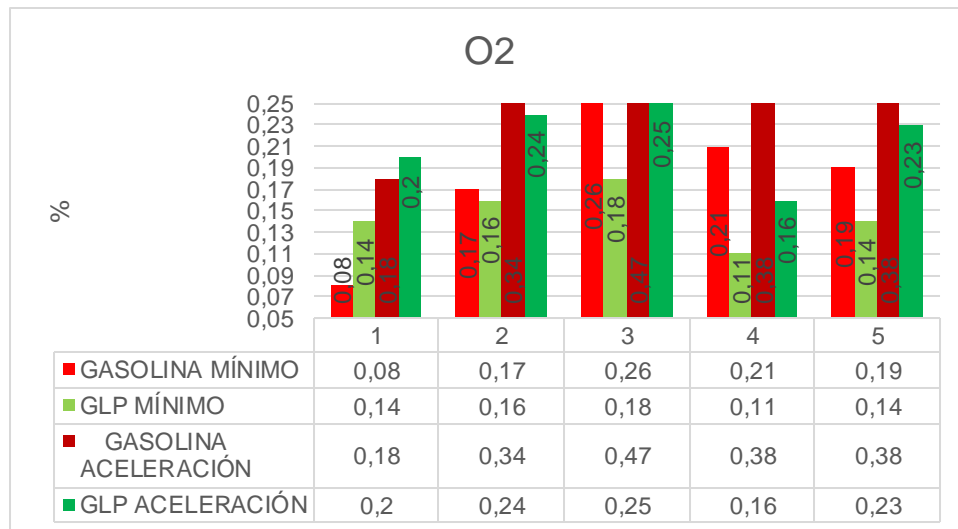
### Resultados Test Oficial – Ralentí/Aceleración

- **Análisis O<sub>2</sub>**

Analizando los valores de emisiones de oxígeno en el régimen mínimo las emisiones de GLP se reducen en relación a gasolina teniendo como valor máximo una variación de 0,10 [%] mientras en el régimen acelerado existe un máximo de 0,22 [%] que indica los valores en gasolina y GLP se encuentran en el margen para aprobación de la prueba.

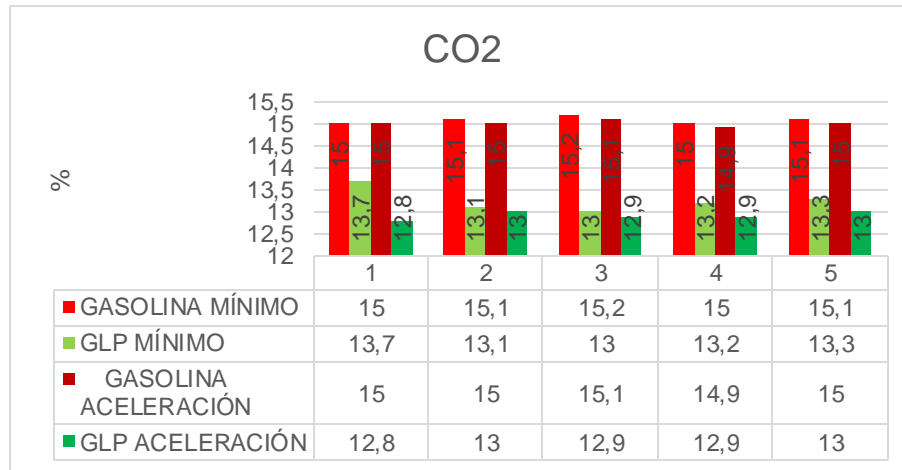


Figura 34

Comparación de O<sub>2</sub> - Test Oficial

- **Análisis CO<sub>2</sub>**

El dióxido de carbono en régimen mínimo de combustible gasolina en relación al GLP presenta un aumento máximo de 2,2 [%] y en el régimen acelerado se tiene una variación máxima de 2,2 [%] el cual indica en el combustible fósil existe una mayor emisión de valores de CO<sub>2</sub> y puede ser motivo de filtros de aire obstruidos.

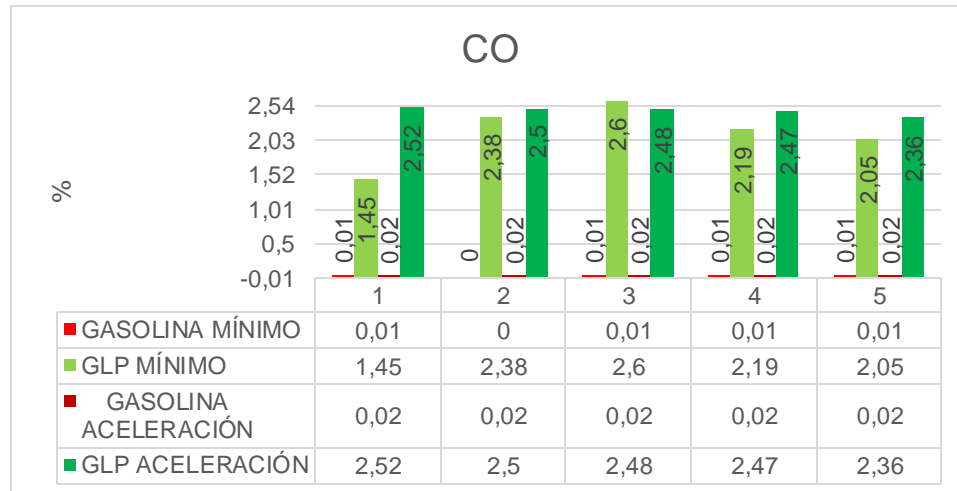
**Figura 35***Comparación de CO2 - Test Oficial*

- **Análisis CO**

Al evidenciar los valores de monóxido de carbono en el test oficial de combustible gasolina y gas butano propanado en condiciones a régimen mínimo existe un incremento en los porcentajes con un valor de 2,6 [%] del valor de GLP en comparación con el combustible de gasolina, y para el régimen acelerado evidencia un incremento en los datos de GLP con un valor máximo de 2,5 [%] es decir se tiene una mezcla rica, y tiene un resultado de prueba rechazada según la norma.

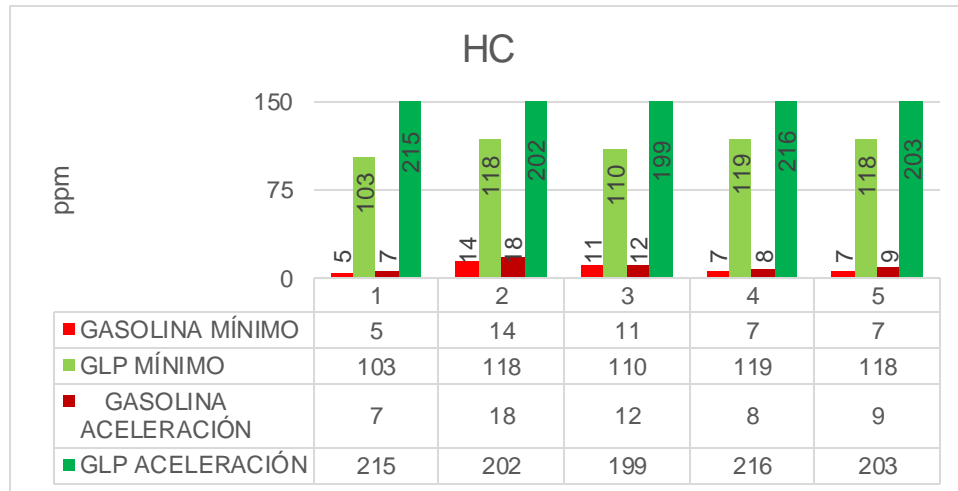
Figura 36

Comparación de CO - Test Oficial



- **Análisis HC**

En los hidrocarburos se verifica un alto valor y su causa puede ser las bujías defectuosas o el tiempo de encendido incorrecto. Con un valor en régimen mínimo se encuentra con una diferencia de 112 [ppm] y en el régimen acelerado una variación 208 [ppm] del GLP sobre la gasolina esto es un indicador que sobrepasan los límites permitidos

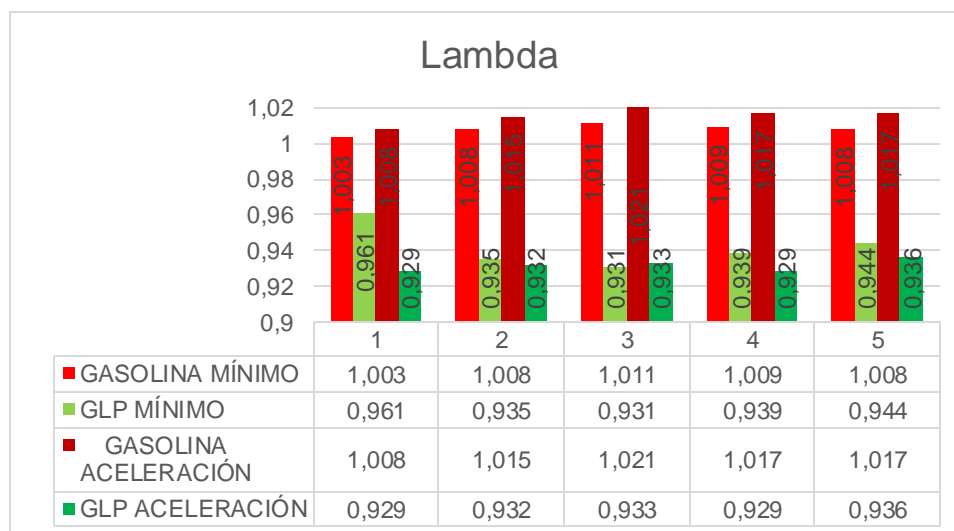
**Figura 37***Comparación de HC - Test Oficial*

- **Análisis Lambda**

La relación lambda se encuentra dentro del rango permisible tanto para el régimen mínimo con un valor de variación máxima de 0,8 mientras que para el régimen acelerado la variación máxima es de 0,88. Este valor indica que si existe una reducción en los valores para el combustible GLP tanto en mínimo como en acelerado y el motivo puede ser la mezcla aire-combustible rica

Figura 38

Comparación de Lambda - Test Oficial



### Resultados test continuo

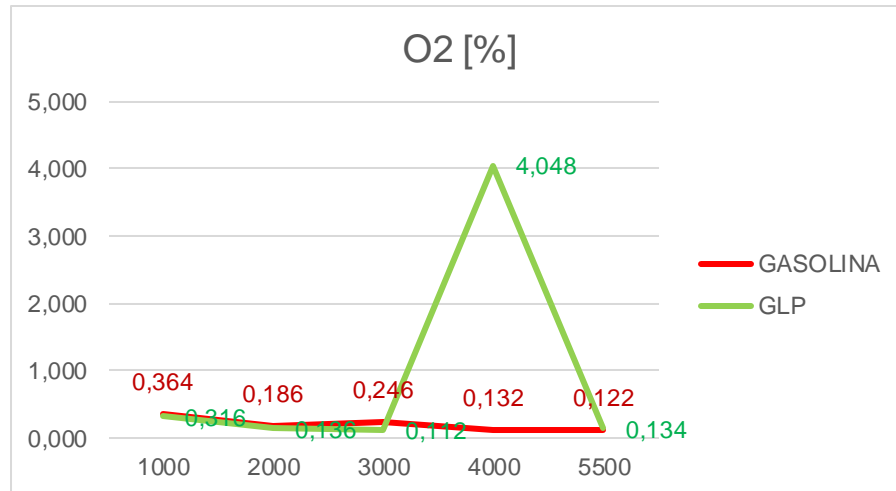
Los valores obtenidos de las mediciones en la prueba continua se analizan para cada valor de los gases que emite el motor de combustión interna para el uso de combustible gasolina/GLP.

- **Análisis O<sub>2</sub>**

En la gráfica los valores de gasolina en la prueba continua registran una variación despreciable, mientras en el combustible de GLP se reducen con una particularidad que en las 4000 [RPM] tiene un incremento que llega 4,048 [%], la causa puede ser que tiene una mezcla pobre.

**Figura 39**

Comparación de O<sub>2</sub> - Test Continuo

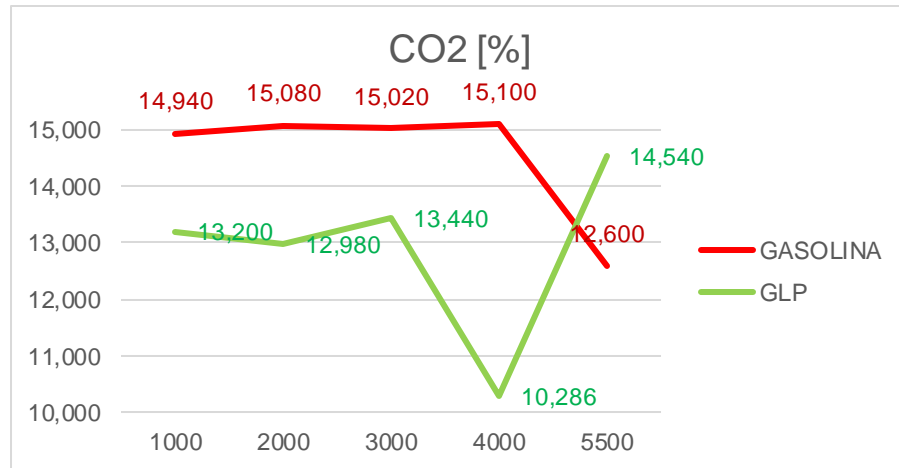


- **Análisis CO<sub>2</sub>**

Se observa una evidente reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> con el combustible de GLP, con gasolina, se tiene un valor máximo de 15,100 [%] a un régimen de aceleración de 4000 [RPM], mientras que el GLP a las mismas revoluciones tiene un bajo porcentaje de emisiones que llega a 10,286 [%] de CO<sub>2</sub>. El motivo de esta causa podría ser una mezcla pobre.

**Figura 40**

Comparación de CO<sub>2</sub> - Test Continuo

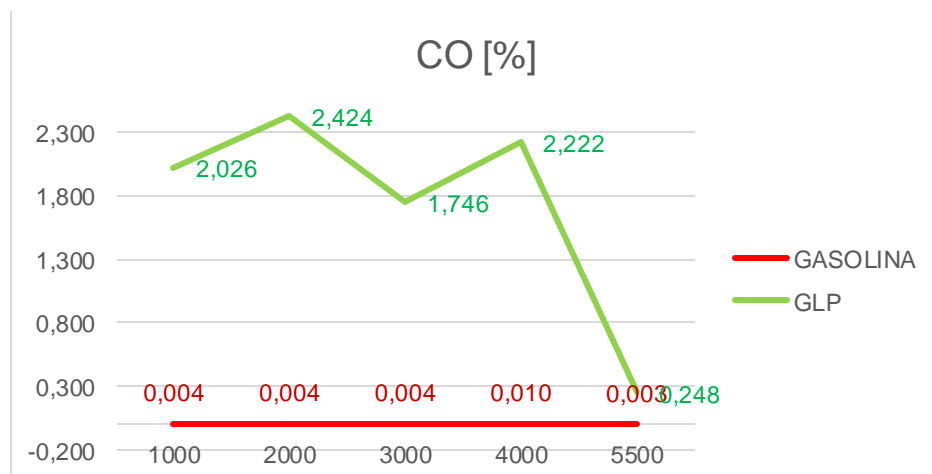


- **Análisis CO**

Se evidencia que las emisiones de monóxido de carbono con el combustible GLP son mayores en relación a gasolina llegando a un valor máximo de 2,424 [%] a un régimen de aceleración de 2000 [RPM], el motivo que puede dar estos valores son una mezcla rica o una combustión incompleta.

**Figura 41**

Comparación de CO - Test Continuo

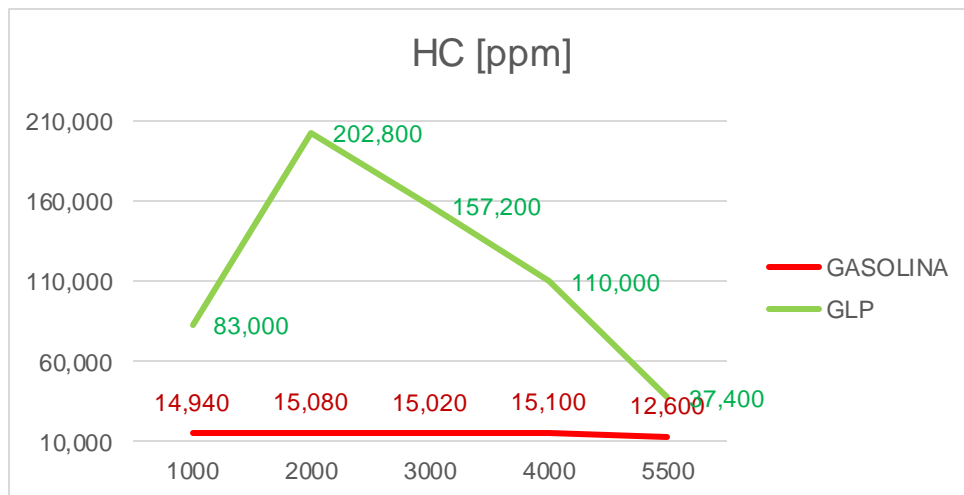


- **Análisis HC**

En los datos de hidrocarburos con el combustible de GLP tiene un incremento sobre los valores de emisiones de gasolina, el punto máximo de emisiones en GLP está en 2000 [RPM] con un valor de 202,800 [ppm], un motivo de esta circunstancia puede ser un exceso de combustible en la inyección.

**Figura 42**

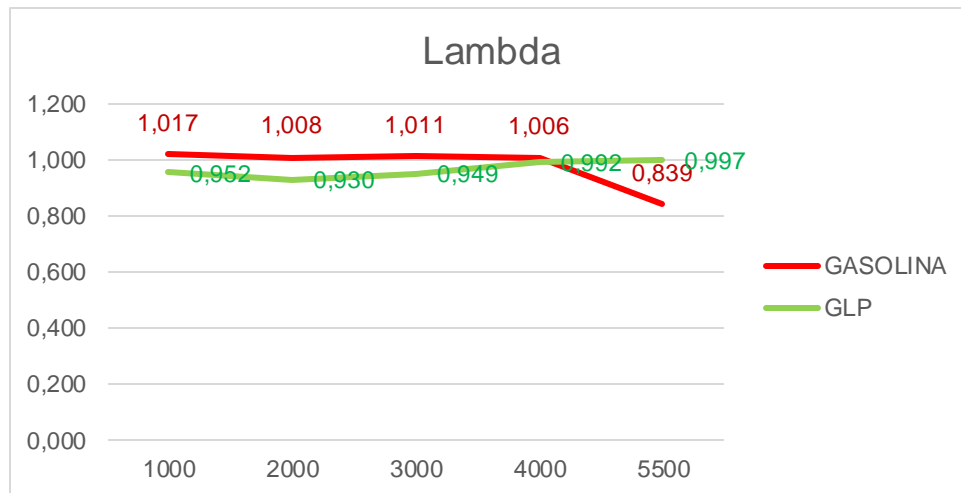
*Comparación de HC - Test Continuo*



- **Análisis lambda**

Al estudiar la relación lambda se verifica que existe una decadencia con el combustible de GLP teniendo como valor máximo 0,997 y en gasolina con un valor de 1,017 se evidencia que los valores que corresponden al uso de GLP están por debajo de la referencia de 1, mientras que los de gasolina superan este valor, y esto indica que el uso de combustible de GLP da una buena combustión, es decir ingresa más combustible en relación al aire.



**Figura 43***Comparación de Lambda - Test Continuo*

## Capítulo V

### Marco Administrativo

El tema actual de la Unidad de Integración Curricular, “Investigación de la incidencia del sistema de alimentación de combustible GLP en el motor de combustión interna GDI en el control de emisiones vehiculares”, fue desarrollado con la ayuda de una variedad de recursos, humanos, tecnológicos, materiales, presupuesto y financiamiento.

### Recursos Humanos

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

### Tabla 15

#### *Recursos humanos*

Orden	Personal	Función
1	Angamarca Nicaragua Lennin Ronaldo	Investigador
2	Tonato Nata, Stalin Iván	Investigador Investigador
3	Ing. Quiroz Erazo Leónidas Antonio	Director del trabajo de Titulación Colaborador científico Especialista emisiones

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

### Recursos Tecnológicos

Los recursos tecnológicos utilizados en las pruebas estáticas y pruebas dinámicas, su análisis lo requería.

**Tabla 16***Recursos tecnológicos*

Orden	Descripción	Función
1	Analizador de Gases portátil KANE 4-2 AUTOPLUS	Mide las emisiones de gases contaminantes en condiciones estáticas y dinámicas.
2	Software KANE LIVE	Registra valores de las emisiones de gases e indica las gráficas del comportamiento de los gases en tiempo real.
3	MGT-300 EVO RPM COUNTER	Muestra el régimen de giro y temperatura del motor en los vehículos de prueba
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
5	Software Ómnibus BRAIN BEE	Controla el analizador estático para test oficial y continua. Permite la conexión con los analizadores de gases BRAIN BEE
6	Computadoras	AGS - 688 y KANE AUTOPLUS 4-2 con su programa base para visualizar las mediciones de gases contaminantes

Orden	Descripción	Función
7	Sistema de posicionamiento	Registra datos de distancia, velocidad y ruta.

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

### Recursos Materiales

Los materiales necesarios para el desarrollo del proyecto se los detalla en la siguiente tabla.

**Tabla 17**

#### *Recursos materiales*

Orden	Nombre
1	Filtros para analizador
2	Caja de herramientas
3	Insumos de Limpieza
4	Sistema de visualización
5	Cables de seguridad
6	Cinta adhesiva de uso automotriz

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

### Recurso Financiero

El financiamiento para el desarrollo de la investigación del uso de GLP, en motores de combustión interna de inyección directa fue autofinanciado por los investigadores, recurriendo

para realizar las mediciones en pruebas dinámicas y estáticas e implementación tuvo un costo de total de 2 361,00 USD.

**Tabla 18**

*Recurso Financiero Materiales - Insumos- Equipos*

Detalle	Cantidad	Valor Unitario (USD)	Valor Total (USD)
Motor de combustión GDI	2	526,5	1 125,00
Kit de conversión GLP 5ta generación	2	350	700
Accesorios sistema del GLP	1	125,00	125,00
Filtros para analizador	8	15,00	120,00
Combustible 1(Gasolina)	40,81 Gal	2,45	100,00
Combustible 2(Gas Licuado de petróleo)	2	3,50	7,00
Certificación equipos de medición de emisiones	2	92,00	184,00
<b>Total</b>			<b>2 361,00</b>

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



## Capítulo VI

### Conclusiones y Recomendaciones

#### Conclusiones

- Se investigó la incidencia del sistema de alimentación de combustible GLP en el motor de combustión interna GDI en el control de emisiones vehiculares.
- Se realizaron ensayos de emisiones en tiempo real en el motor de combustión interna GDI a través de pruebas continuas y test oficial según la NTE INEN 2 203 y NTE INEN 2 204 y se cuantificó la relación aire – combustible del sistema de alimentación de combustible GLP en el motor de combustión interna GDI de acuerdo a los valores de HC, CO, CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>.
- Se evaluó de manera integral y precisa el impacto del sistema de alimentación de combustible GLP en el motor de combustión interna GDI, para observar una reducción significativa en las emisiones vehiculares en comparación con el uso exclusivo de gasolina convencional, debido a las propiedades de combustión más limpias inherentes al GLP.
- Los incrementos de hidrocarburos se deben a que la calibración de los vehículos con gas licuado de petróleo tiene relaciones de aire – combustible mayor a 1 que hace que tenga mayor demanda de carburante que es evidente en su ralentí que está por encima de las revoluciones establecidas.
- El incremento que presenta el monóxido de carbono representa una deficiente combustión debido a que el GLP posee un poder calorífico menor con respecto a la gasolina por lo tanto necesita más combustible para obtener la misma potencia.
- Los resultados obtenidos en el test oficial, resultó rangos que oscilan entre los parámetros normales, se debe considerar que los HC aumentan debido al régimen alto donde necesita el ingreso de mayor combustible.

- Se realizó pruebas dinámicas en ciclos urbanos y carrera, en la que se analiza los valores del ensayo, se obtienen como datos una disminución en los CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y lambda y un aumento considerable en CO y HC, determinando deficiente el proceso de combustión, consecuencia de una mezcla rica.
- Los datos de dióxidos de carbono en las pruebas estáticas, tienden a ser mayores con respecto a las de gasolina, debido al sistema de encendido no óptimo para detonar completamente la mezcla de GLP, tendiendo a perder potencia.
- Al realizar el test continuo en la prueba estática se registró datos de lambda con gas licuado de petróleo son más uniformes con respecto a los de la gasolina, esto indica que al realizar una aceleración continua el motor funciona correctamente.
- Se registró una producción baja de HC al realizar aceleraciones largas en el test continuo, el ingreso de aire combustible es el efectivo para tener una relación estequiométrica eficiente.

## **Recomendaciones**

- Optimizar el desempeño del sistema del gas licuado de petróleo considerando el avance al encendido mediante el uso de variadores al avance de encendido con control electrónico de gestión integral para ajustar el ángulo de avance, que mejore la eficacia de la combustión de la mezcla aire-combustible para reducir emisiones.
- Implementar un controlador de GLP que permite la inyección secuencial directa para una precisa dosificación del combustible en todo el rango de revoluciones, con un consumo mínimo de combustible.
- Efectuar la aplicación de inyectores de gas licuado de petróleo sin límite de recorrido que permita ser utilizado en motores turbo cargados para obtener mejores parámetros de trabajo y que permitan la excelente disipación del calor de la bobina del inyector.



- Adecuar sensores de presión para GLP que permitan medir la presión del gas licuado de petróleo, el vacío del colector y la temperatura del gas en el recorrido del GLP.

## Bibliografía

- Alonso, J. (2000). *TECNOLOGÍAS AVANZADAS DEL AUTOMOVIL*. España: Paraninfo.
- Alonso, J. (2002). *Técnicas del automovil, Inyección de gasolina y dispositivos anticontaminantes*. España: COPYRIGHT.
- Apolo, L., & Ávila, H. (Enero de 2019). *Levantamiento de una base de datos del comportamiento de emisiones vehiculares y su relación con PID's en 3 vehículos de la categoría M1 con cilindrada menor o igual 1.6 L en la ciudad de Cuenca*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16892/1/UPS-CT008139.pdf>
- ASTRAVE. (24 de January de 2024). *El GLP, el combustible alternativo más utilizado en Europa*. Recuperado el 2 de February de 2024, de ASTRAVE: <https://astrave.com/autogas/combustible-alternativo-europa/>
- AUTOGAS ITALIA. (s.f.). *Cual es el impacto del GLP en el medio ambiente?* Recuperado el 2 de February de 2024, de Autogas Italia Srl: <https://www.autogasitalia.it/es/faq/gpl/cual-es-el-impacto-del-glp-en-el-medio-ambiente/>
- Barón, J. (16 de September de 2022). *Estudio de la eficiencia del uso del GLP como combustible vehicular vs la gasolina con base en el piloto GLP vehicular implementado municipio de Cúcuta - Norte de Santander*. Recuperado el 17 de February de 2024, de Repositorio de la Universidad Industrial de Santander: <https://noesis.uis.edu.co/items/b8030bc1-b424-4f26-ac32-81326f691665>
- Bosch, R. (2000). *Técnica de gases de escape para motores de gasolina*. Bosch.
- Cajas, A., & Meneses, R. (17 de Julio de 2019). *Análisis del efecto de los colectores de admisión de geometría variable sobre las emisiones de gases de escape en un motor*

- monocilíndrico 4 tiempos*. Recuperado el 17 de February de 2024, de Wikipedia:  
<https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/20726>
- Castro, M. d. (1998). *Inyeccion de gasolina* . España: CEAC.
- Denton, T. (2016). *Sistema Mecanico y Electronico del Automovil. Tecnologia automotriz: reparacion y mantenimiento de vehiculos*. México: Alfomega.
- Drivim. (22 de Octrubrre de 2020). *¿Cuánto contamina un coche? NEDC y WLTP*. Obtenido de  
<https://www.drivim.com/blog/cuanto-contamina-un-coche-nedc-y-wltp/>
- Erjavec, J. (2009). *Automotive Technology A Systems Approach*. Recuperado el 17 de February de 2024, de  
[https://www.google.com.ec/books/edition/Automotive\\_Technology/1NtPPgAACAAJ?hl=es-419](https://www.google.com.ec/books/edition/Automotive_Technology/1NtPPgAACAAJ?hl=es-419)
- Foster, S., & Elzinga, D. (s.f.). *El papel de los combustibles fósiles en un sistema energético sostenible | Naciones Unidas*. Recuperado el 2 de February de 2024, de the United Nations: <https://www.un.org/es/chronicle/article/el-papel-de-los-combustibles-fofiles-en-un-sistema-energetico-sostenible>
- Freire, D., & Loza, J. (18 de February de 2013). *Comportamiento de un motor a gasolina utilizando alcohol anhidro como combustible de aporte*. Recuperado el 17 de February de 2024, de Repositorio Digital - EPN: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/5799>
- Fuentes, A. (2015). *Herramienta para el cálculo de la combustión en generadores térmicos: combustibles sólidos, líquidos y gaseosos*. Obtenido de Depósito de Investigación de la Universidad de Sevilla.:  
<https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/90267/fichero/TFG->

+Herramienta+para+el+c%C3%A1culo+de+la+combusti%C3%B3n+en+generadores+t  
%C3%A9rmicos+ALFONSO+FUENTES+P%C3%89REZ+G.I.T.I..pdf+

GANESAN, V. (2004). Recuperado el 17 de February de 2024, de IC Engines:

[https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/tdg/ADVANCED%20ENGINE%20TECHNOLOGY%20AND%20PERFORMANCE/INTERNAL%20COMBUSTION%20ENGINES%20by%20Ganesan%20\(z-lib.org\).pdf](https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/tdg/ADVANCED%20ENGINE%20TECHNOLOGY%20AND%20PERFORMANCE/INTERNAL%20COMBUSTION%20ENGINES%20by%20Ganesan%20(z-lib.org).pdf)

García, R. (Noviembre de 2001). *COMBUSTION Y COMBUSTIBLES*. Obtenido de Kimerius:

<https://www.kimerius.com/app/download/5780666669/Combusti%C3%B3n+y+combustibles.pdf>

Giraldo, K. (2021). *CARACTERIZACIÓN Y ESTIMACIÓN DE EMISIONES VEHICULARES EN LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE KRISTEL JESSENIA GIRALDO SERNA*. Recuperado el 17 de February de 2024, de Red UAO Home:

<https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/5372/TID00974.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

GLOBALTECH. (14 de Diciembre de 2021). *ANALIZADOR DE GASES BRAIN BEE – MODELO AGS-688*. Obtenido de <https://globaltech-car.com/producto/analizador-de-gases-brain-bee-modelo-ags-688/#dfp>

GLOBALTECH. (2021). *Analizador de gases portátil KANE AUTOPLUS 4-2*. Recuperado el 16 de February de 2024, de <https://globaltech-car.com/producto/analizador-de-gases-portatil-kane-autoplus-4-2/>

GLOBALTECH. (14 de Diciembre de 2021). *TACÓMETRO DE RPM Y TEMPERATURA – MGT-300 EVO*. Obtenido de <https://globaltech-car.com/producto/tacometro-de-rpm-y-temperatura-mgt-300-evo/>

- GLOBALTECH. (29 de Noviembre de 2023). *Tabla de rangos permitidos de emisiones para la RTV de la ciudad de Quito*. Obtenido de Globaltech Ecuador: <https://globaltech-car.com/tabla-de-rangos-permitidos-de-emisiones-para-la-rtv-de-la-ciudad-de-quito/>
- GLOBALTECH. (2024). *ANALIZADOR DE GASES PORTATIL KANE AUTOPLUS 4-2[Fotografia]*. Obtenido de GLOBALTECH EQUIPOS AUTOMOTRICES: <https://globaltech-car.com/producto/analizador-de-gases-portatil-kane-autoplus-4-2/>
- Herranz, D. (26 de Enero de 2017). *¿Cómo funciona un sistema GLP?* Obtenido de blog Mecanicos: [https://www.blogmecanicos.com/2017/01/como-funciona-un-sistema-glp\\_26.html](https://www.blogmecanicos.com/2017/01/como-funciona-un-sistema-glp_26.html)
- INEN 675, S. (2017). *Productos derivados de petróleo. Gas licuado de petróleo (GLP)*. Recuperado el 17 de February de 2024, de Wikipedia: <https://docplayer.es/56645479-Nte-inen-675-primera-revision.html>
- KM77.COM. (2007). *Mazda CX-7 Sportive 2.3 DISI Turbo 260 CV (2007-2008) | Precio y ficha técnica*. Obtenido de <https://www.km77.com/coches/mazda/cx-7/2007/estandar/sportive/cx-7-sportive-23-disi-turbo-260-cv/datos>
- Lascano, A., & Nuñez, C. (2019). *Estudio de emisiones de gases en vehículos a gasolina en la Universidad Técnica de Ambato campus Huachi*. Recuperado el 17 de February de 2024, de Repositorio Universidad Técnica de Ambato: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/29538>
- LOVATO GAS. (2024). *Sistemas certificados de Gestión de Calidad (ISO 9001) y sistemas de gestión de la Calidad Automotriz (ISO TS 16949) para la conversión de vehículos a gas | LOVATO GAS*. Recuperado el 2 de February de 2024, de lovato gas: [http://www.lovatogas.com/php/spa/certificaciones\\_y\\_calidad/](http://www.lovatogas.com/php/spa/certificaciones_y_calidad/)

*Manual Ceac del automóvil.* (2007). España: Ceac, S.A.

Martínez, P. C., Siavichay, B. a., & Tenesaca, J. C. (2011). Recuperado el 16 de February de 2024, de Análisis y construcción de un banco funcional con sistema de alimentación dual GLP-Gasolina en un motor con gestión electró:

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1774/13/UPS-CT002050.pdf>

MARTINEZ, P., SIAVICHAY, B., & TENESACA, J. (2011). *Sistema de gas convencional de segunda generacion [Fotografia]*. Obtenido de Analisis y contruccion de un banco de alimentacion dual GLP-gasolina en un motor con gestion electronica para el laboratorio de motores de combustion interna:

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1774/13/UPS-CT002050.pdf>

Miralles, J. (s.f.). *Sobrealimenracion de motores*. Perú: Ceac.

Naranjo, C. S. (2007). *Teoría de la combustion*. España: Universidad Nacional de Educación a Distancia.

NTE INEN 2 203, I. E. (2000). *NTE INEN 2 203: Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Determinación de la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o "Ralenti". prueba estática*. Recuperado el 16 de February de 2024, de Wikipedia:

<https://archive.org/details/ec.nte.2203.2000/page/n2/mode/1up>

NTE INEN 2 204, I. E. (2002). *NTE INEN 2 204: Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina : Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) : Free Download, Borrow, and Streaming*. Recuperado el 16 de February de 2024, de Internet Archive:

<https://archive.org/details/ec.nte.2204.2002>

- Nuñez, C. (2018). *ESTUDIO DE EMISIONES DE GASES EN VEHÍCULOS A GASOLINA EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO CAMPUS HUACHI*. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/29538/1/Tesis%20I.%20M.%20507%20-%20N%c3%ba%c3%b1ez%20P%c3%a9rez%20Carlos%20Santiago.pdf>
- Orozco, M. (5 de May de 2022). *Taxistas migran al Gas Licuado de Petróleo ante alza de precio de gasolina*. Recuperado el 2 de February de 2024, de Primicias: <https://www.primicias.ec/noticias/economia/taxistas-migran-gas-alza-precio-gasolina-guayaquil/>
- Otero, A. (15 de Enero de 2020). *El GLP es el combustible alternativo más usado del mundo, pero sus inconvenientes pueden ponérselo difícil en España*. Obtenido de Motorpasión: <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/coches-glp-combustible-alternativo-inconvenientes-espana>
- Pérez, S. (16 de November de 2018). *Vehículos a gas, una alternativa real*. Recuperado el 2 de February de 2024, de Revista CESVIMAP: <https://www.revistacesvimap.com/vehiculos-a-gas-una-alternativa-real/>
- Renault. (2024). *¿Qué es GLP? - Renault GLP - Renault*. Recuperado el 13 de February de 2024, de Renault España: <https://www.renault.es/renault-glp/que-es-glp.html>
- Rondón, N., Torres, O., Niño, E., Monterrosa, E., & Romero, J. (2012). *Miller Manual de Reparación de Automóviles*. España: LEXUS .
- Salvi, A. F. (1972). *La combustión (teoría y aplicaciones)*. Dossat S. A.
- Sistema EVO Landirengo*. (2024). Obtenido de LR Autogas: <https://autogas-landirengo.blogspot.com/p/sistema-evo-landirengo.html>

*Sonda Lambda*. (28 de Abril de 2021). Obtenido de Taller VHICar:

<https://tallervhicar.com/sonda-lambda/>

Tapia, P., Tigre, V., & Torres, F. (2017). Determinación del consumo de combustible de vehículos en base a los ciclos de. *REVISTA INFOCIENCIA*, pág. 6.

Trujillo, M. (2024). *Gas licuado de petróleo GLP: Suministro de en Colombia*. Obtenido de Colgas: <https://colgas.com/blog/suministro-de-gas-licuado-de-petroleo-en-colombia/#>

Watson, B. (1991). *Manual de fuel injection CHEVROLET*. PRENTICE-HALL HISPANOAMERICANA, S.A.

Yuksel, A. (29 de September de 2021). *¿Qué es un motor de combustible dual y cuáles son sus beneficios para las aplicaciones de petróleo y gas?* Recuperado el 13 de February de 2024, de Cummins: <https://www.cummins.com/es/news/2021/09/29/what-dual-fuel-engine-and-its-benefits-oil-and-gas-applications>

Zioty, P. (28 de Enero de 2015). *I GENERACIÓN: Sistemas con regulación de vacío manual [Fotografía]*. Obtenido de 007Verde: <https://007verde.com/generaciones-de-los-sistemas-de-autogas-2/>

Zioty, P., & Arias, J. (28 de January de 2015). *GENERACIONES DE LOS SISTEMAS DE AUTOGAS – 2*. Recuperado el 14 de February de 2024, de 007 Verde: <https://007verde.com/generaciones-de-los-sistemas-de-autogas-2/>



## Anexos