



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
AUTOMOTRIZ**

**“CONVERSIÓN DE UN VEHÍCULO CATEGORÍA M1 DE GASOLINA A  
GAS LICUADO DE PETRÓLEO”**



**AUTORES:**

Amaguaña Puma Edgar Rolando  
Chamorro Arevalo Maderson Alejandro

**DIRECTOR:**

Ing. Carlos Marcelo Segovia Troya MSc.

Ibarra - Ecuador

**2024**

## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### BIBLIOTECA UNIVERSITARIA IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	1004040372		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Amaguaña Puma Edgar Rolando		
<b>DIRECCIÓN:</b>	La Esperanza, sector Rumipamba.		
<b>EMAIL:</b>	eramaguanap@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	-	<b>TELF. MOVIL</b>	0939447322

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	1004785463		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Chamorro Arevalo Maderson Alejandro		
<b>DIRECCIÓN:</b>	La Primavera, Nelson Mandela y Diego de Almagro, 1-62.		
<b>EMAIL:</b>	machamorroa@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	-	<b>TELF. MOVIL</b>	0998091809

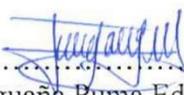
<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO:</b>	CONVERSIÓN DE UN VEHÍCULO CATEGORÍA M1 DE GASOLINA A GAS LICUADO DE PETRÓLEO.
<b>AUTOR (ES):</b>	Amaguaña Puma Edgar Rolando Chamorro Arevalo Maderson Alejandro
<b>FECHA:</b>	12/09/2024
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN	
<b>CARRERA/PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> GRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	INGENIERÍA AUTOMOTRIZ
<b>DIRECTOR:</b>	Ing. Segovia Troya Carlos Marcelo MSc.
<b>ASESOR:</b>	Ing. Rosero Añazco Ramiro Andrés MSc.

## AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Amaguaña Puma Edgar Rolando, con cédula de identidad Nro. 1004040372, en calidad de autor (es) y titular (es) de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de integración curricular descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

Ibarra, a los 11 días del mes de septiembre de 2024

**EL AUTOR:**

  
.....  
Amaguaña Puma Edgar Rolando

## AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Chamorro Arevalo Maderson Alejandro, con cédula de identidad Nro. 1004785463, en calidad de autor (es) y titular (es) de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de integración curricular descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

Ibarra, a los 11 días del mes de septiembre de 2024

**EL AUTOR:**



.....  
Chamorro Arevalo Maderson Alejandro

## CONSTANCIAS

Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 13 días, del mes de septiembre de 2024

### LOS AUTORES:



.....  
Amaguaña Puma Edgar Rolando



.....  
Chamorro Arevalo Maderson Alejandro

## CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 11 de septiembre de 2024

Ing. Carlos Marcelo Segovia Troya MSc.  
DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

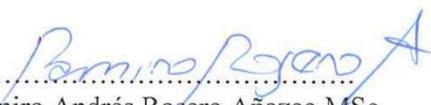
Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

  
(f) .....  
Ing. Carlos Marcelo Segovia Troya MSc.  
C.C.: 1706391404

## APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular “CONVERSIÓN DE UN VEHÍCULO CATEGORÍA M1 DE GASOLINA A GAS LICUADO DE PETRÓLEO” elaborado por Amaguaña Puma Edgar Rolando y Chamorro Arevalo Maderson Alejandro, previo a la obtención del título del Ingeniero Automotriz, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

  
(f):.....  
Ing. Carlos Marcelo Segovia Troya  
C.C.: 1706391404

  
(f):.....  
Ing. Ramiro Andrés Rosero Añazco MSc.  
C.C.: 1718193616

## DEDICATORIA

En primer lugar, está dedicado a Dios por darme la vida porque ha estado conmigo en todo momento, guiándome, cuidándome, dando fuerza y oportunidad para poder seguir preparándome en mi estudio académico.

A mi esposa Adriana, que me enseñó a luchar y que me ha propuesto que todo esfuerzo tiene una recompensa en la vida y a mi hijo Kaled que lo que más quiero en mi vida, por su incondicional apoyo y motivación por darme animo necesario para seguir adelante cuando las cosas se ponían difíciles, gracias a sus palabras de motivación y confianza en mí, espero poderte retribuirte todo este amor y gratitud a lo largo de nuestra vida juntos.

A mis padres Cesar y Felipa que siempre han estado pendientes de mí, este logro es un testimonio de su amor, estoy muy agradecido por el amor y las lecciones de mi vida que me han enseñado. Es imposible expresar mi gratitud hacia ustedes en su totalidad. Esta tesis es un homenaje a su legado y a mi admiración eterna por ustedes, gracias por ser los padres más grandes del mundo.

**EDGAR AMAGUAÑA**

A mis padres, Jaime Chamorro y Alicia Arevalo quienes siempre han creído en mi inculcándome siempre el ejemplo de humildad, superación y sacrificio, su apoyo incondicional ha sido la base para hacer realidad este logro profesional.

A mis hermanos, Rodolfo y Francis quienes me han apoyado incondicionalmente para alcanzar esta meta tan anhelada.

**MADERSON CHAMORRO**

## **AGRADECIMIENTO**

Me gustaría agradecer especialmente a Dios por tu amor y bondad que no tiene fin. En este sentido, este trabajo de tesis es una gran bendición y agradezco por estar presente no solo en esta etapa de mi vida, si no siempre entregándome lo mejor y buscando lo mejor para mí.

Agradezco a mi familia por su apoyo inquebrantable a lo largo de mi carrera académica, este logro no sería posible sin su amor y comprensión.

Deseo expresar el más profundo agradecimiento a la Universidad Técnica del Norte, por brindarme la oportunidad de estudiar en esta prestigiosa institución que ha sido un privilegio y honor, estoy agradecido a todos los ingenieros de la carrera Ingeniería Automotriz por su dedicación por brindar una educación de alta calidad; sus enseñanzas, orientación y apoyo han sido fundamentales para mi formación profesional.

Agradecer al Ing. Carlos Segovia y Ing. Ramiro Rosero, por su invaluable orientación, paciencia, conocimiento y compromiso con la excelencia han inspirado y motivado profundamente mi trabajo y que Dios este siempre guiando y bendiciendo en su diario vivir.

**EDGAR AMAGUAÑA**

A Dios, por brindarme salud y bienestar.

A mi familia en general les agradezco de corazón por su amor y apoyo brindado a lo largo de mi instrucción académica.

A la Universidad Técnica del Norte, particularmente a la carrera de Ingeniería Automotriz por brindarme la oportunidad de formarme junto a sus docentes, su apoyo y recursos han sido primordiales para mi desenvolvimiento personal y profesional.

Al Ing. Carlos Segovia tutor de este trabajo de grado, por su invaluable guía y conocimiento compartido a lo largo de este proyecto para el desarrollo exitoso del mismo.

Al Ing. Ramiro Rosero, asesor de este trabajo de grado, que con sus enseñanzas, conocimientos y sugerencias aportadas fueron importantes para llevar a cabo este trabajo.

A la Ing. Margarita Torres y al Ing. Cesar Morales por su colaboración y asistencia a lo largo de las pruebas desarrolladas.

**MADERSON CHAMORRO**

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de tesis tiene como objetivo instalar, analizar y determinar el comportamiento del funcionamiento de los sistemas de conversión a GLP en un MEP mediante pruebas realizadas de medición y análisis de emisiones producto de la combustión, potencia y par motor, el consumo en una ruta combinada, a su vez realizando la comparación con el uso de la gasolina extra. Para esto, se realizó la investigación bibliográfica acerca la tecnología que se emplea en motores térmicos y a su vez de la normativa técnica que se debe cumplir en el territorio ecuatoriano para utilizar el GLP como combustible. Se desarrolló un procedimiento general para obtener los resultados en el que se contempla en la implementación del kit de conversión en un vehículo categoría M1, selección de los equipos y de la ruta de ensayo, determinar métodos para calcular el consumo y el factor de emisiones. Se instaló un sistema de segunda generación con base a la normativa NTE INEN 2310 y 2311, para posteriormente realizar los ensayos de rendimiento en el dinamómetro para recopilar los valores de par motor y potencia al hacer uso tanto del GLP como de la gasolina extra; donde se pudo destacar que con GLP el aumento del 6,2% de potencia y de par motor en comparación al usar la gasolina extra. Por otra parte, la medición de los gases producidos con cada combustible se realizó en dos distintos RPM obteniendo como resultado que al utilizar el GLP los niveles de CO, HC, CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> tienden a disminuir. Además, se analizó el comportamiento del sensor O<sub>2</sub> por medio de las gráficas suministradas por un osciloscopio el cual permitió relacionar los valores de voltaje junto con los resultados de lambda obtenidos en el análisis de gases. Posteriormente, se estimó un consumo teórico en base a la dinámica longitudinal del vehículo y el cual se compara con los resultados obtenidos del consumo real tanto de gasolina extra como de GLP y estimar la autonomía, y con ello también calcular los valores de factor de emisiones el cual implica calcular los valores de la huella de carbono y la cantidad de emisiones producidas a lo largo de la distancia recorrida en la ruta de ensayo. Una vez finalizado las pruebas, se procedió a analizar el costo de adquisición, mantenimientos y determinar la viabilidad económica que implicaría usar GLP como combustible alterno en reemplazo de los combustibles convencionales.

**Palabras clave:** Conversión, NTE INEN, GLP, Gasolina, emisiones, rendimiento, ahorro económico.

## ABSTRACT

The objective of this thesis work is to install, analyze and determine the performance behavior of LPG conversion systems in a MEP by means of measurement tests and analysis of emissions resulting from combustion, power and torque, consumption in a combined route, as well as making a comparison with the use of extra gasoline. For this, a bibliographic research was carried out on the technology used in thermal engines and the technical regulations that must be complied with in Ecuadorian territory to use LPG as fuel. A general procedure was developed to obtain the results in which the implementation of the conversion kit in a category M1 vehicle, selection of the equipment and the test route, determining methods to calculate the consumption and the emissions factor were contemplated. A second generation system was installed based on the NTE INEN 2310 and 2311 standards, to subsequently perform performance tests on the dynamometer to collect the values of torque and power when using both LPG and extra gasoline; where it was noted that with LPG there was a 6.2% increase in power and torque compared to using extra gasoline. On the other hand, the measurement of gases produced with each fuel was carried out in two different RPM obtaining as a result that when using LPG the levels of CO, HC, CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> tend to decrease. In addition, the behavior of the O<sub>2</sub> sensor was analyzed by means of the graphs provided by an oscilloscope which allowed relating the voltage values together with the lambda results obtained in the gas analysis. Subsequently, a theoretical consumption was estimated based on the longitudinal dynamics of the vehicle and which is compared with the results obtained from the actual consumption of both extra gasoline and LPG and estimate the autonomy, and thereby also calculate the values of emissions factor which involves calculating the values of the carbon footprint and the amount of emissions produced along the distance traveled on the test route. Once the tests were completed, we proceeded to analyze the cost of acquisition, maintenance and determine the economic feasibility of using LPG as an alternative fuel to replace conventional fuels.

**Keywords:** Conversion, NTE INEN, LPG, gasoline, emissions, performance, economic savings.

## LISTA DE SIGLAS

**MCI.** Motor(es) de Combustión Interna

**MEP.** Motor(es) de Encendido Provocado

**MEC.** Motor(es) de Encendido por Compresión

**CO<sub>2</sub>.** Dióxido de Carbono

**CO.** Monóxido de carbono

**NO<sub>x</sub>.** Óxidos de Nitrógeno

**HC.** Hidrocarburos

**GLP.** Gas Licuado de Petróleo

**GNC.** Gas Natural Comprimido

**NTE.** Norma Técnica Ecuatoriana

**INEN.** Instituto Ecuatoriano de Normalización

**OEM.** Original Equipment Manufactured

**CC.** Centímetros Cúbicos

**PMI.** Punto Muerto Inferior

**PMS.** Punto Muerto Superior

**DIS.** Direct Ignition System

**COP.** Coil on Plug

**ECU.** Unidad de Control Electrónico

**ECM.** Electronic Control Module

**PPM.** Partes por Millón

**RON.** Research Octane Number

**MON.** Motor Octane Number

**CEPE.** Comisión Económica para Europa

**DTC.** Diagnostic Trouble Code

**DLC.** Data Link Conector

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

	<b>PÁGINA</b>
DEDICATORIA .....	viii
AGRADECIMIENTO .....	ix
RESUMEN EJECUTIVO.....	x
ABSTRACT.....	xi
LISTA DE SIGLAS .....	xii
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xx
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xxii
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xxv
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xxvi
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I .....	2
1. Revisión Bibliográfica.....	2
1.1. Problema de Investigación.....	2
1.2. Justificación.....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo General.....	3
1.3.2. Objetivos Específicos.....	4
1.4. Alcance .....	4
1.5. Motor de Combustión Interna.....	5
1.5.1. Motor de Encendido Provocado.....	5
1.5.2. Funcionamiento de un MEP.....	5
1.5.3. Ciclos Termodinámicos de un MEP .....	6
1.5.3.1. Ciclo Termodinámico Ideal. ....	6
1.5.3.2. Ciclo Termodinámico Real. ....	7
1.5.4. Sistemas Auxiliares del MEP.....	8
1.5.4.1. Sistema de Refrigeración del MEP.....	8
1.5.4.2. Sistema de Lubricación del MEP.....	9
1.5.4.3. Sistema de Encendido de un MEP.....	11
1.5.4.4. Sistema de Escape del MEP.....	12
1.5.5. Mezcla Estequiométrica.....	13

1.6. Sistemas de Inyección de Combustible en MEP.....	14
1.6.1. Sistema de Inyección Según el Número de Inyectores.....	15
1.6.1.1. Inyección Monopunto.....	15
1.6.1.2. Inyección Multipunto.....	15
1.6.2. Sistema de Inyección Según el Lugar de Inyección del Combustible.....	16
1.6.2.1. Inyección Indirecta.....	16
1.6.2.2. Inyección Directa.....	16
1.6.3. Sistema de Inyección Según la Forma de Inyectar el Combustible.....	17
1.6.3.1. Inyección Secuencial.....	17
1.6.3.2. Inyección Semisecuencial.....	17
1.6.3.3. Inyección Simultánea.....	17
1.7. Combustibles.....	18
1.7.1. Tipos de Combustibles.....	19
1.7.1.1. Combustibles Convencionales.....	19
1.7.1.2. Combustibles Alternativos.....	19
1.7.2. Propiedades Físicas de los Combustibles.....	20
1.7.3. Propiedades Químicas de los Combustibles.....	20
1.7.4. Normativa De Combustibles.....	21
1.7.4.1. Normativa Para la Gasolina.....	21
1.7.4.2. Normativa Para el GLP.....	21
1.8. Generalidades de las Emisiones.....	22
1.8.1. Emisiones Generadas Debido a la combustión.....	22
1.8.2. Límites de Emisiones Empleando Gasolina Como combustible.....	22
1.8.3. Límites de Emisiones Empleando GLP Como Combustible.....	23
1.9. Sistema de Conversión a GLP.....	24
1.9.1. Generaciones de los Sistemas a GLP.....	24
1.9.2. Normativa Internacional de los Sistemas a GLP.....	24
1.9.3. Normativa Nacional de los Sistemas a GLP.....	25
1.9.4. Normativa del Cilindro de GLP Automotriz.....	26
CAPÍTULO II.....	27
2. Métodos y Materiales.....	27
2.1. Método.....	27
2.1.1. Tipología del Estudio de Investigación.....	27
2.1.2. Métodos de Investigación.....	27

2.1.3. Determinación del proyecto metodológico.....	28
2.2. Materiales .....	29
2.2.1. Automotor Empleado al Estudio.....	29
2.2.2. Combustibles.....	29
2.2.2.1. Gasolina Extra.....	29
2.2.2.2. El GLP Comercial.....	31
2.2.3. Kit de Conversión .....	32
2.2.3.1. Tanque de GLP. ....	33
2.2.3.2. Multiválvula.....	34
2.2.3.3. Cámara hermética. ....	35
2.2.3.4. Filtro de GLP. ....	35
2.2.3.5. Electroválvula GLP.....	35
2.2.3.6. Evaporador/Reductor/Regulador de presión.....	36
2.2.3.7. Mezclador. ....	36
2.2.3.8. Llave conmutadora/indicador. ....	37
2.2.3.9. Emulador.....	37
2.2.3.10. Mangueras de baja/alta presión.....	38
2.2.4. Dispositivo de Medición de Gases.....	39
2.2.5. Dinamómetro .....	40
2.2.6. Medidor de Compresión .....	41
2.2.7. Osciloscopio.....	42
2.2.8. Equipo GPS.....	42
2.3. Procedimiento de Conversión del sistema GLP .....	44
2.3.1. Preconversión – Inspección del vehículo.....	45
2.3.1.1. Diagnóstico Inicial .....	45
2.3.1.2. Valoración de la Compresión del MCI.....	46
2.3.1.3. Productos de la Combustión Pre-conversión .....	46
2.3.1.4. Hoja de Trabajo General.....	46
2.3.2. Conversión del Sistema GLP .....	46
2.3.2.1. Determinar la ubicación de los componentes .....	46
2.3.3. Electrónica del Sistema GLP .....	47
2.3.4. Arranque y Afinaciones del Equipo.....	48
2.3.4.1. Revisión de fugas y purgado del sistema GLP .....	49
2.3.4.2. Ajustes del Sistema de Encendido para GLP.....	49

2.3.4.3. Ajuste del Caudal Mínimo .....	50
2.3.4.4. Ajuste del Caudal Máximo .....	50
2.3.4.5. Ajuste de Emisiones en Marcha y Mezcla Mínima .....	51
2.3.5. Verificación Postconversión del Sistema GLP .....	51
2.4. Prueba de Potencia y Par Motor .....	52
2.5. Prueba de Emisiones .....	54
2.5.1. Proceso para la Medición de Gases .....	54
2.6. Selección de Rutas .....	55
2.6.1. Ruta Urbana .....	56
2.6.2. Ruta Rural .....	57
2.6.3. Ruta Autopista .....	58
2.7. Cálculo de Consumo de Combustible.....	59
2.7.1. Dinámica Longitudinal .....	60
2.7.2. Consumo 62	
2.8. Determinación del factor de emisiones. ....	62
2.8.1. Huella de Carbono .....	62
2.8.2. Determinación de las cantidades de emisiones producidas .....	63
CAPÍTULO III.....	64
3. Resultados y discusión .....	64
3.1. Registros Obtenidos en la Preconversión.....	64
3.1.1. Medición de Compresión .....	64
3.1.2. Registro de información en la hoja de trabajo .....	64
3.2. Instalación del kit de conversión a GLP.....	65
3.2.1. Ubicación de los Componentes.....	65
3.2.2. Instalación del Tanque de GLP.....	65
3.2.3. Instalación de Multiválvulas .....	67
3.2.4. Instalación de las Líneas de Combustible.....	68
3.2.5. Instalación del Filtro de GLP .....	70
3.2.6. Instalación del Evaporador – Reductor.....	70
3.2.7. Instalación del Mezclador .....	72
3.2.8. Instalación del Emulador de Inyectores .....	73
3.2.9. Instalación del Sistema de Corte de GLP (Electroválvula). ....	75
3.2.10. Instalación del Conmutador de Combustible.....	75
3.2.11. Instalación del Relé.....	76

3.3. Verificación Postconversión y Afinaciones.....	76
3.3.1. Verificación de Fugas en el Sistema de Alta Presión .....	76
3.3.2. Regulación de marcha mínima.....	78
3.3.3. Regulación de marcha máxima.....	78
3.4. Consumo de combustible .....	79
3.4.1. Ruta Combinada.....	79
3.4.2. Perfil de Elevación de la Ruta Combinada .....	80
3.4.3. Variables para el Cálculo de Consumo de Combustible.....	80
3.4.4. Consumo de Gasolina Extra en Prueba de Ruta .....	81
3.4.5. Consumo de GLP en Prueba de Ruta.....	82
3.5. Análisis de Potencia y Par Motor .....	84
3.5.1. Análisis de Potencia y Par Motor Empleando Gasolina Extra .....	85
3.5.1.1. Potencia Obtenida utilizando Gasolina Extra. ....	85
3.5.1.2. Par Motor Obtenido con Gasolina Extra.....	86
3.5.1.3. Curvas Representativas de Par Motor y Potencia con Gasolina extra .....	87
3.5.2. Análisis de Torque y Potencia Utilizando GLP .....	88
3.5.2.1. Potencia Obtenida con GLP.....	88
3.5.2.2. Par Motor Obtenido con GLP.....	89
3.5.2.3. Curvas Representativas de Par Motor y Potencia con GLP.....	90
3.5.3. Comparación de Potencia y Torque con Gasolina Extra y GLP.....	91
3.5.3.1. Comparativa de Potencia entre Gasolina Extra y GLP.....	91
3.5.3.2. Curvas de Potencia con Gasolina Extra y GLP .....	92
3.5.3.3. Comparativa de Torque entre Gasolina Extra y GLP. ....	93
3.5.3.4. Curvas de Torque con Gasolina Extra y GLP.....	94
3.6. Análisis de Emisiones de Escape .....	94
3.6.1. Análisis de Emisiones de Escape con Gasolina Extra y GLP a 900 RPM .....	95
3.6.1.1. Monóxido de Carbono (CO). ....	95
3.6.1.2. Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ). ....	96
3.6.1.3. Hidrocarburos (HC). ....	97
3.6.1.4. Oxígeno (O <sub>2</sub> ). ....	98
3.6.1.5. Análisis de los Valores Promedios de Emisiones en Ralentí.....	99
3.6.2. Análisis de Emisiones de Escape con Gasolina Extra y GLP a 2500 RPM .....	99
3.6.2.1. Monóxido de Carbono (CO).....	99
3.6.2.2. Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ). ....	100

3.6.2.3. Hidrocarburos (HC).....	101
3.6.2.4. Oxígeno (O <sub>2</sub> ).....	102
3.6.2.5. Análisis de los Valores Promedios de Emisiones en 2500 RPM.....	103
3.6.3. Comparación de los Valores de Emisiones de Gases de la Combustión de Acuerdo con la Normativa NTE INEN 2204.....	104
3.6.3.1. Valores Obtenidos con Gasolina Extra en Marcha Mínima. ....	104
3.6.3.2. Valores Obtenidos con GLP en Marcha Mínima.....	104
3.6.4. Análisis de la Variación del Factor Lambda Según el Tipo de Combustible.....	105
3.6.4.1. Valores de Factor Lambda con Gasolina Extra y GLP a 900 RPM.....	105
3.6.4.2. Valores de Factor Lambda con Gasolina Extra y GLP a 2500 RPM.....	106
3.6.4.3. Valores Promedio del Factor Lambda en 900 RPM y 2500 RPM.....	107
3.7. Análisis del Comportamiento del sensor de O <sub>2</sub> .....	108
3.7.1. Análisis del Comportamiento de O <sub>2</sub> con Gasolina Extra.....	108
3.7.2. Análisis del Comportamiento de O <sub>2</sub> con GLP.....	109
3.8. Factor de emisiones.....	111
3.8.1. Huella de Carbono.....	111
3.8.1.1. Huella de Carbono usando Gasolina Extra.....	111
3.8.1.2. Huella de Carbono con GLP.....	114
3.8.1.3. Comparación de la Huella de Carbono.....	117
3.8.2. Cantidad de emisiones producidas.....	118
3.8.3. Comparación con otro combustible alternativo.....	119
3.9. Análisis de Costos.....	120
3.9.1. Costo por adquisición del kit de conversión.....	120
3.9.2. Costos por Mantenimiento.....	121
3.9.3. Costos entre GLP y Gasolina Extra.....	122
3.9.4. Viabilidad económica.....	123
3.9.4.1. Costos por Recorrer la Misma Distancia.....	123
3.9.4.2. Por Kilómetros Recorridos a Largo Plazo.....	124
3.10. Condiciones de Seguridad.....	126
3.11. Daños a Futuro por Uso de GLP.....	127
CAPITULO IV.....	128
4. Conclusiones y Recomendaciones.....	128
4.1. Conclusiones.....	128
4.2. Recomendaciones.....	130

REFERENCIAS..... 131  
ANEXOS ..... 139

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA</b>	<b>PÁGINA</b>
1. Sucesos del sistema abierto del ciclo real .....	7
2. Componentes del sistema de refrigeración .....	9
3. Partes del sistema de lubricación a presión.....	10
4. Partes del sistema de escape .....	13
5. Relaciones estequiométricas de diferentes combustibles. ....	14
6. Formulas químicas de combustibles fósiles.....	19
7. Combustibles alternativo .....	20
8. Propiedades físicas de los combustibles .....	20
9. Propiedades químicas de los combustibles .....	21
10. Emisiones producidas según la combustión .....	22
11. Valores máximos de emisiones autorizados con motor a gasolina en ralentí.....	23
12. Valores máximos establecidos en Perú.....	23
13. Características del vehículo seleccionado.....	29
14. Especificaciones de la gasolina extra de uso comercial.....	30
15. Propiedades fisicoquímicas.....	31
16. Requisitos para el GLP. ....	31
17. Propiedades fisicoquímicas del GLP .....	32
18. Especificaciones del tanque de GLP.....	34
19. Características de la maguera de alta presión .....	38
20. Características de mangueras para el circuito de baja presión.....	39
21. Características del analizador AGS-688. ....	39
22. Características técnicas del dinamómetro BPA-V2FR. ....	41
23. Detalles técnicos del compresómetro.....	41
24. Características generales del G-Scope 2. ....	42
25. Características del GPS GL-770 .....	43
26. Registro de datos iniciales .....	45
27. Requerimientos para la selección de rutas .....	56
28. Variables que afectan al consumo de combustible. ....	59
29. Valores de compresión del MEP.....	64
30. Ubicación de componentes .....	65
31. Variables establecidas para el consumo de combustible. ....	81
32. Datos obtenidos en prueba combinada con gasolina extra .....	82
33. Resultados de consumo con gasolina extra.....	82
34. Datos obtenidos en prueba combinada con GLP. ....	83
35. Resultados de consumo con GLP. ....	84
36. Diferencia de obtención de energía.....	84
37. Valores promedios de las emisiones de escape en bajas RPM con gasolina extra. ....	85
38. Valores promedios de las emisiones de escape en altas RPM con gasolina extra .....	86
39. Valores promedios de las emisiones de escape en bajas RPM con GLP.....	88
40. Valores promedios de las emisiones de escape en altas RPM con GLP.....	90
41. Emisiones de CO a 900 RPM .....	96
42. Dióxido de Carbono a 900 RPM.....	97
43. Hidrocarburos a 900 RPM .....	98
44. O2 obtenido a 900 RPM .....	99

45. Valores promedios de los valores registrados de emisiones en ralentí.....	99
46. Monóxido de Carbono a 2500 RPM.....	100
47. Dióxido de carbono a 2500 RPM.....	101
48. Hidrocarburos a 2500 RPM.....	102
49. Oxígeno a 2500 RPM.....	103
50. Valores promedios de los valores registrados de emisiones en 2500 RPM.....	104
51. Comparativa de valores de emisiones de gases contaminantes con gasolina extra.....	104
52. Comparativa de valores de emisiones de gases contaminantes con GLP.....	105
53. Valores de factor lambda a 900 RPM.....	106
54. Valores de factor lambda a 2500 RPM.....	107
55. Valores promedios de las emisiones de escape en bajas RPM con gasolina extra.....	111
56. Valores promedios de las emisiones de escape en altas RPM con gasolina extra.....	112
57. Valores promedios de las emisiones de escape en bajas RPM con GLP.....	114
58. Valores promedios de las emisiones de escape en altas RPM con GLP.....	115
59. Valores obtenidos de huella de carbono.....	117
60. Precios de kits de conversión en Ecuador.....	121
61. Precios de los combustibles.....	123
62. Ahorro monetario empleando GLP con el precio subsidiado.....	125
63. Ahorro monetario empleando GLP sin el precio subsidiado.....	126

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>	<b>PÁGINA</b>
1. Diagrama P-v de ciclo ideal incluyendo admisión y escape.....	6
2. Ciclo real del MEP.....	7
3. Sistema de refrigeración líquida .....	9
4. Sistema de lubricación a presión.....	10
5. Sistema DIS con bobinas independientes COP .....	12
6. Sistema de escape con catalizador .....	13
7. Inyección monopunto.....	15
8. Inyección multipunto .....	16
9. Inyección indirecta (a) y directa (b).....	17
10. Formas de inyección .....	18
11. Proceso metodológico.....	28
12. Composición del sistema GLP.....	33
13. Cilindro de GLP .....	33
14. Multivalvula.....	34
15. Cámara hermética .....	35
16. Filtro de GLP .....	35
17. Electroválvula GLP.....	36
18. Reductor Emmegas .....	36
19. Mezclador .....	37
20. Conmutador de combustible .....	37
21. Emulador.....	38
22. Vista frontal del AGS-688 .....	39
23. Vista posterior del AGS-688.....	39
24. Dinamómetro de rodillos .....	40
25. Medidor de compresión. ....	41
26. Osciloscopio modelo G-Scope 2.....	42
27. GPS GL-770.....	43
28. Procedimiento de conversión a GLP.....	44
29. Diagrama electrónico del sistema GLP.....	47
30. Procedimiento de arranque y afinaciones .....	48
31. Verificación de fugas de GLP.....	49
32. Tornillo de regulación de marcha mínima .....	50
33. Tornillo de regulación de marcha alta .....	51
34. Prueba en el dinamómetro .....	54
35. Prueba de emisiones.....	55
36. Ruta urbana seleccionada.....	57
37. Ruta rural seleccionada.....	58
38. Ruta de autopista seleccionada .....	59
39. Diagrama de fuerzas longitudinales.....	60
40. Determinación de kf mediante autocad.....	61
41. Aprobación de la conversión .....	64
42. Ubicación del tanque de GLP .....	66
43. Soportes del cilindro de GLP .....	66
44. Instalación del cilindro de GLP .....	67

45. Multivalvulas del cilindro .....	68
46. Manguera de alta presión .....	69
47. Circuito de baja presión de GLP .....	69
48. Filtro de GLP .....	70
49. Ubicación del reductor de GLP.....	71
50. Reductor instalado .....	71
51. Mangueras provenientes del circuito de refrigeración.....	72
52. Mezclador ubicado antes del cuerpo de aceleración.....	73
53. Mezclador de GLP .....	73
54. Ubicación del emulador de inyección.....	74
55. Diagrama de instalación del emulador.....	74
56. Electrovalvula de GLP .....	75
57. Conmutador de combustible .....	76
58. Revisión de posibles fugas posterior al cilindro de GLP .....	77
59. Revisión de fugas en la entrada a la electroválvula .....	77
60. Regulación de marcha mínima.....	78
61. Regulación de marcha máxima.....	79
62. Ruta combinada .....	79
63. Perfil de elevación de la ruta combinada .....	80
64. Perfil de velocidades del ciclo combinado usando gasolina extra .....	81
65. Perfil de velocidades del ciclo combinado usando GLP.....	83
66. Datos de potencia con gasolina extra.....	86
67. Datos de par motor con gasolina extra.....	87
68. Curvas características de par motor y potencia usando gasolina extra.....	88
69. Potencia obtenida con GLP.....	89
70. Par motor obtenidos con GLP .....	90
71. Curvas de par motor y potencia con GLP .....	91
72. Potencia obtenida con ambos combustibles.....	92
73. Curvas de potencia con gasolina extra y GLP. ....	93
74. Par motor obtenidos con ambos combustibles.....	93
75. Curvas de torque con gasolina extra y GLP.....	94
76. Emisiones de CO a 900 RPM .....	95
77. Dióxido de Carbono a 900 RPM.....	96
78. Hidrocarburos a 900 RPM .....	97
79. O <sub>2</sub> obtenido a 900 RPM .....	98
80. Monóxido de Carbono a 2500 RPM .....	100
81. Dióxido de carbono a 2500 RPM.....	101
82. Hidrocarburos a 2500 RPM .....	102
83. Oxígeno a 2500 RPM.....	103
84. Valores de factor lambda .....	105
85. Valores de factor lambda a 2500 RPM .....	106
86. Valores promedios de lambda en cada RPM .....	107
87. Señal del sensor O <sub>2</sub> usando gasolina extra .....	108
88. Voltaje del sensor O <sub>2</sub> registrado por el escáner con gasolina extra .....	109
89. Señal del sensor O <sub>2</sub> con gasolina extra en 2500 RPM .....	109
90. Señal del sensor O <sub>2</sub> con GLP en 900 RPM .....	110

91. Voltaje del sensor O2 con GLP a 900 RPM .....	110
92. Señal del sensor O2 con GLP en 2500 RPM .....	111
93. Valores de huella de carbono según las RPM con gasolina extra.....	114
94. Valores de la huella de carbonos según las RPM con GLP .....	117
95. Comparativa de la huella de carbono .....	118
96. Emisiones producidas por kilómetro .....	118
97. Precio de combustibles alternos .....	119
98. Costos de mantenimiento .....	122
99. Costos al recorrer 579 km .....	124
100. Gasto monetario en combustible al recorrer 20000 km .....	126

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>ECUACIÓN</b>	<b>PÁGINA</b>
1. Factor lambda.....	14
2. Obtención de potencia aplicando el factor de corrección .....	52
3. Determinación del factor de corrección .....	52
4. Fórmula para calcular la resistencia aerodinámica .....	60
5. Formula para determinar el area frontal del vehículo .....	61
6. Formula para calcula la resistencia a la rodadura .....	61
7. Formula para calcular la resistencia a la pendiente .....	62
8. Formula para calcular la resistencia por aceleración de masas.....	62
9. Formula para calcular el consumo de combustible teórico.....	62
10. Ecuación estequiometrica de la combustión .....	63
11. Huella de carbono para CO <sub>2</sub> .....	63
12. Huella de carbono para CO.....	63
13. Determinación de la cantidad de emisiones producidas por kilómetro .....	63

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO</b>	<b>PÁGINA</b>
1. Formato de trabajo realizada.....	139
2. Ubicación de componentes del sistema GLP en el compartimiento del MEP.....	140
3. Ubicación del cilindro de GLP en el compartimiento del MEP. ....	140
4. Diagrama eléctrico para instalación del emulador de inyección. ....	141
5. Resultados del primer ensayo con gasolina extra. ....	142
6. Resultados del segundo ensayo con gasolina extra.....	143
7. Resultados del tercer ensayo con gasolina extra.....	144
8. Resultados del cuarto ensayo con gasolina extra.....	145
9. Resultados del primer ensayo con GLP.....	146
10. Resultados del segundo ensayo con GLP. ....	147
11. Resultados del tercer ensayo con GLP.....	148
12. Resultados del cuarto ensayo con GLP.....	149
13. Resultados de medición de emisiones con gasolina extra a 900 RPM. ....	150
14. Resultados de medición de gases con gasolina extra a 2500 RPM.....	151
15. Resultados de medición de emisiones con GLP a 900 RPM.....	152
16. Resultados de medición de gases con GLP a 2500 RPM. ....	153

## INTRODUCCIÓN

La creciente preocupación por el impacto antrópico producidas por las emisiones de los automotores ha impulsado a la industria automotriz a la búsqueda de alternativas más limpias y eficientes que reemplacen a los combustibles convencionales. Además, la tecnología desarrollada por el campo automotriz ha avanzado considerablemente, enfocándose principalmente en los MCI y sus sistemas auxiliares con el objetivo de utilizar la mayor cuantía de energía que posee el combustible y disminuir los agentes contaminantes productos de la combustión que son liberados al medio ambiente afectando a las condiciones de vida.

Es así como, el uso de nuevas tecnologías creando vehículos ecológicos que utilizan otro tipo de combustible alternativo como es el gas LP se presenta como una solución prometedora; estos vehículos por lo general utilizan una mezcla de gas y aire, en lugar de la tradicional mezcla de gasolina y aire y por lo general no se realiza modificaciones al MCI y solo se instala el sistema a GLP en paralelo al sistema convencional de combustible o en algunos casos los vehículos ya vienen instalados con el sistema a gas desde fábrica (OEM) sea sistema mono o dual.

El GLP por sus orígenes se considera como combustible fósil, aunque este es más ecológico en comparación con los combustibles tradicionales. Los vehículos que utilizan GLP generan menos emisiones de CO, CO<sub>2</sub> y HC comparando al emplear la gasolina extra vendida en Ecuador, lo que supone un beneficio importante reduciendo las emisiones de efecto invernadero, disminuir la huella de carbono y presentaría un ahorro monetario.

El presente trabajo de investigación incluye un conjunto de pruebas y análisis de resultados; se ha llevado a realizar mediciones de las emisiones producidas tanto con gasolina y con GLP, y comparando los resultados obtenidos. Además de las emisiones, se ha analizado el rendimiento del MEP en términos de potencia, torque y consumo; las pruebas dinamométricas proporcionan los datos de rendimiento con ambos combustibles los cuales facilitan la comparación y conocer el impacto del uso del GLP en motores gasolineros. Estos resultados son fundamentales para determinar si la conversión a GLP compromete, mejora o mantiene el rendimiento del automotor en comparación con su operación con gasolina. Por último, se ha considerado los costos de compra e instalación del sistema de GLP, así como los costos por mantenimiento proporcionando la viabilidad económica de la conversión de vehículos a GLP, con respecto al ahorro monetario y de combustible.

# CAPÍTULO I

## 1. Revisión Bibliográfica

### 1.1. Problema de Investigación.

En todo el mundo los vehículos sirven como medios de movilización usado por gran parte de las personas para usos comunes como el transporte de pasajeros o mercancías, cuyo uso de dichos transportes producen emisiones contaminantes desde el momento que se enciende un motor del tipo de combustión interna.

La mayor parte de los gases nocivos detectados en el medio ambiente son emitidos por empresas industriales y gases de escape de vehículos con un MCI, siendo las ciudades con mayor población urbana o en proceso de urbanización las más afectadas. La salud de la población se resiente como consecuencia de esta contaminación, siendo especialmente vulnerables los jóvenes y los ancianos. Los vehículos con MCI, a pesar de sus diferentes componentes y sistemas que ayudan a reducir las emisiones de contaminantes, siempre habrá una contaminación y la generación de gases tales como el CO, CO<sub>2</sub>, HC y NO<sub>x</sub> causadas por el mal estado de funcionamiento del motor o de sus componentes como piezas mecánicas, sensores o actuadores. Estas emisiones de gases no sólo repercuten al estado de salud del humano, sino que también potencian directamente al efecto invernadero, que por consiguiente provoca el aumento de la temperatura ambiental.

Las principales emisiones de los MCI son el CO<sub>2</sub> y los NO<sub>x</sub>, sobre todo el CO<sub>2</sub>, el cual es la principal fuente del origen del efecto invernadero y ha afectado directamente en el aumento de la temperatura mundial, lo que ha provocado el conocido calentamiento global. En cambio, el NO<sub>x</sub>, afecta a la calidad del aire y, por ende, afecta directamente al ser vivo que respire aquel aire contaminado.

Los combustibles fósiles contienen sustancias químicamente tóxicas, la más nociva de las cuales es el azufre, causante de importantes problemas medioambientales como la lluvia ácida. Además, perjudica la salud; su inhalación provoca un aumento de las dificultades respiratorias y cardiovasculares, irritando especialmente las vías respiratorias y destruyendo el tejido pulmonar, lo que ha provocado el padecimiento de asma y bronquitis en los últimos años [1].

### 1.2. Justificación

En la actualidad, la mayor parte del parque automotor a escala nacional usa un motor de combustión interna impulsados por combustibles fósiles, por lo cual ha perjudicado al medio

ambiente por la inestabilidad de cambio climático debido a las emisiones que se producen por parte de los automotores.

Por ello, el plan de Ecuador para la creación de oportunidades en el eje de transiciones ecológicas sostiene que el cambio climático está relacionado con el aumento del CO<sub>2</sub>, que en los últimos años se ha incrementado en más de una tonelada métrica. Por otra parte, el objetivo 12, que trata sobre la implantar modelos de desarrollo sustentable mediante la aplicabilidad de medidas de adecuación y aplacar al cambio climatológico, hace referencia a los importantes sucesos ambientales como los cambios climáticos, la crisis energética, la contaminación y la utilización insuficiente de los recursos ambientales no renovables; y propone incorporar modelos como el fomento de la innovación para crear o aplicar nuevas tecnologías para aminorar los efectos al cambio climático. Del mismo modo, la política 12.1 del mismo plan pretende aumentar los impulsos para la mitigación y armonización del calentamiento global mediante la introducción de nuevas prácticas medioambientales tales como la concientización, consumo racional, desarrollo e innovación de tecnologías [2].

Como una forma necesaria para reemplazar el uso de combustibles convencionales de tipo fósil en motores MEP o MEC, se están desarrollando sistemas que emplean otras fuentes de energía para los automotores como es el caso de sistemas que involucren disminución de gases contaminantes como es la implementación de sistemas a gas GLP/GNC y vehículos eléctricos; en el caso de sistemas GLP los cuales emplean un combustible alternativo menos contaminante que los combustibles que se usan en vehículos como es la gasolina sea extra o super.

La instalación de los sistemas de conversión de gas LP tiene que estar basados en normas nacionales como es el caso de las normas INEN; cuyas normas de requisitos e instalación se manifiestan en las normas NTE INEN 2310, 2311 y 2317, cabe recalcar que son solo normas de instalación y funcionamiento. En la parte de la certificación del equipo, cada fabricante maneja una norma como es el empleo de normas ISO o basados en estándares de calidad OEM.

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. Objetivo General***

Convertir un vehículo de categoría M1 de gasolina a gas licuado de petróleo con la implementación de un kit electrónico de conversión.

### **1.3.2. *Objetivos Específicos***

- Investigar bibliográficamente sobre el gas licuado de petróleo empleado como combustible para vehículos con motor de explosión provocada.
- Instalar el kit de conversión adecuado para la alimentación de combustible para motores MCI a inyección electrónica para su funcionamiento en modo bicomcombustible; gasolina y GLP.
- Realizar pruebas de emisión de gases con la adaptación del sistema en el vehículo seleccionado, tanto en su funcionamiento con gasolina extra y GLP para su respectivo análisis.
- Analizar el desempeño del vehículo de categoría M1 antes y después de la conversión a GLP, para corroborar si la aplicación de estos sistemas es eficiente en vehículos de categoría M1.

### **1.4. Alcance**

Se elaborará una investigación previa de los sistemas de suministro de combustible en motores de ciclo Otto y del sistema de conversión de gas LP con la finalidad de decidir qué sistema será óptimo para emplear en vehículos con motor de combustión interna Otto con cilindrada mayor a 1400 CC e inyección multipunto. Según las características mecánicas del vehículo que se mencionaron se puede instalar desde el kit de segunda generación de conversión GLP; y como también revisar las normas técnicas disponibles para la instalación del equipo de conversión en automotores según la norma vigente que se encuentre en nuestro país.

Ya adquirido el equipo de conversión, se prevé realizar pruebas de eficiencia y rendimiento del motor de combustión interna usando el combustible de uso común como es la gasolina extra, y gas licuado de petróleo, para obtener datos como la potencia, torque, consumos de combustible y valores de gases emitidos usando instrumentos de medición y el dinamómetro.

Posteriormente, se efectuará la conversión con el kit y vehículo seleccionado con el fin de desarrollar las pruebas ya mencionadas, además también se comparará los datos recolectados en pruebas de alguna ruta definida, como también en pruebas en diferentes circunstancias tales como recopilación de datos con diferentes velocidades, con ocupantes, tiempo, y consumo. Para finalmente, lograr comprender y comparar que tan eficiente será la conversión con los datos adquiridos en todas las pruebas a realizar y decidir si es una buena alternativa como combustible para ser empleada en los vehículos de categoría M1, tanto ambiental y económicamente.

## **1.5. Motor de Combustión Interna**

La finalidad de un MCI es convertir la energía químicamente almacenada del combustible convencional en acción mecánica para que el vehículo pueda moverse. Se denomina MCI porque la combustión se produce en la parte interna del cilindro, también denominada como cámara de la combustión, en el cual se introduce la combinación del carburante fósil (diésel o gasolina) y aire. A continuación, este combustible se enciende en el ciclo de explosión o expansión, produciendo el trabajo necesario para mover el vehículo.

Se conoce como MCI a la agrupación de componentes o piezas mecánicas que permiten la extracción de la energía mecánica en base del aspecto térmico del fluido de trabajo generado durante el proceso de combustión [3]. Los MCI comúnmente usados en vehículos pueden ser clasificados según su funcionalidad, ciclos de trabajo, tipos de sistema de refrigeración, cantidad y disposiciones de los cilindros.

### ***1.5.1. Motor de Encendido Provocado***

Los MEP se diferencian por emplear un sistema de ignición externo que permite encender la mezcla de comburente – combustible en el momento adecuado; de ahí que se compone de varios elementos tales como las bobinas, bujías, cableado y el módulo que permite el control y funcionamiento preciso del sistema.

Para que el MEP funcione, debe crearse la mezcla homogénea de aire/combustible; esta mezcla puede formarse de dos maneras: internamente, inyectando directamente el combustible hacia la cámara de combustión, o externamente, inyectando la gasolina en el colector de admisión [4].

### ***1.5.2. Funcionamiento de un MEP***

El ciclo Otto, es un ciclo termodinámico con cuatro carreras; admisión, compresión, expansión y escape, formando la base sobre la que funciona el MEP. Por consiguiente, un ciclo completo requiere cuatro carreras del pistón para completar un ciclo de funcionamiento. Además, para que exista la combustión necesita tres factores importantes para la obtención de trabajo; comburente o aire, combustible y chispa. Si uno de estos tres elementos falla, el MEP no logrará funcionar. De igual manera, el MEP debe tener una excelente relación de compresión para comprimir la mezcla ingresada en el tiempo de admisión.

Al respecto, afirma Pérez [5] “La relación de compresión de un motor, que está directamente correlacionada con el tamaño y la carrera de los pistones, indica la compresión volumétrica a la que se someterá la mezcla de combustible al interior de los cilindros”.

Los MEP funcionan empleando un combustible fósil, comúnmente gasolina y sus versiones premium, aunque también pueden funcionar con combustibles alternativos como es el GLP, GNC, biocombustibles, entre otros.

### 1.5.3. Ciclos Termodinámicos de un MEP

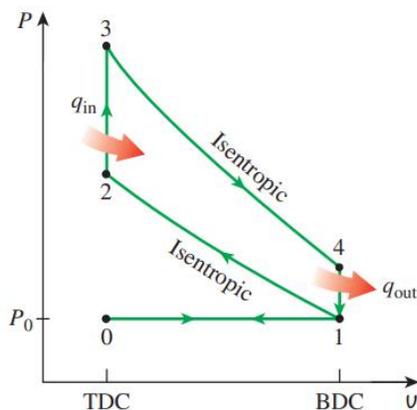
El ciclo Otto, otro nombre para el ciclo termodinámico utilizado en los motores MEP, se constituye por una secuencia de ejecuciones que comienzan en un punto inicial y progresan hasta terminar volviendo a ese punto [6]. El ciclo Otto, que completa dos ciclos mecánicos (dos carreras) del pistón dentro del cilindro y dos revoluciones del cigüeñal por cada ciclo termodinámico, es el más utilizado en los motores por encendido de salto de chispa [7]. A su vez, se pueden considerar dos tipos de ciclo termodinámico para motores MEP que son: ciclo termodinámico teórico o ideal y el ciclo termodinámico real.

#### 1.5.3.1. Ciclo Termodinámico Ideal.

El diagrama de acuerdo a presión-volumen ( $p - V$ ) de la figura 1 representa visualmente el ciclo termodinámico ideal modificado. Este ciclo tiene el inconveniente de que consta de dos tiempos lo que es comparable a un ciclo mecánico, aunque sólo se tenga en cuenta cuatro procesos reversibles [7].

#### Figura 1

Diagrama  $P-v$  de ciclo ideal incluyendo admisión y escape.



Obtenido de: [7]

Las diferentes etapas que se dan en el sistema abierto del ciclo ideal Otto mostradas en la figura 1 se describen en la tabla 1, tomando en cuenta que las siglas BDC ( Botton Dead Center) se conoce como PMI (Punto Muerto Inferior) y TDC (Top Dead Center) que en español es PMS (Punto Muerto Superior).

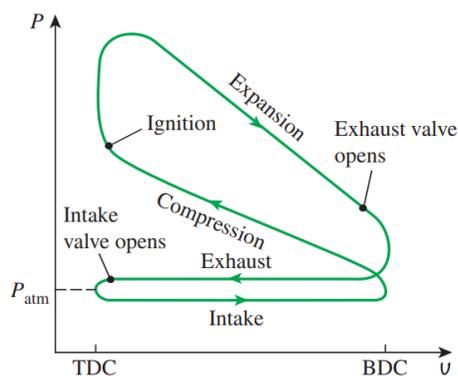
**Tabla 1****Sucesos del sistema abierto del ciclo real.**

Admisión (0-1).	Ingreso de la mezcla entre aire - combustible al cilindro por la válvula de admisión, el pistón cambia de posición del PMS al PMI.
Compresión (1-2).	Cerrada la válvula de admisión, el pistón asciende al PMS reduciendo el espacio en el interior del cilindro y por lo tanto comprimiendo la mezcla isentrópicamente.
Combustión (2-3).	El calor es transferido a un volumen constante.
Expansión (3-4).	El aumento de presión que genera la combustión produce la expansión isentrópicamente al estado 4.
Cesión de calor isocórica (4-1).	El calor cede a un volumen constante.
Escape (1-0).	Los gases generados durante la combustión son expulsados cuando las válvulas de escape estén abiertas y los pistones asciendan a PMS según corresponda.

Obtenido de: [7]

**1.5.3.2. Ciclo Termodinámico Real.**

Los motores por encendido provocado (MEP) funcionan con el ciclo Otto real, por lo que Cengel et al. [7] describe que básicamente pueden resumirse en cinco estados primordiales que suceden de forma secuencial: Admisión, compresión, combustión, expansión y escape las cuales corresponden al ciclo termodinámico real representado en la figura 2. Las etapas de admisión y escape corresponden al conocido ciclo de renovación de carga mientras que el tiempo de compresión, combustión y expansión forman el conjunto del ciclo de trabajo [8].

**Figura 2****Ciclo real del MEP.**

Obtenido de: [9]

Teniendo en cuenta la figura 2, y de acuerdo con Cengel et al. [9]: El ciclo real consta de cuatro tiempos, que equivalen a dos revoluciones del cigüeñal o ciclos mecánicos. Al principio del ciclo, las válvulas tanto de admisión y escape no se encuentran abiertas, por tanto, el pistón correspondiente se encuentra en el PMI. El pistón comprime la combinación aire/combustible durante la carrera de compresión pasando del PMI al PMS. La mezcla se enciende y se produce una chispa antes del PMS, lo que hace que la temperatura y la presión aumenten simultáneamente.

Durante la carrera de expansión, los gases a alta presión impulsan el pistón hacia el PMI, haciendo girar el cigüeñal y creando trabajo útil. La válvula de escape se abrirá antes de que concluya el tiempo de expansión, liberando los gases de combustión. En el momento en que el pistón baja al PMI, la mayoría de los gases de la combustión salen del cilindro durante lo que se conoce como purga de escape. Como resultado, el pistón entrará en la carrera de escape hacia el PMS, evacuando los gases de escape, y el cilindro continuará llenándose con los gases creados durante la combustión a una presión más baja. A continuación, las válvulas de admisión y exhalación o escape se abrirán y cerrarán, respectivamente, y el pistón descenderá hasta el PMI para comenzar a aspirar combustible y aires frescos e iniciar un nuevo ciclo [9].

#### ***1.5.4. Sistemas Auxiliares del MEP***

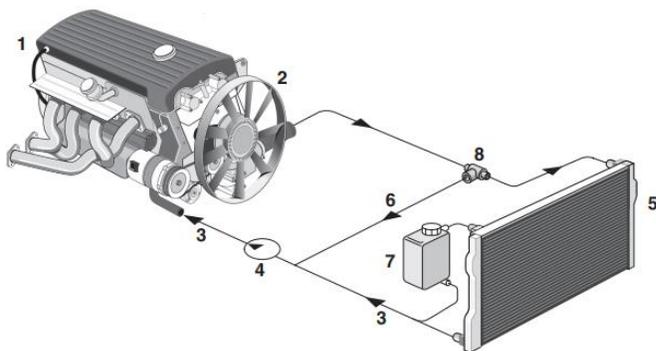
Los sistemas auxiliares están conformados por componentes los cuales son importantes para garantizar el óptimo funcionamiento del MEP. Estos sistemas desempeñan diferentes funciones, desde el suministro de electricidad para encender la mezcla de comburente – combustible, expulsión de los gases producidos, hasta enfriamiento y lubricación del motor; en conjunto forman parte primordial para el funcionamiento de motor puesto que si existe una falla en algún sistema de los antes mencionados puede verse afectado el desempeño del motor u ocasionar fallos que comprometan el estado mecánico del MCI.

##### **1.5.4.1. Sistema de Refrigeración del MEP.**

El sistema de enfriamiento es aquel encargado de regular o conservar la temperatura óptima mediante la circulación de un fluido por todo el circuito de refrigeración cuando se encuentra en funcionamiento del MCI. El sistema mostrado en la figura 3 es el más usado en los vehículos automotores debido a que se compone de varios elementos que mejoran y disipan el calor de manera más eficiente en comparación del sistema de refrigeración forzada por aire.

El líquido empleado para refrigerar es cualquier líquido refrigerante, los cuales son una mezcla de agua, anticongelante compuesto de etilenglicol e inhibidores para evitar la corrosión de los conductos y componentes por donde circula el fluido. El etilenglicol está presente en el 30% al 50%, este compuesto evita que el refrigerante se congele en temperaturas bajo 0°C, y a su vez aumenta la temperatura de hasta 120 °C con una presión de 1.4 bar evitando la evaporación [10]. En la figura 3 se detallan los componentes y el circuito de refrigeración empleados actualmente en los vehículos.

**Figura 3**  
*Sistema de refrigeración líquida.*



Obtenido de: [10]

En la tabla 2 se indica y se describe los diferentes componentes que se compone el sistema de refrigeración por líquido mostrados en la figura 3, las líneas del refrigerante por lo general son de cañerías metálicas o de mangueras adecuadas para soportar altas temperaturas y presiones, así mismo los componentes como el tanque de expansión.

**Tabla 2**  
*Componentes del sistema de refrigeración.*

Número	Componente	Función
1	Motor	Crearé la energía que impulsará el vehículo.
2	Electroventilador	Impulsa el aire a través del aire.
3	Línea del refrigerante	Conductos por donde fluye el líquido refrigerante.
4	Bomba	Mover el líquido refrigerante por todo el circuito de refrigeración.
5	Radiador	Dispersar el calor del refrigerante a través de las aletas.
6	Línea de bypass	Circuito de refrigeración secundario, funciona junto al termostato; cuando la temperatura del refrigerante aumenta se abre el termostato mientras que el bypass se cierra.
7	Tanque de expansión	Minimiza la presión del líquido refrigerante cuando este empieza a evaporarse.
8	Termostato	Mantiene la temperatura del MCI en el rango idóneo para su funcionamiento.

Obtenido de: [10]

#### 1.5.4.2. Sistema de Lubricación del MEP.

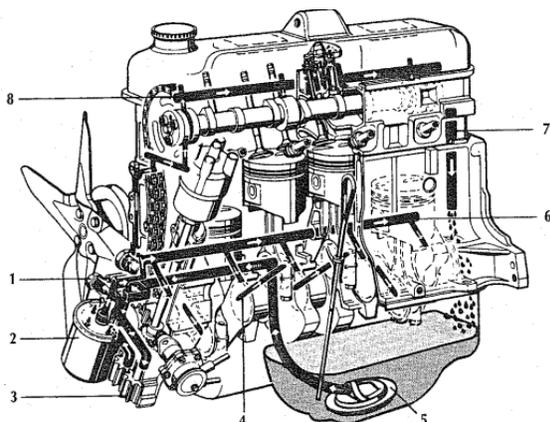
El sistema lubricante del MCI tiene la funcionalidad de limpiar y lubricar todas las partes móviles, reduciendo el contacto directo entre las piezas fijas y móviles, el aceite lubricante es distribuido por diferentes conductos como se puede observar en la figura 4. Además, también permite refrigerar las partes del motor por donde el aceite este fluyendo, controlando la temperatura.

El aceite se acumula en el cárter (Observe la figura 4) después de haber circulado por los puntos de lubricación, aquí el aceite se enfría y cualquier residuo se asienta, posteriormente el aceite

vuelve a circular, pero anteriormente debe pasar por un filtro el cual se encargará de separar pequeñas partículas (limaduras metálicas, restos de combustión, polvo) con el fin de mantener un aceite limpio para lubricar el motor [10].

#### Figura 4

*Sistema de lubricación a presión.*



Obtenido de: [11].

La descripción de las partes del sistema de lubricación indicadas en la figura 4, se indican y detallan en la tabla 3. Agregando otras piezas del sistema de lubricación se tiene también: el cárter el cual se encarga de alojar el aceite lubricante, la bayoneta la cual permite medir la cantidad existente de lubricante, tapón en la tapa válvulas y en algunos modelos disponen de una válvula de alivio en caso de tener demasiada presión.

#### Tabla 3.

*Partes del sistema de lubricación a presión.*

Número	Componente	Función
1	Válvula de descarga	Descarga el aceite sobrante cuando la presión es excesiva en altas RPM.
2	Filtro de aceite	Filtra, retiene y limpia al aceite de posibles impurezas.
3	Bombas de engranajes	Succiona el aceite desde el cárter y lo distribuye a los diferentes conductos con la presión adecuada.
4	Del cojinete principal al cojinete de la biela	Conductos que distribuyen a los cojinetes de biela y bancada.
5	Campana de aspiración con filtro	Posee una malla metálica que retiene partículas grandes.
6	Conducto principal	Distribuye el aceite a diferentes conductos y partes del motor.
7	Conducto de retorno	El aceite retorna por este conducto al cárter.
8	Conducto del árbol de levas	Distribuye el aceite a los cojinetes del árbol de levas.

Obtenido de: [11].

Este sistema emplea un fluido conocido como aceite lubricante, el cual está sometido a altas presiones y temperaturas, y el cual se cambia cada periodo de tiempo. En los vehículos se emplea

el sistema de lubricación a presión o forzada, combinándose con la lubricación por salpicadura y neblina de aceite. En este sistema se emplea una bomba de engranajes encargada de presurizar y transportar el aceite a los diferentes partes que lo requieran, algunas de estas partes se lubrican por el método de salpicadura especialmente en piezas deslizantes.

#### **1.5.4.3. Sistema de Encendido de un MEP.**

El sistema que permite la ignición de un MEP es el sistema encargado generar el alto voltaje, distribuir, producir la chispa y por tanto encender la mezcla preparada entre aire y el combustible que previamente se introdujo y se comprimió en el cilindro. En el MEP se crea una chispa eléctrica que tiene lugar en los electrodos de la bujía según el orden de encendido descrito por el fabricante. Este sistema se compone de varios componentes como: bujías, bobinas, cables de alta tensión y el módulo de control electrónico en sistemas más actuales.

El sistema debe funcionar correctamente para evitar fallas como el mal funcionamiento del motor, alto nivel de gases contaminantes, alto consumo y hasta fallas en el catalizador debido a altas temperaturas por la recombustión de la mezcla que no se quemó. Además, para la inflamación de la mezcla se necesita 0.2 mJ como mínimo para cada encendido cuando la mezcla dispone de una composición estequiométrica y para los casos donde la mezcla es pobre o rica el sistema necesita más de 3 mJ, caso contrario la mezcla no se encenderá y habrá problemas de funcionamiento [12].

Para la operatividad del sistema de encendido, el alto voltaje es generado por una o varias bobinas cuya fuente de alimentación es de 12V proporcionados por la batería. La bobina se comporta como un transformador elevador, es decir aumenta el bajo voltaje que circula por el bobinado primario e induce un campo magnético a la bobina secundaria en la cual eleva el voltaje entre 25 kV a 35 kV.

Actualmente, los modelos de encendido electrónico que se usan dos tipos: el sistema DIS conocido como sistema de chispa perdida y el sistema DIS con bobinas independientes COP; ambos sistemas proporcionan mejoras para la generación del alto voltaje y por ende la chispa, en especial el sistema COP que dispone de una bobina colocada directamente a la bujía como muestra la figura 5. Con el sistema COP se evita el uso de cables como en el sistema DIS de chispa perdida, reduce la pérdida de energía, cada bobina posee su propio circuito de alimentación y de control por medio de la ECU [13].

**Figura 5***Sistema DIS con bobinas independientes COP.*

Obtenido de: [13]

**1.5.4.4. Sistema de Escape del MEP.**

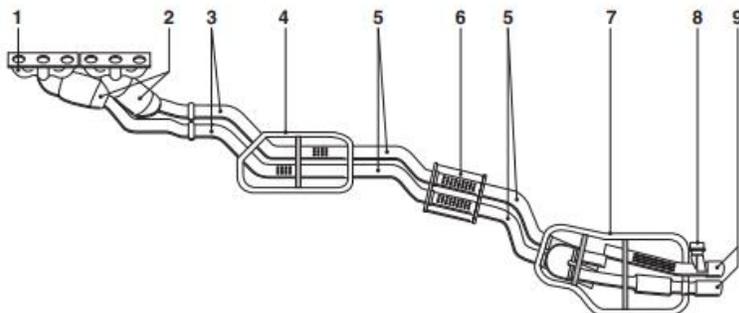
El sistema de evacuación o escape es un circuito formado por diferentes componentes y conductos como se puede observar en la figura 6, los cuales deben cumplir con tres funciones; evacuar los gases, eliminar sustancias nocivas y reducir el ruido.

La evacuación de los gases producidos a lo largo de la fase de la combustión parte desde la apertura de las válvulas de escape de cada cilindro las cuales se abren cuando el tiempo de escape empieza y el pistón comienza a subir del P.M.I. al P.M.S. Posteriormente pasa al colector de escape (1) el cual se encuentra fijado a la culata del motor, este se ocupa en reunir los gases de todos los cilindros del motor y los junta a un solo conducto de mayor dimensión para luego pasar por la etapa del tratamiento de gases que generalmente se compone del catalizador (2).

Después del catalizador se tiene uno hasta tres silenciadores (4, 6, 7), es un elemento que tiene por misión reducir el ruido debido a las explosiones, tienen diferentes cámaras y tuberías donde las ondas sonoras reducen su ruido; finalmente, los gases son evacuados por el o los tubos de escape con menor ruido y contaminación (9).

Como afirman Anand y Suresh “Los gases emitidos desde la cámara salen a temperaturas de 800 °C y con presiones que oscilan entre 100 y 500 kPa. El sistema del colector de escape está expuesto a altas temperaturas y pesos” [14], por lo que algunos de los elementos antes mencionados son construidos con materiales que soportan las vibraciones y altas temperaturas como aceros de alta aleación.

Los diferentes partes del sistema de escape se pueden contemplar en la figura 6, nótese que es un sistema posee un sistema de tratamiento de gases doble y tres silenciadores con en diferentes aspectos y zona de ubicación.

**Figura 6***Sistema de escape con catalizador.*

Obtenido de: [15]

En la tabla 4, se expone la denominación de los componentes del sistema de escape que se emplean en los vehículos actuales mostrados en la figura 6. Sin embargo, existe diferentes modelos y diseños de los sistemas de escape en los cuales pueden tener menos o más componentes que dependen del tipo de motor; por ejemplo, los motores en V disponen de doble colector de escape, uno o dos catalizadores y hasta doble salida de tubo de escape.

**Tabla 4***Partes del sistema de escape.*

Número	Componente	Número	Componente
1	Colector o múltiple de escape	6	Silenciador central
2	Catalizador	7	Silenciador trasero
3	Tubos delanteros	8	Trampilla de los gases
4	Silenciador delantero	9	Tubos de escape
5	Tubo intermedio		

Obtenido de: [15]

### **1.5.5. Mezcla Estequiométrica**

Para lograr la combustión y hacerlo de forma más eficaz, la mezcla estequiométrica es la relación proporcionada entre el combustible y aire. Los tipos de combustibles utilizados en los MCI afecta a la relación estequiométrica por lo cual las relaciones son diferentes las cuales se pueden interpretar en la tabla 5 según la clase de combustible, entre los más usados se encuentran la gasolina, Diesel y GLP. Como se indica en la tabla 5, la relación estequiométrica usando la gasolina en MEP indica 14,7 kilogramos de aire y empleando GLP indica 15,5 por 1 kilogramo de combustible empleado respectivamente, a su vez cuando la porción de aire y combustible es relativamente estequiométrica se tiene un factor lambda igualado a 1.

**Tabla 5.***Relaciones estequiométricas de diferentes combustibles.*

<b>Combustible</b>	<b>Relación estequiométrica en (kg./kg.)</b>
Gasolina	14.7 – 1
Diesel	15.2 – 1
GLP	15.5 – 1
Metano	17.2 – 1
Hidrogeno	34.0 – 1
Éter	7.7 - 1

Obtenido de: [16]

El valor de factor lambda establece si la mezcla es pobre o rica con respecto a la proporción de aire ingresado al MCI, por lo cual se puede establecer con la ecuación 1:

$$\lambda = \frac{\text{Masa de aire real consumido}}{\text{Masa de aire ideal que se debería consumir}}$$

**Ecuación 1**  
*Factor lambda*

Cuando el factor lambda es menor a 1; el aire suministrado es mayor del admitido para que exista la fase la combustión, es decir existe mayor presencia de aire y la mezcla se considera como pobre. En cambio, cuando el factor lambda es mayor a 1; el suministro de aire es menor según lo requerido para el total consumo de combustible, por lo cual se considera como mezcla rica [17].

### **1.6. Sistemas de Inyección de Combustible en MEP**

Las funciones del sistema inyector de combustible incluyen suministrar a la cámara de combustión relacionada con un MCI la porción adecuada del combustible y preparar una mezcla de combustible y comburente idónea para el funcionamiento del MEP teniendo en cuenta la relación estequiométrica [18]. Además, mediante filtros colocados a lo largo del circuito de mangueras, el sistema también se encargará de purificar el combustible.

En todos los vehículos se encuentran instalados un sistema de inyección, aunque poseen diferencias que dependen de cada fabricante, año, modelo y del uso que se le dará al vehículo su principio de funcionamiento será el mismo. Dichos sistemas han tenido su evolución tecnológica, pasando por sistemas mecánicos como el carburador hasta el empleo de control electrónico e inyección directa. A su vez, estos sistemas se pueden clasificar en tres grupos; según el número de inyectores, lugar donde se inyecta y la forma de inyectar el combustible.

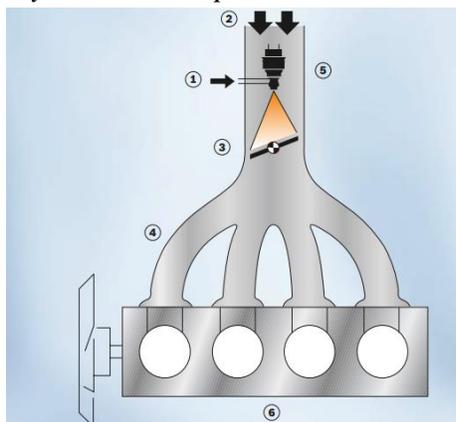
### 1.6.1. Sistema de Inyección Según el Número de Inyectores

#### 1.6.1.1. Inyección Monopunto.

Es el sistema más básico para la inyección del combustible, también es conocida como Throttle Body Injection por sus siglas en inglés (TBI) o inyección al cuerpo del acelerador donde el combustible se inyecta al colector de admisión como un carburador [19]. En la figura 7 se indica la posición de un inyector anterior a la mariposa de aceleración, por lo general el inyector es de mayor dimensión y es controlado electrónicamente por un módulo de control electrónico, su principal desventaja es la mala distribución del combustible a los cilindros, provocando una mala dosificación del combustible.

#### Figura 7

*Inyección mono punto.*

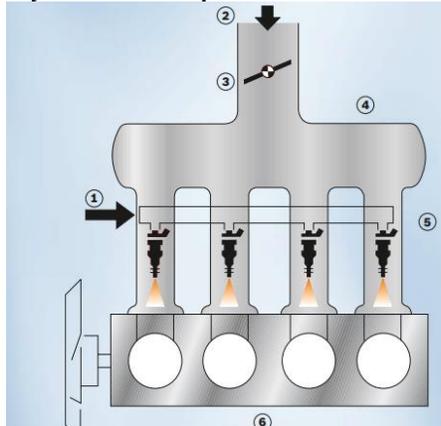


Obtenido de: [20].

#### 1.6.1.2. Inyección Multipunto.

Es un sistema más eficiente en comparación con un inyector mono punto, ya que originalmente se utiliza un mejor control electrónico e incorporando más actuadores y sensores. En este caso, los inyectores van colocados en el colector de admisión después del cuerpo de aceleración y cada cilindro tiene un inyector designado como se indica en la figura 8 incorporados en un riel común de combustible, y la computadora junto con las señales de los diferentes sensores se encargará de asignar la proporción precisa de combustible en cada uno de los cilindros en el momento idóneo mejorando la dosificación de la mezcla aire y combustible, es el sistema que más se emplea en la actualidad en todo tipo de motores debido a que su sistema es más eficiente en comparación con la inyección monopunto, principalmente se caracteriza por la disminución del consumo de combustible y por ende disminuir las emisiones que contaminan.

**Figura 8**  
*Inyección multipunto.*



Obtenido de: [20]

## **1.6.2. Sistema de Inyección Según el Lugar de Inyección del Combustible**

### **1.6.2.1. Inyección Indirecta.**

Los inyectores son colocados en el colector de admisión, el cual se encuentra fijado a la culata del motor por lo que el combustible es inyectado fuera del cilindro como se puede observar a la izquierda de la figura 9 (a), es decir que tanto el aire como el combustible se mezcla al exterior del cilindro, es el tipo de inyección que más se empleó en MEP.

Actualmente este sistema está siendo reemplazado por la inyección directa debido a nuevos desarrollos de estándares y tecnología para la reducción del consumo, menor generación de gases contaminantes y mejorar la eficiencia.

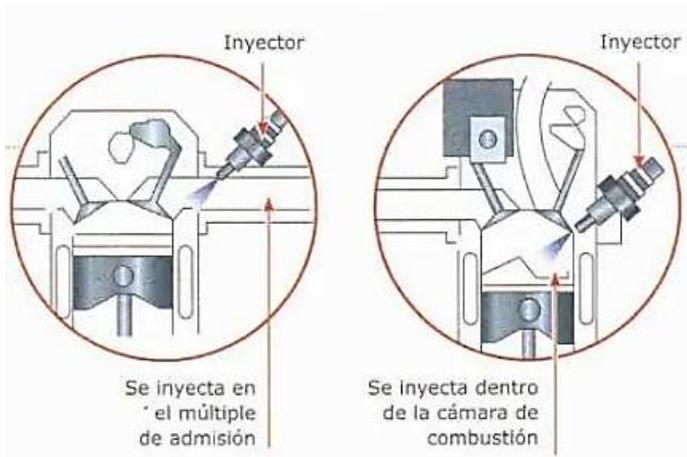
### **1.6.2.2. Inyección Directa.**

Se distingue por inyectar el combustible directamente al interior de la cámara de combustión del MCI, lo que favorece la creación de mezclas ricas, pero, por lo general, es incapaz de funcionar en cargas parciales del motor con mezclas relativamente pobres y sin estrangulamiento del aire admitido. Además, la presión en estos sistemas es mayor que en los sistemas de inyección indirecta, y a su vez se inyecta el combustible al finalizarse la carrera de compresión [21].

Los inyectores están colocados en el cabezote directamente en contacto con la parte interna del cilindro como se indica a la derecha de la figura 9 (b), por lo que deben soportar altas temperaturas, y los componentes deben ser diseñados y adecuados para que soporten presiones más altas para la inyección del combustible. Actualmente, se está introduciendo este tipo de inyección en los vehículos con la finalidad de tener mejor rendimiento y eficiencia.

**Figura 9**

*Inyección indirecta (a) y directa (b).*



Obtenido de: [22]

### **1.6.3. Sistema de Inyección Según la Forma de Inyectar el Combustible**

#### **1.6.3.1. Inyección Secuencial.**

Son sistemas que trabajan por pulsos en el cual un inyector inyecta en la misma secuencia que el orden de encendido y en algunos casos de acuerdo con la posición específica de la válvula de admisión, por lo tanto, la inyección secuencial activa cada inyector uno a uno, de forma sincronizada inyectando el combustible cuando se lo requiera como se aprecia en la figura 10; esta forma de inyectar el combustible permite disminuir el consumo o gasto del combustible y por consiguiente, la decrecimiento de la generación de las emisiones contaminantes.

#### **1.6.3.2. Inyección Semisecuencial.**

En esta clase de inyección, se utiliza la distribución en grupos de dos en dos para activar los inyectores. El combustible se inyecta a los cilindros en pares según la abertura y cierre de los inyectores, y la inyección se produce de acuerdo con el orden de encendido y al momento previo de abrirse la válvula de admisión [23]. Observe la figura 10, la cual indica el accionamiento de los inyectores en grupos de 3.

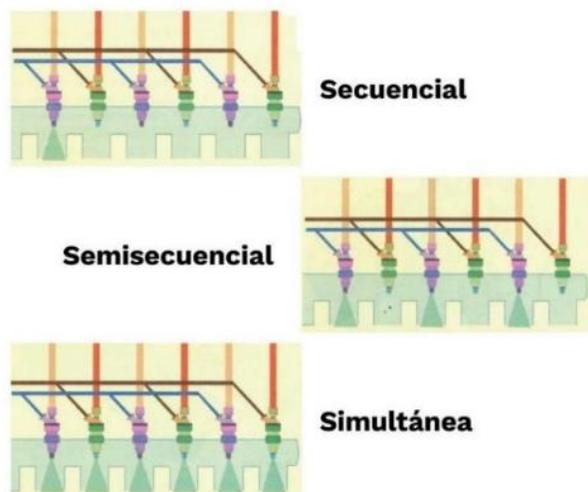
#### **1.6.3.3. Inyección Simultánea.**

La inyección simultánea en los MCI es un tipo de sistema que opera electrónicamente con las disposiciones y ordenes de la ECU ya que permite abrir y cerrar a todos los inyectores a la vez como se aprecia en la figura 10, inyectando el combustible a todos los cilindros en un solo

momento de acuerdo con las revoluciones del motor. La unidad de control comanda a los inyectores por un circuito común de 12V, en forma de pulsos comandados por la unidad de control [24].

### Figura 10

*Formas de inyección.*



Obtenido de: [25]

### 1.7. Combustibles

Desde las primeras versiones de los MCI, los combustibles han sido cruciales para el funcionamiento de estas máquinas térmicas en la industria automovilística. Las propiedades de los distintos combustibles tienen un impacto inmediato en el tipo de motor que puede utilizarlos, así como en el diseño de un ciclo de funcionamiento que tenga en cuenta las cualidades únicas de cada combustible [26].

Los combustibles se pueden caracterizar por ser un tipo de material que puede estar presente en forma líquida, gaseosa o sólida de procedencia fósil, a su vez, para que se produzca la combustión y se genere energía mecánica, el combustible debe ser apto para liberar y suministrar energía cuando se vea alterada su estructura molecular en conjunción con otros elementos como el calor y el oxígeno [27].

Los combustibles que se usan en los vehículos con MCI también pueden denominarse como hidrocarburos, los cuales son compuestos que se encuentran formados principalmente por hidrogeno y carbono. Los hidrocarburos que comúnmente se usan son los alifáticos del tipo alcano; cuya ecuación general para su formulación es  $C_nH_{2n+2}$ , en el cual n representa la cifra de átomos de carbono [28].

### 1.7.1. Tipos de Combustibles

#### 1.7.1.1. Combustibles Convencionales.

Los combustibles convencionales son aquellos que más se emplean actualmente como fuente primaria de energía para el funcionamiento de los MCI, entre los más usados son combustibles líquidos de origen fósil como la gasolina y el gasóleo (diésel) que son obtenidos a partir de diferentes procesos en una planta de refinación donde el principal recurso para la obtención de estos combustibles es el petróleo. En la tabla 6 se indica las fórmulas moleculares de los combustibles convencionales más usados.

**Tabla 6**

*Formulas químicas de combustibles fósiles.*

Combustible convencional	Formula molecular
Gasolina	$C_8H_{18}$
Diésel	$C_{10}H_{20}$

Obtenido de: [29]

#### 1.7.1.2. Combustibles Alternativos.

Los combustibles alternativos fueron ideados con el objetivo de decrecer la cifra de las emisiones contaminantes que se producen debido al empleo de combustibles convencionales al momento de ser quemados y aminorar el impacto ambiental que estos provocan. Aunque algunos de estos combustibles pueden ser realizados de recursos alternativos, a partir de un combustible convencional o de una fuente de energía renovable.

Actualmente existen diferentes combustibles que permiten el funcionamiento de los MCI, entre los más comunes tenemos el GLP, GNC y el biodiesel los cuales poseen excelentes propiedades físicas y químicas para reemplazar a los combustibles convencionales y ser usados tanto en vehículos con motores MEP como en los MEC, solo incorporando la tecnología adecuada para el automotor.

Una de las varias ventajas que poseen los combustibles alternativos para que funcionen en cualquier MCI, es el no requerimiento de modificaciones mecánicas o de algún sistema auxiliar que involucren directamente al motor, además en algunos países la accesibilidad para la adquisición de estos combustibles no es complicada ya que existe la infraestructura para el suministro como estaciones de servicios que proveen GLP directamente al vehículo [30].

En la tabla 7 se puede observar algunos de los combustibles alternativos que se pueden usar en MCI, entre los más usados en los países de Sudamérica son el GLP y el GNC en vehículos de categorías M y N.

**Tabla 7**

*Combustibles alternativos.*

Combustible alternativo	Formula molecular
GNC	CH <sub>4</sub>
GLP	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> +C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>
Biodiesel	C <sub>19</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub>
Etanol	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH

Obtenido de: [31]

### 1.7.2. *Propiedades Físicas de los Combustibles*

Las propiedades físicas de cada combustible influyen directamente al funcionamiento y rendimiento del MCI, además estas características pueden afectar directamente la capacidad para formar la mezcla entre aire y el combustible adecuado para cualquier motor y a su vez a partir de las mismas se desarrolla el tipo de depósito, conductos y componentes en los que el fluido se almacenará y distribuirá al sistema de inyección [32]. Algunas de las principales propiedades físicas de los combustibles se contemplan en la tabla 8.

**Tabla 8**

*Propiedades físicas de los combustibles.*

Propiedad física	Concepto
Densidad	La densidad es la correlación entre el peso o masa referente al volumen del fluido a una temperatura específica. Se puede expresar en unidades de kg/gal.
Viscosidad cinemática	Es una propiedad muy significativa ya que está estrechamente relacionado con la capacidad de que el combustible sea capaz de fluir por el circuito de alimentación. Su unidad es m <sup>2</sup> /s.
Lubricidad	Especificación que se le da a combustibles como el diésel que indica su capacidad de lubricación.
Poder calorífico	Es la proporción de energía que liberan los combustibles (kJ, MJ o kcal) en forma calórica producida por 1 kg o 1 m <sup>3</sup> de combustible cuando se inflama a presión atmosférica y temperatura ambiental. Se puede expresar en BTU/kg o Kcal/kg.
Punto de ebullición	Temperatura en la que el combustible comienza a emitir vapores inflamables. Se expresa en °C o °F.
Contenido o índice de azufre	Denota las formaciones de óxidos de azufre en el transcurso y después de la combustión, por lo general es expresado en (ppm).

Adaptada de varias fuentes: [32], [33], [34]

### 1.7.3. *Propiedades Químicas de los Combustibles*

Las propiedades químicas se encuentran relacionadas con su estructura molecular y de su composición, algunas de estas propiedades se indican en la tabla 9, cada combustible posee

diferentes valores que los diferencian entre ellos, principalmente el valor de octanaje es primordial para el funcionamiento de los MEP.

**Tabla 9**

*Propiedades químicas de los combustibles.*

<b>Propiedad química</b>	<b>Concepto</b>
Inflamabilidad	Dispone de límite mínimo y máximo, son dependientes de la temperatura. Además, fuera de los límites la llama se extingue. Se puede establecer por límites, se expresa en %. Si el límite de inflamabilidad superior es excedido, la mezcla se la pueda considerar rica en relación con el gas y no hay suficiente aire comburente, y si el límite de inflamabilidad inferior no es alcanzado se considera una mezcla pobre en gas y demasiado aire; se considera que fuera de los límites de inflamabilidad no se podrá desarrollar la combustión correctamente encadenando fallos de funcionamiento del motor.
Octanaje	Se puede clasificar en dos tipos, el RON y el MON. El RON hace referencia al número de octano que se investiga sobre el combustible y su rendimiento cuando el motor funciona en bajas temperaturas y velocidad. En cambio, el MON describe el comportamiento del combustible cuando el motor trabaja con temperaturas y velocidades altas.
Volatilidad	Los combustibles con mayor volatilidad pueden proporcionar un mejor rendimiento, está asociando al poder calorífico mínimo y máximo.

Adaptada de varias fuentes: [32], [34]

#### **1.7.4. Normativa De Combustibles**

El Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) ha implantado las Normas Técnicas Ecuatorianas (NTE) en vigor con el propósito de producción de combustibles y otros productos de uso común para vehículos. La normativa emitida debe ser cumplida para los combustibles producidos en Ecuador; en las plantas de refinación a nivel nacional a cargo de la empresa pública "EP Petroecuador" [35].

##### **1.7.4.1. Normativa Para la Gasolina.**

Las especificaciones para la producción de gasolina se recogen en la NTE INEN 935:2021, específicamente relacionado al contenido máximo del azufre con valor máximo de 650 ppm y 87 octanos para las gasolinas Extra y Ecopaís, y para la gasolina Super debe contener máximo 450 ppm y de 92 octanos destinados al uso en MCI con encendido por chispa.

##### **1.7.4.2. Normativa Para el GLP.**

La Norma Técnica Ecuatoriana aplicada al GLP es la NTE INEN 675:2017, dicha norma indica y exige las disposiciones de calidad que deberá cumplir el GLP sea para uso doméstico, comercial, industrial y como combustible para MCI.

## 1.8. Generalidades de las Emisiones

Los gases de escapes liberan sustancias contaminantes producto de la combustión hacia la atmosfera, estos gases están formados por compuestos no venenosos, tales como: Nitrógeno, vapor de H<sub>2</sub>O, dióxido de carbono y oxígeno. Una combustión incompleta es causante de algunos componentes no deseados, por ejemplo: Hidrocarburos no quemados, hidrocarburos quemados parcialmente, productos térmicos de craqueo y productos derivados [36].

### 1.8.1. Emisiones Generadas Debido a la combustión

Durante un proceso donde existen diferentes reacciones químicas en el cual un combustible tiende a oxidarse y a su vez genera una notable liberación de energía denominada como la combustión. El oxidante de amplia disponibilidad que se emplea en este proceso es el aire, debido a su composición con el oxígeno (O<sub>2</sub>) [7]. De igual manera que el ciclo Otto, la combustión no es perfecta por lo que se considera la combustión teórica, ideal o completa y la combustión real o incompleta, y en las cuales se generan diferentes emisiones como las que se aprecian en la tabla 10.

**Tabla 10**

*Emisiones producidas según la combustión.*

<b>Emisiones debido a la combustión ideal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• N<sub>2</sub></li> <li>• CO<sub>2</sub></li> <li>• H<sub>2</sub>O</li> </ul>		
		<b>Suprimidos por el catalizador</b>	<b>Eliminados de la gasolina</b>
<b>Emisiones debido a la combustión real</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• N<sub>2</sub></li> <li>• CO<sub>2</sub></li> <li>• H<sub>2</sub>O</li> <li>• O<sub>2</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CO</li> <li>• HC</li> <li>• NO<sub>x</sub></li> <li>• Carbonilla</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anhídridos sulfúricos (SO<sub>2</sub>)</li> <li>• Sales de plomo</li> <li>• Oxidantes</li> </ul>

Obtenido de: [37]

### 1.8.2. Límites de Emisiones Empleando Gasolina Como combustible

En Ecuador las normas que establecen el procedimiento y los límites máximos permitidos de emisiones son la NTE INEN 2203:2013, NTE INEN 2204:2017. La normativa NTE INEN 2203:2013 indica el método de ensayo que debe realizar el técnico a cargo de la medición en una prueba estática en marcha mínima o ralenti, este método incluye desde el principio de funcionamiento, el uso de equipos y su calibración, el proceso de la medición y el informe de los resultados obtenidos.

Los valores máximos autorizados sobre las emisiones contaminantes generadas por los vehículos a motor que funcionan con gasolina están establecidos en la normativa NTE INEN 2204: 2017. Asimismo, establece mediante el literal “6.1.1.1” que cualquier fuente móvil propulsada por un motor de gasolina tiene prohibido emitir a la atmósfera cantidades superiores de CO y de HC cuando funciona a temperatura normal y en ralentí o al ralentí, de acuerdo con los límites representados en la tabla 11 para pruebas estáticas.

**Tabla 11**

*Valores máximos de emisiones autorizados con motor a gasolina en ralentí.*

Año de fabricación	% CO (a)		ppm HC (a)	
	0 - 1500 (b)	1500 - 3000 (b)	0 - 1500 (b)	1500 - 3000 (b)
2000 y posterior.	1,0	1,0	200	200
1990 - 1999.	3,5	4,5	650	750
1989 y anteriores.	5,5	6,5	1000	1200

a: Volumen, b: Altitud: metros sobre el nivel de mar (msnm).

Obtenido de: [38]

### ***1.8.3. Límites de Emisiones Empleando GLP Como Combustible.***

En Ecuador no existe normativa que limite el valor de emisiones usando el GLP como combustible en automotores, aun así, se pueden considerar las normativas NTE INEN 2204:2017 y NTE INEN 3449, como referencia de los límites máximos de emisiones que puede emitir el vehículo empleando el GLP como combustible alternativo.

Sin embargo, en países como Colombia, Argentina y Perú el uso del GLP como combustible se encuentra normado y a disponibilidad de la población en general, a su vez en Perú disponen de la Resolución Ministerial número 306 del 2017, la cual establece los límites máximos para el GLP como también para el GNV e indicados en la tabla 12.

**Tabla 12**

*Valores máximos establecidos en Perú.*

<b>Vehículos de categorías M y N con MEP que funcionan con gasolina, GLP, GNV u otros comb. alternos</b>				
Año de elaboración (*)	Altitud (en msnm)	CO (en %)	HC ( en ppm)	CO+CO <sub>2</sub> (%) mínimos
<1995	0 - 1800	3,0	400	10 [8 <sup>(1)</sup> ]
	> 1800	3,0	450	8
1996 a 2002	0 a 1800	2,5	300	10 [8 <sup>(1)</sup> ]
	> 1800	2,5	350	8
2003 al presente	Cualquier altura	0,5	100	12 [8 <sup>(1)</sup> ]

(\*) Año calendario de la fabricación del vehículo.

<sup>(1)</sup> Solamente para GLP/GNV.

Obtenido de: [39].

## **1.9. Sistema de Conversión a GLP**

La tecnología GLP empleada en vehículos con MEP cuentan con una larga trayectoria y evolución a lo largo de estas dos últimas décadas, por lo que en el mercado se pueden encontrar sistemas de conversión GLP de hasta 6ta generación, siendo los sistemas de 3ra a 5ta generación los más usados en la actualidad por vehículos de inyección electrónica.

### ***1.9.1. Generaciones de los Sistemas a GLP***

En el mercado se encuentran diferentes marcas, las más usadas como LOVATO, EMMEGAS, TOMASETTO y LANDIRENZO que son equipos de origen italiano. Marcas que disponen de diferentes generaciones que pueden ser instaladas en los vehículos actuales, con sistemas GLP tanto para inyección indirecta o directa.

Los sistemas de 1ra generación se pueden usar en vehículos que aun cuenten con motor carburado, por lo que no es común su uso y se considera obsoleta. El sistema de 2da y 3ra generación se emplea en motores carburados, sistemas de inyección básicos sea mono o multi punto, cuenta con su módulo de control el cual favorece y mejora las cantidades de combustible que se inyectan al cilindro.

El sistema de 5ta generación actualmente se usa en vehículos principalmente de cuatro cilindros, controla los inyectores de manera individual en cada cilindro en forma secuencial, se instala en paralelo al sistema estándar de combustible a gasolina. Los sistemas de 6ta generación se usan en motores con 6 o 8 cilindros. La principal diferencia entre las diferentes generaciones de sistemas GLP se centra en el control electrónica de la inyección del combustible, los accesorios según la generación del kit pueden variar en mínimas características aun así su principio de funcionamiento es el mismo.

### ***1.9.2. Normativa Internacional de los Sistemas a GLP***

Las fábricas dedicadas a la producción de sistemas a GLP deben poseer las certificaciones de calidad como es la ISO/TS 16949 enfocada al campo automotriz, la cual se enfoca en la prevención de defectos a lo largo del proceso de diseño, mejorando la calidad de los sistemas y componentes de GLP/GNC. Dicha certificación garantiza el cumplimiento de la norma ISO 9001 asegurando alto grado de calidad, la gran parte de las empresas productoras de los sistemas de GLP/GNC cumplen con estas certificaciones [40].

El Reglamento internacional N° 67 de la CEPE insta los requisitos, disposiciones y procedimientos de ensayo para la homologación y certificación de equipos particulares para

automóviles de la clasificación M y N que empleen GLP en su sistema de propulsión, así como para vehículos de esas mismas categorías que estén equipados con dichos equipos [41].

Además, el Reglamento n° 115 de la CEPE define los requisitos y ordenes relativas a la convalidación de determinados sistemas de conversión a GLP y GNC destinados a ser instalados en automóviles con MCI. Este reglamento abarca los parámetros de los sistemas de conversión o adaptación, el manual de indicaciones, modificaciones y proporcionar la certificación de un sistema de conversión, y la homologación de los sistemas GLP/GNC [42].

### ***1.9.3. Normativa Nacional de los Sistemas a GLP***

La implementación de los equipos de conversión GLP para vehículos se basan en las normas nacionales del INEN; cuyas normas de instalación se manifiestan en las normas NTE INEN 2310, 2311 y 2317, las cuales corresponden exclusivamente al funcionamiento e instalación del sistema GLP en automotores. Las normas 2310 y 2311 no son aplicables para vehículos con MEC y motores estacionarios.

El objetivo de la norma NTE INEN 2310: 2008 es definir las especificaciones mínimas que se deberán ejecutar para los sistemas de carburación de GLP para convertir motores que utilizan gasolina al sistema bicomcombustible (Gasolina/GLP) o sólo GLP. Además, especifica que el sistema GLP debe instalarse de acuerdo con las diferentes condiciones impuestas en la NTE INEN 2311 y que el equipo a utilizarse para la conversión a GLP ya sea un sistema dual o sólo GLP, debe estar certificado y garantizar el rendimiento y seguridad durante su todo el tiempo de funcionamiento del automotor [43].

La norma NTE INEN 2311: 2008, insta los requerimientos mínimos que deberán cumplirse al realizar la adaptación del MCI con inyección de gasolina por inyección dual o solo GLP. Requisitos que se deben aplicar como la revisión e inspección del vehículo antes de la conversión del sistema GLP, verificación de los procesos de instalación, metodología de afinación y postconversión del motor [44].

La NTE INEN 2317:2008 es aplicable a los centros de servicio de mantenimiento, inspección y reparación de los equipos y accesorios utilizados en los sistemas GLP. Establece las normas mínimas de seguridad que se exige consumir a los centros o talleres de servicios que convierten equipos de carburación de motores que funcionen solo con gasolina a motores con sistema dual (Gasolina/GLP) o sólo GLP. También indica las especificaciones de las herramientas y equipos necesarios para completar las conversiones de sistemas GLP [45].

#### ***1.9.4. Normativa del Cilindro de GLP Automotriz***

En la normativa NTE INEN 2310:2008 menciona que el cilindro encargado de almacenar el GLP destinado al uso automotriz debe cumplir especificaciones de diseño con respecto a lo indicado en el código de diseño ASME para cilindros horizontales; en el inciso VIII, division 1 y 2, y la norma vigente actualizada NTE INEN 2261.

Las disposiciones obligatorias para los cálculos, diseños, construcción, ensayo y supervisión de tanques estacionarios o móviles de acero soldado ya sean para almacenar o transportar gases de baja presión hasta 1,72 Mpa y superiores a 0,11 m<sup>3</sup> de volumen, están establecidos por la NTE INEN 2261:2015. También especifica las normas mínimas para los accesorios que deben cumplirse para mantener la seguridad y el control [46].

En la normativa NTE INEN 2310:2008, en su sección 5.1.2.1 indica que el cilindro debe cumplir con el recubrimiento que evite la corrosión exterior con respecto a la norma vigente ISO 8501-1, tener correctas soldaduras, disponer de los accesorios del tanque como válvulas de llenado y alivio, indicadores de nivel, y disponer de la protección de la multiválvulas. A su vez, en la sección 5.1.2.6 indica que el tanque debe poseer su placa identificativa la cual tendrá información y especificaciones del cilindro, como capacidad, presión de diseño, año de fabricación, entre otros.

## CAPÍTULO II

### 2. Métodos y Materiales

#### 2.1. Método

##### 2.1.1. *Tipología del Estudio de Investigación*

El presente estudio investigativo se caracterizó por ser de tipo cuantitativa aplicada al campo debido a que se realizó adaptaciones y pruebas en un MCI de un vehículo que forme parte de la categoría M1 del país, con el objetivo de determinarse la cantidad porcentual de los gases contaminantes producidos por un MEP, como el CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO y HC. Además, se consideró la investigación de tipo bibliográfica ya que se empleó la información previamente consultada para el desarrollo del proyecto; uso de manuales y de la normativa NTE INEN pertinente a los sistemas de conversión a GLP.

##### 2.1.2. *Métodos de Investigación*

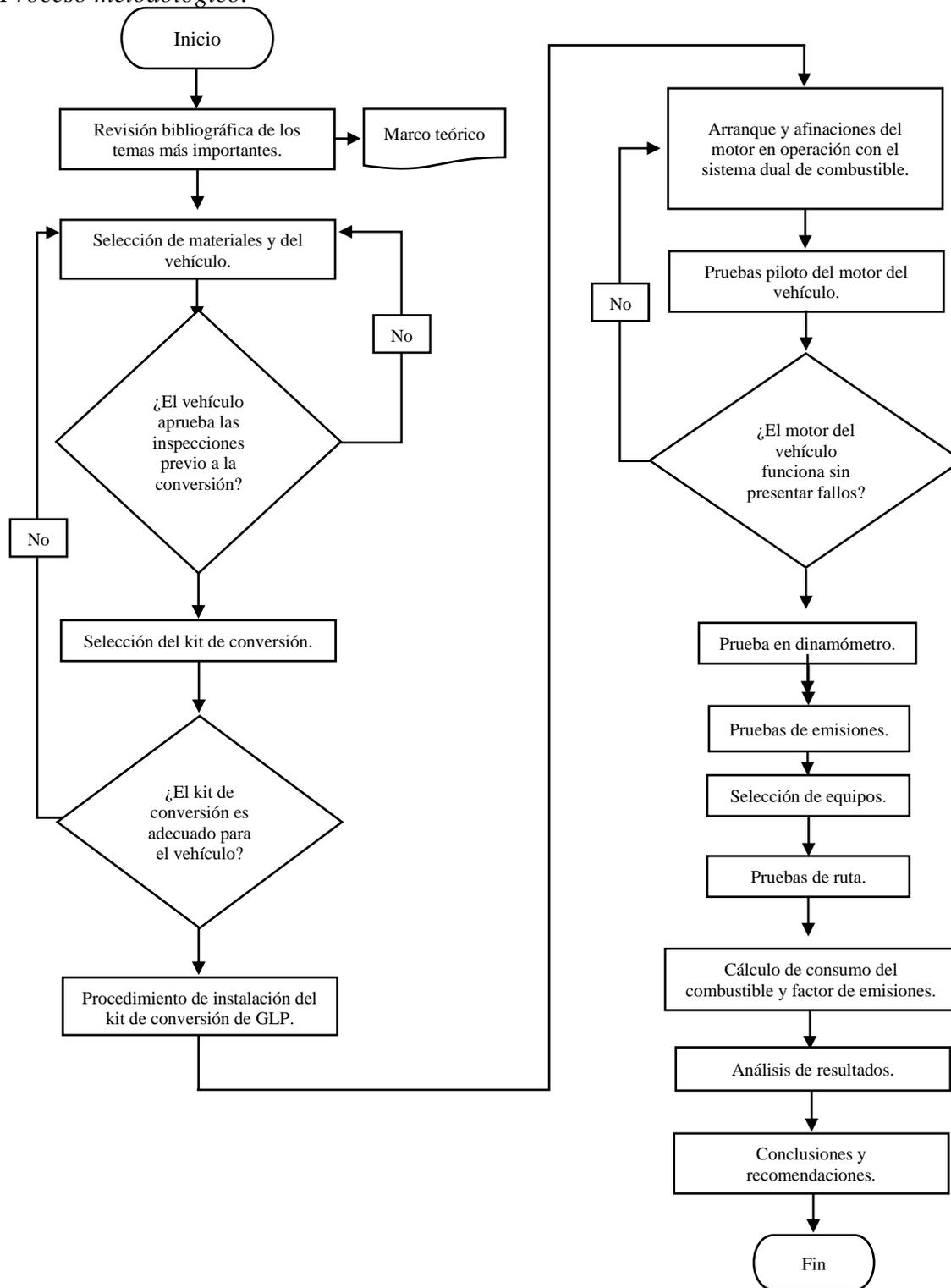
La ejecución del proyecto investigativo se basó en el desarrollo de actividades continuas debidamente estructuradas y enfocadas con respecto a los objetivos específicos como también en la norma NTE INEN 2311:2008. Para ello se muestra el flujograma del proceso metódico en el que se incluye la investigación bibliográfica el cual aporta los temas más importantes que se complementarán con el proceso de la metodología. A su vez, con el aporte de la normativa se puede establecer el procedimiento para la instalación del kit de conversión en sus diferentes etapas; pre-conversión, conversión y post-conversión. Y, por último, el desarrollo de las pruebas experimentales tales como la de medición de gases, torque, potencia y las pruebas de ruta empleando dispositivos según corresponda.

Otros métodos que se aplicaron a este proyecto fueron de tanto analítico como experimental; el método analítico se lo integro para procesar toda la información recopilada de manuales y de la normativa; y de los datos recopilados de las diferentes pruebas desarrolladas empleando herramientas tecnológicas para su procesamiento. El método experimental se lo empleo para la incorporación de los diferentes elementos o componentes del que constituye el sistema de conversión a GLP en el MCI, además del uso de equipos que permitieron el desarrollo óptimo de este método y de adquisición de datos.

### 2.1.3. Determinación del proyecto metodológico

**Figura 11**

Proceso metodológico.



Obtenido de: Autores.

El desarrollo del proceso metodológico conlleva una serie de eventos cronológicos como se puede verificar en la figura 11 en el que muestra cada actividad del proceso de investigación a desarrollarse basados en las normativas disponibles en el país.

## 2.2. Materiales

### 2.2.1. Automotor Empleado al Estudio

El automotor que se utilizó forma parte de la categoría vehicular M1 correspondiente al transporte de pasajeros de cuatro ruedas de marca Chevrolet Corsa Wind, además de considerar sus prestaciones mecánicas y electrónicas tales como la cilindrada del motor, cantidad de cilindros, número de válvulas, tipo de sistema de combustible, clase de distribución y de encendido cuya información que se puede observar en la tabla 13; datos que fueron importantes ya que a partir de la información del vehículo se puede seleccionar el kit de conversión adecuado. Además, los sistemas GLP se instalan en vehículos de acuerdo a su equipamiento electrónico que controla el funcionamiento del MCI tales como sensores y actuadores.

**Tabla 13**

*Características del vehículo seleccionado.*

Vehículo seleccionado		
	Marca	Chevrolet
	Modelo	Corsa Wind GLS
	Año	1997
	Peso	915 kg
	Motor	4 en línea
	Número de cilindros	4
	Cilindrada	1598 cm <sup>3</sup>
	Tipo de inyección	MPFI
	Válvulas	8 válvulas
	Relación de compresión	9,4
	Tracción	FWD
	Caja de cambios	5 velocidades
	Potencia máxima	92 HP @ 5600 rpm
Par máximo	127 Nm @ 2800 rpm	

Obtenido de: [47].

### 2.2.2. Combustibles

#### 2.2.2.1. Gasolina Extra.

La combustible empleada para la ejecución de las pruebas en este estudio fue la gasolina extra la cual se puede adquirir en cualquier punto de distribución en la ciudad de Ibarra; la gasolina extra se caracteriza por tener el valor de 85 RON, como se aprecia en la tabla 14 las especificaciones y

condiciones que cumple la gasolina extra comercializada a nivel nacional según la NTE INEN 935:2021 en la revisión número 11°.

**Tabla 14**

*Especificaciones de la gasolina extra de uso comercial.*

Consideraciones	Unidad	Mín.	Máx.	Procedimientos de ensayos	
Precio de venta por galón	\$		2,766		
Número de Octano Research (RON)	--	85,0	--	NTE INEN 2102	
Presión a vapor	kPa	--	60,00	ASTME ASTM ASTM	D323 D4953 D5191
Punto final de ebullición	°C	--	189		D86
Contenido de azufre	% <sup>d</sup>	--	0,0650		D2622 D4294 D5453 D5188
Temperatura para la relación de valor/líquido igual a 20	°C	56,0	--		
Corrosión de la lámina de cobre (3h a 50 °C)	--	--	N° 1		D130
Índice de aromáticos	% <sup>c</sup>	--	30,0		D1319 D6730 D6733
Índice de benceno	% <sup>c</sup>	--	1,00	ASTM	D3606 D5580 D6277 D6730 D381
Índice de azufre	mg/100	--	3,0		
Índice de olefinas	% <sup>c</sup>	--	18,0		D1319 D6730 D6733
Índice de plomo	mg/L	--	1,0		D3237 D5059 D5185
Índice de manganeso	mg/L	--	1,0		D3831 D5185
Índice de hierro	mg/L	--	1,0		D5185

Obtenido de: [48]

Las propiedades de la gasolina extra tanto físicas como químicas emitidas por PETROECUADOR y la cual se usa con mayor frecuencia en vehículos en nivel nacional en Ecuador pueden ser observadas en la tabla 15, donde se destaca el estado físico, la densidad relativa y su temperatura de ebullición. Además, es importante agregar el valor del PCS de la gasolina el cual es de 43,95 MJ/kg [49].

**Tabla 15**  
*Propiedades fisicoquímicas.*

Propiedad	Detalle
Estado físico	Líquido a temperatura ambiente.
Coloración y apariencia	Verde azulado brillante.
Olor	Característico.
Porcentaje de volátiles por volumen	No existen datos.
Temp. inicio de ebullición	Aproximadamente: 32 °C.
Temp. fin de ebullición	Aproximadamente: 210 °C.
Temp. de inflamación	-42 °C.
Temp. de fusión	No existen datos.
Presión de vapor	40 a 62 kPa a 37,8 °C.
Densidad de vapor	3 a 4 (aire = 1). Más pesado en comparación con el aire.
Velocidad de evaporación	No existen datos.
Densidad relativa a 15 °C	Aproximadamente: 0,7300.
Ph	No aplica.
Solubilidad	En presencia de agua forma dos fases claramente definidas. Completamente soluble en solventes orgánicos. (0,1-1%).

Obtenido de: [50].

#### 2.2.2.2. El GLP Comercial.

El GLP comercial es la mezcla entre propano (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) y de butano (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>). Como afirman Guanuche et. al. [51] “el gas GLP es la unión de hidrocarburos gaseosos entre propano y butano los cuales se producen y refinan a partir del petróleo crudo y el gas. El propano existe en la atmósfera como gas, mientras que el butano es líquido o gaseoso”.

Por seguridad se establece que el GLP debe poseer un odorizante especial que permite detectar si existen fugas del gas. A su vez, la norma NTE INEN 675:2017 en su primera revisión manifiesta los requisitos que debe cumplir el GLP para su uso, en tabla 16 se indica algunos de los requerimientos establecidos en la norma antes dicha.

**Tabla 16.** *Requisitos para el GLP.*

Requisito	Unidad	Mezcla comercializada de propano - butano	Métodos de ensayo
Precio de venta por kg	\$	0,35	
Densidad relativa - 15,6 °C	--	Informar	D1657 D2598
Presión de vapor - 37,8 °C, máximo.	KPa	Informar	D1267 D6897 ASTM D2598
Temperatura de evaporación del 95% del residuo volátil, máximo.	°C	2,2	D1837
Pentano (C <sub>5</sub> ) y pesados, máximo.	% <sup>c</sup>	2,0	D2163
Oxidación a la lámina de Cu	--	No. 1	D1838
Índice de azufre, máx.	mg/kg	185	ASTM D6667 IP 272

Obtenido de: [52].

Las propiedades fisicoquímicas del GLP de uso doméstico e industrial comercializado en Ecuador se indican en la tabla 17. También se agrega el valor del poder calorífico del GLP, cuyo valor es de 49,98 MJ/kg correspondiente a la mezcla del 30% de butano y 70% de propano comercializado en Ecuador [53].

El valor de octanaje del GLP utilizado en vehículos oscila entre 106 a 110 RON, valor superior al octanaje de la gasolina extra; valor que garantiza una mayor resistencia a la detonación proporcionando una mayor eficiencia térmica [54].

**Tabla 17. Propiedades fisicoquímicas del GLP.**

<b>Propiedad</b>	<b>Detalle</b>
<b>Estado físico</b>	Gaseoso en condición normal de 1atm y 20 °C. Líquido por incremento de la presión o disminución de la temperatura.
<b>Aspecto y coloración</b>	Gas insípido e incoloro en condición de temperatura y presión ambiental.
<b>Temp. de fusión (°C)</b>	-167,9
<b>Temp. de ebullición (°C)</b>	-32,5
<b>Solubilidad en agua a 20 °C</b>	0.0079% en peso (Insignificante; menos del 0.1%). Poca.
<b>Olor</b>	Inodoro
<b>% de volátiles por volumen</b>	100
<b>Presión de vapor a 20 °C</b>	4500 mmHg.
<b>Densidad de vapor</b>	Más denso comparándolo con el aire
<b>Tasa de evaporación</b>	Gas a temperatura ambiente normal.
<b>Densidad relativa</b>	Estado Gaseoso: Propano = 1,522 kg./L, Butano = 2,000 kg./L. El peso del aire es 1 kg. El GLP es más pesado comparado con el aire. Estado líquido: Propano = 0,507 kg./L, Butano = 0,580 kg./L. El peso del agua es 1 kg. El GLP es mayormente liviano con respecto al agua.
<b>pH</b>	No aplica.

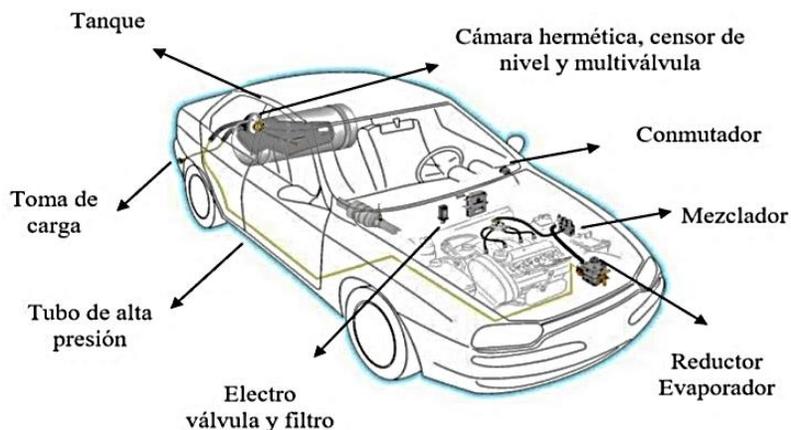
Obtenido de: [55]

### 2.2.3. *Kit de Conversión*

El kit de conversión a GLP empleado en el vehículo corresponde a un equipo de segunda generación empleando los componentes que se muestran en la figura 12, este sistema se caracteriza por ser incorporados en motores con sistema de inyección electrónica sea monopunto y multipunto, con sensor lambda y sin catalizador.

Este sistema no incorpora aun el sistema de inyección a gas por lo que se emplea el mezclador y se utiliza el emulador de inyección tanto para activar o desactivar los inyectores de gasolina, y activar la electroválvula de GLP.

**Figura 12**  
*Composición del sistema GLP.*



Obtenido de: [56].

El GLP es entregado al motor en estado gaseoso por medio de un componente llamado mezclador que por lo general se ubica antes del cuerpo de aceleración; es importante seleccionar correctamente el mezclador junto con el reductor. Además, incorpora elementos electrónicos que permiten seleccionar el combustible a usarse; por lo que se conoce como sistema bifuel o dualfuel.

### 2.2.3.1. Tanque de GLP.

El tanque o cilindro horizontal usado en el área del autogas cuenta con la función de almacenar el GLP, según la norma NTE INEN 2310 el tanque debe poseer su placa de identificación y disponer de sus accesorios tanto de protección como de soporte y sujeción para ser incorporado en el automotor como se observa en la figura 13. El tanque debe dar cumplimiento a lo establecido en la NTE INEN 2310, a su vez en esta norma indica que se debe considerar la norma NTE INEN 2261, cuya norma implanta los requisitos e inspección tanto del tanque de baja presión como de los accesorios.

**Figura 13**  
*Cilindro de GLP.*



Obtenido de: Autores.

Cilindro de acero horizontal con capacidad de 17,68 kg, en él se fija la cámara hermética que contiene y protege a la multiválvula. En el caso de los cilíndricos, pueden ser de acero sin costura, ensayados para soportar altas presiones y su capacidad se mide en litros [57]. Además, debe poseer una placa informativa según la normativa NTE INEN 2310, por lo general debe ser de acero y ubicada en una zona visible. Las características técnicas del tanque empleado para GLP se encuentran en la tabla 18; cuyas especificaciones del tanque de GLP empleando en este caso de estudio están inscritas en la placa de información que debe poseer el cilindro y la cual debe dar cumplimiento a la norma NTE INEN 2310:2008.

**Tabla 18**

*Especificaciones del tanque de GLP.*

Especificaciones	Detalle	Especificaciones	Detalle
Servicio de diseñado.	Cilindro para GLP	Temperatura de diseño en °C.	50 °C
Nombre de la empresa fabricante.	SIDERURGICA ECUATORIANA S.A.	Largo.	720 mm
Material.	SA 285-3	Diámetro.	320 mm
Capacidad del cilindro en litros de agua.	51 litros	Espesor.	2,7 mm
Capacidad del tanque en galones.	13,47 Galones	Año de fabricación.	2009 - 11
Presión de diseño en MPa.	2.1 Mpa (312,5 psi)	Norma de cumplimiento.	NTE INEN 2310
Peso en vacío.	17,68 kg		

Obtenido de: Autores.

### 2.2.3.2. Multiválvula.

Ubicada en el depósito de gas de marca “LOVATO” e indicada en la figura 14, la cual tiene funciones de permitir la carga externa o descarga del gas hacia el circuito a alta presión hasta el reductor y cumple con la reglamentación E4 67R-0094004-300-35.

**Figura 14**

*Multiválvula.*



Obtenido de: Autores.

La válvula del cilindro tiene como función no permitir el paso del gas a alta presión, además posee un sistema de protección que se activa cuando se incrementa la presión o existe una excesiva

elevación de temperatura [57]. La mayoría de multiválvulas poseen un indicador de presión o cantidad disponible de GLP.

### 2.2.3.3. Cámara hermética.

Permite el alojamiento, protección contra posibles golpes, o la manipulación intencional de la multiválvula. Además, si existe posibles fugas el gas debe salir por medio de los conductos de evacuación los cuales se pueden apreciar en la figura 15, las posibles fugas deben ser extraídas hacia el exterior del vehículo por medio de mangueras.

**Figura 15**

*Cámara hermética.*



Obtenido de: [58]

### 2.2.3.4. Filtro de GLP.

Cumple la función de evitar que impurezas pasen directamente al motor por lo general es similar al filtro de gasolina físicamente, se lo coloca entre el evaporador y el mezclador (fase gaseosa). Normalmente en la fase gaseosa se colocan los filtros de tipo FL01S como el indicado en la figura 16.

**Figura 16.**

*Filtro de GLP.*



Obtenido de: [59]

### 2.2.3.5. Electroválvula GLP.

Es un actuador encargado de permitir el cierre de circulación de la gasolina y del GLP. Es activada mediante el conmutador de combustible. Su voltaje de funciona es de 12V y es controlado por el emulador de inyectores, la electroválvula utilizada se aprecia en la figura 17.

**Figura 17**  
*Electroválvula GLP.*



Fuente: Autores.

#### **2.2.3.6. Evaporador/Reductor/Regulador de presión.**

Cumple dos funciones, permite evaporar el GLP y regula la cantidad y presión del GLP, disminuye hasta 100 kPa para posteriormente evaporar el GLP ser enviado al sistema de distribución de combustible. El reductor seleccionado se muestra en la figura 18, el cual es de la marca EMMEGAS – Class 1 con una potencia de entrega de 90 kW o 122 CV, adecuado para motores con cilindrada de hasta 2000 c.c.

**Figura 18**  
*Reductor Emmegas.*



Obtenido de: Autores.

#### **2.2.3.7. Mezclador.**

Dosifica y distribuye el GLP de acuerdo a la carga del motor, se coloca antes del cuerpo de aceleración del motor. Las dimensiones de diseño del mezclador mostrado en la figura 19 son:

- Din: 58.8 mm hacia el cuerpo de aceleración.
- Dex 1: 66 mm hacia el cuerpo de aceleración.
- Dex 2: 63 mm hacia el depurador.
- Diseñado con Venturi.
- Fijación con tornillos.

Por lo general, su fabricación se lo hace con aluminio.

### **Figura 19**

*Mezclador.*



Obtenido de: Autores.

#### **2.2.3.8. Llave conmutadora/indicador.**

Permite seleccionar en qué modo va a funcionar el MCI, es decir, puede funcionar con el combustible convencional y a gas según la elección del conductor; además debe poseer un indicador visual con LEDs como se aprecia en la figura 20, el cual muestra el tipo de combustible seleccionado. El modo seleccionado lo receipta el módulo electrónico y este hace funcionar a la electroválvula que permitirá el paso del gas o de la gasolina.

### **Figura 20**

*Conmutador de combustible.*



Obtenido de: Autores.

#### **2.2.3.9. Emulador.**

El emulador empleado de la marca “ULYSES” como el indicado en la figura 21, es un componente de control cuya función es controlar la activación de los inyectores de gasolina de acuerdo con la selección del combustible mediante el conmutador. El voltaje de funcionamiento es de 12V y debe estar posicionado en una zona que evite golpes y humedad.

**Figura 21**  
*Emulador.*



Obtenido de: Autores.

### **2.2.3.10. Mangueras de baja/alta presión.**

Se pueden instalar mangueras o tuberías metálicas las cuales se dividen en dos grupos; alta y baja presión. Las tuberías de alta presión corresponden a mangueras reforzadas o de cobre adecuadas para soportar más de 20000 kPa y están instaladas desde la válvula del cilindro hacia el regulador de presión por medio de acoples. Las características de la manguera empleada para el circuito de alta presión se pueden apreciar en la tabla 19.

**Tabla 19**  
*Características de la manguera de alta presión.*

<b>Especificaciones</b>	<b>Valor</b>
Marca - Serie	Benetti serie 8R
Protección	Plástico helicoidal HDPE
Cubierta	Poliuretano
Refuerzo	De fibra
Diámetro	6,35 mm
Temperatura	-40 °C – 90 °C
Presión máxima	22407,96 kPa
Conector manguera	Tipo Rebordeado – 19,1 mm
Acople	Tipo NPT – 19,1 mm

Obtenido de: Autores.

Las tuberías de baja presión normalmente pueden ser de material cauchoso, se instalan después del regulador de presión, las características de las mangueras de baja presión instaladas se pueden observar en la tabla 20, algunas características pueden variar de acuerdo al diámetro del tubo adaptador de salida de GLP en el reductor sin embargo la presión mínima de trabajo que deben soportar cualquier manguera empleada en el circuito de baja presión es de mínimo 100 kPa.

**Tabla 20.**  
*Características de mangueras para el circuito de baja presión.*

Especificaciones	Valor
Cubierta	Caucho liso EPDM negro
Material	Caucho liso SBR/NR
Refuerzo	Cordón textil de alta resistencia
Diámetro	15,88 mm
Temperatura	-35 °C – 80 °C
Presión máxima	1378,95 kPa
Aplicación	Aire - Agua
Sujeción	Abrazaderas

Obtenido de: Autores.

#### 2.2.4. Dispositivo de Medición de Gases

Para la realización de las tomas de medición y análisis de los gases contaminantes generados por el motor del automóvil se usó el equipo AGS-688 (figura 22 y 23) que permite registrar los resultados de CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, HC, valor de lambda y el registro de las RPM los cuales se pueden apreciar en la tabla 21, además permite la entrega de resultados al finalizar la prueba sea de manera impresa o al ordenador conectado; este equipo cumple con las características técnicas en la norma INEN 2349:2003.

Los datos que se consideran para el análisis en este proyecto fueron los valores de CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, HC de acuerdo con el valor de las RPM en dos condiciones de RPM; 900 y 2500 RPM. Además, de considerar el procedimiento y análisis de resultados según la normativa NTE INEN 2203 y 2204. Las especificaciones del equipo AGS-688 se indican en la tabla 21, además se indica la vista frontal y posterior.

**Tabla 21.**  
*Características del analizador AGS-688.*

Especificaciones técnicas	
<b>Figura 22.</b> Vista frontal del AGS-688	<b>Figura 23.</b> Vista posterior del AGS-688.



(Continuación de la tabla 18)

Parámetros de medición				
CO	0 - 9,99	% volumen.		0,01
CO <sub>2</sub>	0 - 19,9	% volumen.		0,1
HC hexano	0 - 9999	ppm volumen.		1,0
O <sub>2</sub>	0 - 25	% volumen.		0,010
NO <sub>x</sub>	0 - 5000	ppm volumen.	Res.	1
Lambda	0,5 - 5			0,001
Revoluciones	300 - 9900	rpm.		10
Inductancia/capacitancia				
Temperatura del aceite	20 - 150	°C		1

Adaptada de: [60]

### 2.2.5. Dinamómetro

Para la recopilación de los datos del torque y de la potencia, se desarrolló las pruebas tanto con el funcionamiento con combustible de uso común y también con GLP, por lo cual las pruebas se desarrollaron en un dinamómetro de rodillos de la marca Vamag modelo BPA-V2FR (figura 24) el cual permite registrar los valores de la potencia máxima, potencia máxima a la rueda, par máximo, velocidad punta, numero de RPM del MEP mediante la vinculación al computador.

#### Figura 24

*Dinamómetro de rodillos.*



Obtenido de: [61]

La tabla 22, muestra las características técnicas del dinamómetro utilizado para el desarrollo de las pruebas tanto de torque como de potencia. Los datos registrados son entregados en formato pdf y sac; en pdf se muestra los resultados de par motor y potencia de forma gráfica y sus valores máximos alcanzados mediante un cuadro de texto, en cambio en el formato sac se indican todos los datos registrados durante la prueba en formato de texto durante las pruebas con respecto a la velocidad o de RPM.

Los resultados que se obtienen en las pruebas deben ser corregidos con el factor de corrección adecuado para obtener valores más reales, para posteriormente realizar el estudio de los datos obtenidos en las pruebas.

**Tabla 22.**  
*Características técnicas del dinamómetro BPA-V2FR.*

Especificaciones técnicas		
Marca		Vamag
Modelo		BPA-V2R
Potencia máxima	400	HP
Torque	1500	Nm
Voltaje de suministro	200-400	VAC (1-3/N/PE)
Frecuencias	50 y 60	Hertz
Corriente de consumo	16	Amperios
Peso	1200	Kilogramos
Dimensionamiento	2290x400x0	hmm
Presión del circuito de aire comprimido	6	bar
Diámetro del rodillo	240	milímetros
Anchura del rodillo	660	milímetros
Límite de velocidad tope	180	km/ h

Obtenido de: [62]

### 2.2.6. Medidor de Compresión

El equipo empleado para la medición de la compresión fue de la marca JONNESWAY mostrado en la figura 25; indica los valores de compresión hasta una lectura máxima de 300 psi y 20 kg/cm<sup>2</sup>. Las especificaciones del medidor de compresión se indica en la tabla 23. Para la medición de compresión en cada cilindro del MCI es importante revisar que el equipo esté en buen estado y disponer de los acoples que encajen correctamente en la rosca de la bujía con el fin de evitar resultados erróneos.

**Tabla 23**  
*Detalles técnicos del compresómetro.*

Detalle	Característica
<b>Figura 25. Medidor de compresión.</b>	
	
Marca	JONNESWAY
Modelo	AR0200
Escala	0 a 300 psi – 0 a 20 bar
L. total de manguera	13 in
Adaptadores	M14 – M18
Dial	2-1/2 in

Obtenido de: [63]

### 2.2.7. Osciloscopio

El osciloscopio utilizado es el modelo G-Scope 2 indicado en la figura 26 el cual es un dispositivo de diagnóstico que posee doble canal con un ancho de 100 MHz caracterizándose por ser fácil de usar, está diseñado para indicar las diferentes señales de los componentes electrónicos del automotor; tales como sensores y actuadores, en este caso se lo utilizará para obtener la señal del sensor de O<sub>2</sub>.

**Figura 26**

*Osciloscopio modelo G-Scope 2.*



Obtenido de: [64].

Para el registro y visualización de la señal del sensor O<sub>2</sub>, se realiza la conexión de las puntas de prueba del osciloscopio hacia el cable de señal del sensor y al borne negativo de la batería donde se pudo observar el comportamiento del sensor O<sub>2</sub> cuando se utiliza gasolina extra y GLP para el funcionamiento del MEP por medio de sus graficas. Las principales características del osciloscopio se indican en la tabla 24, además se puede exportar los datos en formato CVS, imagen y video del componente a analizar.

**Tabla 24.**

*Características generales del G-Scope 2.*

Especificaciones generales	
<b>Canales</b>	2
<b>Ancho de banda</b>	100 MHz
<b>Filtro de ancho de banda</b>	20 MHz, paso alto y bajo
<b>Frecuencia máxima de muestreo</b>	1 G Sa/S
<b>Tasa de captura</b>	80000 wfm/s
<b>Interfaz</b>	Wifi, LAN, USB, DC, HDMI
<b>Dimensiones</b>	250*200*55mm

Obtenido de: [64]

### 2.2.8. Equipo GPS

El GL-770 (figura 27) es un dispositivo que permite registrar los datos de posicionamiento estableciendo el intervalo de tiempo, distancia y velocidad. Cuenta con un chip GPS modelo MT3333 compatible con GPS Y GLONASS, certificado con CE, FCC, MIC y BQB.

**Figura 27**  
*GPS GL-770.*



Para el registro de los datos debe estar configurado a una frecuencia de 1 Hz a través de su aplicación de escritorio conocida como “TSI LogView”; los datos que se registran predeterminadamente son: fecha y hora (UTC), fecha regional, horario regional, latitud, longitud, altura, velocidad, distancia y RCR, se puede extraer los datos en formato CSV. En la tabla 25 se presenta las especificaciones técnicas, registro de datos, sus parámetros de funcionamiento, hardware y condiciones de operatividad del GPS.

**Tabla 25**  
*Características del GPS GL-770*

<b>Especificaciones del GPS GL-770</b>	
	<b>General</b>
<b>Frecuencia</b>	L1 1575,42 MHz
<b>Codificación C/A</b>	1,023 MHz
<b>Datos</b>	WGS84
	<b>Características</b>
<b>Precisión</b>	Sin aid, menor a 3 m CEP (WAAS, EGNOS, MSAS) 2,5 m DGPS
<b>Tiempo de reobtención</b>	Menor a 1s
<b>TTFB</b>	35/34/1,5s para frío/cálido/caliente respectivamente
<b>AGPS</b>	Menor a 15s
<b>Perceptibilidad</b>	Adquisición: -148 dBm máximo. Seguimiento: -165 dBm máximo.
<b>Aceleración</b>	4g máx.
	<b>Interfaz</b>
<b>Tasa de baudios</b>	115200
<b>Protocolo</b>	V3,01NMEA 0183 Support WAAS/EGNOSGGA, GSV, GSA , RMC.
	<b>Conector USB</b>
<b>Estandar</b>	USB 2,0
<b>Rapidez</b>	12 Mbps
	<b>Data Log</b>
<b>Memoria</b>	64 Mbit
<b>Puntos de ruta</b>	250000 (default) or more
<b>Log data</b>	Fecha, hora, latitud, longitud, velocidad, altura, RCR

(Continuación de la tabla 25)

Especificaciones del GPS GL-770	
	<b>Potencia</b>
<b>Voltaje de alimentación</b>	Vía USB, conector tipo A, 5V
<b>Batería</b>	Ion - Litio recargable
<b>Tiempo de funcionamiento</b>	25 hrs
	<b>Condiciones de ambiente</b>
<b>Temp. de operación</b>	-10 °C to +60 °C
<b>Temp. de almacenamiento</b>	-20 °C a +60 °C
<b>Durante la carga</b>	-0 °C a +45°C
<b>Porcentaje de humedad</b>	20% ~ 80%
<b>Impermeabilidad</b>	IPX3
	<b>HARDWARE</b>
<b>Dimensiones</b>	52 82 x 19 mm

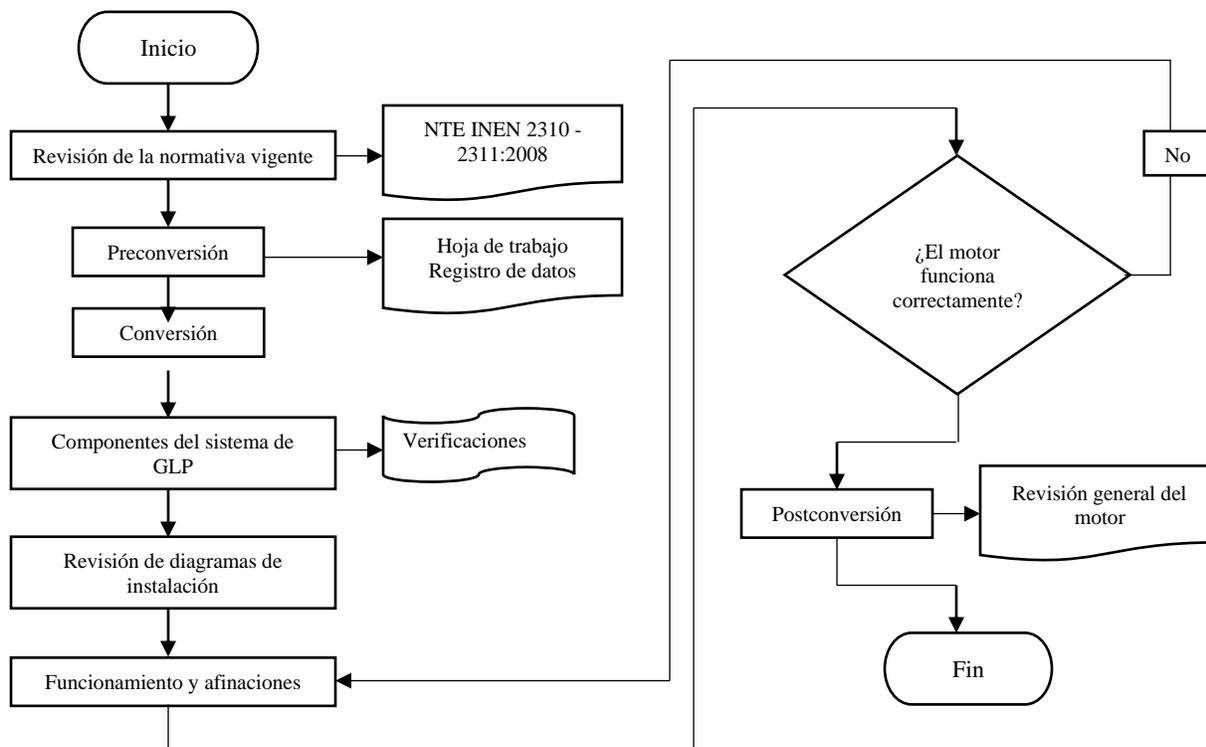
Obtenido de: [65]

### 2.3. Procedimiento de Conversión del sistema GLP

Para el desarrollo del procedimiento de conversión, se utilizó el diagrama de actividades indicado en la figura 28, el cual está diseñado y abordando las especificaciones e indicaciones de la normativa NTE INEN 2311 a partir del literal 5.1.1.2

**Figura 28**

*Procedimiento de conversión a GLP.*



Obtenido de: Autores.

La norma NTE INEN 2311:2008 indica en su literal 5.1.1.2 el proceso de conversión e instalación del kit de GLP, el cual indica las especificaciones e indicaciones de instalación de los diferentes componentes del sistema dual o solo GLP, sea para sistemas de alimentación de combustibles del tipo monopunto sea con carburador o a inyección y de inyección electrónica multipunto. El vehículo a emplear cualquier sistema GLP, debe tener un recorrido de al menos 2000 km antes de ser convertidos, sea vehículo con motor nuevo o reparado con la finalidad de evitar daños.

Para realizar la conversión del vehículo se debe cumplir anteriormente con la evaluación del automotor con el formato del anexo 1, ya aprobada y cumplido con los requisitos se elige y se comienza con el desarrollo de la instalación de cada componente del sistema GLP. Además, el desarrollo de la conversión se lo emplea de acuerdo al proceso representado en la figura 28 basado en la norma NTE INEN 2311 y se considera la ubicación y esquema de los elementos que se han descrito de acuerdo a la figura 12, 28 y 29, tanto de diagramas eléctricos como hidráulicos.

### **2.3.1. Preconversión – Inspección del vehículo**

#### **2.3.1.1. Diagnóstico Inicial**

Para cumplir con esta inspección se debe poseer con las hojas u orden de inspección, en las cuales deben incorporar como mínimo el registro de la información del vehículo a instalar el sistema GLP mostrada en la tabla 26 conforme lo establece en la norma NTE INE 2311.

**Tabla 26**

*Registro de datos iniciales.*

<b>Kilometraje recorrido</b>	
<b>Diagnóstico inicial</b>	<b>Ruidos</b> Si: __ No: __
	<b>Presión del aceite</b>
	<b>Catalizador</b> Si: __ No: __
	<b>Temperatura de operación</b>
	<b>Estado de las bujías</b>

Obtenido de: [66].

Además, se deben considerar aspectos como el estado superficial del motor, si posee catalizador debe estar en perfectas condiciones de operatividad, el sensor de oxígeno debe marcar los parámetros correctamente, verificar si no tienen códigos de avería y verificar el lugar donde se instalará el tanque o depósito del GLP; si el vehículo presenta alguna avería o no da cumplimiento con los requerimientos indicados por la norma NTE INEN 2311 y en la hoja de trabajo, se puede reemplazar cualquier componente defectuoso que afecte a la operatividad del MEP antes de ser convertido a GLP.

### **2.3.1.2. Valoración de la Compresión del MCI**

Consiste en registrar los valores de cada cilindro y determinar la condición interna del MCI empleando el uso de equipos denominados compresómetros. Las lecturas obtenidas de la compresión por cada cilindro son analizadas, los cuales deben mantenerse en el rango del 25 % entre los valores máximos y mínimos evaluados, y ser registrados en la hoja de trabajo.

### **2.3.1.3. Productos de la Combustión Pre-conversión**

Esta prueba indica el valor de las emisiones con el combustible convencional antes de la conversión al sistema GLP, por lo que los resultados de emisiones de los generados por la combustión deben cumplir con los rangos vigentes aplicados a MEP como son las normas NTE INEN 2203, 2204 y 2349 en sus últimas revisiones.

### **2.3.1.4. Hoja de Trabajo General**

Toda la información debe ser registrada en una hoja que contemple todos los aspectos de las revisiones o inspecciones tanto visuales como técnicas, además de adjuntar los datos del taller, propietario del vehículo, inspector que realiza la evaluación e indicar si el vehículo es apto o no para emplear el GLP como combustible ya sea en modo dual o solo GLP. El formato de la hoja de trabajo se observa en el anexo 1 en el cual se puede observar todos los aspectos que el técnico instalador debe evaluar [67]

## **2.3.2. Conversión del Sistema GLP**

Con el vehículo aprobado la inspección técnica, se consideró instalar el kit de conversión de segunda generación; cuyo sistema se instala en motores inyectados con sistema mono o multipunto, posee un emulador que emplea señales de los inyectores permitiendo engañar a la ECU principal para que no indique el testigo de CHECK ENGINE y se evite quemar los inyectores de gasolina. Los componentes que incluyen el sistema de GLP a instalar en vehículos con inyección electrónica deben cumplir con la norma NTE INEN 2310, y cuya instalación debe darse conforme lo indica la norma NTE INEN 2311.

### **2.3.2.1. Determinar la ubicación de los componentes**

Previo a la instalación de los elementos del sistema de conversión se debe verificar el estado y ubicación de los mismo, para ello se realiza una inspección visual de los lugares donde van a ser ubicados cada componente, por lo general la mayoría de los componentes se instalan en el vano

motor por lo que se realiza una verificación de los espacios disponibles. En el caso del reductor, deberá estar ubicado, fijado correctamente por medio de un soporte y protegido de cualquier posible impacto; así mismo el cilindro de GLP deberá estar sobre un soporte fijado directamente a la carrocería.

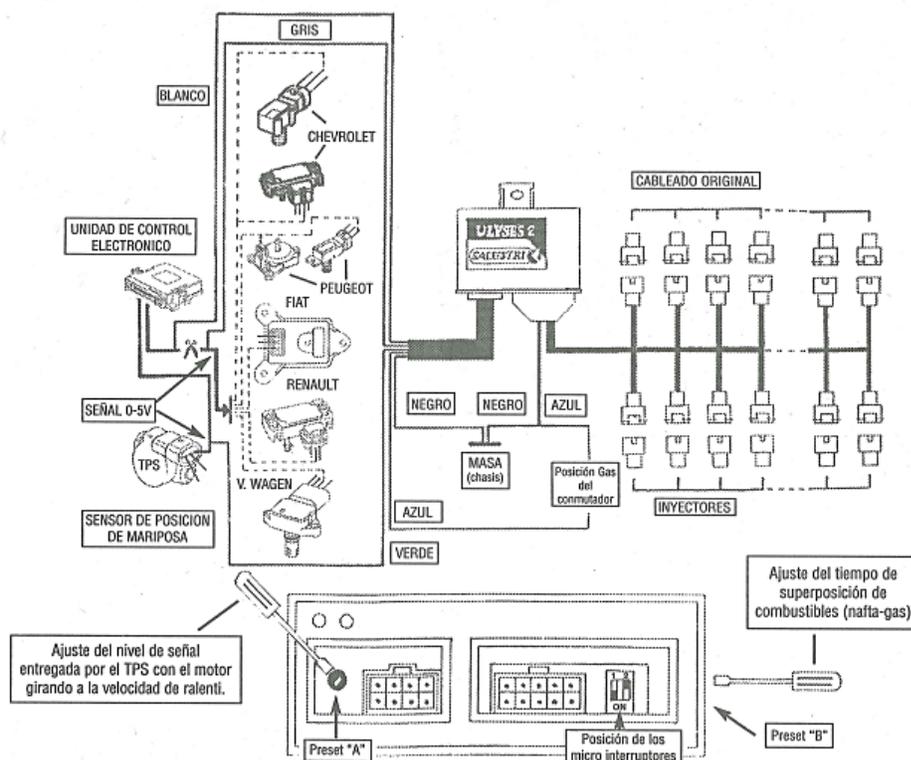
### 2.3.3. Electrónica del Sistema GLP

El kit de conversión se compone de varios componentes que deben ser controlados por medio de una ECM, a su vez todo el sistema debe estar alimentado con una tensión adecuada proporcionada por la batería del vehículo. El esquema de instalación del sistema electrónico del sistema GLP compatible con segunda y tercera generación se representan en la figura 29.

Al ser un sistema secundario, cuando se seleccionada el modo de combustible a GLP los inyectores de gasolina deberán estar desactivados parcialmente lo que ocasionara que la ECU del vehículo detecte dicho actuar y lo reportara con un DTC. Para evitar el reporte de mal funcionamiento, se emplea un dispositivo conocido como emulador el cual permitirá engañar a la ECU del automotor como se indica en la figura 29 (ULYSES), es decir, genera una señal en el que la ECU del automotor interpreta tener ningún fallo en el funcionamiento de los inyectores de gasolina.

**Figura 29**

*Diagrama electrónico del sistema GLP.*



Obtenido de: Autores.

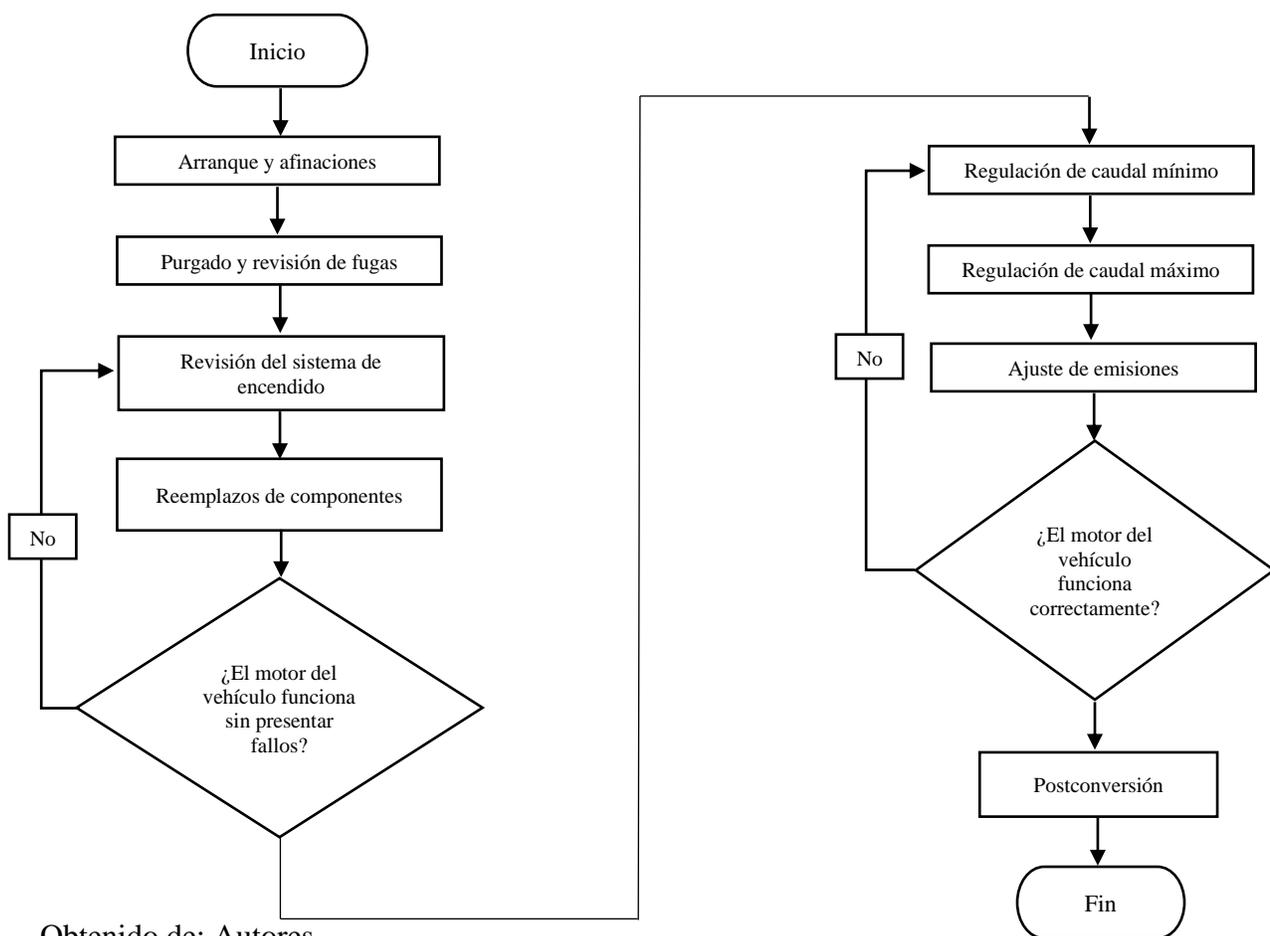
Por lo general, el emulador y la electroválvula suelen ir conectados al mismo conmutador o selector de combustible ya que al momento de seleccionar el modo de GLP la electroválvula dará el paso de gas hacia el reductor y este empezará enviar el gas hacia el mezclador, por ende, se debe desactivar los inyectores de gasolina.

#### 2.3.4. Arranque y Afinaciones del Equipo

Cuando se termina el montaje, se debe presurizar todo el sistema con cualquier gas inerte con el objetivo de detectar y arreglar posibles fugas existentes en el sistema antes de proceder a encenderlo y realizar las afinaciones; el procedimiento que se debe realizar es el mostrado en la figura 30. Se debe verificar si el sistema posee fugas en todas sus uniones, en válvulas, cañerías y mangueras; o también pueden emplearse se emplea dispositivos de detección de gases, como también verificando los datos de presión del sistema si el sistema posee indicadores electrónicos.

**Figura 30**

*Procedimiento de arranque y afinaciones.*



Obtenido de: Autores.

#### 2.3.4.1. Revisión de fugas y purgado del sistema GLP

Antes de encender el MEP usando el GLP como combustible se requiere realizar pruebas de purgado y fugas. El purgado consiste en eliminar el aire en todo el circuito de GLP, para ello se abre la salida del GLP en el tanque, se sitúa el interruptor de encendido en la posición de ON, se activa el modo de combustible de GLP en el conmutador y posteriormente se procede a realizar las revisiones de las posibles fugas.

La prueba de detección de fugas se deberá realizar en todas las uniones y acoples de cada componente instalado especialmente en el circuito o zona de alta presión, se puede emplear la mezcla de agua con jabón como se observa la figura 31, el cual deberá ser colocado en cada unión o a su vez emplear dispositivos detectores de GLP.

#### Figura 31

*Verificación de fugas de GLP.*



Obtenido de: Autores.

#### 2.3.4.2. Ajustes del Sistema de Encendido para GLP

Al realizar las conversiones a sistemas de GLP, se debe tener el sistema de encendido en óptimas condiciones; para ello se verifica el estado de las bujías, de la bobina y del cableado; el estado de las bujías debe estar registrado en las hojas de trabajo y si es necesario se deberán reemplazar previo a la conversión.

Dependiendo del vehículo, en algunos casos es necesario realizar una puesta a punto del sistema de encendido y adelantar el salto de chispa; también se pueden incorporar un variador de avance el cual viene incorporado junto con el emulador de inyectores dependiendo del modelo de este; en vehículos con encendido DIS o COP no es común incorporar un variador de avance al encendido.

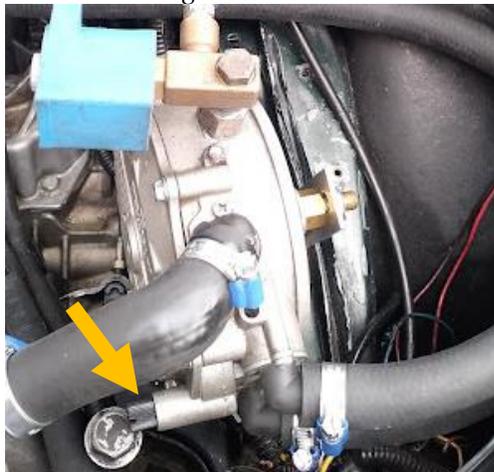
### 2.3.4.3. Ajuste del Caudal Mínimo

Ya realizadas el purgado, la verificación de fugas del sistema de GLP y revisión del sistema de encendido del MEP, se procede con el ajuste del caudal mínimo, para ello se lo hace de la siguiente manera:

- a) Encender el vehículo en modo gasolina.
- b) Esperar que el motor alcance la temperatura optima de operatividad.
- c) Posteriormente, pasar a modo GLP.
- d) Dejar el funcionamiento del motor en ralentí, no deberá superar las 1000 RPM y mantener así hasta realizar el ajuste del caudal.
- e) Se gira el tornillo de regulación mínima ubicado en el reductor (observe la figura 32) hasta lograr el régimen de giro adecuado en ralentí.

**Figura 32**

*Tornillo de regulación de marcha mínima.*



Obtenido de: Autores.

### 2.3.4.4. Ajuste del Caudal Máximo

Para el procedimiento de regular el caudal máximo, se realizó la regulación directamente desde el tornillo regulación el cual está ubicado en la salida del reductor (observe la figura 33) y que permite realizar el ajuste correspondiente.

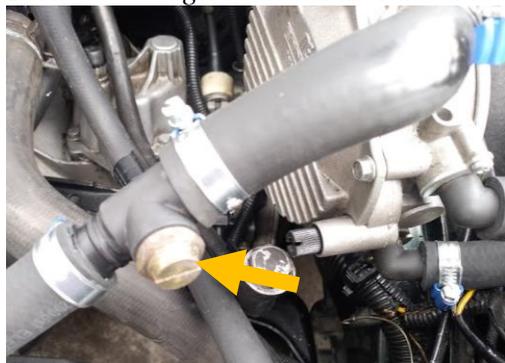
El procedimiento para la regulación del caudal máximo se ejecuta con los siguientes pasos:

- a) El MCI debe estar trabajando en la temperatura normal de operación funcionando con el sistema de combustible a gasolina.
- b) Activar y pasar al sistema de GLP.

- c) Subir las revoluciones entre 2500 a 3000 rpm, y sostener la posición durante la operación de regulación.
- d) Girar el tornillo de regulación máxima para lograr un aumento de las RPM del MEP.
- e) Seguir rotando el tornillo, las rpm seguirán aumentando hasta llegar al punto donde descenderán, esto indicará que el caudal ha sido regulado.
- f) Encontrado el punto del caudal máximo, y fijar la posición.

**Figura 33.**

*Tornillo de regulación de marcha alta.*



Obtenido de: Autores.

En caso de tener aceleraciones repentinas en cualquiera de las tres regulaciones, sin haber modificado la condición del caudal, se debe bajar las RPM accionando la mariposa de aceleración y mantener el rango de RPM de cada caso. Posteriormente se volverá a realizar los ajustes de marcha mínima y máxima.

#### **2.3.4.5. Ajuste de Emisiones en Marcha y Mezcla Mínima**

Se realiza la medición de gases contaminantes emitidos usando el GLP como combustible, se utiliza cualquier analizador de emisiones que represente como mínimo los valores de CO y HC; dichos valores deben dar cumplimiento a los límites indicados en la norma técnica NTE INEN 2204 o en la tabla 11.

#### **2.3.5. Verificación Postconversión del Sistema GLP**

Posteriormente al arranque del sistema GLP, se debe desarrollar una inspección del MCI a los 1500 kilómetros de recorrido o a los 15 días de funcionamiento, dicha revisión debe incluir:

- a) Revisión del motor, sus características, desempeño, tiempo y mezcla de combustible.
- b) Revisar la integridad del sistema todo el circuito por donde circula el GLP, revisar el ajuste del tanque de GLP, posicionamiento del riel de inyectores y del evaporador.

- c) Revisión del estado de las bujías y si es necesario reemplazarlas sea por su condición o si el rango de temperatura lo especifique.
- d) Revisión de compresión en cada uno de los cilindros, los valores deben ser los mismos registrados en la hoja de trabajo de preconversión.
- e) Revisión del sistema de refrigeración, el estado de los componentes, estado y nivel del refrigerante.
- f) Revisión del aceite lubricante del MCI, el estado y nivel del mismo.

Posteriormente a la revisión de 1500 km o dos semanas de funcionamiento con el sistema de GLP, se recomienda realizar los mantenimientos preventivos cada 20000 kilómetros, donde se revisará y verificará el funcionamiento de cada componente como también de la existencia de fugas.

#### **2.4. Prueba de Potencia y Par Motor**

Las pruebas realizadas a motores de vehículos se deben basar en un método y por tanto en una normativa. La norma ISO-1585 establece un procedimiento diseñado para especificar las curvas de torque o par motor, potencia y consumo específico en pleno funcionamiento con respecto a las RPM del MCI. A su vez, la norma ISO-1585 [68] menciona: “Para estandarizar los resultados obtenidos en cualquier zona geográfica, es necesario aplicar factores de corrección a los valores registrados por el dinamómetro”.

Para obtener los valores reales del potencia y torque, se debe aplicar la ecuación 4, la cual es el producto entre el factor de corrección y los valores registrados promediados de las pruebas realizadas tanto para la gasolina y GLP.

$$P_R = F_C * P$$

**Ecuación 2**

Obtención de potencia aplicando el factor de corrección

Donde:

$P_R$  = Potencia real expreso en HP.

$F_C$  = Factor de corrección (adimensional).

$P$  = Potencia obtenida del dinamómetro en HP.

En la anterior formula, el factor de corrección se calcula con la ecuación 3.

$$F_C = A^{1,2} * B^{0,5}$$

**Ecuación 3**

Determinación del factor de corrección

Donde:

$F_c$  = Factor de corrección (adimensional).

$A^{1,2}$  = Relación resultante de la división entre la presión barométrica y 99.

$B^{0,5}$  = Relación de la temperatura ambiente entre 298.

Para el desarrollo de las pruebas en el dinamómetro, previamente se deberá preparar al equipo y los elementos requeridos tanto de seguridad, posición y anclaje del vehículo como se aprecia en la figura 34. La serie de pasos que se empleó fue:

- a) Se registra los datos del automotor y del propietario.
- b) Ubicar el vehículo sobre los rodillos según el tipo de tracción y verificar el posicionamiento de las ruedas motrices en los rodillos.
- c) Preparación del equipo, retirar las protecciones y conectar el equipo a la fuente de electricidad y encender el computador.
- d) Si el vehículo no dispone de un indicador de RPM, se incorpora un contador de RPM externo.
- e) Realizar el anclaje del vehículo, colocar bloques de seguridad en los neumáticos que no estén sobre los rodillos.
- f) Accionar el freno de mano, se bloquea el pedal del freno con el fin de evitar el frenado involuntario.
- g) Ubicación de ventilador al frente del automotor, con la finalidad de proveer la corriente de aire necesaria para evitar sobrecalentamiento del motor.
- h) Indicaciones a la persona que estará en el vehículo, revoluciones a alcanzar y cambios de velocidades.
- i) Ejecución de prueba test hasta 4000 RPM, necesario para obtener el registro correcto de las RPM.
- j) Una vez realizada la calibración del dinamo, se ejecuta las pruebas hasta 5000 RPM.
- k) Al alcanzar las RPM establecidas, se deberá poner en marcha neutro el vehículo y esperar a que los neumáticos dejen de girar.
- l) Entrega de resultados.

Para el registro de los resultados de par motor o torque y potencia empleando el GLP para el funcionamiento del MEP se debe repetir desde los literales **g** hasta el **l**.

**Figura 34**

*Prueba en el dinamómetro.*



Obtenido de: Autores.

**2.5. Prueba de Emisiones**

Empleando el analizador de emisiones de la marca Brain Bee, se realizó la valoración y registro de los gases de escape de CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y CO, representados en “% vol” y los HC no combustionados se mide en “ppm vol”. Previo a la ejecución de la prueba, el equipo debe configurarse para la medición de gases sea con gasolina o con GLP.

**2.5.1. Proceso para la Medición de Gases**

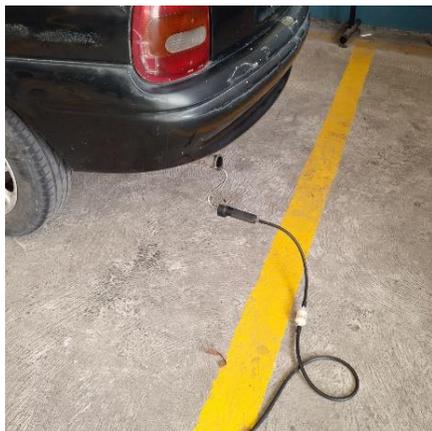
El proceso para la medición o análisis de gases usando la gasolina y GLP, se encuentra registrado y establecido en la norma NTE INEN 2203: 2013, a su vez se consideran los valores para emisiones de gases de escape para MEP registrados en la norma NTE INEN 2204:2017 y descritos en el literal 6.1.1 el cual menciona que la prueba debe realizarse en bajas rpm o en ralentí y a temperatura de trabajo normal del MCI, tanto para la gasolina como para el GLP, a su vez también se consideró realizar la medición de gases en 2500 RPM.

El procedimiento debe ser el mismo en ambos casos, se empezó con la medición de gases utilizando el combustible convencional o gasolina extra y luego con el GLP; al cambiar de modo de combustible, se debe esperar un periodo de tiempo de al menos 10 minutos para realizar la prueba con empleando el GLP como combustible con la finalidad de que cualquier residuo de la gasolina se haya quemado completamente y no afecten a los valores que se registrarán posteriormente con el GLP y además, se debe seleccionar el modo de medición de gases con GLP en el equipo.

En la figura 35, se puede apreciar la sonda de prueba colocada en el tubo de escape del vehículo, en cada prueba con diferente combustible se recomienda realizar una limpieza a la sonda antes de empezar a realizar el registro de resultados.

**Figura 35.**

*Prueba de emisiones.*



Obtenido de: Autores.

El registro de las mediciones se desarrolló en dos diferentes regímenes; 850 y 2500 RPM, en cada régimen se efectuó tres repeticiones con el fin de obtener datos congruentes y evitar falsas lecturas, para el registro de los datos de emisiones con GLP, el equipo fue configurado con la opción de medición en GLP.

## **2.6. Selección de Rutas**

Para las selecciones de rutas de prueba de consumo se tomó en cuenta las recomendaciones de las investigaciones como la [69] y [70], en la que determinan la selección de rutas que interconectan los principales puntos estratégicos de la ciudad de Ibarra, considerando a las vías con uso más común de vehículos de uso particular y del sector público, como taxis o buses. Las rutas seleccionadas cumplen con la reglamentación dictada en la UE 2017/1151 indicada en la tabla 27, debido a los diferentes datos que se deben recolectar durante las diferentes pruebas reales en carretera, como límites de velocidad y tiempos en los cuales el vehículo no está en movimiento dentro del área urbana. A su vez, se seleccionan vías de mayor influencia vehicular que represente un recorrido regular y que deben cruzar de sentido Norte - Sur, y de Este - Oeste e inversamente. Los ciclos de conducción como el FT75 o NEDC no son aplicables ya que corresponden a ensayos en modo estático realizadas en un dinamómetro. Para el ciclo WLTP los ensayos RDE son un complemento el cual permite la homologación de los vehículos que dan cumplimiento a la

normativa EURO 6 en territorio europeo [70]. Sin embargo, el ciclo WLTP sigue siendo una prueba estática, por lo que no será considerada en el desarrollo del recorrido de las rutas en este proyecto de investigación.

**Tabla 27**

*Requerimientos para la selección de rutas.*

Parámetros	Condiciones		
	Urbana	Rural	Autopista
<b>Tipología de la ruta</b>	Urbana	Rural	Autopista
<b>% del total de trayecto.</b>	~34 % (Nunca menor al 29 % de la distancia total del recorrido).	~33%	~33%
<b>Velocidad media (Se incluye paradas).</b>	15 - 40 km/h	60 - 90 km/h	Mayor a 90 km/h
<b>Distancia mínima de recorrido.</b>	16 km como mínimo por cada trayecto.		
<b>Carga</b>	Hasta el 90% del peso máximo del vehículo.		
<b>Duración total del recorrido.</b>	Duración mínima de 90 minutos y máximo de 120 minutos		
<b>Diferencia de altura.</b>	No habrá diferencia superior a 100m de altura desde el punto inicial al final de la ruta.		
<b>% de paradas.</b>	Del 6% al 30% del total del trayecto de la ruta urbana.		

Obtenido de: [71]

Se seleccionaron tres tipos de vías; rural, urbana y autopista en la ciudad de Ibarra teniendo en cuenta que el recorrido debe iniciar y terminar en un mismo punto. Para la selección de las rutas de ensayo y dar cumplimiento a la diferencia de altura de máximo 100 m; iniciando y llegando al mismo punto, la UE 2017/1151 establece las siguientes exigencias que se representan en la tabla 27 para realizar los ensayos RDE, donde la velocidad también es importante considerar en cada una de las rutas.

Además, se emplean equipos para la adquisición de datos, como es el GPS GL-770 antes mencionado en la sección 2.2.9, con los cuales pueden registrar los diferentes datos para posteriormente procesarlos en cualquier software. El formato de los archivos que entregan estos dispositivos son el CVS, además el GPS entrega el formato KML para observar la ruta y su elevación en el software de “Google Earth”.

### **2.6.1. Ruta Urbana**

La ruta urbana seleccionada comprende las vías que tienen mayor afluencia y cantidad de tráfico y que conecta a diferentes parroquias urbanas de Ibarra. En la figura 36 se indica un recorrido ya

establecido para el ensayo del trayecto tipo urbano en la ciudad de Ibarra, donde se puede observar que la ruta pasa por sectores como El Olivo, La Victoria, Cruz Verde, Centro de Ibarra, Colinas de Ibarra, Pílanquí, Yacucalle y finaliza el recorrido en el Sector de Caranqui, intersección de Avenida El Retorno (Sector Los Ceibos) y en la Calle Nazacota Puento. Estas vías están determinadas por atravesar zonas comerciales, unidades educativas, identidades financieras, iglesias, zonas verdes, instituciones públicas y de servicio. A su vez, el rango de velocidad a cumplir es el mismo permitido por la carretera.

**Figura 36**  
*Ruta urbana seleccionada.*



Obtenido de: [72]

### 2.6.2. Ruta Rural

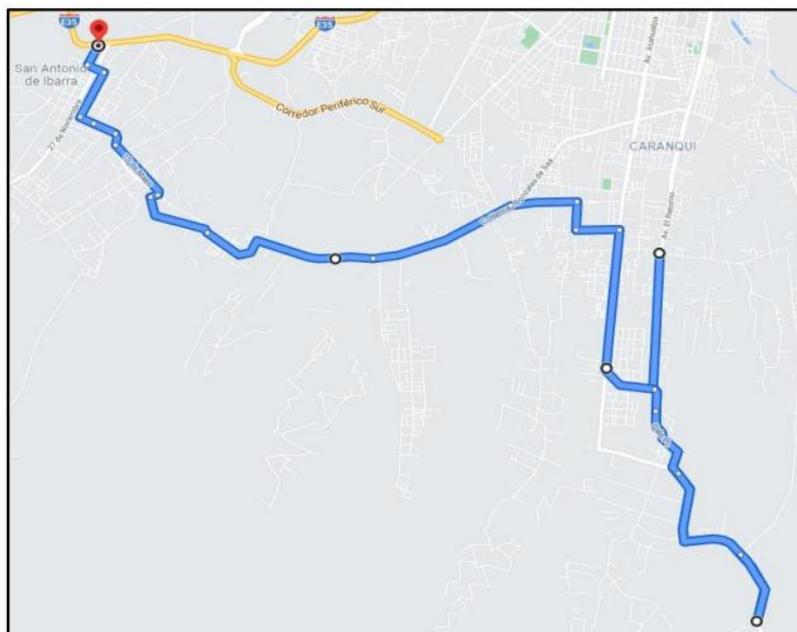
La ruta seleccionada para el ensayo en puntos rurales recorre la parte sur de la urbe de Ibarra, iniciando desde la parroquia “San Francisco” en la Av. El retorno, realizando un recorrido hacia la parroquia la Esperanza y finalizando en la parroquia “San Antonio”, en la siguiente figura 37 se indica el trayecto rural establecido para el desarrollo de la prueba, empezando desde el punto final de la ruta urbana.

Esta ruta atraviesa parroquias rurales del cantón Ibarra, siendo la parroquia La esperanza y de San Antonio más cercano al sector urbano de la ciudad lo cual permite conectar con la ruta urbana

junto con la rural. La velocidad que se debe considerar en esta ruta esta entre los 60 km/h a 90 km/h, sin embargo, se considera que existirá tramos en los que la velocidad se encontrará limitada a los 50 km/h especialmente en la zona de la parroquia de “La Esperanza” hasta el sector del cuartel militar.

### Figura 37.

*Ruta rural seleccionada.*

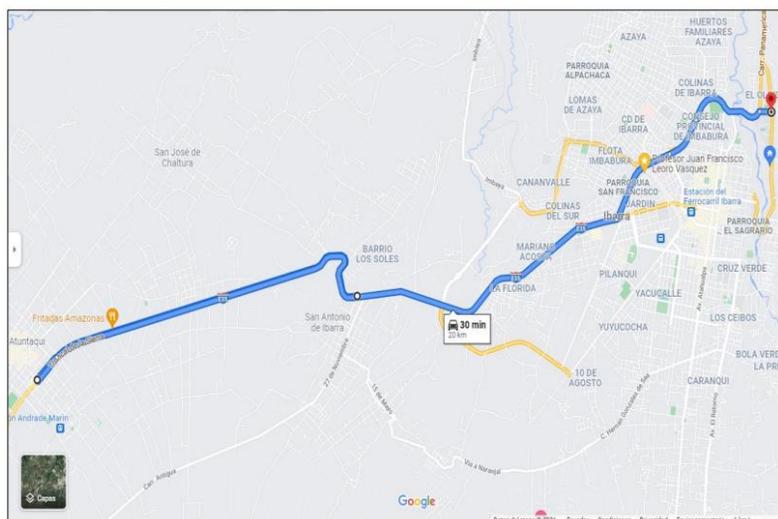


Obtenido de: [72]

#### 2.6.3. Ruta Autopista

Para la sección de la ruta de autopista, se debe considerar los requerimientos establecidos por el UE 2017/1151, en especial cumpliendo la distancia la cual está establecida al 33%. La autopista que se toma en cuenta es la panamericana E35 debido a su afluencia vehicular y permite conectar a sectores urbanos como rurales, así como con otros cantones. En la siguiente figura 38 se observa la tura establecida para autopista. De igual manera, se establece un límite mínimo de velocidad el cual será de 90 km/h.

La ruta de autopista se ha establecido con dos sentidos, Norte-Sur empezando desde la calle Antonio José de Sucre en San Antonio de Ibarra hasta el puente a desnivel en Atuntaqui. El trayecto Sur-Norte, está comprendido desde el puente de desnivel en Atuntaqui hasta finalizar en el Campos de la UTN en el sector El Olivo. Es el tramo que menor tiempo se hará a diferencia de las otras rutas presentadas, debido a la velocidad y a la tipología de la ruta.

**Figura 38***Ruta de autopista seleccionada.*

Obtenido de: [72]

**2.7. Cálculo de Consumo de Combustible**

Es la correlación que existe entre la potencia necesaria para mover el vehículo desde un punto A hacia el punto B en la que influyen distintas variables que se oponen al movimiento del vehículo, la velocidad, el tiempo de recorrido y el poder calorífico del combustible usado. El consumo depende de algunas variables relacionadas al motor, como el rendimiento térmico y volumétrico de la combustión, es decir si la relación de compresión es mayor, el rendimiento térmico tiende a aumentar [73]. Algunos de los agentes que afectan al consumo de combustible es el motor, fuerzas internas de resistencias (transmisión, diferencial, motor), y fuerzas de resistencias externas. Las variables que afectan al consumo se pueden observar en la tabla 28.

**Tabla 28.***Variables que afectan al consumo de combustible.*

Variables	Unidad	Variables	Unidad
Consumo de distancia	g/m	Tiempo	s
Consumo específico de combustible	g/kWh	Velocidad de conducción	m/s
Masa bruta del automotor	kg	Aceleración	m/s <sup>2</sup>
Área frontal del automotor	m <sup>2</sup>	Resistencia de frenado	N
Coefficiente de resistencia a la rodadura ( $f_{rr}$ )	-	Eficiencia de la transmisión	-
Coefficiente de arrastre o drag ( $C_x$ )	-	Densidad del aire	kg/m <sup>3</sup>
Aceleración gravitacional	m/s <sup>2</sup>	Angulo de gradiente	°

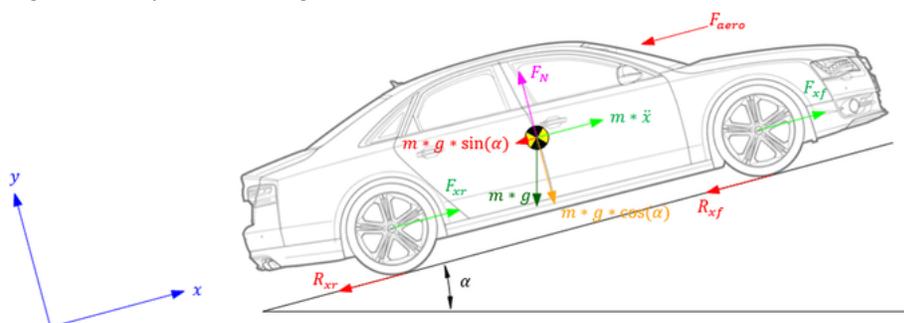
Obtenido de: [74]

### 2.7.1. Dinámica Longitudinal

Sobre el vehículo actúan fuerzas externas longitudinales que influyen directamente en el desempeño del vehículo en el cual influyen diferentes variables como es la gravedad, peso, la forma del automóvil, velocidad y la inclinación de la carretera, se pueden observar en la figura 39 como actúan sobre el vehículo; además se incluyen las variables indicadas en la tabla 28, algunas de estas variables deben ajustarse a la localidad en donde se realiza la prueba.

**Figura 39**

Diagrama de fuerzas longitudinales.



Obtenido de: [75]

En la figura 43 se muestra las diferentes fuerzas externas que influyen sobre el vehículo las cuales debe superar para poder salir del estado de reposo; aplicando la 2ª ley de Newton, el total de la fuerza de tracción a superarse es la suma de todas las fuerzas que se describen a continuación:

- a) Resistencia aerodinámica: Es la fuerza que se contrapone al movimiento del automotor, depende directamente de la densidad del aire, la velocidad y la superficie delantera del automóvil, se puede expresar con la siguiente formula:

$$F_{aero} = \frac{1}{2} * \rho * A_F * C_x * v^2 [N]$$

#### Ecuación 4

Fórmula para calcular la resistencia aerodinámica

Donde:

$\rho$  = Densidad del aire en  $\text{kg/m}^3$ .

$A_F$  = Área o superficie frontal del automóvil en  $\text{m}^2$ .

$C_x$  = Coeficiente de Drag (adimensional).

$v$  = Velocidad del automóvil en  $\text{m/s}$

El área frontal del vehículo se la puede calcular con la siguiente formula:

$$A_F = a * b * k_f [m^2]$$

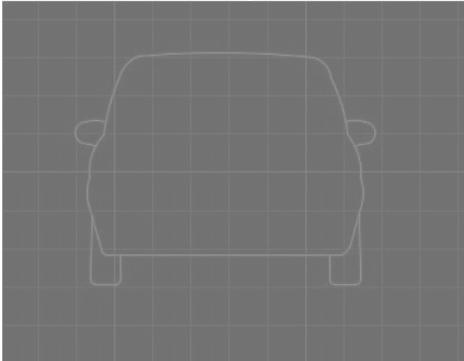
**Ecuación 5**

Fórmula para determinar el área frontal del vehículo

Donde:

 $a$  = Altura del vehículo en m. $b$  = Ancho del automóvil en m. $k_f$  = Superficie frontal efectiva (adimensional).

El  $k_f$  se determinó mediante un programa CAD, consiste en replicar el perfil del vehículo como se indica en la figura 40. El software proporciona el dato de la superficie frontal efectiva o espacio ocupado por el perfil graficado.

**Figura 40.***Determinación de  $k_f$  mediante autocad.*

Obtenido de: Autores.

- b) Resistencia a la rodadura: Es una fuerza que se manifiesta en sentido opuesto al movimiento generado por los neumáticos, dicha fuerza es proporcional al peso soportado por todos los neumáticos del vehículo y se expresa de la siguiente manera:

$$F_{rod} = m * g * f_{RR} * \cos(\alpha) [N]$$

**Ecuación 6**

Fórmula para calcular la resistencia a la rodadura

Donde:

 $m$  = Peso del automotor en kg. $g$  = Gravedad en  $m/s^2$ . $f_{RR}$  = Coeficiente de rozamiento (adimensional). $\alpha$  = Ángulo de pendiente.

- c) Resistencia a la pendiente: Fuerza que se presenta cuando el vehículo circula por una elevación, se expresa de la siguiente forma:

$$F_{pe} = m * g * \sin(\alpha) [N]$$

**Ecuación 7**

Fórmula para calcular la resistencia a la pendiente

Donde:

 $m$  = Peso del vehículo en kg. $g$  = Gravedad en  $m/s^2$ . $\alpha$  = Ángulo de pendiente.

- d) Resistencia por aceleración de masas: Fuerza que se produce al acelerar o frenar debido a la inercia de la masa del automotor, se expresa con la siguiente formula:

$$F_{al} = m * a [N]$$

**Ecuación 8**

Fórmula para calcular la resistencia por aceleración de masas

Donde:

 $m$  = Peso del automóvil en kg. $a$  = Aceleración del automóvil en  $m/s^2$ **2.7.2. Consumo**

El valor del consumo se puede expresar calcular con la siguiente formula:

$$Consumo = \frac{P_{necesaria} * \Delta t}{\eta_{motor} * H_v}$$

**Ecuación 9**

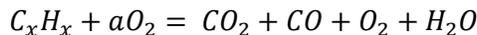
Fórmula para calcular el consumo de combustible teórico

Donde:

 $Consumo$  = Expresado en litros (l). $P_{necesaria}$  = Potencia necesaria del motor expresado en kW. $\Delta t$  = Tiempo en recorrer cierta distancia expresado en h. $\eta_{motor}$  = Eficiencia del MCI expresado en %. $H_v$  = Energía disponible (Poder calorífico) por litro expresado en MJ/l.**2.8. Determinación del factor de emisiones.****2.8.1. Huella de Carbono**

La huella de carbono se considera como el indicador de la cantidad de emisiones contaminantes que en este caso se producen por los vehículos en su actividad diaria. Este indicador determina el impacto generado por la generación de CO<sub>2</sub> y CO. Para determinar y calcular el valor de la huella de carbono de un automóvil, se utiliza las ecuaciones 10, 11 y 12, y se utilizan los valores obtenidos promediados de las cuatro pruebas de medición de emisiones de escape tanto de gasolina como

para GLP. En la ecuación estequiométrica de la combustión en la cual se introduce los valores obtenidos en las pruebas de emisiones:



**Ecuación 10**

*Ecuación estequiométrica de la combustión*

Para determinar la huella de carbono con respecto al CO<sub>2</sub>:

$$\frac{kgCO_2}{kgComb} = \frac{44 \frac{kgCO_2}{mol} * x molCO_2}{Peso Comb \frac{kgComb}{mol} * 1 molComb} \left[ \frac{kg CO_2}{kg de combustible} \right]$$

**Ecuación 11**

*Huella de carbono para CO<sub>2</sub>*

Para determinar la huella de carbono con respecto al CO:

$$\frac{kgCO}{kgComb} = \frac{44 \frac{kgCO}{mol} * x molCO}{Peso Comb \frac{kgComb}{mol} * 1 molComb} \left[ \frac{kg CO}{kg de combustible} \right]$$

**Ecuación 12**

*Huella de carbono para CO*

### 2.8.2. Determinación de las cantidades de emisiones producidas

A partir de los resultados de la huella de carbono los cuales se expresan en CO<sub>2</sub>/kg y CO/kg, se puede determinar la cantidad de emisiones emitidas por kilómetro en el cual se utiliza los datos del consumo por kilómetro y el valor de la huella de carbono como se muestra en la fórmula 12, expresando el resultado en CO<sub>2</sub>/km y CO/km.

$$Emisiones producidas = Consumo * huella de carbono$$

**Ecuación 13**

*Determinación de la cantidad de emisiones producidas por kilómetro*

## CAPÍTULO III

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1. Registros Obtenidos en la Preconversión

##### 3.1.1. Medición de Compresión

Los valores obtenidos de la compresión en cada cilindro se indican en la tabla 29, esta prueba se realiza para comprobar el estado del MEP y el funcionamiento de este sea el correcto cuando se emplea GLP como combustible principal.

**Tabla 29.**

*Valores de compresión del MEP.*

Valor de compresión en cada cilindro				
1	2	3	4	Unidad
130	130	130	135	psi

Obtenido de: Autores.

De acuerdo a la tabla 29, los resultados obtenidos no presentan una diferencia del 25% como lo dicta la norma NTE INEN 2311 en el literal 5.1.1.1, también muestra el buen estado del motor por lo que cumple con un requisito correspondiente al diagnóstico inicial, además estos valores deben ser registrados en la hoja de trabajo.

##### 3.1.2. Registro de información en la hoja de trabajo

La hoja de trabajo es necesaria para registrar los datos y algunos valores referentes al motor. Esta información sirve para evaluar al vehículo en el que va a ser instalado el sistema de conversión a GLP y además se seleccionar el correcto kit; en este caso de acuerdo con la hoja de trabajo se seleccionó un sistema de segunda generación de acuerdo con las características del vehículo, sus sistemas auxiliares y compatibilidad con el motor. En la figura 41, se puede apreciar la aprobación del técnico que realizará la instalación, la hoja de trabajo completa se puede observar en el anexo 1.

**Figura 41**

*Aprobación de la conversión.*

RESOLUCIÓN DEL PERITAJE DE PRE-CONVERSIÓN			
Automotor autorizado	✓	Automotor negado	
Sugerencias de arreglos o restauraciones.	N.A.		
Encargado de la inspección y test.	Tec. Iván Segura (Sambo Gas - Quito)		
Data	25/05/2024	Visto Bueno	✓

Obtenido de: Autores.

### 3.2. Instalación del kit de conversión a GLP

Una vez aprobada la hoja de trabajo y seleccionado el sistema de GLP, se procede a realizar la instalación del sistema a GLP considerando a normativa NTE INEN 2310 y 2311, y emplear los diagramas eléctricos compatibles y adecuados para el tipo de sistema seleccionado.

#### 3.2.1. Ubicación de los Componentes

Previo a la instalación de los componentes, se realizó una verificación del espacio en el vano motor con la finalidad de determinar en qué zonas se van a colocar los diferentes componentes del sistema de GLP, es así como se puede observar en la tabla 30 las zonas donde serán instalados cada elemento.

**Tabla 30**

*Disposición de componentes.*

Posición de dispositivos del sistema de GLP		
Vano motor	Habitáculo	Maletero
Reductor/Vaporizador	Conmutador	Cilindro de GLP
Electroválvula	Manguera de alta presión	Multiválvula
Emulador de inyección		Cámara hermética
Mezclador		
Mangueras para toma de líquido refrigerante		
Manguera de baja presión		
Filtro de GLP		

Obtenido de: Autores.

#### 3.2.2. Instalación del Tanque de GLP

El cilindro para el almacenaje de GLP usado como combustible para vehículos debe estar diseñado según lo establecido por el código ASME para tanques en posición horizontal y la NTE INEN 2261, y para su colocación en el vehículo debe cumplir con los siguientes aspectos.

- Determinar la ubicación de instalación: Se debe seleccionar una ubicación que sea segura y permita tener accesibilidad para la instalación del depósito y de sus accesorios. Para ello el depósito debe estar protegido de cualquier daño eventual, sea por colisiones o golpes y que no produzca molestias durante la circulación del automotor.

El tanque solo se ubicará en el piso interior del maletero, y alejado como mínimo 20 cm del sistema de escape de gases de la manera observada en la figura 42; si no se cumple este requerimiento se colocará algún material aislante al calor. No se permite ubicar el tanque por debajo del chasis y sus accesorios como las multiválvulas no deben sobresalir por ninguna parte del automotor (techo, piso o partes laterales).

**Figura 42**

*Ubicación del tanque de GLP.*



Obtenido de: Autores.

- b) Soportes del tanque: Se lo montará con sus respectivos anclajes o soportes adecuados según el tipo de tanque, depósito o cilindro de GLP; en este caso es un cilindro horizontal por lo tanto los soportes deben ir de acuerdo a la estructura del cilindro como se observa en la figura 43. Dichos soportes deben resistir una carga mínima de cuatro veces el peso del cilindro completamente lleno. Además, el lugar en el que se fija los pernos de sujeción deberá aportar una óptima rigidez para formar un solo conjunto con la carrocería, se puede usar platinas para reforzar dicha zona. Se debe considerar alejar el tanque de cualquier zona en el que se encuentren radiotransmisores, cualquier equipo eléctrico que produzca chispas o altas temperaturas y tener la ventilación adecuada hacia el exterior del automóvil.

**Figura 43**

*Soportes del cilindro de GLP.*



Obtenido de: Autores.

- c) Asegurarse que el tanque de GLP se encuentre en el lugar correcto, estar nivelado y ubicado de tal modo que la multiválvulas se encuentre correctamente posicionado, no debe tener rotación ni deslizamientos, tener un elemento aislante de vibraciones y tener su identificación con información del tanque, se puede posicionar el tanque a 15° a 25° con tal finalidad de observar el medidor que indica la cantidad de gas en las multiválvulas.

En la figura 44 se contempla el posicionamiento e instalación del cilindro de GLP automotriz, su respectiva placa informativa, su soporte, cámara hermética de la multiválvulas, la manguera de evacuación de gases y su posicionamiento en 25°, además su sujeción debe estar hecha directamente a la carrocería del automotor con pernos de alta resistencia, en este caso se utilizó pernos de acero M8 que cumplen con la norma ASTM-B18.2.1. Por otra parte, se emplea la señalética correspondiente al GLP.

**Figura 44.**

*Instalación del cilindro de GLP.*



Obtenido de: Autores.

**3.2.3. Instalación de Multiválvulas**

Estos componentes se adaptan al tanque de GLP, cumplen varias funciones como son: permitir recargar el tanque, dejar salir el gas cuando se requiera, bloquear la salida del gas en circunstancias de mal funcionamiento o accidentes, indicar la cantidad de GLP en el cilindro y tener la válvula de cierre o corte de manipulación manual; también conocida como válvula de servicio. Deben ser inspeccionados y asegurar su correcta instalación para evitar fugas y tengan la condición óptima de funcionamiento.

Estos accesorios y sus conexiones deben estar encerrados en una estructura hermética como se puede observar en la figura 45, al igual que el tanque debe estar alejado de radiotransmisores, elementos que produzcan chispas y poseer ventilación al exterior del automotor.

Para recargar el tanque de GLP, se coloca un plug en la carrocería del vehículo, normalmente junto al orificio de repostar el combustible común. Se conecta el plug hacia la válvula de llenado del tanque a través de una cañería o manguera.

### **Figura 45**

*Multiválvulas del cilindro.*



Obtenido de: Autores.

#### **3.2.4. Instalación de las Líneas de Combustible**

Se debe considerar que el sistema de GLP posee dos líneas de combustible, el circuito o zonas con alta y baja presión. El circuito o zona con alta presión empieza en la multiválvula localizada en el cilindro que almacena el GLP, finalizando en el reductor, evaporador o regulador de presión. La tubería correspondiente a alta presión deberá estar correctamente fijada en el acople de salida del gas en la multiválvula con su debida protección, posteriormente llega a la electroválvula la cual permite el paso hacia el evaporador.

En el circuito de alta presión se pueden emplear cañerías de cobre sin costura o mangueras que soporten presiones de mínimo 861,85 kPa, en este caso se empleó mangueras hidráulicas (observe la figura 46), las cuales son diseñadas para soportar altas presiones y se recomienda ir protegidas con alguna cubierta en zonas de posibles golpes o de fricción; se debe evitar el contacto con partes filosas de la carrocería o móviles del vehículo, mantener la distancia mínima de 20 cm alejado del tubo de escape; además no deben estar instaladas por debajo de la carrocería del vehículo sino en el costado interior del habitáculo así como se aprecia en la figura 46.

Los accesorios utilizados para la unión de acoples para la sujeción de la manguera con el reductor son los conectores tipo recto y acoples hidráulicos machos tipo NPT los cuales deben estar prensadas y sujetadas a la manguera. En cada punto de unión y sujeción se debe verificar las posibles fugas de GLP.

**Figura 46**  
*Manguera de alta presión.*



Obtenido de: Autores.

El circuito de baja presión empieza en la salida del evaporador y termina en el mezclador ubicado antes del cuerpo de aceleración en el sistema de admisión como se puede apreciar en la figura 47, el GLP puede ser filtrado nuevamente en esta zona de baja presión o también conocida como fase gaseosa. Para todas las líneas de combustible GLP deben estar ubicadas alejadas como mínimo 10 cm del sistema de salida de gases del motor y deberán estar firmemente sujetadas, evitar dobleces en ángulos agudos, usar sellantes y abrazaderas en uniones roscadas para evitar fugas. Si se usan otro tipo de tuberías y mangueras, deberán dar cumplimiento con las condiciones impuestas en la norma NTE INEN 2310. Por otro lado, a los primeros 1500 km recorridos se deberá realizar la verificación de posibles fugas y realizar ajustes en abrazaderas y uniones; esto debido a que la manguera se deforma y se expande generando posibles aberturas en cada unión especialmente en la salida del reductor, del filtro y en el ingreso al mezclador.

**Figura 47.** *Circuito de baja presión de GLP.*



Obtenido de: Autores.

### 3.2.5. *Instalación del Filtro de GLP*

El filtro para GLP se puede ubicar en medio de la multiválvula del tanque de GLP y el evaporador o también entre el evaporador y el mezclador como se puede observar en la figura 48, se emplea para detener y filtrar fragmentos de un tamaño superior a 50 micras y debe soportar la presión de operatividad de 304, 58 kPa como mínimo para el circuito de baja presión. El filtro no deberá presentar daños o deformidades, ser fijado correctamente y no debe afectarse o sufrir daños cuando entre en contacto con el GLP.

#### **Figura 48**

*Filtro de GLP.*



Obtenido de: Autores.

### 3.2.6. *Instalación del Evaporador – Reductor*

La selección del evaporador es importante ya que se lo elige de acuerdo al consumo, cilindrada y potencia del MEP, para la instalación del evaporador deben considerarse algunos aspectos de seguridad y de configuración que cada empresa fabricante proporciona, por lo general es de acuerdo con la actividad que realiza el vehículo. Este evaporador posee una electroválvula que controla y regula el paso del GLP, el reductor en su interior contiene dos diafragmas; uno que regula la presión para el circuito de baja presión (1ra fase) y otra que controla el paso del gas cuando el motor se encuentra en funcionamiento (2da fase).

Para ser instalado el evaporador/regulador se debe determinar la mejor ubicación posible en el interior del compartimiento del MCI, se debe instalar lejos del sistema de escape u otra fuente de calor o al menos una distancia mínima de 40 cm, y por debajo del límite inferior del refrigerante en el depósito o en el radiador conforme se aprecia en la figura 49. La posición del evaporador debe permitir la visualización del manómetro de presión si el modelo lo posee y debe quedar en

posicionamiento vertical - paralela con respecto al eje longitudinal del automóvil, además debe permitir el acceso al tornillo de regulación de marcha mínima.

#### **Figura 49**

*Ubicación del reductor de GLP.*



Obtenido de: Autores.

Además, debe estar instalado en un punto que permita evitar posibles impactos fuertes provocados por accidentes generalmente es instalado en uno de los laterales de compartimiento del motor como se aprecia en la figura 50, se lo colocará en un soporte o alguna platina para su correcta sujeción y se posicionará a una distancia mínima de 15cm de la parte posterior o anterior del compartimiento del motor. Al instalar las mangueras tanto para el circuito de fase gaseosa y de la toma del líquido refrigerante, se debe tener el cuidado correspondiente debido a que las uniones en el reductor son de material plástico y un exceso de presión o sujeción pueden romperse o sufrir fisuras provocando posibles fugas de GLP y del líquido refrigerante.

#### **Figura 50**

*Reductor de GLP instalado.*



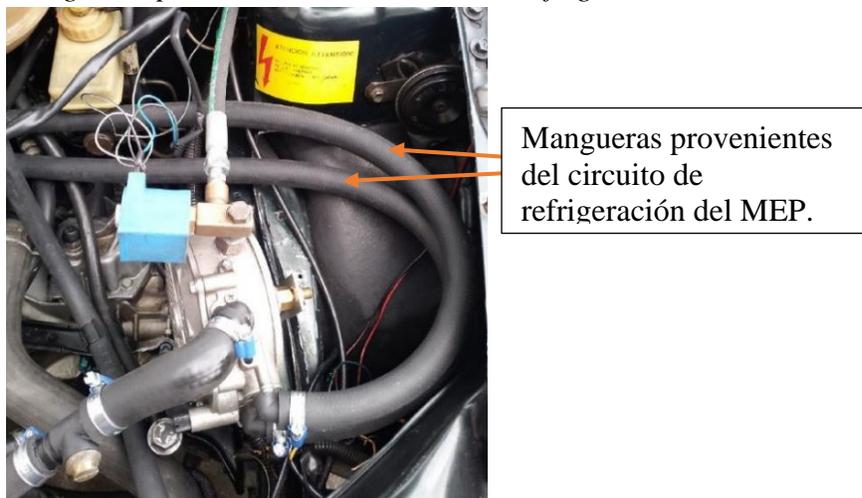
Obtenido de: Autores.

Además, como su nombre lo indica también evapora el GLP y para ello se toma el líquido refrigerante del automóvil el cual será conducido al evaporador por medio de mangueras con la finalidad de evaporar el GLP como se indican en la figura 51, dado que este proviene desde el cilindro con una temperatura de  $-37,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Por lo general se realiza la toma después de la salida del refrigerante en el sistema de calefacción y se pueden emplear las mismas mangueras utilizadas para el circuito de baja presión y las cuales podemos ver sus características en la tabla 20, es recomendable fijar bien las mangueras en los acoplamientos tanto del evaporador como de las tomas de donde se tome el refrigerante empleando abrazaderas o sellantes; posteriormente se debe verificar si existen posibles fugas en los acoplamientos.

### Figura 51

*Mangueras provenientes del circuito de refrigeración.*



Obtenido de: Autores.

#### 3.2.7. *Instalación del Mezclador*

El mezclador estará colocado antes de la aleta de aceleración tal cual se aprecia en la figura 52, el cual distribuirá el gas que recibe desde el evaporador-reductor con presión constante por lo que la selección del mezclador se debe hacer de acuerdo al requerimiento de consumo del MEP y del diámetro del tubo antes de la aleta de aceleración. Se emplearán los diferentes accesorios o adaptadores para que la instalación sea segura y se evite fugas, su fijación se lo realiza por medio de tres tornillos de sujeción.

**Figura 52.***Mezclador ubicado antes del cuerpo de aceleración.*

Obtenido de: Autores.

El mezclador tiene tres partes importantes; el ducto interno en el cual se aloja el Venturi, el conducto por el cual va a ingresar el GLP y los tornillos de sujeción en el cuerpo de aceleración. La tobera interna se compone de un Venturi con forma cónica (observe la figura 53) permitiendo aumentar la velocidad del aire y del flujo del GLP, y por ende realizar una mezcla uniforme del carburante.

**Figura 53***Mezclador de GLP.*

Obtenido de: Autores.

### ***3.2.8. Instalación del Emulador de Inyectores***

El emulador de inyección es empleado para suspender la señal que activa a los inyectores cuando se seleccionada el cambio de combustible en el selector, es decir seleccionar el funcionamiento con GLP. El emulador debe estar conectado correctamente para que los inyectores de gasolina no funcionen cuando se ha seleccionado el combustible a gas a través del conmutador, además debe proporcionar una señal desde la centralita de GLP a la ECU del vehículo, con la intención que la ECU interprete la señal como correcta y no indique ningún testigo o “check engine” por mal

funcionamiento. Debe estar colocado en un lugar seco, donde no tenga contacto con superficies húmedas o fuentes de calor como se puede observar en la figura 54, se debe realizar las correctas conexiones eléctricas según el diagrama eléctrico disponible de acuerdo a la marca del emulador.

### Figura 54

*Ubicación de emulador de inyección.*

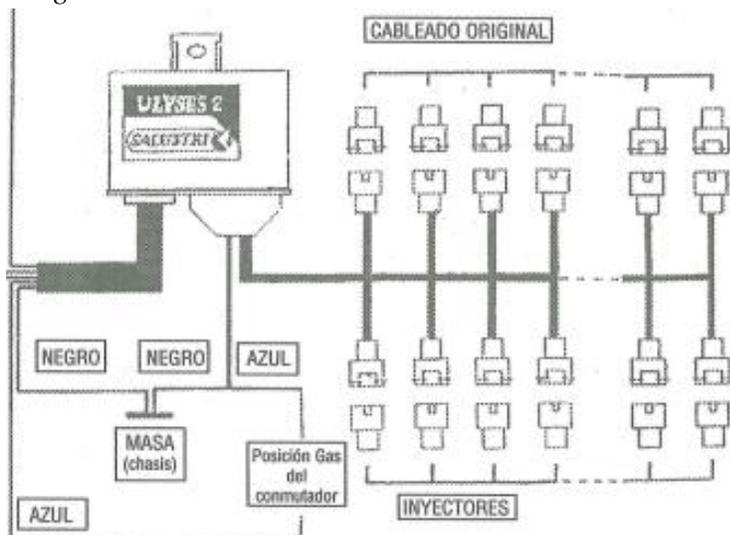


Obtenido de: Autores.

El diagrama empleado para empleado para la instalación del emulador se muestra en la figura 55, cabe aclarar que en el vehículo instalado el sistema de GLP no se necesitó realizar modificaciones en el avance de encendido, de necesitarlo el emulador también incorpora la función que puede realizar el avance de encendido.

### Figura 55

*Diagrama de instalación del emulador.*



Obtenido de: Autores.

### **3.2.9. Instalación del Sistema de Corte de GLP (Electroválvula).**

Consta de una electroválvula que debe instalarse de acuerdo con lo establecido por parte del fabricante del reductor de GLP, se lo coloca por lo general lo más cerca al evaporador y en el lugar que evite posibles rozamientos o vibraciones como se puede apreciar en la figura 56. Previamente a su instalación, se debe comprobar su funcionamiento de apertura y cierra, su voltaje de funcionamiento es de 12V y su cableado debe estar alejado de cables de alto voltaje especialmente de las bobinas de encendido.

Para la correcta instalación y de acuerdo con la figura 56, al ser una electroválvula solo dispondrá de dos pines; conexión positiva y negativa, por lo que el pin positivo se conectará al cable azul indicado en el diagrama posterior a la señal de salida el conmutador y el pin negativo a la masa del chasis.

#### **Figura 56.**

*Electroválvula de GLP.*



Obtenido de: Autores.

Para su sujeción de las mangueras se debe usar ajustes herméticos; por ejemplo, pernos o racores de ajuste. Si posee un elemento filtrante, se debe instalar en una zona de fácil acceso para su mantenimiento. Su función principal es no permitir que fluya el combustible hacia el evaporador cuando el motor deja de operar con GLP, es independiente a la posición del control de encendido y su activación se controla por medio del conmutador de combustible.

### **3.2.10. Instalación del Conmutador de Combustible.**

El selector o conmutador de combustible es un elemento electrónico que permite realizar la selección del combustible a usarse, sea gasolina o GLP, también permite observar que combustible esta seleccionado. Debe estar situado en un lugar donde el conductor sea capaz de observarlo y de

manipularlo, por su pequeño tamaño se puede situarlo junto a los interruptores de luces del automotor tal como se indica en la figura 57. El conmutador también debe indicar que tipo de combustible esta seleccionado, en este caso el LED de color azul indicará que el motor está operando con gasolina y el LED de color verde indicará el funcionamiento con GLP. Se recomienda mantener los cables del conmutador alejados de cables de alta tensión e instalarlo de acuerdo al diagrama eléctrico del emulador.

### **Figura 57**

*Conmutador de combustible.*



Obtenido de: Autores.

#### **3.2.11. Instalación del Relé**

Se instala un relé al sistema eléctrico de la electrobomba de combustible para desactivarla y activar, y evitar que se dañe. Se coloca en un lugar segura y de fácil accesibilidad, para la conexión eléctrica es necesario emplear el diagrama eléctrico del vehículo. En este caso, no se empleó este dispositivo ya que el vehículo cuenta con el botón de bloqueo que desactiva la bomba de combustible; aun así, es recomendable tener el tanque de combustible de gasolina con 1/4 de su capacidad.

### **3.3. Verificación Postconversión y Afinaciones**

Instalado el kit de conversión y ubicado el tanque de GLP, se realiza las pruebas de verificación de fugas en el circuito de alta presión, ajustes de la marcha mínima y alta.

#### **3.3.1. Verificación de Fugas en el Sistema de Alta Presión**

La verificación de las fugas se realiza en cada unión o acople a lo largo de la manguera en el circuito presurizado como se ha indicado en la sección 2.3.4.1, para ello se conecta el cilindro de GLP y se abre la válvula para cargar el circuito de alta presión, dicho circuito se contempla desde el cilindro hasta la entrada de la electroválvula; posteriormente, se realiza la verificación de fugas en lo cual se empleó una mezcla de agua con jabón como se observa en la figura 58 y 59. En la

figura 58 se puede contemplar la revisión de fugas en las uniones posterior al tanque de GLP especialmente en la válvula de cierre y sus uniones.

**Figura 58**

*Revisión de posibles fugas posterior al cilindro de GLP.*



Obtenido de: Autores.

Por lo general es recomendable no tener demasiadas uniones a lo largo del circuito de alta presión, es así como se utiliza una sola manguera sin tener uniones; en la figura 59 se puede contemplar la revisión de fuga en el ingreso hacia la electroválvula, por lo general en esta zona es donde se presenta más fugas debido a las vibraciones y a la alta presión existente.

**Figura 59**

*Revisión de fugas en la entrada a la electroválvula.*



Obtenido de: Autores.

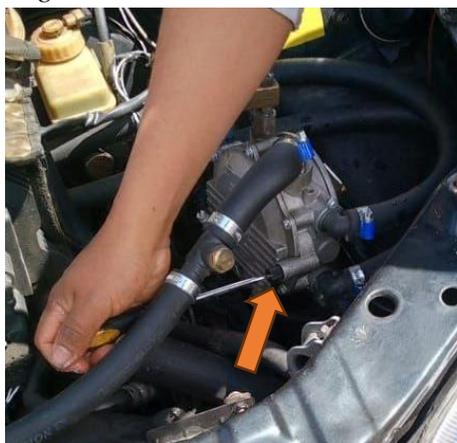
En este caso, no se encontraron fugas en cada unión; de existir fugas se recomienda realizar los ajustes correspondientes en cada unión, acople o reemplazar toda la manguera si presenta excesivas fugas.

### 3.3.2. *Regulación de marcha mínima*

El procedimiento para realizar el ajuste de la marcha mínima se puede observar en la sección 2.3.4.3, el cual debemos encender del vehículo utilizando gasolina extra y posteriormente pasarlo a GLP. Una vez pasado a GLP, ubicamos el tornillo de regulación que por lo general este tornillo siempre está ubicado en el reductor tal como se indicada en la figura 60. Una vez que llega a la temperatura de operatividad del motor e identificado el tornillo de regulación, se procede a girar el tornillo hasta que el MEP empiece a fallar o funcionar de forma irregular, a partir de ese punto se gira en sentido opuesto hasta encontrar el punto donde el MEP funcione correctamente alcanzando sus RPM correspondientes.

#### **Figura 60**

*Regulación de marcha mínima.*



Obtenido de: Autores.

### 3.3.3. *Regulación de marcha máxima*

Con el vehículo funcionando con GLP y posterior a la regulación de la marcha mínima, se procede a realizar los ajustes de caudal tal como se mencionó en el literal 2.3.4.4. En este caso, el tornillo de regulación de marcha máxima se encuentra posterior al reductor en la manguera de la zona de baja presión conforme se aprecia en la figura 61; ubicado el tornillo se procese acelerar el MEP y fijar las revoluciones entre 2500 a 3000 RPM y se atornillar hasta verificar que las RPM tiendan a disminuir, encontrado este punto se atornilla en sentido opuesto hasta alcanzar el valor de las RPM del inició.

En caso de que las RPM se eleven o alcancen niveles riesgosos que comprometan la integridad del motor, se recomienda girar el tornillo en sentido opuesto y soltar la aleta de aceleración, posteriormente se volverá a repetir el procedimiento.

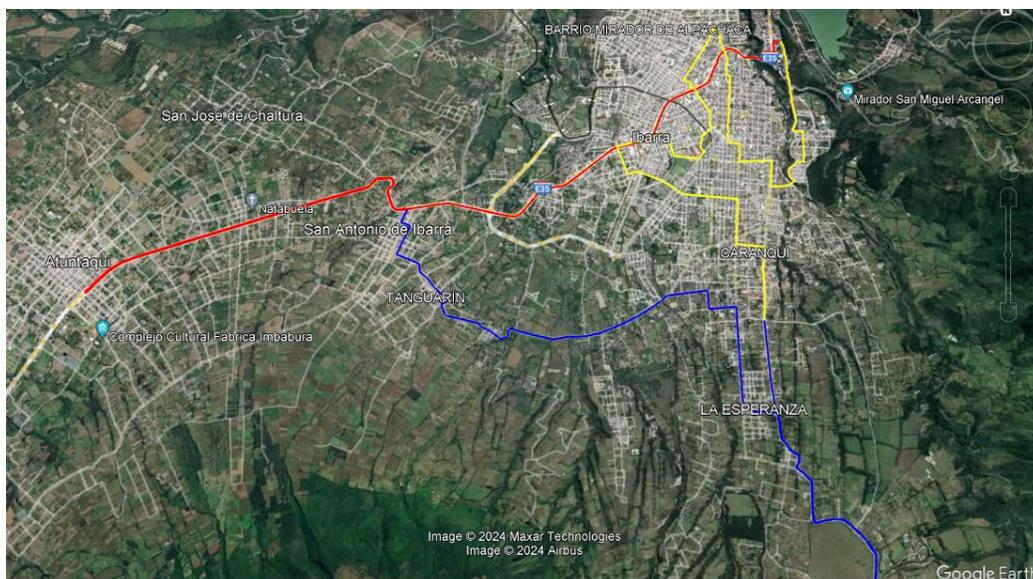
**Figura 61***Regulación de la marcha máxima.*

Obtenido de: Autores.

### 3.4. Consumo de combustible

#### 3.4.1. Ruta Combinada

Para estimar el consumo de combustible del MEP se desarrolló un trayecto combinado el cual se puede observar en la figura 62, en las cuales están incluidas las tres rutas establecidas en el literal 3.9, a su vez la recopilación de datos como la velocidad, tiempo, distancia y trazo de la ruta se realizó empleando dispositivos electrónicos mencionados en el literal 2.2.

**Figura 62.***Ruta combinada.*

Obtenido de: Autores.

Para dimensionar el consumo teórico se desarrolló el cálculo con las fórmulas establecidas en el literal 2.7, considerando además los aspectos de la localidad y prestaciones del automotor. A su vez, se realiza el control del consumo real que radica en medir la cantidad de consumo del combustible antes y después del recorrido con ambos combustibles. De acuerdo con la figura 62; la ruta urbana se representa por el color amarillo, la ruta rural por el color azul y la ruta por autopista se indica en color rojo. El total del recorrido es de 55,7 km con un tiempo promedio de 2 horas con 15 minutos.

### 3.4.2. Perfil de Elevación de la Ruta Combinada

El perfilamiento de la elevación de la ruta completa se indica en la figura 63, en la cual se muestra una altitud máxima de 2630 m.s.n.m., promedio de 2325 m.s.n.m. y mínima de 2166 m.s.n.m. Además, indica los valores de inclinación máxima de 12.6% e inclinación promedio de 2.9%, estos datos son de gran importancia ya que con ellos se puede determinar el ángulo de inclinación de la carretera el cual influye en el cálculo de la fuerza de resistencia a la pendiente. También se indica la longitud total del trayecto el cual es de 55,7 km.

#### Figura 63.

*Perfil de elevación de la ruta combinada.*



Obtenido de: Autores.

### 3.4.3. Variables para el Cálculo de Consumo de Combustible

En la literal 2.7 se establece la metodología para calcular el consumo de combustible, el cual se basa en calcular todas las fuerzas que impiden el movimiento del vehículo aplicando la dinámica longitudinal del automóvil. En la dinámica longitudinal se establecen las cuatro ecuaciones para calcular el valor de las fuerzas de resistencias: de pendiente, rodadura, aerodinámica y de masas. En dichas ecuaciones se incorporan algunas variables tanto del vehículo como de su entorno las cuales se pueden observar en la tabla 31 con los valores ya establecidos para obtener los resultados de las fuerzas que influyen en el vehículo.

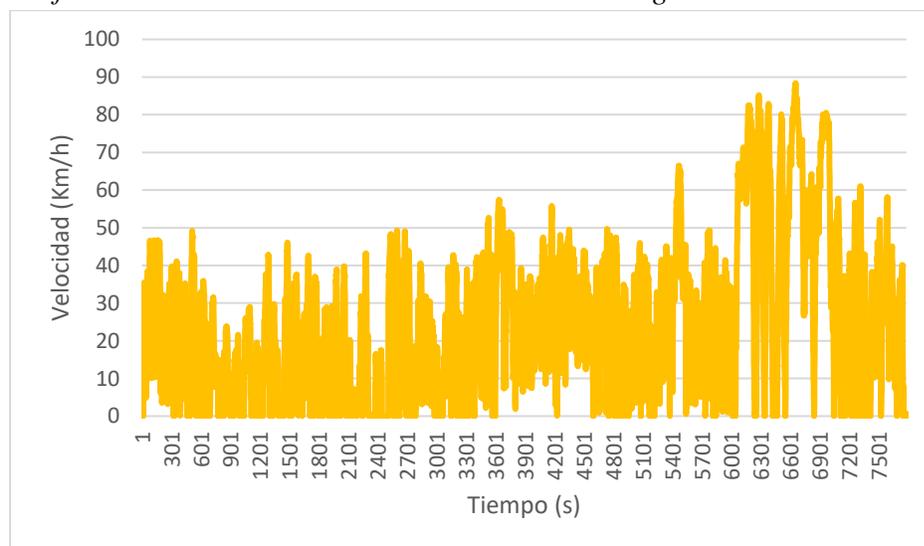
**Tabla 31.***Variables establecidas para el consumo de combustible.*

Variables	Valor	Variables	Valor
Altura	1,39 m	PCS – Gasolina	32,08 MJ/l (43,95 MJ/kg)
Ancho	1,61 m	PCS - GLP	26,99 MJ/l (49,98 MJ/kg)
Peso del automotor	915 kg	Densidad del aire	0,91 kg/m <sup>3</sup>
$k_f$	0,84	Eficiencia del motor	0,25%
Coefficiente de resistencia a la rodadura ( $f_{rr}$ )	0,015	Eficiencia de la transmisión	0,92%
Coefficiente de arrastre o drag ( $C_x$ )	0,36	Distancia	55,7 km
Gravedad	9,81 m/s <sup>2</sup>	Duración de recorrido	2,10 horas

Obtenido de: Autores.

### 3.4.4. Consumo de Gasolina Extra en Prueba de Ruta

De acuerdo con el recorrido de la ruta combinada los valores obtenidos del consumo aplicando los datos registrados de tiempo, velocidad, distancia y características del vehículo se obtuvo el resultado teórico mostrado en la tabla 33. Además, en la figura 64 se representa el perfil de las velocidades del ciclo de conducción en función del tiempo.

**Figura 64***Perfil de velocidades del ciclo combinado usando gasolina extra.*

Obtenido de: Autores.

Los datos más importantes recopilados en la ruta combinada fueron las velocidades, tiempo de duración del recorrido, distancia final, la inclinación de la carretera; los cuales se indican en la tabla 32 y se emplean para determinar el consumo teórico aplicando los datos en las ecuaciones de la dinámica longitudinal.

**Tabla 32***Datos obtenidos en prueba combinada con gasolina extra.*

Parámetro	Valor
Duración	2,25 h
Velocidad máx.	88,41 km/h
Velocidad prom.	24,73 km/h
Distancia	55,7 km
Número de paradas	51
Porcentaje promedio de inclinación de la carretera	2,9%
	-2,8%
Porcentaje de inclinación máxima de la carretera	12,6%
	-12,8%

Obtenido de: Autores.

El consumo real se determinó por medio del empleo el método de llenar el tanque antes y después del recorrido, el cual como resultado se obtuvo el valor indicado en la tabla 33. El valor real sobrepasa al teórico con una diferencia del 18,5% dado que algunos factores como el estado y características del motor, de los componentes electrónicos, hábito de conducción y el tráfico pueden atribuir al aumento del consumo del combustible por lo que el valor real puede variar en algunas situaciones.

**Tabla 33***Resultados de consumo con gasolina extra.*

Consumo de combustible				
Teórico	Real	Unidad	Consumo estimado	Unidad
4,06	4,81	l/55,7 km	8,64	l/100 km

Obtenido de: Autores.

De acuerdo con el consumo real indicado en la tabla 33, se puede establecer que el vehículo recorre 11,57 km con 1 litro o 0,26 galones de gasolina extra. Además, con el consumo real se puede determinar la autonomía que tendría el vehículo si el reservorio de combustible estaría al máximo, en este caso el depósito de gasolina tiene la capacidad de 50 litros o 13,19 galones; el cual como resultado se tendría una autonomía de 578,7 km. De acuerdo a estos resultados, se puede estimar el consumo del combustible en litros por 100 km recorridos el cual da como resultado el valor de 8,64 l/100 km de recorrido.

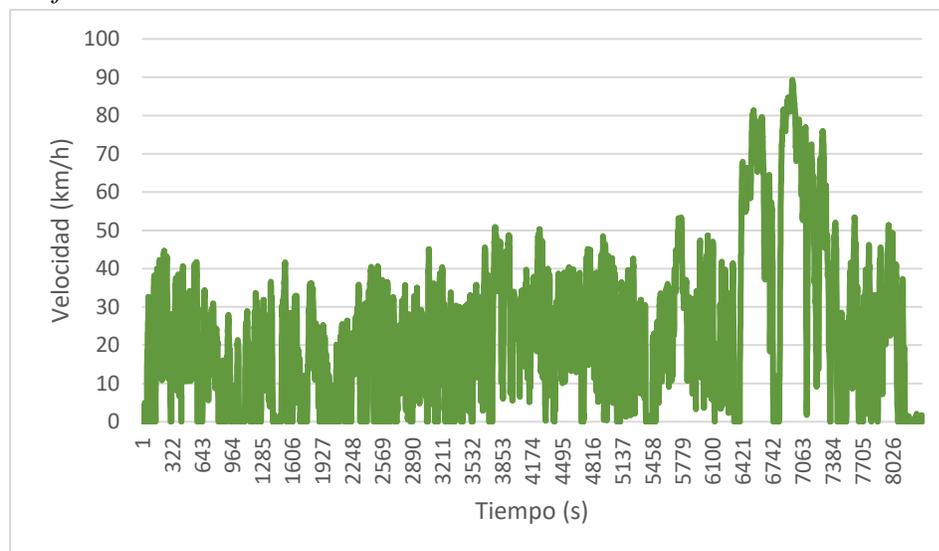
### 3.4.5. Consumo de GLP en Prueba de Ruta

El recorrido se efectuó de igual manera a la ruta combinada empleando gasolina extra y para determinar el consumo se aplica el mismo procedimiento obteniendo los resultados de la tabla 52.

A su vez, en la figura 65 se representa el perfil de las velocidades del ciclo de conducción en función del tiempo.

**Figura 65.**

*Perfil de velocidades del ciclo combinado usando GLP.*



Obtenido de: Autores.

Los datos a considerar para determinar el consumo teórico en la ruta combinada fueron las velocidades, tiempo de duración del recorrido, distancia final, la inclinación de la carretera, características del vehículo y se consideró el valor de inclinación máxima de todo el trayecto; los datos utilizados se indican en la tabla 34 y se emplean para determinar el consumo teórico aplicando los datos en las ecuaciones de la dinámica longitudinal.

**Tabla 34.**

*Datos obtenidos en prueba combinada con GLP.*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Duración	2,33 h
Velocidad máxima	89,32 km/h
Velocidad promedio	23,86 km/h
Distancia	55,7 km
Número de paradas	46
Porcentaje promedio de inclinación de la carretera	2,9%
	-2,8%
Porcentaje de inclinación máxima de la carretera	12,6%
	-12,8%

Obtenido de: Autores.

Con base a los datos adquiridos, el consumo real se determinó por medio de la diferencia del pesaje del cilindro de GLP antes y después de haber recorrido la ruta el cual se puede observar en la tabla

35. El valor teórico es mayor al real con una diferencia porcentual del 25,5% por lo que el valor teórico no se ajusta al real debido a condiciones que influyen al incremento del consumo de combustible como el hábito de conducción, número de paradas, la velocidad y el ciclo de conducción.

**Tabla 35.**

*Resultados de consumo con GLP.*

Consumo de combustible				
Teórico	Real	Unidad	Consumo estimado	Unidad
4,98	6,25	l/55,7 km	11,22	l/100 km

Obtenido de: Autores.

En este caso, el consumo real es de 6,25 l/55,7 km en base a este valor se determinar que el automotor recorre 8,90 km con 1 litro o 0,54 kg utilizando el GLP. Además, con el valor de consumo real se puede determinar que si el cilindro se encuentra lleno con 14,14 kg o su equivalente a 26,16 litros de GLP tendrá una autonomía de 233,15 km de recorrido. Tomando en cuenta el valor del consumo real, se estima el valor del consumo a los 100 kilómetros de recorrido con GLP, el cual da como resultado el valor de 11,22 l/100 km.

Por lo general, el consumo del GLP es mayor cuando se lo emplean como combustible en MEP; a consecuencia de ello se determina cual es el valor mínimo que se necesita de GLP para obtener la misma proporción de la energía comparándolo con la gasolina extra para ello se emplea las densidades y el PCS de cada combustible. El resultado calculado se puede apreciar en la tabla 36, es decir que se necesita al menos 1,19 la cantidad de GLP para obtener la misma porción de energía en comparación a un litro de combustible de gasolina extra por lo que el consumo de GLP siempre será mayor afectando directamente a la autonomía.

**Tabla 36**

*Diferencia de obtención de energía.*

Energía que se obtiene por litro de combustible		Valor que el GLP necesita para obtener la misma cantidad de energía con gasolina extra
GLP 26,99 MJ/l	Gasolina extra 32,08 MJ/l	1,19

Obtenido de: Autores.

### 3.5. Análisis de Potencia y Par Motor

Las pruebas para obtener de resultados de torque y de potencia se realizaron en cuatro repeticiones alcanzando 5000 RPM tanto en gasolina extra como también con GLP como combustibles para el

MEP. Los resultados proporcionados de potencia y torque por parte del dinamómetro fueron corregidos empleando las ecuaciones 2 y 3 para obtener valores congruentes.

### 3.5.1. *Análisis de Potencia y Par Motor Empleando Gasolina Extra*

#### 3.5.1.1. **Potencia Obtenida utilizando Gasolina Extra.**

En la tabla 37 se indican los valores resultados registrados utilizando gasolina extra como combustible; se indica la potencia máxima corregida alcanzada en cuatro pruebas dinámicas de acuerdo a la velocidad y revoluciones por minuto registradas en el dinamómetro, junto con el valor promediado de los mismos datos obtenidos.

**Tabla 37.**

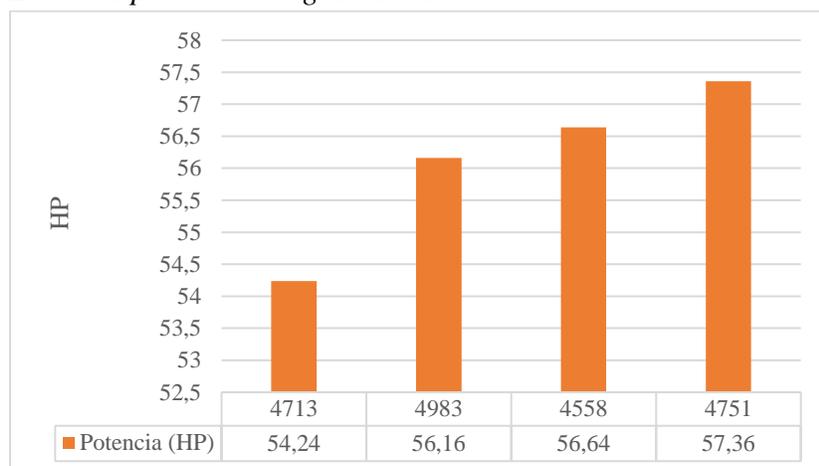
*Potencia alcanzada con gasolina extra.*

<b>Potencia obtenidos usando gasolina extra</b>				
	<b>Velocidad (km/h)</b>	<b>RPM</b>	<b>Potencia (HP)</b>	<b>Potencia (HP) corregido</b>
<b>Prueba 1</b>	122	4713	45,2	54,24
<b>Prueba 2</b>	129	4983	46,8	56,16
<b>Prueba 3</b>	127	4906	47,2	56,64
<b>Prueba 4</b>	123	4751	47,8	57,36
<b>Promedio</b>	125,25	4838,25	46,75	56,1

Obtenido de: Autores.

Como se puede observar en el primer ensayo se registró la potencia máxima de 54,24 HP a 4713 RPM, en la segunda prueba la potencia tiende a aumentar obteniendo un valor de 56,16 HP a 4983 RPM, en la tercera prueba el valor de la potencia sigue en aumento obteniendo un valor de 56,64 HP a 4906 RPM, y en la cuarta prueba el valor de la potencia registrada tiene el valor de 57,36 HP a 4751 RPM siendo el valor de potencia más alto registrado entre las cuatro pruebas. A su vez, el valor promedio de potencia de las cuatro pruebas fue de 56,1 HP a 4838,25 RPM.

La representación de los valores de la potencia adquiridos en los cuatro ensayos con respecto a las RPM se puede observar en la figura 66, en el cual se puede aclarar que la máxima potencia alcanzada empleando gasolina extra fue en la cuarta prueba con el valor de 57,36 HP a 4751 RPM.

**Figura 66***Datos de potencia con gasolina extra.*

Obtenido de: Autores.

**3.5.1.2. Par Motor Obtenido con Gasolina Extra**

Los resultados obtenidos de par motor o torque máximo en función de la velocidad como también de las RPM pueden ser observados en la tabla 38. De igual manera, se indica el resultado promedio de las cuatro pruebas ejecutadas, además se indica el resultado de la velocidad al cual se registró el resultado.

**Tabla 38***Par motor obtenido con gasolina extra.*

Par motor obtenidos con gasolina extra				
	Velocidad (km/h)	RPM	Par (Nm)	Par (Nm) corregido
<b>Prueba 1</b>	89	3438	80,7	96,84
<b>Prueba 2</b>	87	3361	81,8	98,16
<b>Prueba 3</b>	87	3361	82,1	98,52
<b>Prueba 4</b>	71	2743	83	99,6
<b>Promedio</b>	83,5	3225,75	81,9	98,28

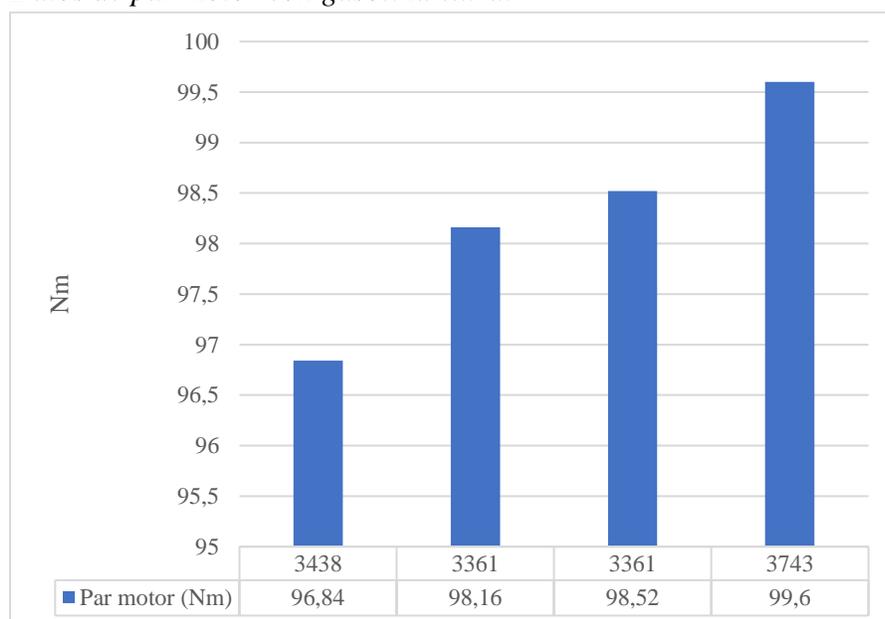
Obtenido de: Autores.

El valor de torque registrados en cada desarrollo de los ensayos realizados fue: la primera prueba se obtuvo el dato del torque mínimo con un valor de 96,84 Nm a 3438 RPM, en la segunda prueba el torque aumento al valor de 98,16 Nm a 3361 RPM, en la tercer prueba se alcanzó el valor de

98,52 Nm a 3361 RPM y en la última prueba el valor de par motor aumentó a 99,6 Nm a 2743 RPM. Finalmente, se obtuvo el promedio de las pruebas con el valor de 98,28 Nm a 3225,75 RPM. En la figura 67 se representa los resultados alcanzados de torque con base a las RPM en cada prueba utilizando la gasolina extra, de igual manera se puede evidenciar que el valor más alto fue registrado en la última prueba con el valor de 99,6 Nm a 3343 RPM.

**Figura 67**

*Datos de par motor con gasolina extra.*



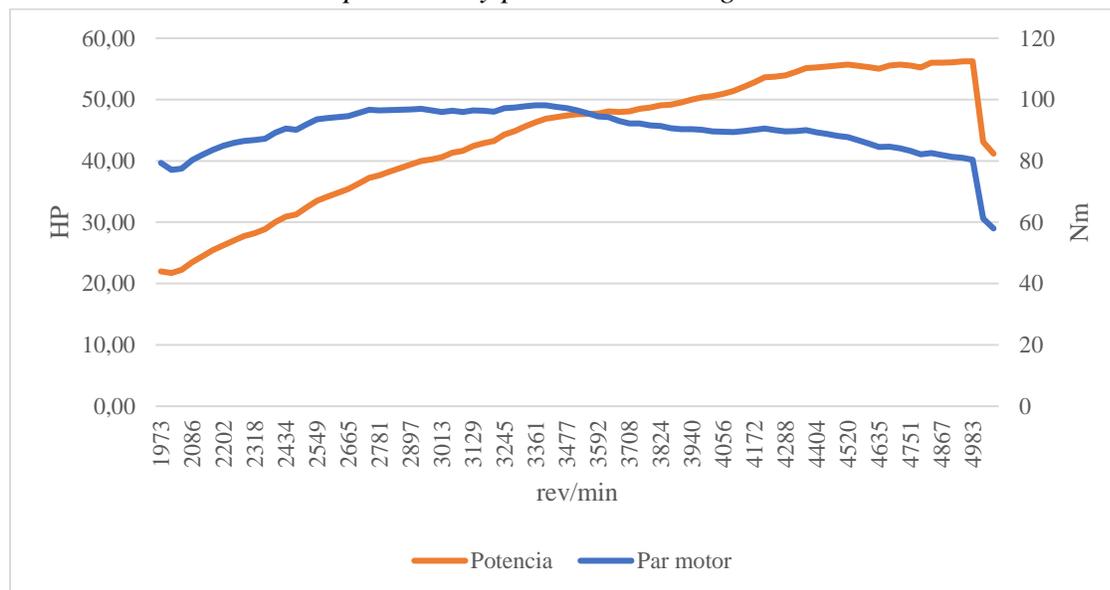
Obtenido de: Autores.

### 3.5.1.3. Curvas Representativas de Par Motor y Potencia con Gasolina extra

Las curvas correspondientes de par motor en Nm y de potencia en HP se presentan en la figura 68, en la cual se indican el valor promedio de las cuatro pruebas ejecutadas con el vehículo Corsa Wind donde se puede apreciar los valores obtenidos con respecto al valor de las RPM (5000 RPM como límite establecido) que llega a alcanzar el MEP empleando la gasolina extra durante las pruebas en el dinamómetro. En función del grafico se puede determinar que el valor promedio máximo alcanzado de par motor es de 98,13 Nm a 3361 RPM y la potencia máxima de 56,24 HP a 4983 RPM.

**Figura 68.**

*Curvas características de par motor y potencia usando gasolina extra.*



Obtenido de: Autores.

### 3.5.2. Análisis de Torque y Potencia Utilizando GLP

#### 3.5.2.1. Potencia Obtenida con GLP.

Los datos de potencia corregidos con el factor de corrección se pueden observar en la tabla 39, en la cual se puede realizar el análisis con la relación de acuerdo a las RPM o a la velocidad registrada por el dinamómetro.

**Tabla 39**

*Potencia obtenida con GLP.*

Potencia obtenida con GLP.				
	Velocidad (km/h)	RPM	Potencia HP	Potencia (HP) corregido
<b>Prueba 1</b>	122	4475	49	58,8
<b>Prueba 2</b>	129	4731	49,3	59,16
<b>Prueba 3</b>	127	4658	49,7	59,64
<b>Prueba 4</b>	130	4768	51,6	61,92
<b>Promedio</b>	127	4658	49,9	59,88

Obtenido de: Autores.

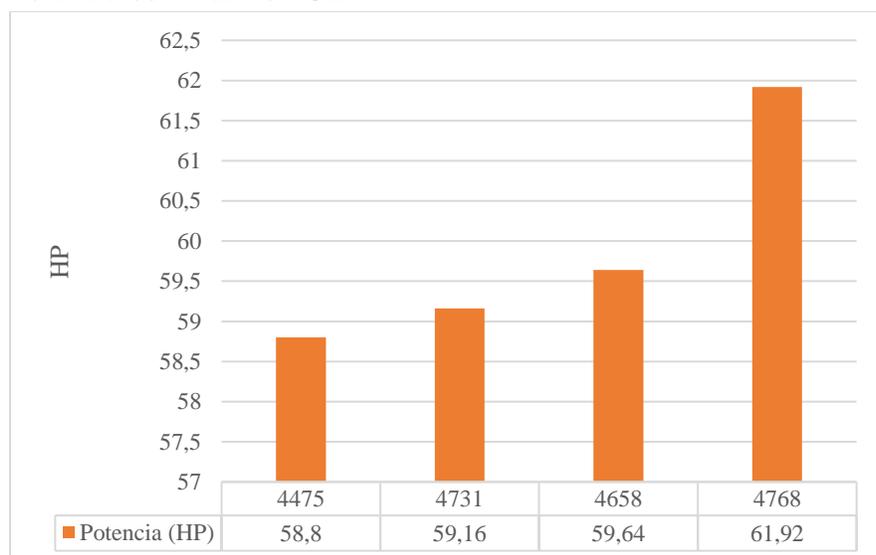
Los resultados obtenidos aplicando la variable de corrección son los que se indican en la tabla 33: en el primer ensayo se registró la potencia tope de 58,8 HP a 4475 RPM, la segunda prueba la potencia tiende a aumentar obteniendo un valor de 59,16 HP a 4731 RPM, en la tercera prueba el valor de la potencia sigue en aumento obteniendo un valor de 59,64 HP a 4658 RPM, y en la cuarta

prueba el resultado de la potencia alcanzada fue de 61,92 HP a 4768 RPM cuyo valor de potencia más alto entre las cuatro pruebas. A su vez, el valor promedio de potencia fue de 59,88 HP a 4658 RPM.

Como se logra apreciar en la figura 69, los resultados de la potencia tuvieron la tendencia a aumentar siendo en la última y cuarta prueba con el valor máximo registrado de 61,92 Nm a 4768 RPM al hacer uso de GLP para el funcionamiento del MEP.

**Figura 69**

*Potencia obtenida con GLP.*



Obtenido de: Autores.

### 3.5.2.2. Par Motor Obtenido con GLP.

La obtención de resultados de par motor o torque se realizó en cuatro pruebas dinamométricas cuyos resultantes se muestran en la tabla 40; se estima cómo influye en el rendimiento del motor respecto al par y la potencia empleando el GLP como combustible para el funcionamiento del MEP, considerando variables como el octanaje, la eficiencia de la combustión y los ajustes del kit de conversión.

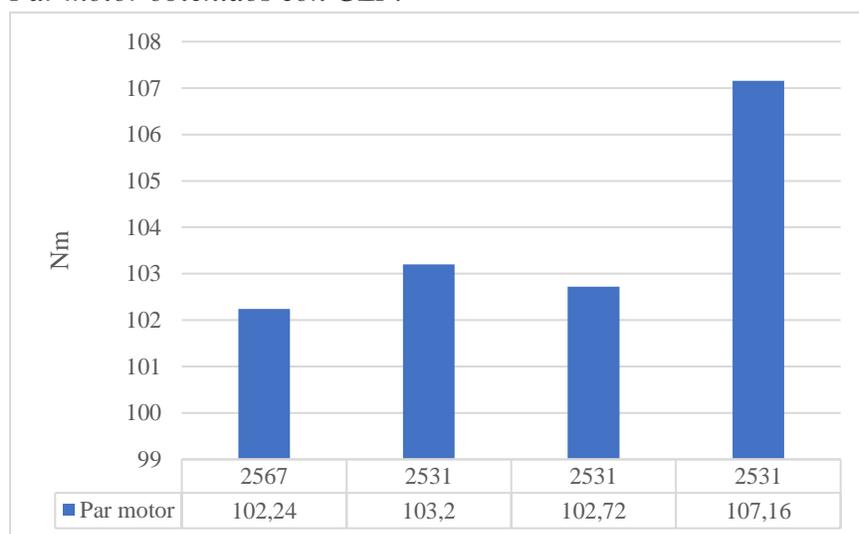
Estas pruebas son necesarias para comprender en qué se diferencia el GLP de otros combustibles en términos de rendimiento y eficiencia de un motor, al igual que con la prueba hecha con gasolina extra, los valores de par motor tienden a aumentar en cada prueba con GLP como se puede comprobar en la tabla 40.

**Tabla 40***Par motor obtenidos con GLP.*

<b>Par motor obtenidos con GLP.</b>				
	<b>Velocidad (km/h)</b>	<b>RPM</b>	<b>Par (Nm)</b>	<b>Par (Nm) corregido</b>
<b>Prueba 1</b>	70	2567	85,2	102,24
<b>Prueba 2</b>	69	2531	86	103,2
<b>Prueba 3</b>	69	2531	85,6	102,72
<b>Prueba 4</b>	69	2531	89,3	107,16
<b>Promedio</b>	69,25	2540	86,525	103,83

Obtenido de: Autores.

Los resultados obtenidos aplicados con el factor de corrección demuestran lo siguiente: en el primer ensayo se logró alcanzar el par motor máximo de 102,24 Nm a 2567 RPM, en la segunda prueba el par motor tiende a aumentar con un valor de 103,2 Nm a 2531 RPM, en la tercera prueba el valor del torque es de 102,72 Nm a 2531 RPM, y en la cuarta prueba el valor de par motor aumenta a 107,16 Nm a 2531 RPM. A su vez, el valor promedio de par motor fue de 103,83 Nm a 2540 RPM. En la figura 70, se representa los valores alcanzados empleando el GLP como combustible principal para el funcionamiento del MEP, representando el valor máximo de par motor se registró en la cuarta prueba con 107,16 Nm a 2531 RPM.

**Figura 70.***Par motor obtenidos con GLP.*

Obtenido de: Autores.

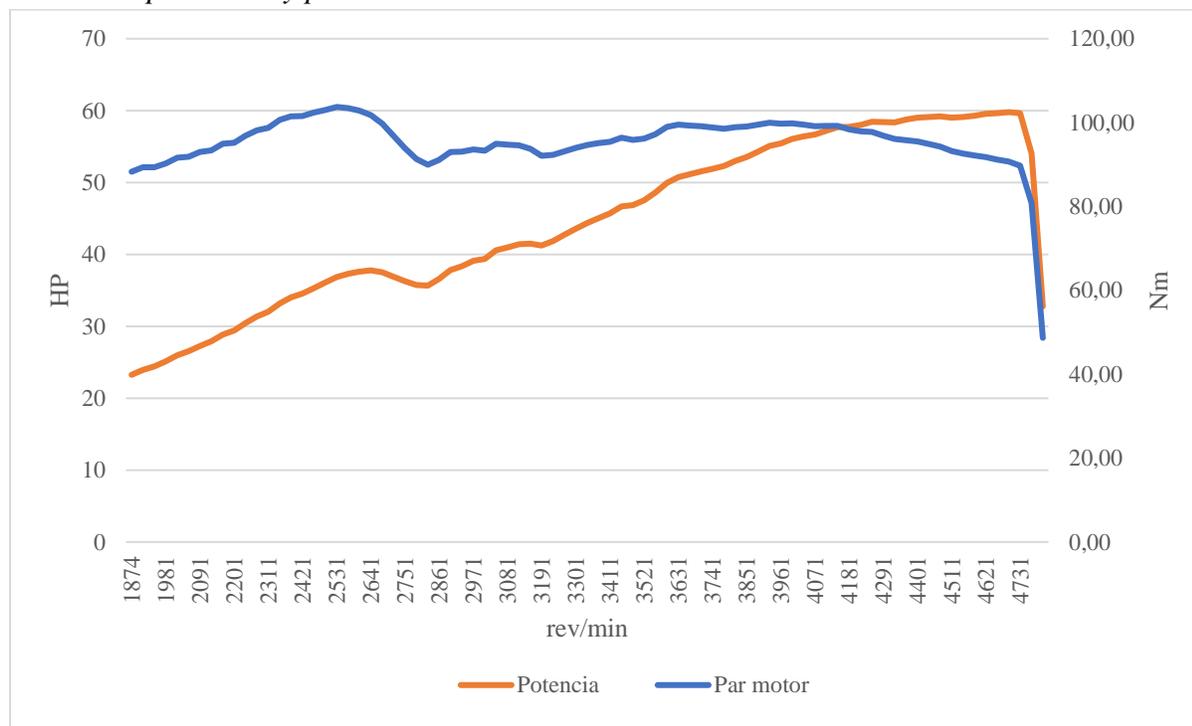
### 3.5.2.3. Curvas Representativas de Par Motor y Potencia con GLP

Para la generación de las gráficas particulares de par motor y potencia con base a los datos obtenidos en las cuatro pruebas realizadas con GLP fueron promediadas, y cuyos resultados

presentados en según las RPM se pueden apreciar en la figura 71. Las curvas muestran que el automotor alcanzó el valor de par motor máximo promedio de 103,74 Nm a 2531 RPM y el valor de potencia máximo promedio de 59,79 HP a 4695 RPM.

**Figura 71.**

*Curvas de par motor y potencia con GLP.*

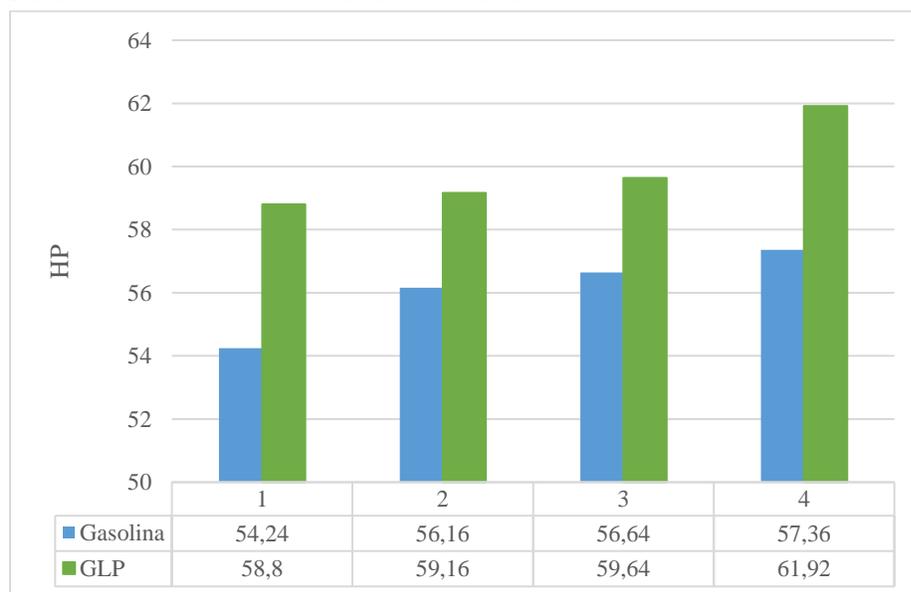


Obtenido de: Autores.

### 3.5.3. Comparación de Potencia y Torque con Gasolina Extra y GLP

#### 3.5.3.1. Comparativa de Potencia entre Gasolina Extra y GLP.

Una vez finalizado las pruebas e interpretación de los valores de la potencia y el torque adquiridos con cada ejemplar de combustible, resulta útil comparar todas las cifras registradas para determinar con cual combustible el MEP funciona con mejor rendimiento. En la figura 72 se pueden apreciar los datos de potencia obtenidos corregidos con el factor de corrección tanto con gasolina extra y con GLP, en el que se logra analizar que la potencia obtenida con GLP fue mayor en todas las pruebas realizadas cuyos resultados con ambos combustibles los valores de potencia tuvieron la tendencia a aumentar en cada prueba.

**Figura 72.***Potencia obtenida con ambos combustibles.*

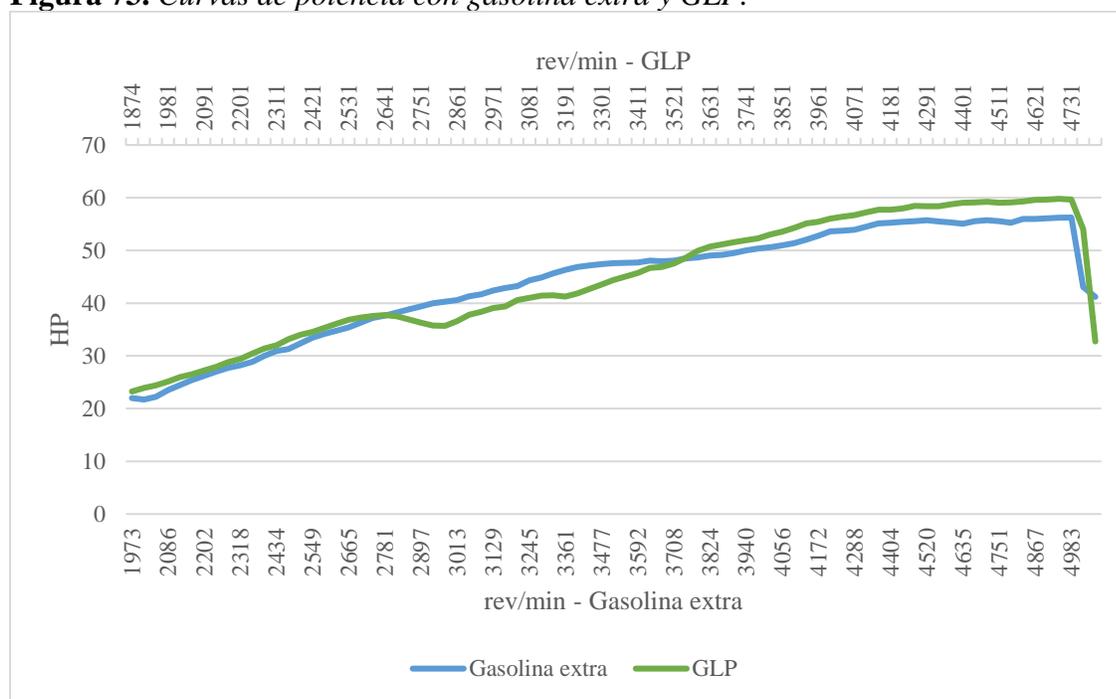
Obtenido de: Autores.

De acuerdo con la figura 72, empleando el combustible de gasolina extra el vehículo alcanzó la potencia máxima de 57,36 HP a 4751 RPM en el cuarto ensayo. Mientras que, la potencia máxima alcanzada con GLP como combustible registro el valor de 61,92 HP a 4768 RPM igualmente en la última prueba. En cada prueba, la potencia empleando el GLP alcanza valores mayoritarios en comparación con la gasolina extra obteniendo mejores resultados y rendimiento del MEP representado un promedio diferencial del 6,7%. A su vez, en la mayor parte de los resultados registrados el valor de la potencia obtenida con GLP fue superior.

### 3.5.3.2. Curvas de Potencia con Gasolina Extra y GLP

Las curvas de potencia utilizando ambos combustibles se pueden observar en la figura 73, en la cual se puede determinar que usando el GLP se obtiene mejor potencia con una diferencia del 6,7% de aumento comparándolo con la gasolina extra. A su vez, en base de la figura 69 se puede determinar el valor máximo de la potencia promediado de las cuatro pruebas efectuadas con ambos combustibles; el valor máximo para la gasolina extra fue de 56,24 HP a 4983 RPM, y con GLP el resultado máximo de 59,79 HP a 4695 RPM. Además, el valor de la potencia con GLP tiende a ser más alta al sobrepasar las 3500 RPM.

**Figura 73.** Curvas de potencia con gasolina extra y GLP.

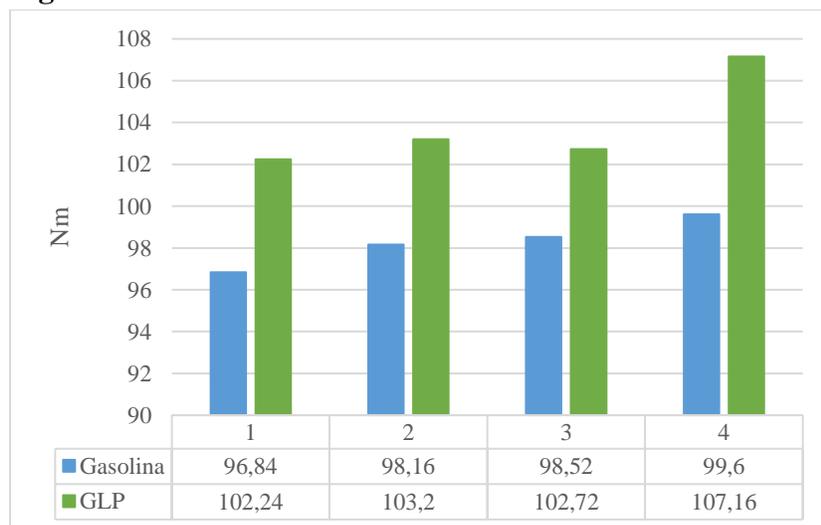


Obtenido de: Autores.

### 3.5.3.3. Comparativa de Torque entre Gasolina Extra y GLP.

Una vez analizados los resultados en cada uno de los combustibles, se realiza una comparación de torque o par motor para determinar con cual combustible el MEP proporciona el mejor rendimiento. Los datos registrados de torque con los dos tipos de combustibles se pueden apreciar en la figura 74.

**Figura 74** Par motor obtenidos con ambos combustibles.



Obtenido de: Autores.

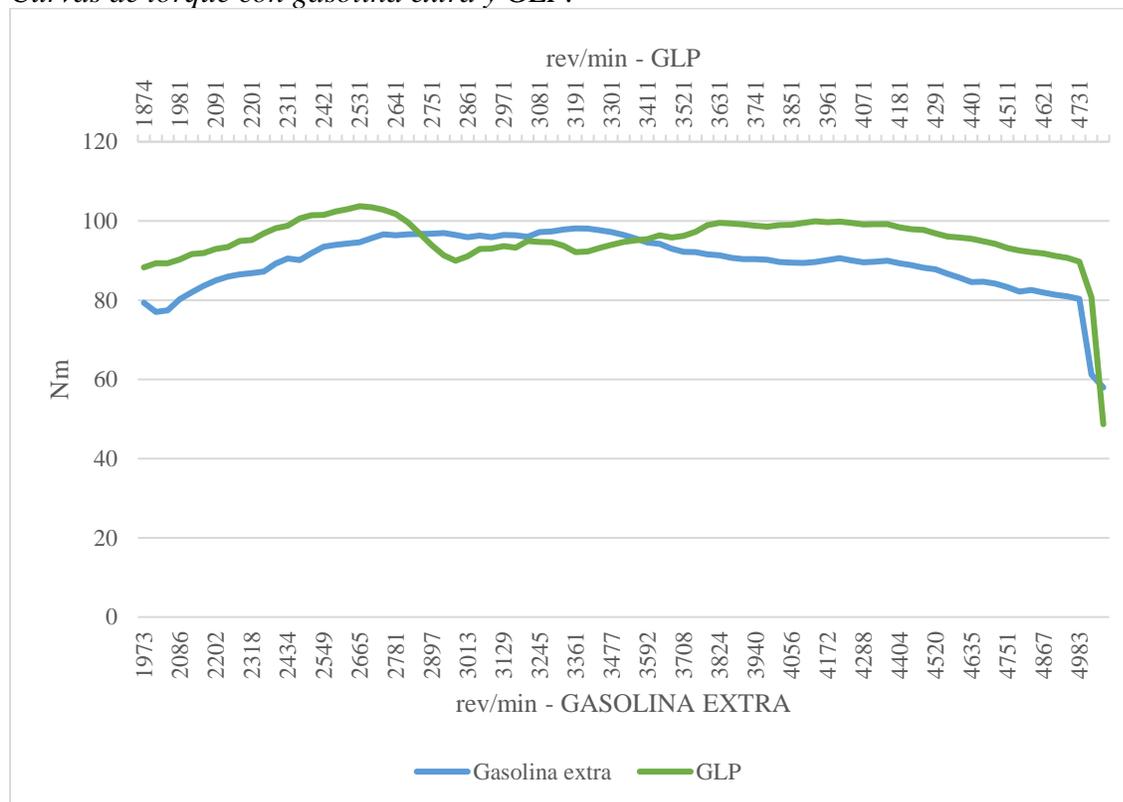
Los resultados máximos alcanzados de par motor por el automotor demuestran que cuando el MEP funciona con combustible extra alcanzó el par máximo tope de 99,6 Nm a 2743 RPM. Mientras tanto, el par motor aumenta hasta un 5,6% en comparación cuando se emplea gasolina extra, la prueba en el vehículo registro un par máximo con GLP de 107,16 Nm a 2531 RPM.

### 3.5.3.4. Curvas de Torque con Gasolina Extra y GLP.

Las curvas características de par motor utilizando ambos combustibles se pueden observar en la figura 75, en la cual se puede determinar que usando el GLP se obtiene mejor par motor con una diferencia del 5,6% de aumento en comparación con la gasolina extra. En esta grafica se presentan todos los valores promedios de las cuatro pruebas realizadas, obteniendo como resultando máximo de torque con gasolina extra el valor de 98,13 Nm a 3361 RPM y el valor máximo de GLP de 103,74 Nm a 2531 RPM.

#### Figura 75.

*Curvas de torque con gasolina extra y GLP.*



Obtenido de: Autores.

### 3.6. Análisis de Emisiones de Escape

Finalizadas los ensayos de par motor y potencia con ambos combustibles se continuó a analizar los valores resultantes de las emisiones producidas y emanadas por el MEP empleando ambos

tipos de combustibles utilizando el equipo AGS-688. Las pruebas para la recopilación de los datos se desarrollaron en dos regímenes: 900 y 2500 RPM con cuatro repeticiones en cada régimen, los cuales se promediaron para obtener un valor general.

La elección de realizar las pruebas en diferentes RPM se debe al considerar la norma vigente NTE INEN 2204 para pruebas estáticas en marcha mínima y para el ensayo en marcha alta se la realizó con el objetivo de obtener valores de emisiones, compararlos y verificar si existe o no variaciones en la emanación de los gases de combustión. La normativa NTE INEN-2204 establece la cantidad límite de CO y HC, aun así, se analiza los datos de CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y lambda que proporciona el equipo de análisis de gases.

### 3.6.1. Análisis de Emisiones de Escape con Gasolina Extra y GLP a 900 RPM

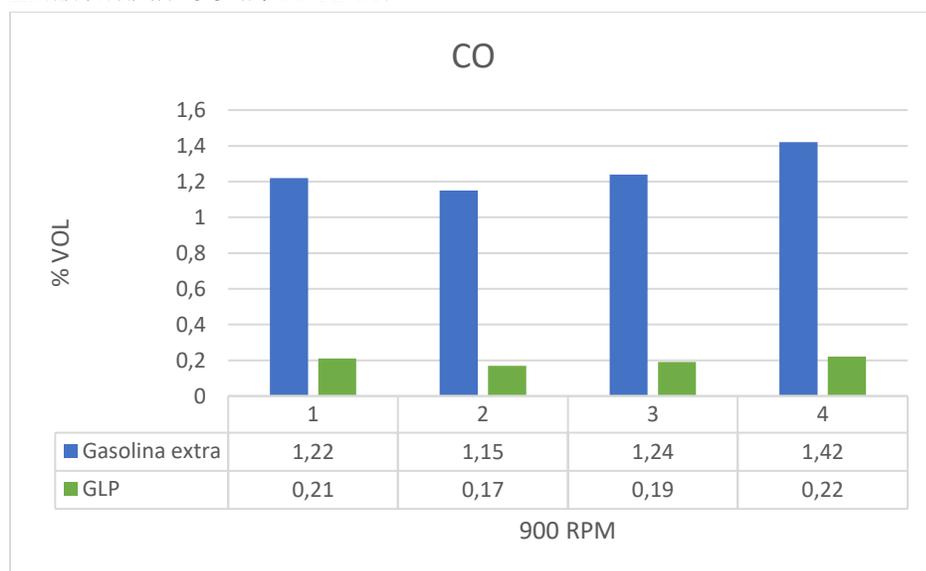
Para el estudio de emisiones de escape empleando la gasolina extra y el GLP para el funcionamiento del MEP en 900 RPM se realizaron 4 pruebas con cada combustible de las cuales fueron promediadas para obtener un resultado conciso.

#### 3.6.1.1. Monóxido de Carbono (CO).

Los resultados registrados en las cuatro pruebas de CO se pueden observar en la figura 76, en la cual se pueden contemplar que los valores de CO empleando el GLP como combustible son relativamente muy bajos mientras que con gasolina extra los valores son altos cuando el MEP está funcionando en bajas RPM o en ralentí.

**Figura 76.**

*Emisiones de CO a 900 RPM.*



Obtenido de: Autores.

Los resultados promedios obtenidos de monóxido de carbono empleando gasolina extra y GLP como combustibles para el funcionamiento del MEP a 900 RPM se puede apreciar en la tabla 41, en la cual se puede apreciar el valor de CO expresado en % vol. Con el MEP funcionando con gasolina extra el valor promedio es de 1,26 % vol., mientras que empleando el GLP para el funcionamiento el valor promedio tiende a disminuir a 0,20 % vol.; es decir el valor de CO es disminuye el 84,1% cuando el MEP está funcionando con GLP y este se encuentre en bajas revoluciones o en ralentí que en comparación con la gasolina extra.

**Tabla 41.** Emisiones de CO a 900 RPM.

CO – 900 RPM		
	GASOLINA EXTRA	GLP
% Vol	1,26	0,20

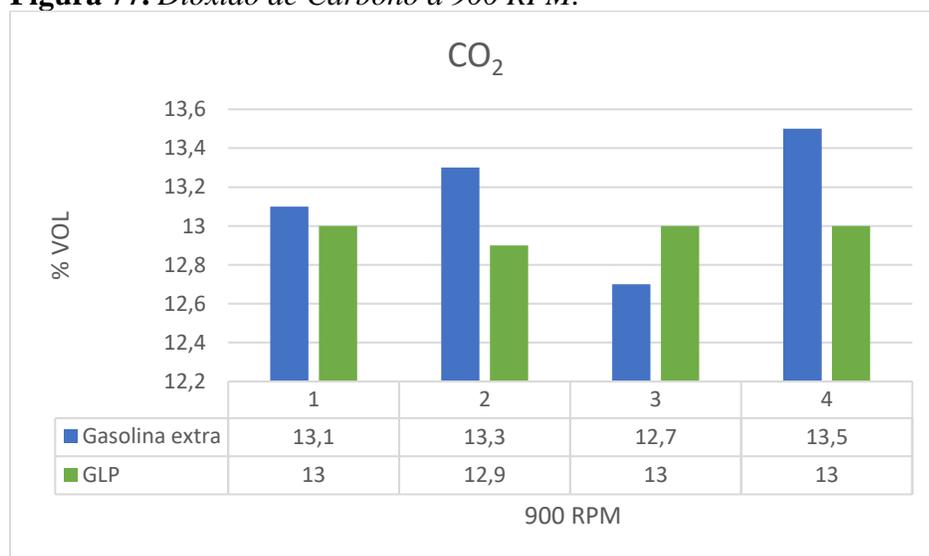
Obtenido de: Autores.

En caso de tener el alto valor de CO cuando el MEP funciona con GLP se debe a una mala calibración de la marcha mínima o existe poco ingreso de aire y como consecuencia no habrá una mezcla estequiométrica correcta, es decir tenemos mezcla rica.

### 3.6.1.2. Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>).

Los resultados conseguidos en las cuatro pruebas de CO<sub>2</sub> se pueden apreciar en la figura 77, en la cual se puede verificar que los valores de CO<sub>2</sub> empleando el GLP como combustible tienden a disminuir cuando el MEP está funcionando en bajas RPM o en ralentí. En este caso los valores de CO<sub>2</sub> son altos cuando el motor se encuentra funcionando con gasolina extra.

**Figura 77.** Dióxido de Carbono a 900 RPM.



Obtenido de: Autores.

En la tabla 42 se presentan los valores promediados de CO<sub>2</sub> cuando se usan los dos combustibles para el funcionamiento del MEP en 900 RPM. En este caso tenemos que el valor de CO<sub>2</sub> aumenta cuando se está utilizando gasolina extra, es decir 13,15 % vol, mientras que el valor de CO<sub>2</sub> es menor con un valor de diferencia del 12,98 % vol. cuando se emplea el GLP; lo que presenta una mínima diferencia del 1,30%.

**Tabla 42.**

*Dióxido de Carbono a 900 RPM.*

CO <sub>2</sub> – 900 RPM		
	GASOLINA EXTRA	GLP
% Vol	13,15	12,98

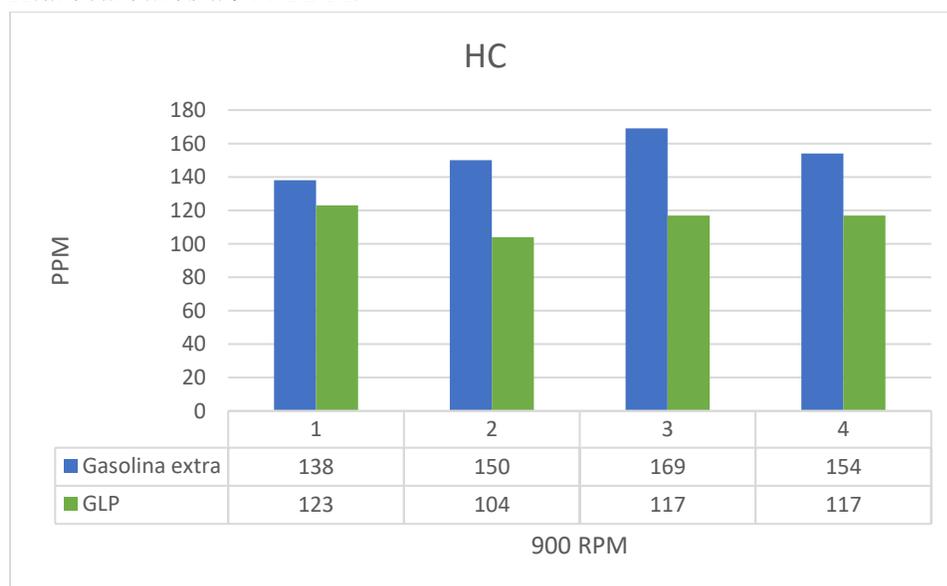
Obtenido de: Autores.

### 3.6.1.3. Hidrocarburos (HC).

Los resultados adquiridos en las cuatro pruebas de HC se pueden apreciar en la figura 78, en la cual se puede verificar que los valores de HC empleando el GLP como combustible tienden a aumentar considerablemente cuando el MEP está funcionando en ralentí, principalmente con gasolina extra los valores de HC alcanzan niveles más altos.

**Figura 78.**

*Hidrocarburos a 900 RPM.*



Obtenido de: Autores.

Como muestra la tabla 43, en bajas RPM el valor de HC presenta un mayor valor cuando se emplea la gasolina extra obteniendo el un valor promedio de 152,75 ppm vol., en cambio, el valor

promedio empleando GLP es de 115,5 ppm vol. el cual tiende a disminuir debido a la existencia de una mejor combustión, el porcentaje de diferencia es de 24,4% menor usando GLP.

**Tabla 43**

*Hidrocarburos a 900 RPM.*

HC – 900 RPM		
	GASOLINA EXTRA	GLP
PPM	152,75	115,5

Obtenido de: Autores.

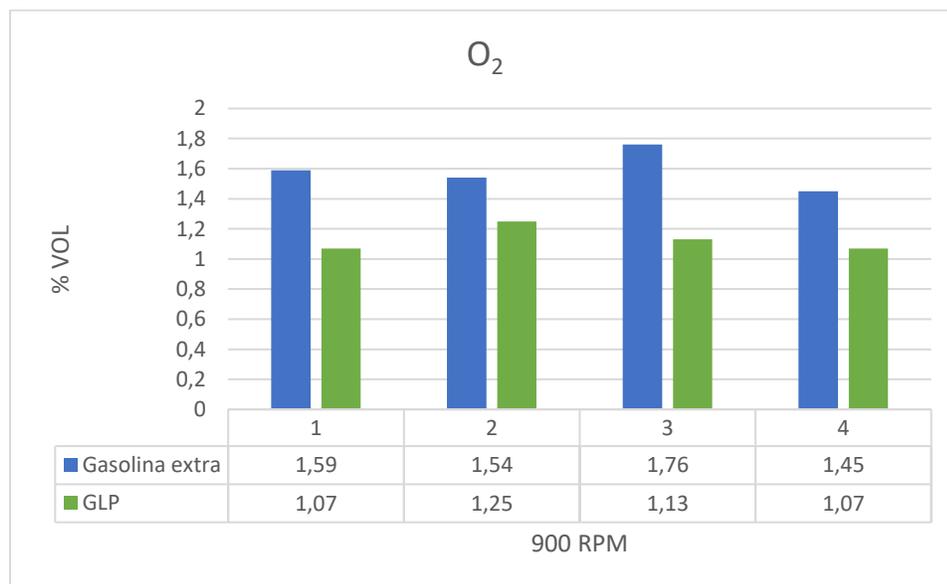
El aumento del valor de HC utilizando la gasolina extra puede ser consecuencia de demasiado combustible en la mezcla, mala ignición o calidad del combustible, produciendo una combustión imperfecta y por ende el aumento de HC.

#### 3.6.1.4. Oxígeno (O<sub>2</sub>).

Los resultados registrados en las cuatro pruebas de O<sub>2</sub> se pueden apreciar en la figura 79, en la cual se puede verificar que los valores de O<sub>2</sub> empleando el GLP como combustible tienden a disminuir cuando el MEP está funcionando en ralentí obteniendo un promedio de 1,13 % vol de oxígeno, los valores son diferentes debido a el valor de la mezcla estequiométrica.

**Figura 79**

*O<sub>2</sub> obtenido a 900 RPM.*



Obtenido de: Autores.

Como se puede observar en la tabla 44, en bajas RPM el valor de O<sub>2</sub> tiende a aumentar cuando se emplea la gasolina extra dando como resultado el valor de 1,59 % vol., en comparación con el

valor empleando GLP con un valor de 1,13 % vol.; es decir presenta el porcentaje de diferencia del 28,9%.

**Tabla 44**

*O<sub>2</sub> obtenido a 900 RPM.*

<b>O<sub>2</sub> – 900 RPM</b>		
	<b>GASOLINA EXTRA</b>	<b>GLP</b>
<b>% Vol</b>	1,59	1,13

Obtenido de: Autores.

### 3.6.1.5. Análisis de los Valores Promedios de Emisiones en Ralentí

Con los datos promediados de las emisiones producidas y tabuladas en la tabla 45, se puede esclarecer la diferencia de los resultados de las emisiones usando gasolina extra y GLP especialmente los datos de CO y HC los cuales sus valores están limitados por la normativa NTE INEN 2204; con respecto al CO, cuando se emplea GLP y con RPM bajas o en ralentí el valor expresado en % Vol. tiende a disminuir considerablemente en un valor 1,06. En cambio, los niveles de HC disminuyen cuando se utiliza el GLP, en este caso disminuye el 37,5 ppm.

**Tabla 45**

*Valores promedios de los valores registrados de emisiones en ralentí.*

<b>Valores promedios de emisiones en ralentí</b>			
<b>Emisiones</b>	<b>Gasolina extra</b>	<b>GLP</b>	<b>Unidad</b>
<b>CO</b>	1,26	0,20	% Vol.
<b>CO<sub>2</sub></b>	13,15	12,98	% Vol.
<b>HC</b>	152,75	115,25	ppm
<b>O<sub>2</sub></b>	1,59	1,13	% Vol.

Obtenido de: Autores.

### 3.6.2. Análisis de Emisiones de Escape con Gasolina Extra y GLP a 2500 RPM

Para la argumentación de emisiones de escape empleando la gasolina extra y el GLP para el funcionamiento del MEP en 2500 RPM se realizaron 4 pruebas de las cuales fueron promediadas para obtener un resultado conciso.

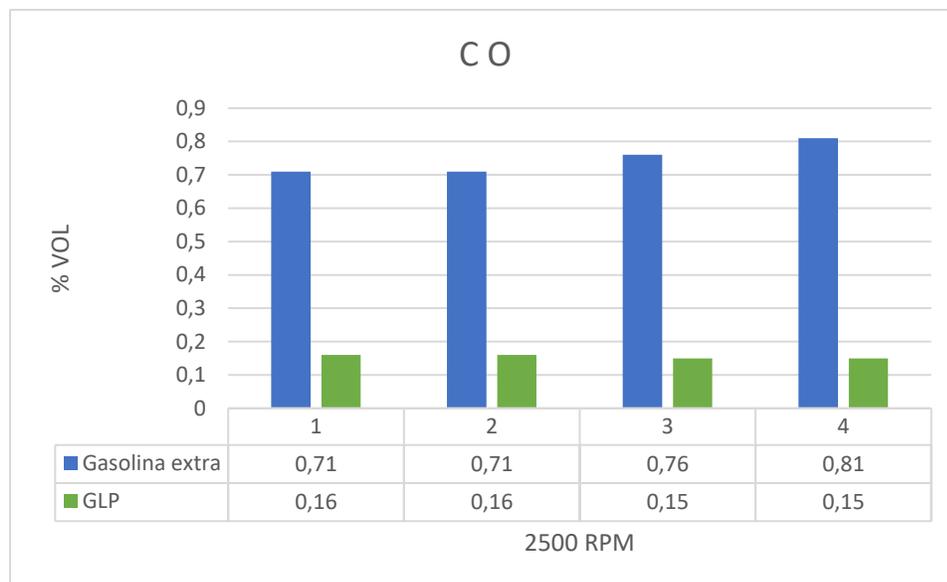
#### 3.6.2.1. Monóxido de Carbono (CO)

Los valores adquiridos en las cuatro pruebas de CO se pueden observar en la figura 80, en la cual se puede denotar que los valores de CO empleando el GLP como combustible son relativamente

bajos cuando el MEP está funcionando en 2500 RPM. En cambio, los valores de CO empleando gasolina extra son altos en comparación con el GLP.

**Figura 80**

*Monóxido de Carbono a 2500 RPM.*



Obtenido de: Autores.

De acuerdo con la tabla 46, los datos registrados de CO a 2500 RPM en el cual los valores resultantes poseen una diferencia del 78,7%. En este caso el valor de CO utilizando el GLP es de 0,16 % vol., mientras que con gasolina extra el valor es de 0,75 % vol.

Los valores han disminuido en comparación con los resultados en bajas RPM, especialmente el valor de CO con GLP tiende a disminuir considerablemente en altas RPM.

**Tabla 46**

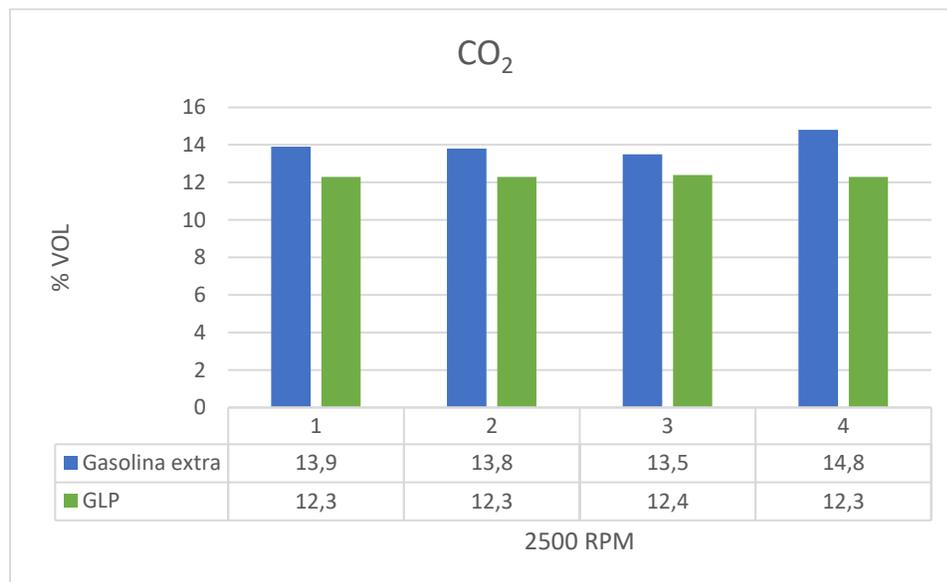
*Monóxido de Carbono a 2500 RPM.*

CO – 2500 RPM		
	GASOLINA EXTRA	GLP
% Vol	0,75	0,16

Obtenido de: Autores.

### 3.6.2.2. Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>).

Los resultados alcanzados en las cuatro pruebas de CO<sub>2</sub> pueden ser observados en la figura 81, en la cual se puede analizar que los valores de CO<sub>2</sub> empleando el GLP como combustible tienden a disminuir cuando el MEP está funcionando en altas RPM. En cambio, los valores de CO<sub>2</sub> empleando gasolina extra tienden a ser altos en comparación con el GLP.

**Figura 81.***Dióxido de carbono a 2500 RPM.*

Obtenido de: Autores.

En la tabla 47, se aprecian los valores promediados obtenidos de CO<sub>2</sub> a 2500 RPM con ambos combustibles. En los valores de la tabla se presenta un mínimo aumento de CO<sub>2</sub> cuando se emplea la gasolina extra y tiende a disminuir al utilizar el GLP en comparación de funcionamiento del MEP en bajas RPM, siendo el valor alto cuando se emplea la gasolina extra con el valor de 14 % vol. por otro lado con el GLP se observa un valor de 12,33 % vol.; es decir el valor CO<sub>2</sub> presenta la diferencia de 11,9% en comparación con ambos combustibles en 2500 RPM.

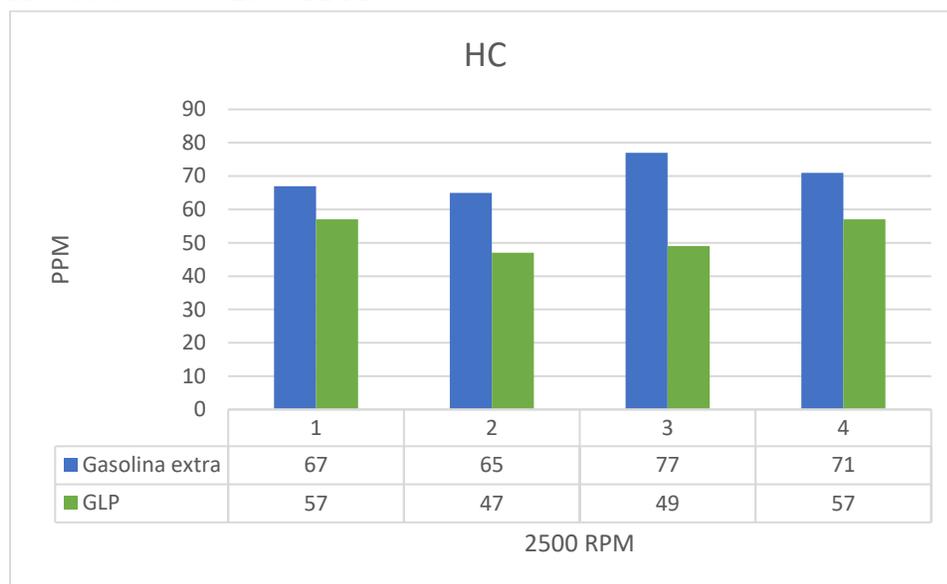
**Tabla 47.***Dióxido de carbono a 2500 RPM.*

CO <sub>2</sub> – 2500 RPM		
	GASOLINA EXTRA	GLP
% Vol	14	12,33

Obtenido de: Autores.

### 3.6.2.3. Hidrocarburos (HC).

Los resultados alcanzados en las cuatro pruebas de HC se pueden observar en la figura 82, en la cual se puede contemplar que los resultados de HC empleando el GLP como combustible tienden a disminuir cuando el MEP está funcionando en altas RPM. En cambio, los valores de HC empleando gasolina extra se diferencian por ser altos en comparación con el GLP.

**Figura 82.***Hidrocarburos a 2500 RPM.*

Obtenido de: Autores.

Como se aprecia en la tabla 48, los resultados correspondientes de HC a 2500 RPM con ambos combustibles. En los resultados obtenidos se pueden apreciar que el valor de HC empleando el GLP tiende a disminuir considerablemente en comparación con la gasolina extra y con la prueba en 900 RPM. El valor de HC para el GLP es de 52,5 ppm vol. y de 70 ppm vol. para la gasolina extra el cual tiene un aumento del 25,0% en comparación del valor de GLP.

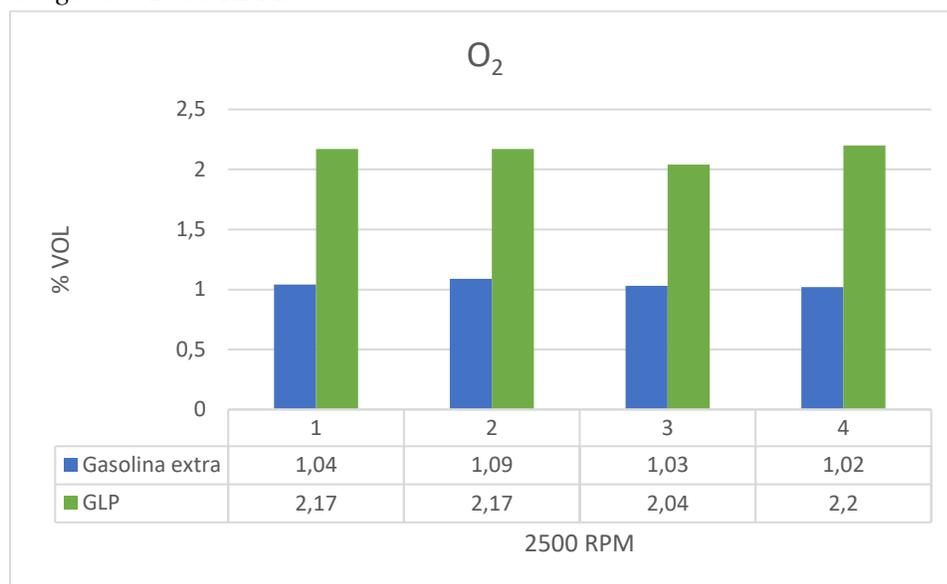
**Tabla 48***Hidrocarburos a 2500 RPM.*

HC – 2500 RPM		
	GASOLINA EXTRA	GLP
PPM	70	52,5

Obtenido de: Autores.

### 3.6.2.4. Oxígeno (O<sub>2</sub>)

Los resultados registrados en las cuatro pruebas de CO se pueden observar en la figura 83, en la cual se puede denotar que los valores de O<sub>2</sub> empleando el GLP como combustible tienden a aumentar cuando el MEP está funcionando en altas RPM. En cambio, los valores de O<sub>2</sub> empleando gasolina extra se mantiene en su valor idóneo para el funcionamiento del MEP en comparación con el GLP.

**Figura 83.***Oxígeno a 2500 RPM.*

Obtenido de: Autores.

En la tabla 49 se puede analizar los valores alcanzados de O<sub>2</sub> en el ensayo de medición de los gases producidos a 2500 RPM. El valor de O<sub>2</sub> empleando el GLP es de 2,15 % vol. el cual aumenta considerablemente si lo comparamos con los resultados obtenidos a 900 RPM, mientras que para la gasolina extra es de 1,05 % vol. el cual tiende a disminuir en comparación del valor promedio obtenido a 900 RPM; en este caso se tiene una diferencia considerable del 51,2% cuando se emplea el GLP como combustible para el funcionamiento del MEP.

**Tabla 49***Oxígeno a 2500 RPM.*

O <sub>2</sub> – 2500 RPM		
	GASOLINA EXTRA	GLP
% Vol	1,05	2,15

Obtenido de: Autores.

### 3.6.2.5. Análisis de los Valores Promedios de Emisiones en 2500 RPM.

Con los valores recopilados y promediados de las emisiones producidas y registrados en la tabla 50, se logra determinar la diferencia de los datos de las emisiones empleando gasolina extra y GLP especialmente el valor de CO y HC; con respecto al CO, cuando se emplea GLP en bajas RPM o en ralentí el valor tiende a disminuir en 59 % Vol. A su vez, los valores de HC también disminuyen cuando se utiliza el GLP, en este caso disminuye el 17,5 ppm.

**Tabla 50***Valores promedios de los valores registrados de emisiones en 2500 RPM.*

Emisiones	Valores promedios de emisiones en ralentí		
	Gasolina extra	GLP	Unidad
CO	0,75	0,16	% Vol.
CO <sub>2</sub>	14	12,33	% Vol.
HC	70	52,5	ppm
O <sub>2</sub>	1,05	2,15	% Vol.

Obtenido de: Autores.

### 3.6.3. Comparación de los Valores de Emisiones de Gases de la Combustión de Acuerdo con la Normativa NTE INEN 2204

La norma NTE INE 2204 en la sección 6.1.1 manifiesta los valores máximos de emisiones de escape que deben cumplir los vehículos en condición de RPM mínimo o ralentí en prueba estática, aquellos resultados pueden ser observados en la tabla 11. Se debe estimar el año de fabricación del automotor y la altura para observar los límites establecidos; el año de fabricación del automovil es de 1997 y la altura de la prueba esta entre el rango de 1500 a 3000 msnm.

#### 3.6.3.1. Valores Obtenidos con Gasolina Extra en Marcha Mínima.

Teniendo en cuenta aquellos valores, se puede comparar y verificar si el vehículo usado para este estudio aprueba los límites establecidos. En la tabla 51, se plasman los resultados promediados de CO y HC registrados de los cuatro ensayos en marcha mínima empleando la gasolina extra, del cual se puede determinar que el vehículo cumple con los valores que dicta la normativa.

**Tabla 51.***Comparativa de valores de emisiones de gases contaminantes con gasolina extra.*

VALORES OBTENIDOS CON GASOLINA EXTRA – 900 RPM		LIMITES MÁXIMOS IMPUESTOS POR LA NORMATIVA NTE INEN 2204	
CO	HC	CO	HC
1,26 % Vol	152,75 ppm	4,5 % Vol	750 ppm

Obtenido de: Autores.

#### 3.6.3.2. Valores Obtenidos con GLP en Marcha Mínima.

Los valores alcanzados del test de emisiones empleando el GLP como combustible se pueden observar en la tabla 41 y 43. Al no existir una normativa que evalúe las emisiones de medios móviles que emplean el GLP como combustible se considera emplear los límites indicados y implantados por la norma NTE INEN 2204 en su sección 6.1.1. Como se puede apreciar en la tabla

52 y comparándolos con los límites máximos por la normativa, se puede determinar que el vehículo cumple y está entre los rangos permitidos.

**Tabla 52.**

*Comparativa de valores de emisiones de gases contaminantes con GLP.*

VALORES OBTENIDOS CON GLP – 900 RPM		LÍMITES MÁXIMOS IMPUESTOS POR LA NORMATIVA NTE INEN 2204	
CO	HC	CO	HC
0,2 % Vol	115,5 ppm	4,5 % Vol	750 ppm

Obtenido de: Autores.

### 3.6.4. Análisis de la Variación del Factor Lambda Según el Tipo de Combustible

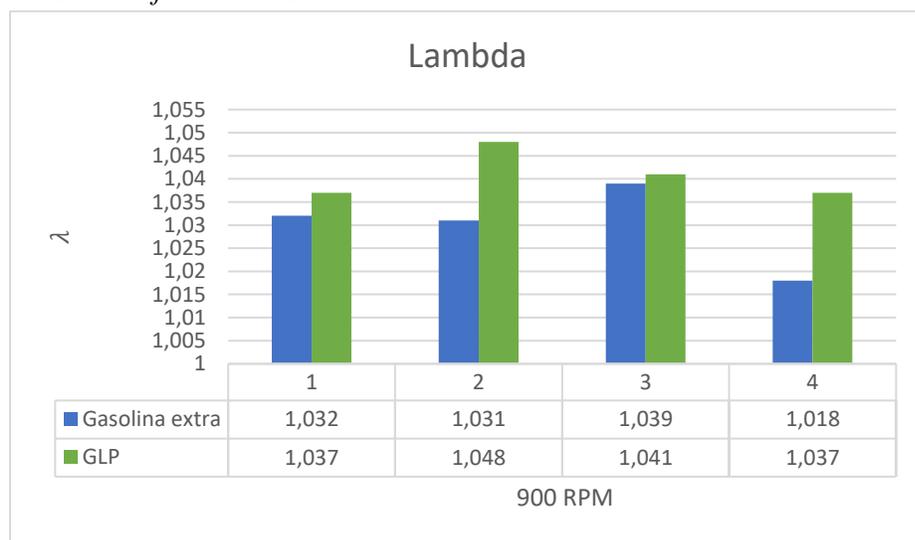
#### 3.6.4.1. Valores de Factor Lambda con Gasolina Extra y GLP a 900 RPM.

Los valores obtenidos del factor lambda tras la medición de las emisiones de generadas en la combustión del automotor Chevrolet Corsa Wind en 900 RPM se pueden observar en la figura 84, la cual permitirá realizar una comparación entre los valores obtenidos en las cuatro pruebas al usar gasolina extra y GLP.

En la figura 84, los resultados indican que a 900 RPM utilizando el GLP el valor del factor lambda se encuentra por el valor mínimo de 1,037 en la prueba 1 y 4, mientras que en la prueba 2 el factor lambda con GLP alcanza el valor 1,048; en este caso el valor representa el funcionamiento del motor en mezcla pobre. En cambio, con gasolina extra el factor lambda en la última prueba presenta una variación considerable.

**Figura 84.**

*Valores de factor lambda.*



Obtenido de: Autores.

En la tabla 53 se puede apreciar los resultados promedios de las cuatro pruebas ejecutados el cual permitirá comparar cuál es su diferencia al usar ambos combustibles. El valor promedio con gasolina extra es de 1,03 y con GLP de 1,04 es decir que existe una diferencia del 1,1% en función con el valor del factor lambda usando gasolina extra a 900 RPM.

**Tabla 53.**

*Valores de factor lambda a 900 RPM.*

Factor lambda		
Prueba	Gasolina extra	GLP
1	1,032	1,037
2	1,031	1,048
3	1,039	1,041
4	1,018	1,037
<b>Promedio</b>	1,03	1,041

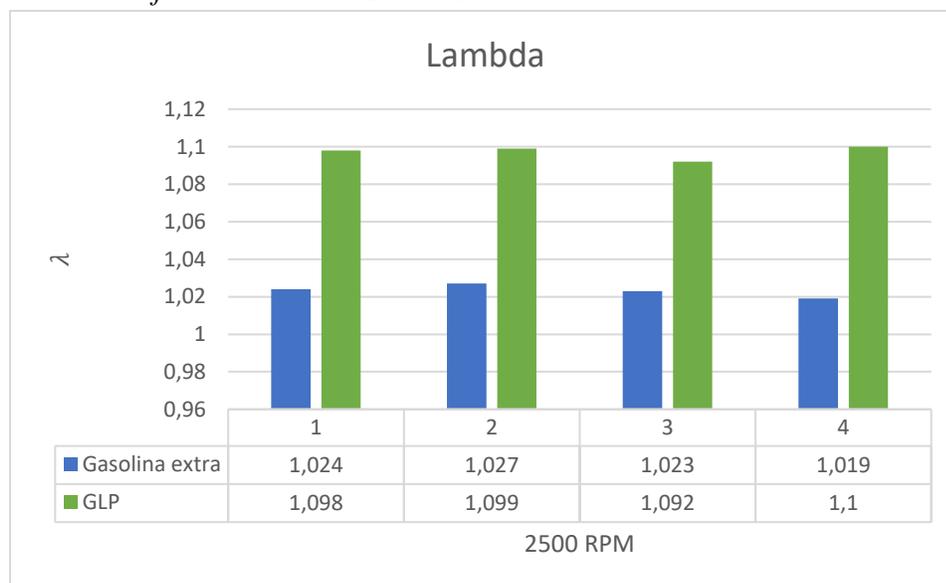
Obtenido de: Autores.

### 3.6.4.2. Valores de Factor Lambda con Gasolina Extra y GLP a 2500 RPM.

En la figura 85, los resultados indican que a 2500 RPM utilizando el GLP el valor del factor lambda tiende a aumentar considerablemente al valor de 1,1 comparándolo con el valor lambda en todas las pruebas desarrolladas. En cambio, con gasolina extra el factor lambda no tiene variaciones considerables y se mantiene estable entre los rangos de 1,019 a 1,024.

**Figura 85**

*Valores de factor lambda a 2500 RPM.*



Obtenido de: Autores.

De acuerdo con la tabla 54, en la cual se manifiestan los valores promediados de todos los cuatro ensayos efectuados a 2500 RPM el cual permitirá comparar cuál fue la diferencia al usar ambos combustibles. El valor promedio con gasolina extra es de 1,02 y con GLP de 1,097 es decir que existe una diferencia de incremento del 7,2% en función al valor del factor lambda con gasolina extra a 2500 RPM.

**Tabla 54**

*Valores de factor lambda a 2500 RPM.*

Factor lambda A 2500 RPM		
Prueba	Gasolina extra	GLP
1	1,024	1,098
2	1,027	1,099
3	1,023	1,092
4	1,019	1,1
<b>Promedio</b>	1,023	1,097

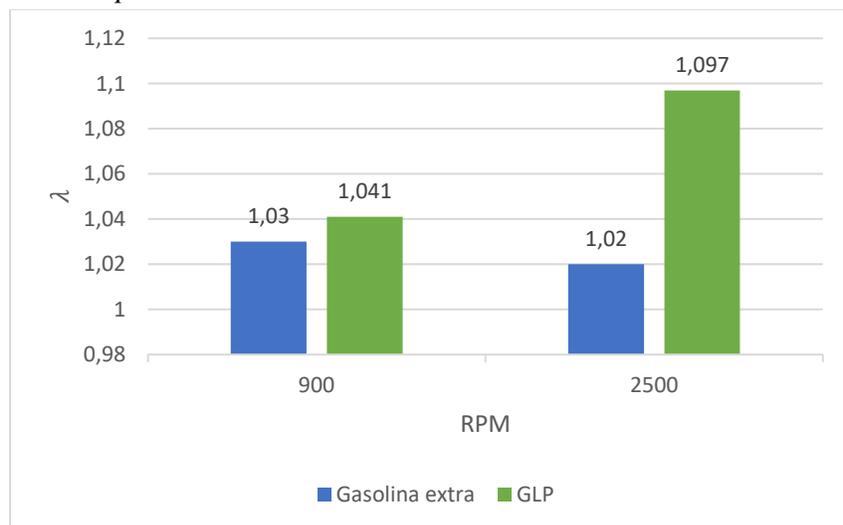
Obtenido de: Autores.

### 3.6.4.3. Valores Promedio del Factor Lambda en 900 RPM y 2500 RPM.

En la figura 86, se pueden observar cual fue el cambio promediado que hubo al incrementar las RPM con ambos combustibles. El valor de lambda con GLP tuvo el mayor incremento del 5,4% al aumentar las RPM, mientras que el valor de lambda con gasolina extra disminuyo en 1%. Es decir, que a mayor RPM el valor de lambda con GLP tiende a aumentar, e inversamente para el valor de lambda con gasolina extra.

**Figura 86**

*Valores promedios de lambda en cada RPM.*



Obtenido de: Autores.

### 3.7. Análisis del Comportamiento del sensor de O<sub>2</sub>

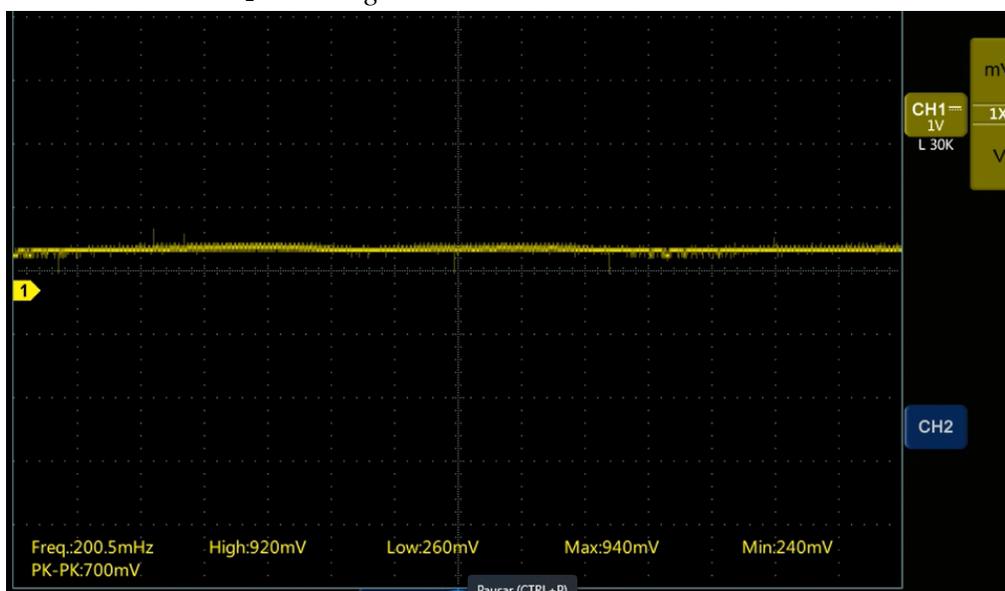
El sensor lambda registra los niveles de concentración de O<sub>2</sub> que contiene los gases producidos durante la combustión, es decir mide la proporción de oxígeno no consumido y determina si la mezcla sea rica o pobre; dicha información captada por el sensor es enviada a la ECU para que se encargue de ajustar la mezcla con el fin de obtener un mejor desempeño del motor, disminuir el consumo y aminorar los gases contaminantes.

#### 3.7.1. Análisis del Comportamiento de O<sub>2</sub> con Gasolina Extra

El comportamiento del sensor O<sub>2</sub> se representa mediante la figura 87 la cual corresponde a la señal de voltaje registrado por el sensor O<sub>2</sub> cuando el MEP está funcionando con gasolina extra a 900 RPM, en la cual se puede apreciar que el sensor O<sub>2</sub> registra la variación de voltaje cuyo valor máximo podemos comprobar con el scanner conectado al DLC del vehículo.

#### Figura 87.

*Señal del sensor O<sub>2</sub> usando gasolina extra.*



Obtenido de: Autores.

En la figura 88, se puede observar el valor registrado por el escáner el cual indica el valor máximo de voltaje registrado por el sensor de oxígeno cuando el MEP está funcionando en 900 RPM; indica que la mezcla es rica la cual representa a tener poca cantidad de oxígeno que combustible. Junto con la señal obtenida del osciloscopio y del escáner se puede determinar que el valor máximo registrado por el sensor O<sub>2</sub> es de 932 mV en bajas revoluciones lo que representa tener una mezcla rica con gasolina extra.

**Figura 88.**

*Voltaje del sensor O<sub>2</sub> registrado por el escáner con gasolina extra.*

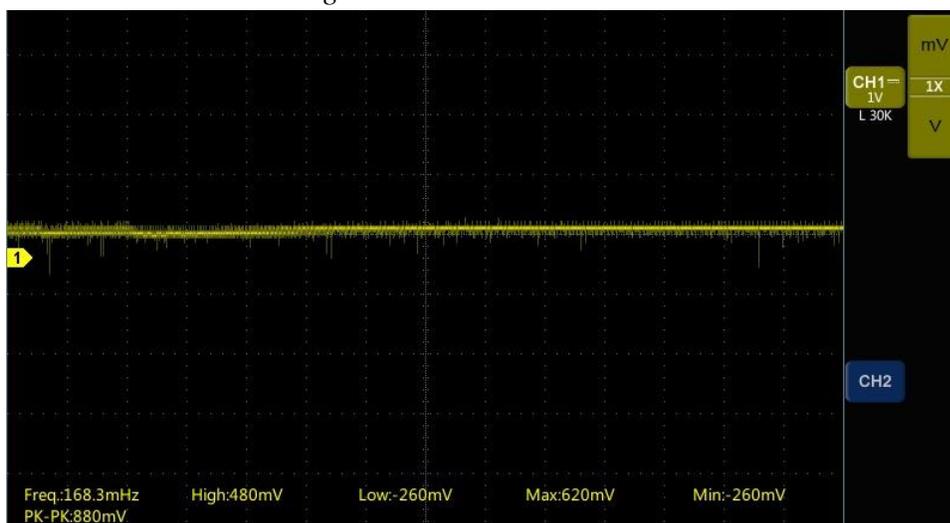
Parámetros	Valores
Avance Chispa	21,6°
O <sub>2</sub> Sensor	932 mV
Conector Sensor O <sub>2</sub>	CLOSED
Mezcla Aire/Combustible	RICH
Ajuste Comb. Corto/PL	-5,6%

Obtenido de: Autores.

Al realizar el cambio de RPM acelerando el MCI, la señal en el osciloscopio varía entre mezcla rica y pobre como se puede apreciar en la figura 89. La alteración de la señal se da debido a que el sensor envía el valor de voltaje a la ECU y esta determina el tiempo de inyección de combustible; cuando se registra un valor mayor a 900 mV, la ECM reduce el tiempo de inyección provocando una mezcla pobre el cual se representa con el valor de 480 mV y es enviado nuevamente a la ECU la cual incrementará el pulso de inyección obteniendo otra vez una mezcla rica repitiéndose el ciclo nuevamente.

**Figura 89**

*Señal del sensor O<sub>2</sub> con gasolina extra en 2500 RPM.*



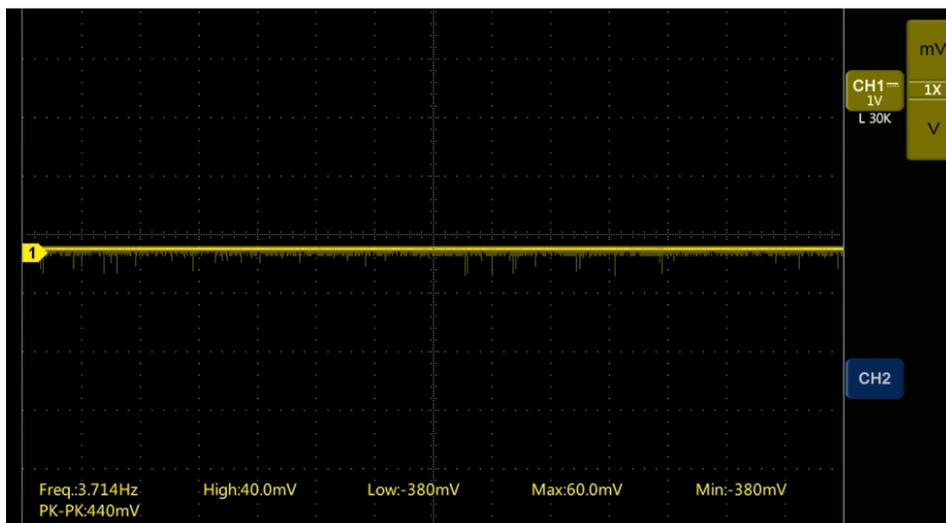
Obtenido de: Autores.

**3.7.2. Análisis del Comportamiento de O<sub>2</sub> con GLP**

Usando el GLP como combustible, el comportamiento del sensor O<sub>2</sub> se representa mediante la figura 90 la cual corresponde a la señal de voltaje recopilado por el sensor O<sub>2</sub> cuando el MEP está funcionando en 900 RPM, donde se puede apreciar que el sensor O<sub>2</sub> registra el valor de voltaje de 40 mV máximo en cual también podemos corroborar con el scanner conectado al DLC.

**Figura 90.**

*Señal del sensor O<sub>2</sub> con GLP en 900 RPM.*



Obtenido de: Autores.

En la figura 91, se obtiene el valor registrado por el scanner en el cual nos representa el valor máximo cuando el MEP está funcionando en ralentí, además nos indica que la mezcla es pobre la cual representa a tener mayor cantidad de oxígeno que combustible. Junto con la señal obtenida del osciloscopio se puede determinar que el valor máximo registrado por el sensor O<sub>2</sub> es de 48 mV en bajas revoluciones.

**Figura 91.**

*Voltaje del sensor O<sub>2</sub> con GLP a 900 RPM.*

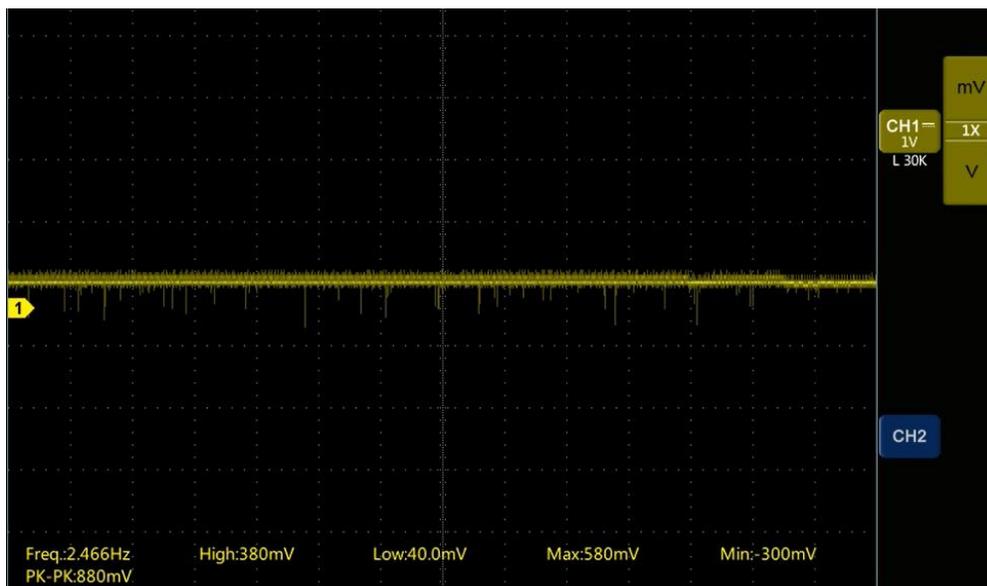
Parámetros	Valores
Avance Chispa	21,9°
O <sub>2</sub> Sensor	48 mV
Conector Sensor O <sub>2</sub>	CLOSED
Mezcla Aire/Combustible	POOR
Ajuste Comb. Corto/PL	38,9%

Obtenido de: Autores.

En cambio, cuando el MEP tiene cambios de RPM la forma de onda registrada por el osciloscopio indica que existe una mezcla pobre cuando se acelera la cual podemos observar en la figura 92, esto representa que tenemos mayor presencia de aire y por ende se indica una mezcla pobre la cual es razonable cuando el MEP aumenta las RPM y se emplean el GLP debido también al cambio de mezcla estequiométrica. La ECU no puede realizar el ajuste de combustible por lo que la variación de onda en la señal no estará presente en comparación con la onda registrada empleando la gasolina extra.

**Figura 92.**

Señal del sensor O2 con GLP en 2500 RPM.



Obtenido de: Autores.

### 3.8. Factor de emisiones

#### 3.8.1. Huella de Carbono

##### 3.8.1.1. Huella de Carbono usando Gasolina Extra

Los valores para usarse para la obtención de la huella de carbono en bajas RPM se muestran en la tabla 55, además de utilizar las ecuaciones 2 y 3 indicadas en el literal 3.7.2, juntamente con la ecuación 12.

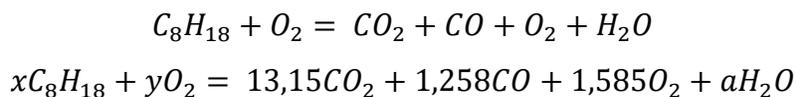
**Tabla 55**

*Valores promedios de las emisiones de escape en bajas RPM con gasolina extra.*

Emisiones	Valor
CO <sub>2</sub>	13,15 % Vol
CO	1,258 % Vol
O <sub>2</sub>	1,585 % Vol

Obtenido de: Autores.

El procedimiento para determinar los resultados de la huella de carbono utilizando la gasolina extra se presentan a continuación:



Igualando "C" se obtiene:

$$x = 1,801$$

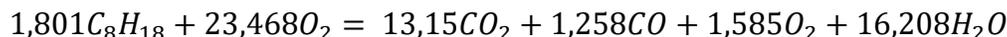
Igualando “H” se obtiene:

$$a = 16,208$$

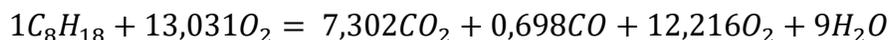
Igualando “O” se obtiene:

$$y = 23,468$$

Se ubican los valores obtenidos en la ecuación estequiométrica:



Se divide la ecuación de acuerdo a una cantidad de combustible:



Se aplica las ecuaciones de la huella de carbono utilizando la masa molecular del combustible y del CO<sub>2</sub>. Para la huella de carbono de CO<sub>2</sub>:

$$\frac{kgCO_2}{kgC_8H_{18}} = \frac{44 \frac{kg}{mol} * x 7,302}{114 \frac{kg}{mol}}$$

$$\frac{kgCO_2}{kgC_8H_{18}} = 2,818$$

Para la huella de carbono de CO:

$$\frac{kgCO}{kgC_8H_{18}} = \frac{44 \frac{kg}{mol} * x 0,698}{114 \frac{kg}{mol}}$$

$$\frac{kgCO}{kgC_8H_{18}} = 0,269$$

De acuerdo a los cálculos realizados, se obtiene el valor de 2,818 de kgCO<sub>2</sub>/kg de combustible y de 0,269 kg CO/kg de combustible cuando el MEP se encuentra funcionando en ralentí. En cambio, cuando el MEP está funcionando en altas RPM las emisiones tienden a disminuir especialmente el de CO y O<sub>2</sub>; los valores de las emisiones para usarse para la obtención de la huella de carbono se contemplan en la tabla 56 correspondientes a los datos promedios de la medición de emisiones.

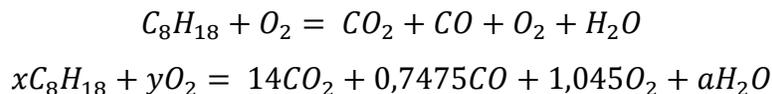
**Tabla 56**

*Valores promedios de las emisiones de escape en altas RPM con gasolina extra.*

Emisiones	Valor
CO <sub>2</sub>	14 % Vol
CO	0,748 % Vol
O <sub>2</sub>	1,045 % Vol

Obtenido de: Autores.

El procedimiento para calcular los resultados de la huella de carbono utilizando la gasolina extra se presentan a continuación:



Igualando “C” se obtiene:

$$x = 1,843$$

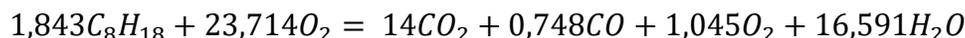
Igualando “H” se obtiene:

$$a = 16,591$$

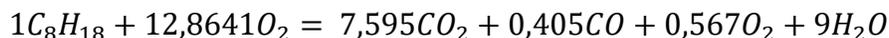
Igualando “O” se obtiene:

$$y = 23,714$$

Se ubican los valores obtenidos en la ecuación estequiométrica:



Se divide la ecuación de acuerdo a una cantidad de combustible:



Se aplica las ecuaciones de la huella de carbono utilizando la masa molecular del combustible y del CO<sub>2</sub>.

Para la huella de carbono de CO<sub>2</sub>:

$$\frac{kgCO_2}{kgC_8H_{18}} = \frac{44 \frac{kg}{mol} * x 7,595}{114 \frac{kg}{mol}}$$

$$\frac{kgCO_2}{kgC_8H_{18}} = 2,931$$

Para la huella de carbono de CO:

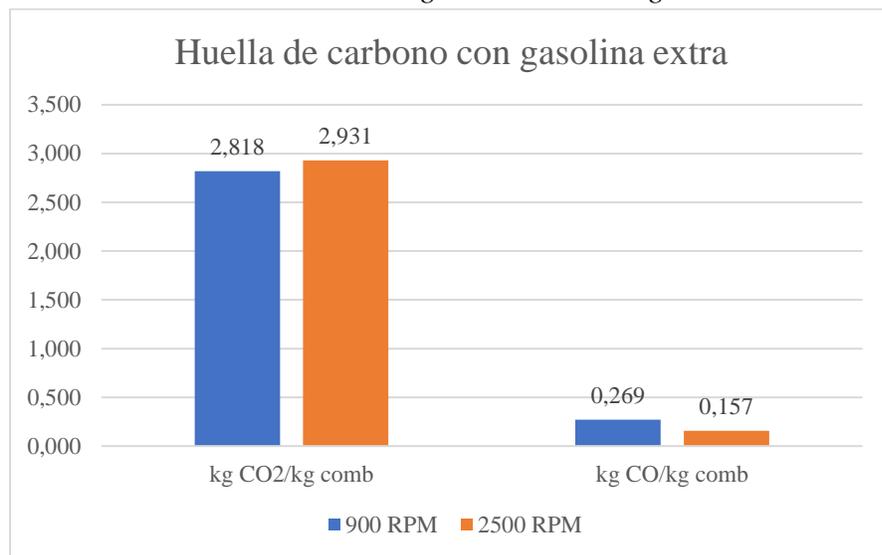
$$\frac{kgCO}{kgC_8H_{18}} = \frac{44 \frac{kg}{mol} * x 0,405}{114 \frac{kg}{mol}}$$

$$\frac{kgCO}{kgC_8H_{18}} = 0,157$$

Posteriormente al cálculo, se obtuvo los siguientes resultados: 2,931 kg CO<sub>2</sub>/kg de combustible y 0,157 kg CO/kg de combustible. Si se comparan los resultados recopilados de la huella de carbono en bajas y altas RPM utilizando gasolina extra, tenemos que en bajas RPM el kg CO<sub>2</sub>/kg aumenta el 3,9% y el kg CO/kg disminuye el 52,6% en altas RPM, como se logra apreciar en la figura 93.

**Figura 93**

Valores de huella de carbono según las RPM con gasolina extra.



Obtenido de: Autores.

### 3.8.1.2. Huella de Carbono con GLP

Los valores registrados de las emisiones producidas por el MEP con GLP en bajas RPM para el cálculo de la huella de carbono se indican en la tabla 57, de igual manera se empleará las ecuaciones 2,3 y 12. En este caso, al ser una mezcla del 40% de butano y 60% de propano en la ecuación estequiométrica se considerará la siguiente forma molecular:  $0,4C_4H_{10} + 0,6C_3H_8$ .

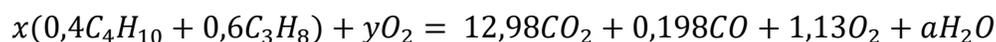
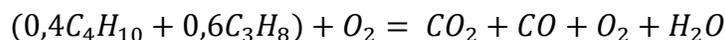
**Tabla 57**

Valores promedios de las emisiones de escape en bajas RPM con GLP.

Emisiones	Valor
CO <sub>2</sub>	12,98 % Vol
CO	0,198 % Vol
O <sub>2</sub>	1,13 % Vol

Obtenido de: Autores.

El procedimiento para determinar los resultados de la huella de carbono utilizando el GLP se presentan a continuación:



Igualando "C" se obtiene:

$$x = 3,874$$

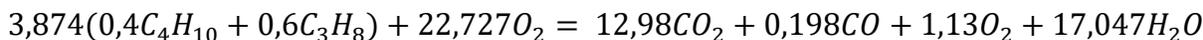
Igualando "H" se obtiene:

$$a = 17,047$$

Igualando "O" se obtiene:

$$y = 22,727$$

Se ubican los valores obtenidos en la ecuación estequiométrica:



Se divide la ecuación con respecto de una cantidad de combustible:



Se aplica las ecuaciones de la huella de carbono utilizando la masa molecular del combustible y del CO<sub>2</sub>.

Para la huella de carbono de CO<sub>2</sub>:

$$\frac{kgCO_2}{kg(0,4C_4H_{10} + 0,6C_3H_8)} = \frac{44 \frac{kg}{mol} * x 3,349}{49,6 \frac{kg}{mol}}$$

$$\frac{kgCO_2}{kg(0,4C_4H_{10} + 0,6C_3H_8)} = 2,971$$

Para la huella de carbono de CO:

$$\frac{kgCO}{kg(0,4C_4H_{10} + 0,6C_3H_8)} = \frac{44 \frac{kg}{mol} * x 0,051}{49,6 \frac{kg}{mol}}$$

$$\frac{kgCO}{kg(0,4C_4H_{10} + 0,6C_3H_8)} = 0,045$$

De acuerdo a los datos ingresados, se obtiene el valor de 2,971 kg CO<sub>2</sub>/kg de GLP y 0,045 kg CO/kg de GLP. Los valores resultantes de las emisiones producidas por el MEP funcionando con GLP correspondiente a los valores promediados en altas RPM para la obtención del valor de la huella de carbono se indican en la tabla 58, en el cual se pueden apreciar

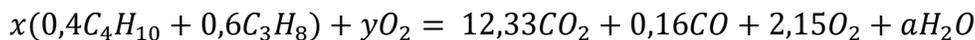
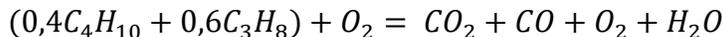
**Tabla 58**

*Valores promedios de las emisiones de escape en altas RPM con GLP.*

Emisiones	Valor
CO <sub>2</sub>	12,33 % Vol
CO	0,16 % Vol
O <sub>2</sub>	2,15 % Vol

Obtenido de: Autores.

El proceso para determinar los valores de la huella de carbono utilizando el GLP se presentan a continuación:



Igualando “C” se obtiene:

$$x = 3,671$$

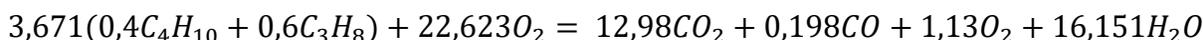
Igualando “H” se obtiene:

$$a = 16,151$$

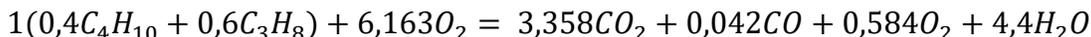
Igualando “O” se obtiene:

$$y = 22,623$$

Se ubican los valores obtenidos en la ecuación estequiométrica:



Se divide la ecuación con respecto a una sola cantidad de combustible:



Se aplica las ecuaciones de la huella de carbono utilizando la masa molecular del combustible y del CO<sub>2</sub>.

Para la huella de carbono de CO<sub>2</sub>:

$$\frac{kgCO_2}{kg(0,4C_4H_{10} + 0,6C_3H_8)} = \frac{44 \frac{kg}{mol} * x 3,358}{49,6 \frac{kg}{mol}}$$

$$\frac{kgCO_2}{kg(0,4C_4H_{10} + 0,6C_3H_8)} = 2,979$$

Para la huella de carbono de CO:

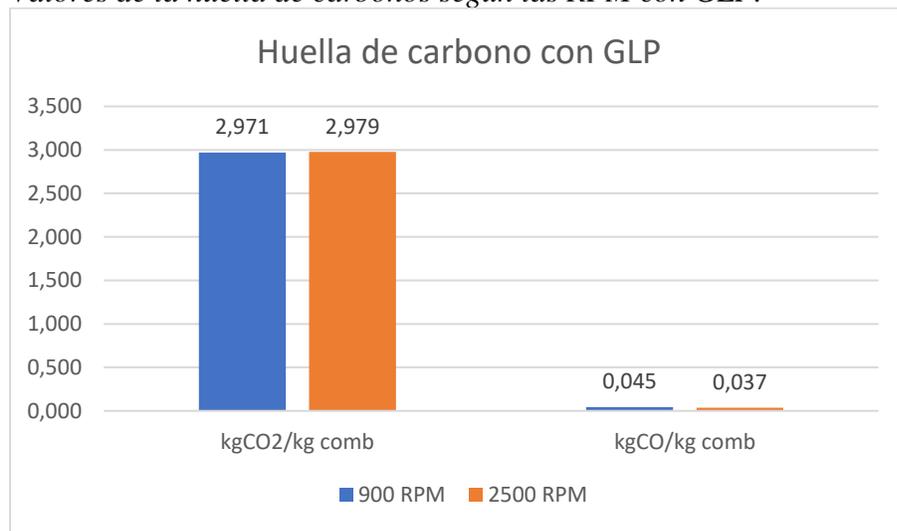
$$\frac{kgCO}{kg(0,4C_4H_{10} + 0,6C_3H_8)} = \frac{44 \frac{kg}{mol} * x 0,042}{49,6 \frac{kg}{mol}}$$

$$\frac{kgCO}{kg(0,4C_4H_{10} + 0,6C_3H_8)} = 0,037$$

De acuerdo a los datos obtenidos y la figura 94, se obtiene los valores de 2,979 de kg CO<sub>2</sub>/kg de GLP y de 0,037 kg CO/kg de GLP en altas RPM; el valor de CO alcanzó niveles totalmente bajos en la prueba de emisiones lo que favorece a obtener menor cantidad de CO producido por cada kilogramo de combustible. El valor del kgCO/kg de combustible disminuye 17,8% cuando el MEP funciona en altas RPM, además es un valor que indica que existe una combustión correcta.

**Figura 94**

Valores de la huella de carbonos según las RPM con GLP.



Obtenido de: Autores.

### 3.8.1.3. Comparación de la Huella de Carbono

De acuerdo con la tabla 59, se puede apreciar que el indicador de kgCO<sub>2</sub>/kg de combustible tiende a aumentar cuando el vehículo funciona en altas RPM con ambos combustibles. Caso contrario sucede con los resultados de kgCO/kg de combustible, los cuales tienden a disminuir cuando el vehículo funciona en altas revoluciones. A su vez, el indicador de kgCO/kgcomb empleando el GLP tienden a disminuir considerablemente en altas RPM siendo la diferencia del 17,8% siendo una disminución importante de acuerdo con la huella de carbono.

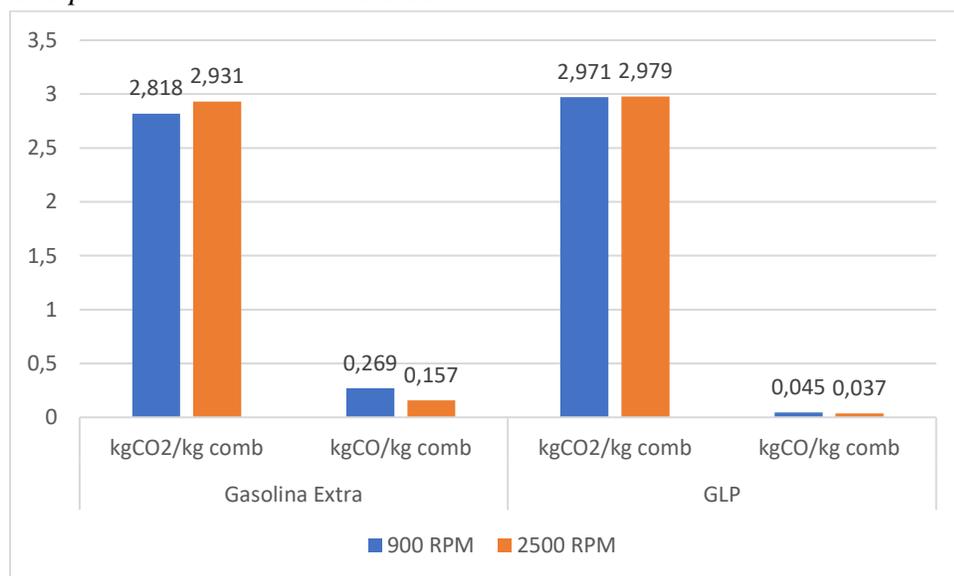
**Tabla 59.**

Valores obtenidos de huella de carbono.

RPM	Valores registrados de la huella de carbono			
	Gasolina Extra		GLP	
	kg CO <sub>2</sub> /kg comb.	kg CO/kg comb	kg CO <sub>2</sub> /kg comb.	kg CO/kg comb
900	2,818	0,269	2,971	0,045
2500	2,931	0,157	2,979	0,037

Obtenido de: Autores.

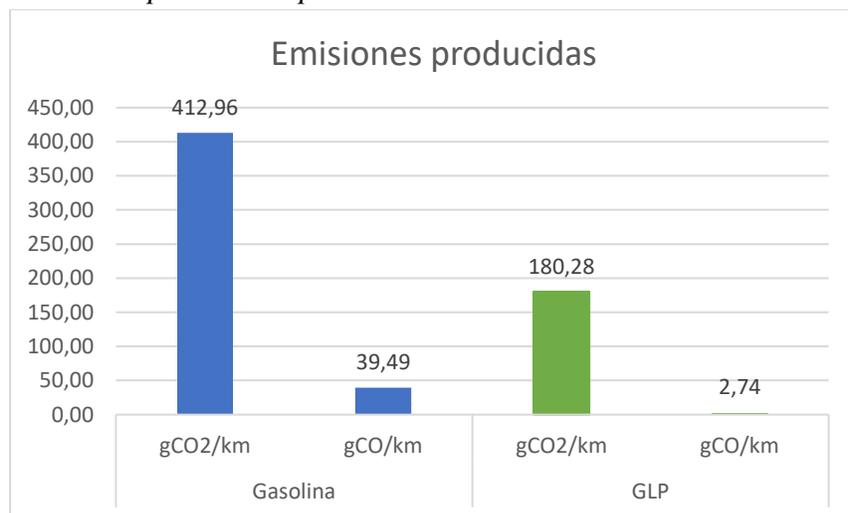
De acuerdo a estos resultados y con la figura 95, se puede manifestar que al emplear el GLP la cantidad que se va a emitir de CO por cada kilogramo es menor cuando el MEP funciona en altas RPM con la comparación con el uso de la gasolina extra, además indica el correcto funcionamiento del MCI y de los elementos del kit de GLP.

**Figura 95***Comparativa de la huella de carbono.*

Obtenido de: Autores.

**3.8.2. Cantidad de emisiones producidas**

En base a los resultados de consumo y de la huella de carbono, se estima la cantidad de emisiones emitidas por el automotor durante el trayecto de 55,7 kilómetros recorridos dando uso de gasolina extra y GLP. Además, se considera solo los datos de la huella de carbono en bajas RPM dado que se emplea los datos registrados en las pruebas de análisis de emisiones son más altos para obtener dichos resultados.

**Figura 96.***Emisiones producidas por kilómetro.*

Obtenido de: Autores.

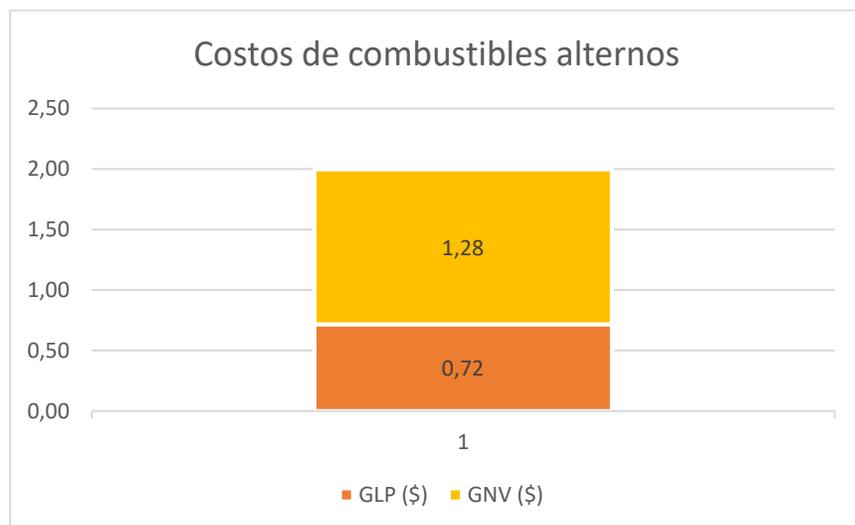
De acuerdo con la figura 96, las emisiones producidas de gCO<sub>2</sub>/km es menor cuando se usa GLP existiendo una reducción del 56,34% comparando con el valor cuando se emplea gasolina extra. Así mismo, el valor de gCO/km empleando GLP presenta una reducción del 93,06% en comparación con el resultado de la gasolina extra; este valor es el más importante debido a que el CO es el principal compuesto que afecta directamente el calentamiento global y el cual aún se puede disminuir si se instala equipos de GLP de quinta o sexta generación en vehículos que posean el sistema de postratamiento de gases.

### 3.8.3. Comparación con otro combustible alternativo

El gas natural vehicular (GNV) es otro combustible alternativo para el funcionamiento de cualquier MEP, tanto el GLP como el GNV proceden de fuentes naturales es decir son combustibles fósiles sin embargo sus propiedades físicas, químicas y procesos de producción son los que los diferencian. Al igual que el GLP el GNV es económico y menos contaminante si lo comparamos con la gasolina convencional, en la figura 97 se pueden observar los precios de estos combustibles alternos.

**Figura 97**

*Precio de combustibles alternos.*



Obtenido de: Autores.

En Ecuador, no existe la accesibilidad al GNV por lo que para diferenciar precios se tomó en cuenta el precio de S/4.90 o lo equivalente a \$1,28 por galón indicado en la figura 97. Si lo comparamos con el precio del GLP automotriz de Ecuador el cual se vende a 0,35 centavos el

kilogramo; si se realiza un breve calculo se establece que en 2,05 kg de GLP existe 1 galón de este, por lo que el valor sería de \$0,72 centavos por galón.

La principal diferencia como en todos los combustibles es el PCS, el cual el GNV posee el valor de 52 MJ/kg mientras que del GLP es de 49,98 MJ/kg; por lo que el GNV será capaz de producir mayor cantidad de energía en el proceso de combustión. Así mismo, el valor de octanaje puede rondar entre los 105 a 115 octanos dependiendo de su origen y el proceso de producción.

Ambos combustibles son menos contaminantes que cualquier otro combustible convencional, sin embargo, el GNV reduce hasta el 97% el valor de CO y el GLP hasta el 96% de las emisiones de CO.

El sistema de GNV es similar al sistema de GLP al igual que el precio de adquisición, su principal diferencia es la presión de almacenaje del gas en el cilindro que es de 200 bares; el cilindro de GNV debe soportar más presiones al igual que el circuito de zona de alta presión por lo que se utiliza cañerías de alta presión por lo general de cobre en los sistemas que se usa GNV.

### **3.9. Análisis de Costos**

#### ***3.9.1. Costo por adquisición del kit de conversión***

En Ecuador la adquisición de los kits de conversión tiene poco acceso y debido a ello los precios de los componentes o de un kit completo de GLP tienden a subir el precio. Otro factor principal es el tipo de kit que se va a emplear, es decir que generación de kit se va a instalar en el vehículo y que por lo general se instalan kits de segunda, tercera y quinta generación. Según la generación del kit también presenta un ahorro de consumo de GLP y, por ende, en la actualidad son más utilizados los kits de tercera y quinta generación en vehículos con sistemas de postratamiento de gases más sofisticados.

Otro factor importante, es el origen de fabricación del kit de conversión; los kits de fabricación china llegan a costar entre \$200 a \$300 dólares con sistema de tercera o quinta generación denotando accesibilidad, pero no es recomendable instalar estos debido a la baja calidad de los componentes que afectarían directamente al motor y la seguridad de las personas. En cambio, un kit de fabricación italiana puede llegar a costar hasta \$1200 con las últimas generaciones que salen al mercado automotriz.

Los precios en Ecuador de un kit de segunda generación llegan a costar \$550, el kit de tercera generación puede llegar a costar los \$750 y de quinta generación pueden rondar a costar \$1000

incluyendo su instalación como se indica en la tabla 60; todos estos precios pueden variar de acuerdo a la marca y el lugar donde se instalen y no incluyen el valor del cilindro de GLP que por lo general dependiendo de su capacidad pueden tener el valor entre \$200 y \$300.

**Tabla 60**

*Precios de kits de conversión en Ecuador.*

<b>Costos para realizar la conversión a GLP en vehículos</b>	
Kit de 1 <sup>ra</sup> generación	\$450
Kit de 2 <sup>da</sup> generación	\$550
Kit de 3 <sup>ra</sup> generación	\$750
Kit de 5 <sup>ta</sup> generación	\$1000

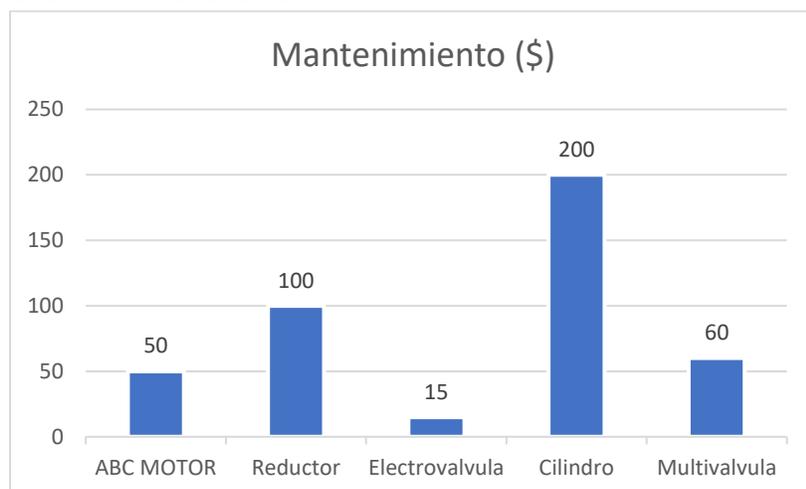
Obtenido de: Autores.

### **3.9.2. Costos por Mantenimiento**

Los automotores que poseen el sistema de GLP tienen un costo por lo general equitativo o ligeramente menor que hacer el mantenimiento de un vehículo que solo use gasolina convencional. Por lo general se realiza el mantenimiento normal, sea preventivo o correctivo; en los mantenimientos preventivos se los puede realizar cada entre 15000 a 20000 kilómetros en el cual se revisa el estado de los componentes de GLP, cambio de aceite y filtros, revisión del estado de las bujías y del funcionamiento del MEP; en la figura 98 se encuentran los precios correspondientes a los componentes que comúnmente fallan más.

El mantenimiento puede llegar a costar el mismo valor correspondiente al ABC de motor que comúnmente se realiza, alrededor de \$35 a \$50. El componente a sufrir más deterioro son los componentes que conforman el reductor/vaporizador especialmente los diafragmas los cuales pierden sus propiedades elásticas como consecuencia ya no regula el gas en las dos primeras etapas del reductor o no permite el paso de este al mezclador.

Al reductor se realiza un mantenimiento correctivo cada 50000 km, en el cual se realiza el reemplazo de diafragmas, resortes, válvulas, empaques, entre otros componentes internos el cual dependiendo del modelo de reductor tiene el costo mínimo de \$100. La electroválvula también es susceptible a daños y simplemente deja de activarse, dado que es el componente que da el paso del GLP hacia la etapa de regulación siempre se encuentra activa durante el funcionamiento con GLP. El precio de estas electroválvulas ronda entre \$15 a \$34 dependiendo del modelo, marca y generación del sistema.

**Figura 98.***Costos de mantenimiento.*

Obtenido de: Autores.

De acuerdo con la figura 98, se indica los precios que tendría al realizar el mantenimiento de un sistema de GLP, cabe aclarar que el cilindro de GLP y la multiválvula también deben ser revisados en cada mantenimiento preventivo, por lo general el periodo de funcionamiento de un cilindro de GLP es de 10 años máximo establecido por el fabricante con el objetivo de garantizar la seguridad a usuario; el costo para adquirir un cilindro nuevo puede variar entre \$200 a \$300 de acuerdo a la capacidad y forma del tanque. El precio de una multiválvula ronda entre los \$60 a \$100 dependiendo del modelo, marca y sus accesorios.

### **3.9.3. Costos entre GLP y Gasolina Extra**

Estos combustibles no solo se diferencian por el octanaje o su poder calorífico, sino también sus precios de adquisición y accesibilidad como se aprecia en la tabla 61. La disparidad de costos es muy notable entre estos dos combustibles que en Ecuador tienen un subsidio hasta la fecha que se indica en la tabla; sin embargo, el GLP para el campo automotriz tiene un precio diferente que el GLP domestico e industrial, esto debido a que el gas LP automotriz es abastecido en estaciones de servicio destinadas para la distribución de GLP a vehículos.

El precio de la gasolina extra establecido en 18 de agosto del 2024 tiene el valor de \$2,766 el galón americano que posee 3,79 litros de combustible, sin embargo, el precio establecido no es fijo pues cambia de precio según el precio del petróleo aun así el costo sin subsidio es de \$3,04 siendo también el precio internacional de este combustible.

**Tabla 61.***Precios de los combustibles.*

<b>Precios de combustibles en Ecuador</b>			
<b>Combustible</b>	<b>Precio con subsidio</b>	<b>Precio sin subsidio</b>	<b>Fecha de actualización</b>
Gasolina	\$2,766 por galón	\$3,04 por galón	18 de agosto del 2024 en Ecuador
GLP automotriz	\$0,35 por kilogramo	\$0,97 por kilogramo	

Obtenido de: Autores.

En cambio, en Ecuador la utilización del GLP para vehículos de servicio público tiene la gran ventaja económica ya que este combustible también se encuentra subsidiado por el gobierno, siendo más barato que todos los combustibles convencionales ya que el precio del GLP vehicular tiene el valor establecido de \$0,35 por kilogramo cuyo precio según el decreto ejecutivo N° 308 se conforma por el precio de venta en la terminal de \$0,193500 sin incluir el IVA, a esto se le suma el precio de comercialización de hasta \$0,130000 obteniendo así el precio antes mencionado; sin el subsidio tiene el costo de \$0,97 por kilogramo.

A partir de estos costos se puede analizar el precio de llenado del depósito de combustible del vehículo empleado en este estudio el cual tiene un depósito de 50 litros y el cilindro de GLP utilizado tiene la capacidad de 17,68 kilogramos. Entonces, para llenar completamente el depósito con gasolina extra se gastaría \$36,48 y para llenar con 14,14 kg el tanque de GLP costaría \$4,95; cabe aclarar que el tanque de GLP solo se llena con el 80% de su capacidad por razones de seguridad.

### **3.9.4. Viabilidad económica**

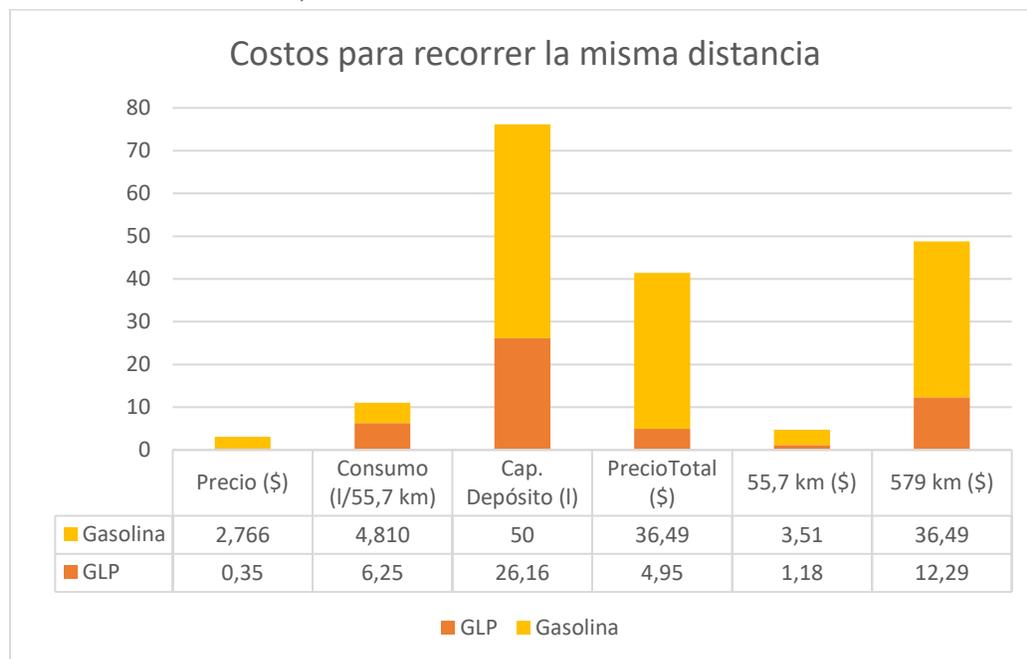
#### **3.9.4.1. Costos por Recorrer la Misma Distancia**

De acuerdo con los precios de ambos combustibles, en la figura 99 se indica que para llenar el depósito de combustible y con los datos del consumo del vehículo, con el tanque lleno de gasolina extra se recorrería 578,7 km lo que representaría un costo de \$36,49. Si se lo compara con el GLP para recorrer la misma distancia, se tendría que gastar \$12,29 o es decir recargar 35,11 kilogramos de GLP; con este dato se puede determinar que al emplear GLP se ahorra \$24,2 en recorrer 578,7 kilómetros, lo que representa que en un año se recuperaría lo invertido en la adquisición del sistema

de GLP realizando al menos 25 recargas. Por lo tanto, si se recorre 578,7 km con GLP el gasto de \$12,29 relativamente presenta un ahorro significativo ya que con el gasto que se hace al repostar gasolina extra se podría recargar 6 veces el tanque de GLP lo que representaría una autonomía de 1398,9 kilómetros.

### Figura 99

Costos al recorrer 578,7 km.



Obtenido de: Autores.

#### 3.9.4.2. Por Kilómetros Recorridos a Largo Plazo

De acuerdo con los precios analizados anteriormente, se realiza un estudio sobre la viabilidad económica de la conversión de automóviles a GLP teniendo en cuenta el sistema instalado en este trabajo de investigación. Las variables para considerar se indican en la tabla 62 y 63 especialmente el valor de combustible y del consumo del vehículo cada 100 kilómetros, las cuales ya han sido calculadas en secciones anteriores, recopilando dicha información para establecer si la instalación de estos equipos de conversión es viable tanto económicamente como al respecto del rendimiento de acuerdo al número de kilómetros recorridos a largo plazo. A partir de las variables se puede establecer las diferencias de los costos y ahorros que puede generar al emplear los sistemas de GLP enfocándonos en el consumo obtenido en la prueba de ruta y en los precios de los combustibles con y sin subsidio. En la tabla 62 se indica el ahorro monetario de acuerdo a los

precios de cada combustible con el subsidio correspondiente en términos de recorrer 20000 kilómetros mínimo al año.

**Tabla 62**

*Ahorro monetario empleando GLP con el precio subsidiado.*

Ahorro monetario							
	Precio subsidio	con	Consumo	Consumo en 20000 km.	Galones/kilogramos consumidos en 20000 km.	Gasto por recorrer 20000 km.	Ahorro
<b>Gasolina extra</b>	\$2,766	Galón	8,64 l/100km.	1728 l.	455,94 Galones	\$1261,12	
<b>GLP</b>	\$0,35	Kg.	11,24 l/100km.	2248 l.	1215,14 kilogramos	\$425,30	\$835,82

Obtenido de: Autores.

De acuerdo con la tabla 62 y al recorrer una distancia de 20000 km con GLP, se tendría un gasto de \$425,30 cuyo valor se presenta muy económico puesto que al utilizar la gasolina extra se gastaría \$1261,12 lo que representa que se ahorraría un total de \$835,82 al realizar un recorrido de 20000 km que en general es el promedio mínimo que puede llegar a circular un vehículo anualmente. Este ahorro representaría la recuperación del dinero invertido en la instalación del kit de conversión y de sus mantenimientos preventivos.

En cambio los precios de ambos combustibles no son subsidiados los precios tienden a aumentar como se puede observar en la tabla 63, si especialmente el gasto que tendría que hacer un usuario de GLP por recorrer 20000 km sería de \$1433,86 que si lo comparamos con el gasto que se tendría con la gasolina extra el cual es de \$1386,05 ya no se tendría un ahorro al emplear GLP pues se gastaría \$47,81 más que emplear gasolina extra; en este caso ya no es factible utilizar el GLP si el precio del mismo no se encuentra subsidiado, además a este valor se sumaría el costo del precio del kit completo y sus mantenimientos que elevarían aún más su costo y gasto siendo una opción no viable para ser utilizado como combustible.

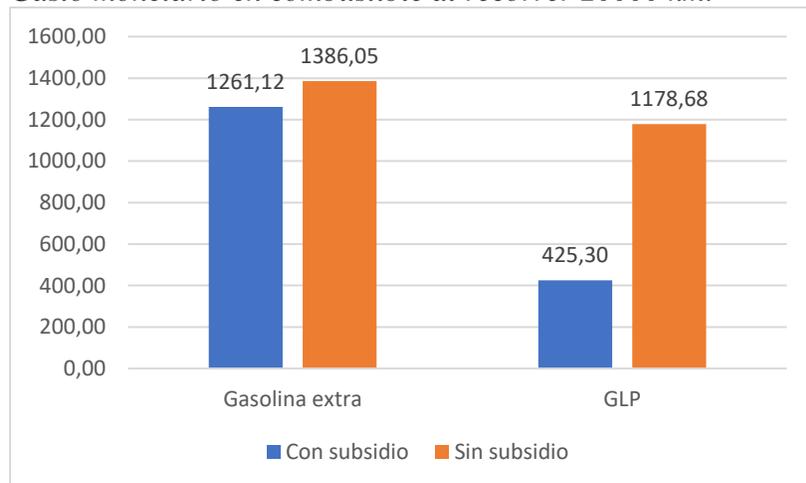
Por otra parte, la gasolina extra aumenta \$124,93 el cual representa el 9,01% en comparación con el gasto total al recorrer 20000 kilómetros con el precio subsidiado, en cambio el GLP sin subsidio aumenta \$753,38 lo que representa 63,92% de igual manera comparando con el gasto a los 20000 kilómetros con el precio subsidiado; siendo un gasto muy alto y poco beneficiario.

**Tabla 63***Ahorro monetario empleando GLP sin el precio subsidiado.*

Ahorro monetario							
	Precio sin subsidio		Consumo	Consumo en 20000 km.	Galones/kilogramos consumidos en 20000 km.	Gasto por recorrer 20000 km.	Ahorro
<b>Gasolina extra</b>	\$3,04	Galón	8,64 l/100km	1728 l.	455,94 Galones	\$1386,05	\$207,37
<b>GLP</b>	\$0,97	Kg.	11,24 l/100km	2248 l.	1215,14 kilogramos	\$1178,68	

Obtenido de: Autores.

Para que el uso del GLP sea conveniente, el precio deberá estar subsidiado caso contrario no sería una opción viable respecto al tema económico y por lo tanto se optaría por usar otro tipo de combustibles existentes más económicos. En la figura 100 se indica en resumen la desigualdad cuando los precios en ambos combustibles están y no subsidiados, este gasto está estimado a 20000 kilómetros que es por lo general el recorrido mínimo que puede hacer un vehículo durante un año junto con los datos adquiridos a lo largo del desarrollo de la prueba de ruta.

**Figura 100***Gasto monetario en combustible al recorrer 20000 km.*

Obtenido de: Autores.

### 3.10. Condiciones de Seguridad

La instalación de los sistemas a GLP; sea mono o dual, deben instalarse en talleres especializados los cuales deben cumplir con los requisitos de la sección 4 de la normativa NTE INEN 2317, a su vez las personas calificadas para instalar estos sistemas y manipular equipos para calibrar, afinar

y purgar los sistemas gas LP; tantos talleres que instalan los sistemas GLP y su personal deben estar certificados por ICONTEC o por cualquier organismo certificador reconocido por la CONCAL.

A su vez, el cilindro de GLP deberá ser reemplazado cada 10 años, a su vez el cilindro deberá someterse a la prueba estática según lo estipulado a la normativa NTE INEN 2261. Por lo general el GLP en su composición química dispone de agentes de seguridad como el etil-mercaptano, permitiendo sentir un olor característico cuando existen fugas.

### **3.11. Daños a Futuro por Uso de GLP**

El daño más común en los motores que emplean GLP para su funcionamiento se presenta en los asientos de las válvulas (Resecado de válvulas), debido a que no presenta una lubricación como se hace al usar gasolina produciendo una especie de escarcha e impidiendo que las válvulas asienten de la mejor manera perjudicando directamente a la pérdida de compresión; también se pueden presentar daños en la culata y sus empaques.

Un motor que usa GLP debe tener una vida útil como un motor que use solo gasolina, por lo que reparar un motor al año de funcionamiento con GLP representaría un gasto adicional no conveniente. Por lo general estos tipos de daños se generan por tener alta temperatura y una mala calibración del sistema; con respecto a la alta temperatura es recomendable usar tanto líquidos refrigerantes como aceites sintéticos especiales para GLP; en el caso de líquidos refrigerantes se debe emplear cuya composición sea de ethylene-glycol y tenga aditivos corrosivos. Con respecto a los aceites, se debe emplear aceites sintéticos que cumplan con las especificaciones y aprobaciones API GF-6 o SAE-40; sea 5W30 o 10W30.

## CAPITULO IV

### 4. Conclusiones y Recomendaciones

#### 4.1. Conclusiones

- El GLP se presenta como una alternativa para la sustitución de los combustibles convencionales usados en los MEP ya que, por sus características como el octanaje y su poder calorífico el GLP puede aportar mayor eficiencia y rendimiento reduciendo así las emisiones contaminantes que en la actualidad afectan al calentamiento global. Además, su bajo precio de adquisición tanto del kit de conversión como el repostaje del GLP hace que emplear este tipo de sistema sea accesible especialmente para el sector del transporte público, el cual puede recuperar el dinero invertido en el sistema GLP en tan solo un año o realizando 25 recargas del GLP.
- Los componentes de cualquier kit de conversión sea sistema mono o dual que se instalaron dan cumplimiento a la normativa NTE INEN 2310 y los cuales fueron instalados de acuerdo al proceso descrito en el literal V de la normativa NTE INEN 2311 vigente, con la finalidad de garantizar el óptimo funcionamiento del sistema los cuales también fueron instalados por personal calificado. Además, para la instalación del kit de GLP el motor del vehículo cumplió con las inspecciones y condiciones de funcionamiento, dando cumplimiento a los parámetros impuestos para la preconversión en el literal 5.1.1.1 de la normativa NTE INEN 2311 cuyos resultados fueron registrados en la hoja de trabajo.
- El GLP es una opción potencial para el decrecimiento de emanación de gases contaminantes puesto que en comparación de las emisiones generados empleando gasolina extra, las emisiones producidas cuando el MEP funciona con GLP representan niveles bajos de CO, HC, CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> cuando el motor está funcionando en marcha mínima, especialmente los niveles de CO tienen una reducción del 84,1% y de HC del 24,4%. Sin embargo, cuando el MEP se encuentra operando en altos regímenes los niveles de emisiones producidas con GLP tienden a disminuir levemente comparando los resultados obtenidos con gasolina extra; los niveles de CO y HC con GLP disminuyen 78,7% y 25% respectivamente, en cambio los valores de CO<sub>2</sub> disminuye 11,9% y la diferencia O<sub>2</sub> aumenta a 51,2%.
- La potencia y par motor de MEP impulsado con GLP aumenta un 6,2%, en este caso se obtuvo valores de potencia máxima de 61,92 HP a 4768 RPM y de torque máximo alcanzado fue de 107,16 Nm a 2531 RPM. En el caso de la gasolina, el valor máximo que alcanzo en potencia

fue de 57,3 HP a 4751 RPM y el par motor máximo de 99,6 Nm a 2743 RPM. Es así que empleando el GLP para el funcionamiento del MEP la potencia tendrá el aumento del 6,7% y de par motor con 5,6%, obteniendo mejor rendimiento y eficiencia del MCI. La estimación para determinar el consumo del combustible ejecutada en una ruta combinada que incluye trayectos en zonas urbanas, rurales y autopistas, muestran que mejor rendimiento tiene la gasolina extra puesto que con 4,81 litros se recorre el total de 55,7 km de la ruta lo que representa un gasto de \$3,51 en el trayecto y a su vez la estimación de 8,64 litros se recorrería 100 km; y por 3,38 kilogramos de GLP que contiene 6,26 litros se recorre la misma distancia de 55,7 km representando un gasto de \$1,18 y con la estimación a los 100 km se gastaría 11,22 litros. A partir de estos valores podemos deducir que con el tanque lleno de gasolina extra el vehículo podrá recorrer 578,7 km y con el tanque de GLP al 80% que contiene 14,14 kg recorrerá 233,15 km.

## 4.2. Recomendaciones

- En el mercado existe la disponibilidad de varias marcas de kits de conversión para usar GLP en vehículos, por lo que se recomienda para futuros trabajos adquirir los sistemas de GLP a inyección de quinta generación que por lo general son de procedencia italiana con el objetivo de obtener el mayor rendimiento y cuidar al MCI, debido a que existen equipos de baja calidad que perjudican y ocasionan daños al motor, y pueden comprometer a la seguridad del personal que instale el kit o de los ocupantes del automotor.
- Para la instalación del kit de GLP el motor del vehículo deberá estar en perfectas condiciones de funcionamiento, además debe cumplir con los parámetros impuestos para la preconversión por la normativa NTE INEN 2311 los cuales deben estar evidenciados. Por seguridad, antes de activar el sistema de GLP y conectado el cilindro, se debe verificar la posible existencia de fugas a lo largo del circuito de alta presión el cual corresponde desde el tanque de GLP hasta la entrada al reductor o vaporizador, ya que es la zona donde puede existir fugas de gas a causa de la alta presión presente.
- Para el correcto desempeño del MEP con GLP, se debe realizar el ajuste de marcha mínima y máxima, es decir realizar la calibración de la mezcla aire – GLP para impedir el mal funcionamiento del MCI y emane mayor cantidad de emisiones contaminantes. Por lo general, los ajustes se realizan en los tornillos de regulación de marcha; el tornillo de regulación mínima se ubicado en el reductor y el tornillo de marcha alta ubicado en la manguera que se dirige al mezclador, a su vez se puede incorporar equipos que aporten a la mejor calibración del funcionamiento del MEP.
- En el caso de bajo rendimiento del MEP, se recomienda realizar la verificación del estado de los filtros de aire y del reductor, a su vez considerar que el manteniendo del vehículo con sistema GLP se deberá efectuar cada 15000 a 20000 kilómetros, se basa en un mantenimiento preventivo en el cual se verificará la presencia de fugas en la zona de alta presión, se realiza un ajuste de todas las uniones en los acoples y abrazaderas, se comprueba el estado de las mangueras por donde circula el GLP, filtros y bujías del motor; los cuales pueden afectar a la eficiencia de funcionamiento del MCI.

## REFERENCIAS

- [1] C. Borrás, “Contaminación con gases de azufre”, “Ecología Verde”. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3XuChMu>. Acceso: 21 de febrero de 2024.
- [2] SECRETARÍA NACIONAL DE PLANIFICACIÓN, “Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025”, “Secretaría Nacional de Planificación”. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/4e8EZww>. Acceso: 21 de febrero de 2024.
- [3] A. Rovira y M. Muñoz, “*Motores de Combustión Interna*”, 1ra ed. Lugar: Madrid, UNED, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/4cYB018>.
- [4] R. Bosch, “*Automotive handboock*”, 11a ed. Lugar: Alemania, MILEY, 2022.
- [5] A. Pérez, “ANÁLISIS DE MOTORES CON TECNOLOGÍAS DE RELACIÓN DE COMPRESIÓN VARIABLE”, Trabajo de fin de grado, ICAI, Universidad Pontificia Comillas, Madrid, 2019. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11531/27311>.
- [6] D. Erazo y A. Viteri, “*Análisis termodinámico de los parámetros indicados de un motor de ciclo otto aspiración natural con sistema de inyección electrónica en función de la altitud sobre el nivel del mar*”, Trabajo de fin de máster, Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/4cT0h0b>.
- [7] Y. Cengel, M. Boles, y M. Kanoglu, “*Thermodynamics*”, 9a ed. Lugar: Nevada, MCGRAW-HILL, 2019.
- [8] C. Hervás, “*Estudio experimental de los conceptos de combustión detonante de un motor de combustión interna*”, Trabajo de fin de grado, ETSII, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3XeYwVp>.
- [9] Y. Cengel, M. Boles, y M. Kanoglu, “*Thermodynamics*”, 9a ed. Lugar: Nevada, MCGRAW-HILL, 2019.
- [10] R. Bosch, “*Automotive handboock*”, 11a ed. Lugar: Alemania, MILEY, 2022.
- [11] R. Bosch, “*Manual de la técnica del automóvil*”, 4a ed. Lugar: Barcelona, 1999.
- [12] R. Bosch, “*Automotive handboock*”, 11a ed. Lugar: Alemania, MILEY, 2022.
- [13] N. Thornes, “*Hillier’s Fundamentals of Motor Vehicle Technology - Book 1*”, 6a ed. Lugar: Reino Unido, 2012.

- [14] D. Anand y V. Suresh, “*Design and Analysis of Exhaust Manifold*”, “*MAPLE TREE*”, Vol. 2 pp. 1–8, Noviembre 2020, [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.34256/irjmt2026>. Acceso: 04 de Abril de 2024.
- [15] BOSCH, “*Manual de la técnica del automóvil*”, 11a ed. Lugar: Alemania, MILEY, 2022.
- [16] L. Arroba y D. Jiménez, “*IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE GASES DE ESCAPE MEDIANTE INYECCIÓN DE AIRE EN UN VEHÍCULO A GASOLINA*”, Trabajo de fin de grado, Facultad de Mecánica, ESPOCH, Riobamba, 2012. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3TiUp9H>.
- [17] J. Gonzales, “*Determinación del factor Lambda ( $\lambda$ ) de las mediciones de emisiones contaminantes de los vehículos a gasolina del CU Nezahualcóyotl*”, Trabajo de fin de grado, UAEM Nezahualcóyotl, Universidad Autónoma del Estado de México, Estado de México, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3ZeKwxw>.
- [18] C. Sánchez y S. Delgado, “*IMPLEMENTACIÓN DE UN TABLERO DIDÁCTICO DEL SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA MULTIPUNTO MULTEC IEFI-6 PARA LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ*”, Trabajo de fin de grado, Escuela de Ingeniería Automotriz, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 2012. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/4dWogwY>.
- [19] E. Cárdenas y J. Kaslin, “*Caracterización tecnológica del parque automotor del Distrito Metropolitana de Quito y propuesta para la reforma de la normativa ecuatoriana de emisiones en fuentes móviles terrestres*”, Trabajo de fin de grado, Escuela de Ingeniería, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2006. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3AOCBge>.
- [20] R. Bosch, “Sistemas de inyección electrónica”, “Superprofesionales BOSCH”. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/47dg6gQ>. Acceso: el 29 de septiembre de 2023.
- [21] A. De Antonio y M. Muñoz, “*Máquinas y motores térmicos: introducción a los motores alternativos y a las turbomáquinas térmicas*”, 1 ed. Lugar: España, UNED, 2016.
- [22] J. Orozco, “*Sistema de Combustible Con Carburador e Introducción a La Inyección Electrónica*”. 1 ed. México, Grupo Editorial Mecánica Fácil, 2009. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3Xhm63T>.

- [23] R. Cabrera y V. Cifuentes, “*Adaptación de un sistema de inyección programable en un vehículo a carburador*”, Trabajo de grado, Escuela de Ingeniería Automotriz, ESPOCH, Riobamba, 2009. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/4gc4hMa>.
- [24] D. Mena, “*Diseño e Implementación de un Sistema de Inyección Multipunto Indirecta en una Camioneta Toyota 1000, Para Determinar La Eficiencia Del Motor.*”, Trabajo de fin de grado, FCII, Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3TIVeOP>.
- [25] J. Orozco, “*Sistema de Combustible Con Carburador e Introducción a La Inyección Electrónica*”. 1 ed. México: Grupo Editorial Mecánica Fácil, 2009. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3Xhm63T>.
- [26] J. Goñi y M. Rojas, “*Manual de combustibles alternativos y tecnología automotriz*”, 1 ed. Lima: Universidad de Lima - Fondo Editorial, 2016.
- [27] C. Franco, G. Castillo, M. de los A. Monroy, O. Montaña, y U. Villamil, “Combustión, combustibles y tipos de combustibles”, “TEPEXI Boletín Científico de la Escuela Superior Tepeji del Río”, vol. 10, núm. 20, pp. 23–25, Julio 2023, [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.29057/estr.v10i20.10738>. Acceso: 31 de octubre del 2023.
- [28] D. Delgado, “*Diseño y construcción de un equipo de destilación con capacidad de 110 galones diarios para la recuperación de hidrocarburos volátiles presentes en efluentes líquidos contaminados producto del proceso de lavado de tanques en la empresa AV.CORP*”, Trabajo de fin de grado, Carrera de Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí, 2010. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3XvHpQg>.
- [29] S. Pérez, I. Silva, G. Peñuela, y S. Cardona, “*EVALUACIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES E HIDROCARBUROS DEL PETRÓLEO (GASOLINA Y DIESEL) EN UN SUELO: PROCESO DE TRANSPORTE Y BIORREMEDIACIÓN*”, “Revista EIA”, vol. 12, núm. 2, pp. 21-46, Junio 2015. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3Xi2o83>. Acceso: 27 de febrero de 2024.
- [30] P. Fabiś y M. Flekiewicz, “*Optimalisation of the SI engine timing advance fueled by LPG*”, “Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport”, vol. 111, pp. 34, Junio 2021, [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2021.111.13>. Acceso: 24 de octubre de 2023.

- [31] E. Moreno, “*Biocombustibles, promisión o falacia*”, “MOMENTO”. vol. 44, pp. 35-48, Enero 2012, [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/4gc4yia>. Acceso: 28 de febrero de 2023.
- [32] P. Montero, “*Análisis de las propiedades de la gasolina súper y ecopaís comercializada en la ciudad de guayaquil al ser mezclado con un aditivo*”, Trabajo de fin de grado, Escuela de Ingeniería Automotriz, Universidad Internacional del Ecuador, Guayaquil, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/47hPZFu>.
- [33] J. Arroyo, “*APROVECHAMIENTO DEL RECURSO BIOMASA A PARTIR DE LOS DESECHOS DE MADERA PARA UNA CALDERA DE VAPOR*”, Trabajo de fin de grado, Carrera de Ingeniería Mecánica, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3z4Le5K>.
- [34] C. Gómez y L. Vargas, “*Medición Y Evaluación De Las Emisiones De Material Particulado Y Opacidad En Una Flota De Vehículos Con Motor De Ciclo Diesel, Utilizando Una Mezcla De Diésel Con 20% De Queroseno*”, Trabajo de fin de máster, Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3XxyHkA>.
- [35] PETROECUADOR, “EP Petroecuador produce combustibles con estándares de calidad de acuerdo a las normas técnicas ecuatorianas INEN”, “EP PETROECUADOR”. [En línea]. Disponible en: <https://www.eppetroecuador.ec/?p=12434#>. Acceso: el 28 de febrero de 2024.
- [36] BOSCH, “Manual de la técnica del automóvil”, 4 ed. Alemania: Robert Bosch GmbH, 2005.
- [37] J. Santaella, “Analizador de gases pero a vehiculos de gasolina”, Trabajo de fin de grado, Departamento de Ingeniería, UVR, España, 2010. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/47cxtP3>.
- [38] “Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Límites Permitidos De Emisiones Producidas Por Fuentes Móviles Terrestres De Gasolina”, “INEN”, NTE INEN 2204:2017, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3ZcPniL>.
- [39] “Resolución Ministerial”, Ministerio del Ambiente de Perú, N.º 306-2017-MINAM”, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3Z9qnJb>.

- [40] LOVATO, “La calidad como filosofía de la empresa”, “LovatoGas”. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3Z9qtAx>. Acceso: el 9 de marzo de 2024.
- [41] Comisión Económica para Europa, “Reglamento n.o 67 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE)”, 2016. Acceso: el 9 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3ARbbWR>.
- [42] “Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE) — Disposiciones uniformes relativas a: I. La homologación de equipos específicos de vehículos de las categorías M y N que utilizan gases licuados de petróleo en su sistema de propulsión; II. La homologación de vehículos de las categorías M y N provistos de equipos específicos para el uso de gases licuados de petróleo en su sistema de propulsión, en relación con la instalación de dichos equipos [2016/1829]”, “Comisión Económica para Europa”, “Reglamento n. 115 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE)”, 2014. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3TdE8mj>.
- [43] Vehículos Automotores. Funcionamiento De Vehículos Con GLP. Equipos Para Carburación Dual GLP/Gasolina O Solo De GLP En Motores De Combustión Interna. Requisitos, INEN, NTE INEN 2310, 2008. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/4g9z0t7>.
- [44] Vehículos Automotores. Funcionamiento De Vehículos Con GLP. Conversión De Motores De Combustión Interna Con Sistema De Carburación De Gasolina Por Carburación Dual GLP/Gasolina O Solo De GLP. Requisitos, INEN, NTE INEN 2311, 2008. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/4g9z0t7>.
- [45] Vehículos Automotores. Funcionamiento De Vehículos Con GLP. Centro De Servicio Especializado Para Conversión Y Mantenimiento De Sistemas De Carburación En Motores Con Funcionamiento De Gasolina, Por Dual GLP/Gasolina O Solo GLP. Requisitos, INEN, NTE INEN 2317, 2008. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/4ebxjJR>.
- [46] Tanques Para Gases A Baja Presión. Requisitos e Inspección, INEN, NTE INEN 2261, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/4edA2T4>.
- [47] AUTODATA, “Ficha Técnica Chevrolet Corsa Wind”, “AUTO-DATA. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/4e3dkNK>. Acceso: el 13 de mayo de 2024.

- [48] Productos Derivados del Petróleo. Gasolina; Requisitos, INEN, NTE INEN 935, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/4ggA0M4>.
- [49] L. Gúzman y H. Acevedo, “*Estudio De Factibilidad Del Uso de Etanol Anhidro en Mezclas con Gasolina en el Distrito Metropolitano De Quito*”, Trabajo de fin de master, Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática, Universidad Central del Ecuador, Quito, 2013. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/4dOF8Fz>.
- [50] PETROECUADOR, “Hoja de Seguridad de Materiales Peligrosos: Gasolina 87 octanos”, “EP PETROECUADOR”. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3ATpdHH>. Acceso: el 4 de abril de 2024
- [51] D. Guanuche, J. Alvarez, y E. Velasco, “*Proyección Sobre El Impacto de la Huella de Carbono para Vehículos MI Usando GLP En El DMQ*”, trabajo de fin de grado, Escuela de Ingeniería Automotriz, Universidad Internacional del Ecuador, Ecuador, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3Xg0X9X>.
- [52] Productos Derivados del Petróleo. Gas Licuado de Petróleo: Requisitos, INEN, NTE INEN, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/4g9z0t7>.
- [53] J. León, “Modificación Del Sistema De Combustión Autorregulable para eliminar problemas de flotación de llama y ruido en un quemador rápido en una Cocina a Gas”, Trabajo fin de grado, FIMCP, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/4dSh5FP>.
- [54] F. Synák, K. Čulík, V. Rievaj, y J. Gaňa, “Liquefied petroleum gas as an alternative fuel”, *Transportation Research Procedia*, vol. 40, pp. 527–534, 2019, [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.07.076>. Acceso: 07 de Junio de 2024.
- [55] EP PETROECUADOR. “Centro de Distribución”, “EP PETROECUADOR”. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3ATpdHH>. Acceso: 4 de abril de 2024.
- [56] A. Sánchez, “Mejoramiento y evaluación del área de mantenimiento de vehículos convertidos a GLP para incremento de eficiencia en JCY Ingenieros S.A.C”, Trabajo fin de grado, EPIME, Universidad Cesar Vallejo, Perú, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3yY7G0q>.
- [57] Brain Bee. “AGS-688”, “Brain Bee” [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/4ggSFaS>. Acceso: el 17 de abril de 2024.

- [58] ROLLER BRAKE BENCH. “BL AUTO”, “ROLLER BRAKE BENCH”. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/4gdwhio>. Acceso: 9 de junio de 2024.
- [59] VAMAG. “Car Benches Dynamometer 4WD-BPA-V2R-4R HP”, “VAMAG”. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3XvszJF>. Acceso: 17 de abril de 2024.
- [60] TOOL MANIA. “Compresómetro con flexible AR050017 Jonnesway MI-JON-32945”, “TOOL MANIA”. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/4cYD8t8>. Acceso: 4 de julio de 2024.
- [61] GLOBALTECH. “G-Scope 2 Osciloscopio Automotriz de 2 canales 100 MHZ Touch Screen 8”, “GLOBALTECH CAR”. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3ASZcYT>. Acceso: 18 de junio de 2024.
- [62] TRANSYSTEM. “GL-770”, “TRANSYSTEM”. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/4gaj3TB>. Acceso: 17 de abril de 2024.
- [63] “Vehículos Automotores. Funcionamiento De Vehículos Con Glp. Conversión De Motores De Combustión Interna Con Sistema De Carburación De Gasolina Por Carburación Dual Glp/Gasolina O Solo De GLP. Requisitos”, INEN, NTE INEN 2311:2008. 2008. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3ALduL1>.
- [64] F. Roncallo, “Diseño de montaje y mantenimiento de equipos de quinta generación (inyección secuencial), para la conversión de vehículos a gas natural”, Trabajo de fin de grado, Facultad de Ingeniería Eléctrica y electrónica, Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena de Indias, 2009. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/47g4yJS>.
- [65] CENTRO DE ENSEÑANZA TÉCNICA AUTOMOTRIZ. “Conversión de motores a GNC”, “CENTRO DE ENSEÑANZA TÉCNICA AUTOMOTRIZ”. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3XvwSVc>. Acceso: 19 de septiembre de 2023.
- [66] AUTOGAS, “PROTECTOR DE MULTIVALVULAS TOMASETO ROYALGAS”, “AUTOGAS”. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/4gaje1d>. Acceso: el 28 de julio de 2024.
- [67] TECNOMANIATICOS, “Filtro de Gas GLP”, “TECNOMANIATICOS”. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/4eeei02>. Acceso: el 28 de julio de 2024.
- [68] “Road vehicles EngineTest Code”, ISO. ISO-1585. 2020. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3Th3QGw>.

- [69] E. Paillacho y A. Tequis, “ANÁLISIS DE LA AUTONOMÍA DE LA BATERÍA DE UN VEHÍCULO URBANO ELÉCTRICO”, Trabajo fin de grado, CIAUT, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, 24 de marzo 2022. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3ARGBfT>.
- [70] K. Narváez y A. Narváez, “DESARROLLO DE RUTA DE ENSAYO RDE EN EL CANTÓN IBARRA”, Trabajo fin de grado, CIAUT, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, 24 de marzo 2023. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/4dLdSrA>.
- [71] *Diario Oficial de la Unión Europea*, “Comisión Europea”. Reglamento (UE) 2017/1151, 1 de junio de 2017. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3MwGzg7>.
- [72] E. Paillacho y A. Tequis, “ANÁLISIS DE LA AUTONOMÍA DE LA BATERÍA DE UN VEHÍCULO URBANO ELÉCTRICO”, Trabajo de fin de grado. CIAUT, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, marzo 2022. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3ARGBfT>.
- [73] J. Ramírez y J. Basantes, “Elaboración de material didáctico en un motor de combustión interna de 4 tiempos en corte con caja de cambios”, Trabajo fin de grado, Colegio de Ciencias e Ingeniería, Universidad San Francisco de Quito, Quito, 2013. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3ATqbnj>.
- [74] R. Bosch, “*Automotive handboock*”, 11a ed. Lugar: Alemania, MILEY, 2022.
- [75] C. Samak, T. Samak, y S. Kandhasamy, “*Control Strategies for Autonomous Vehicles*”, “ResearchGate”. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3Zel0YZ>. Acceso: noviembre 2020.

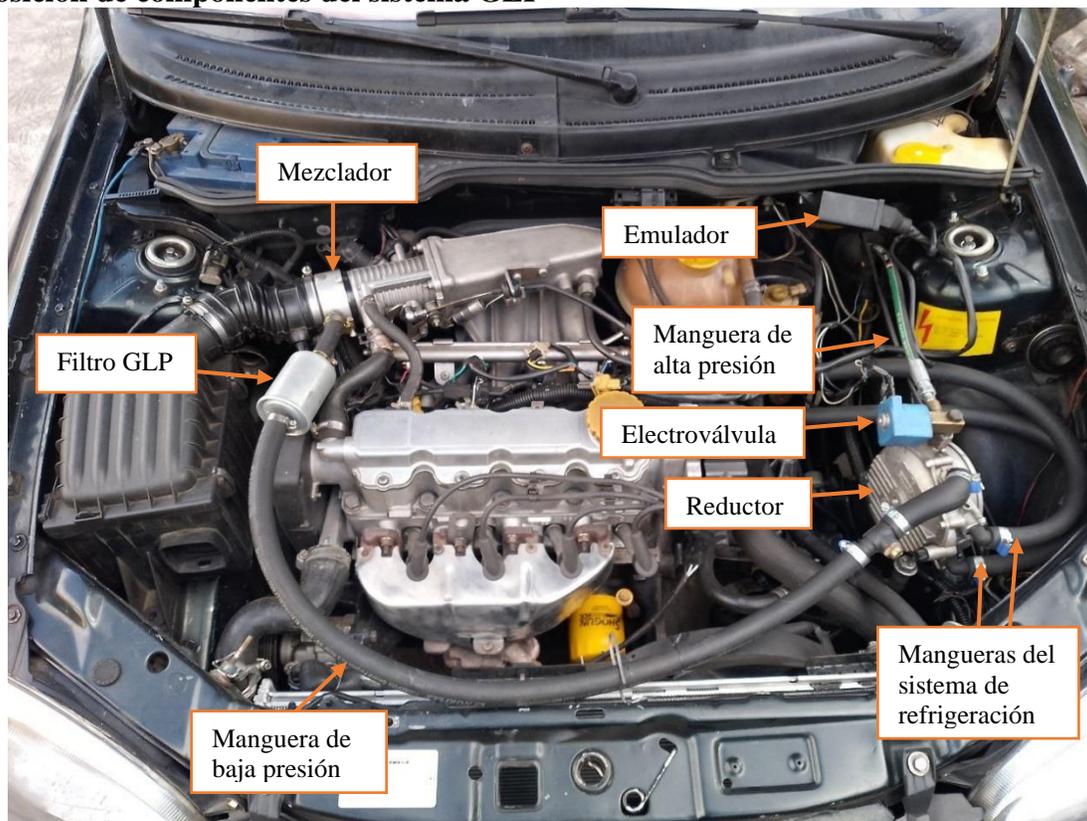
## ANEXOS

## Hoja de trabajo.

EVALUACIÓN DE PRE-CONVERSIÓN					
TALLER DE CONVERSIÓN					
<b>Nombre:</b>					
<b>Propietario:</b>					
<b>Dirección:</b>					
<b>Tel/Cell:</b>					
DATOS DEL PROPIETARIO			DATOS DEL AUTOMOTOR		
Nombres			Fabricante		
N. Cedula			Modelo/año		
Domicilio			N. Placa		
Tel/Cell			Kilometraje	Cilindrada	
REVISIÓN Y EVALUACIÓN DE COMPONENTES					
	Pasa	Falla		Pasa	Falla
<b>1. Batería de arranque</b>			<b>5. Sistema de escape</b>		
Voltaje de batería			Verificación general y funcionamiento		
Voltaje de arranque					
Prueba de arranque					
<b>2. Bobina/Cableado/Bujías</b>			<b>6. Sistema de enfriamiento</b>		
Entrada de voltaje en la bobina de encendido			Temperatura de operación		
Entrada de voltaje en la bobina en funcionamiento			Verificación general		
Voltaje de salida de la bobina			<b>7 Sistema de lubricación</b>		
Polaridad de la bobina			Presión registrada del aceite		
Condición de los cables y bujías			Nivel y calidad de aceite		
<b>3. Sistema Carburación/Inyección</b>			<b>8. Distribuidor</b>		
Revisión del filtro de aire			Estado del rotor		
Revisión del filtro de combustible			Estado de la tapa		
Operación del carburador			Condición del avance por vacío		
Operación del sistema de inyección			Operación del avance centrífugo		
<b>4. Sistema de admisión</b>			<b>9. Carrocería y chasis</b>		
Revisión de ingreso de aire			Verificación estado total		
10. Compresión en los cilindros					
Cantidad de cilindros del motor					
Compresión obtenida	1:	2:	3:	4:	
	5:	6:	7:	8:	
RESOLUCIÓN DEL PERITAJE DE PRE-CONVERSIÓN					
Automotor autorizado			Automotor negado		
Sugerencias de arreglos o restauraciones.					
Encargado de la inspección y test.					
<b>Data</b>			<b>Visto Bueno</b>		

Anexo 1. Formato de trabajo realizada.

### Disposición de componentes del sistema GLP



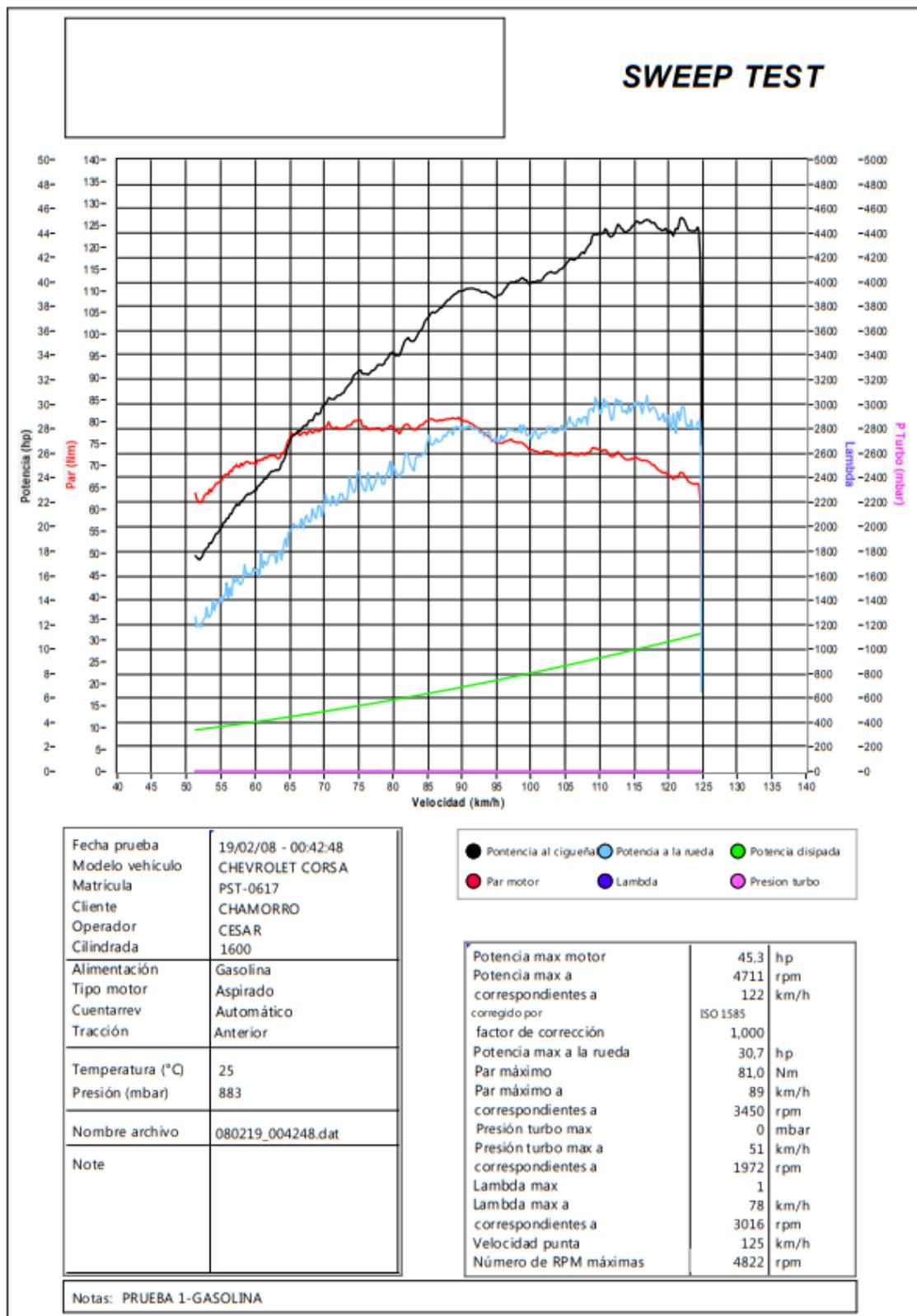
**Anexo 2.** Ubicación de componentes del sistema GLP en el compartimiento del MEP.



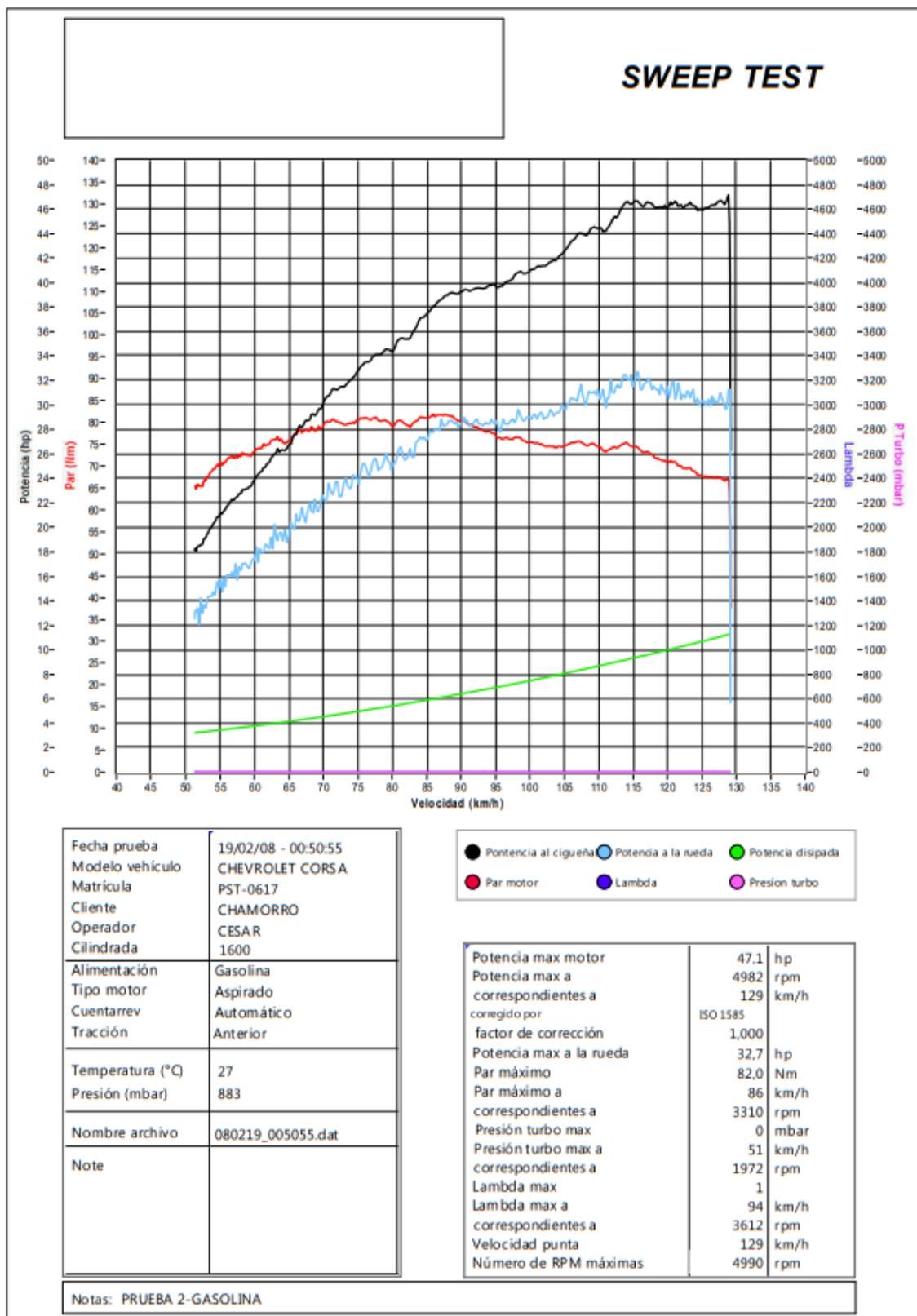
**Anexo 3.** Ubicación del cilindro de GLP en el compartimiento del MEP.



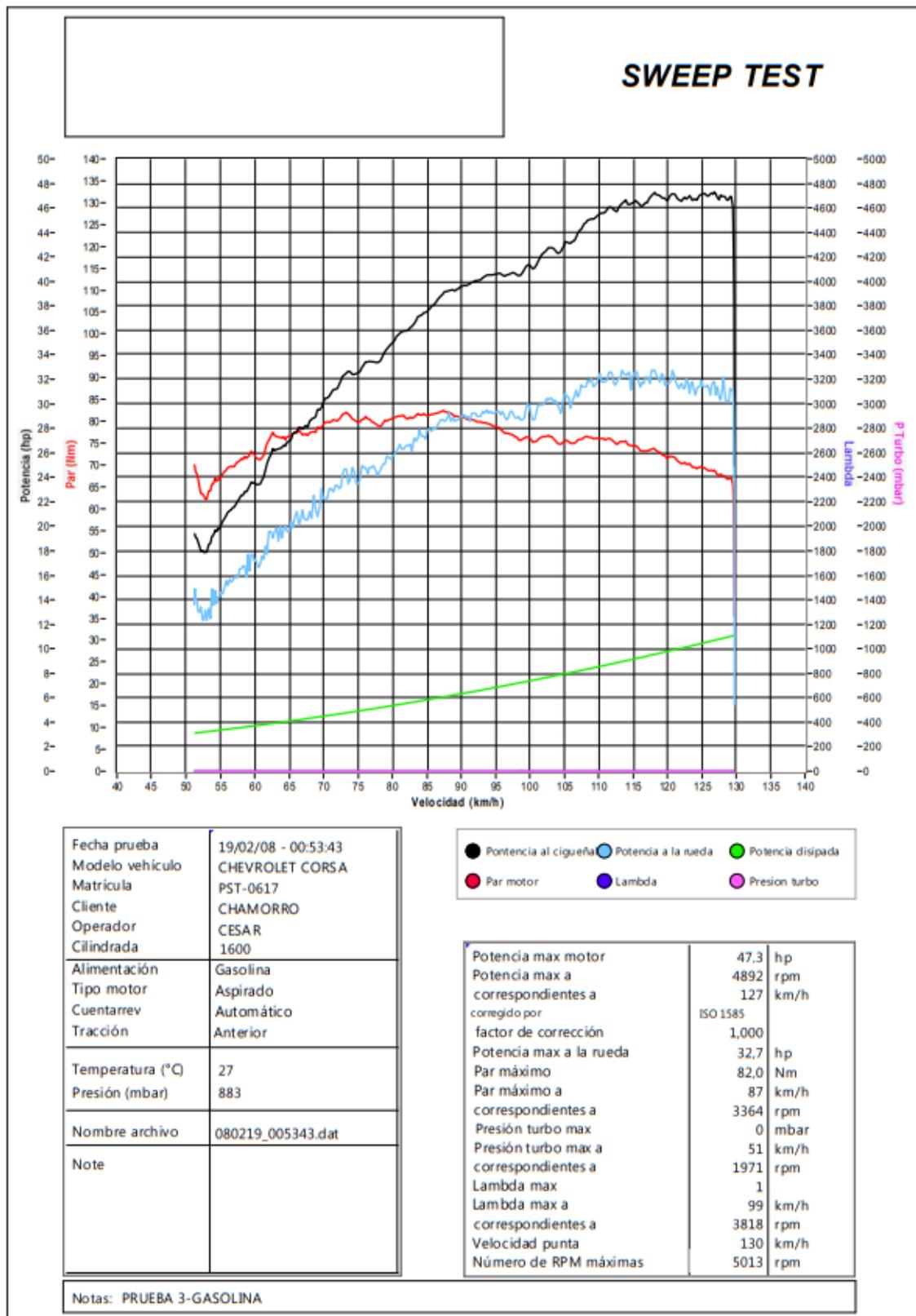
## Resultados de par motor y potencia con gasolina extra.



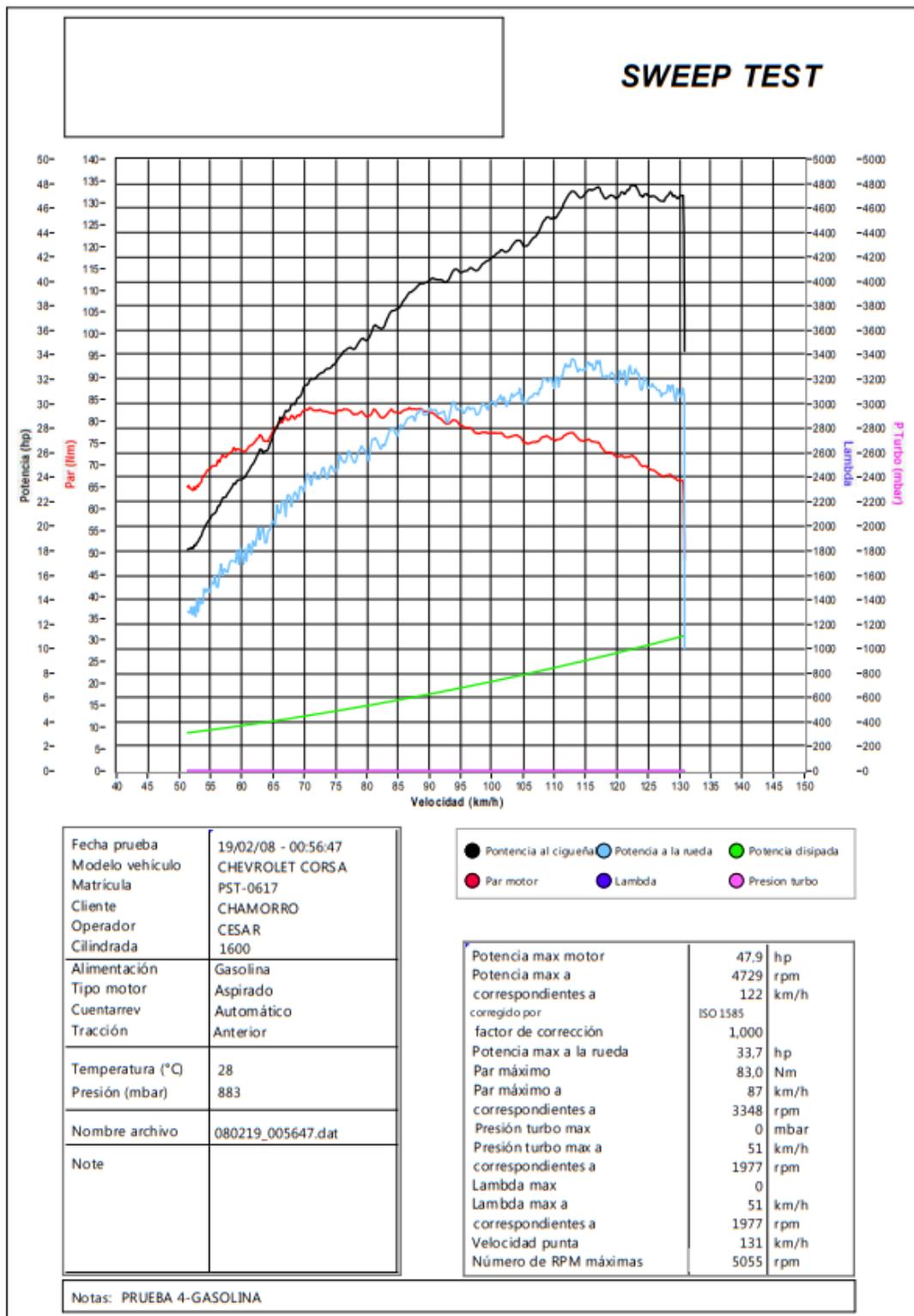
**Anexo 5.** Resultados del primer ensayo con gasolina extra.



Anexo 6. Resultados del segundo ensayo con gasolina extra.

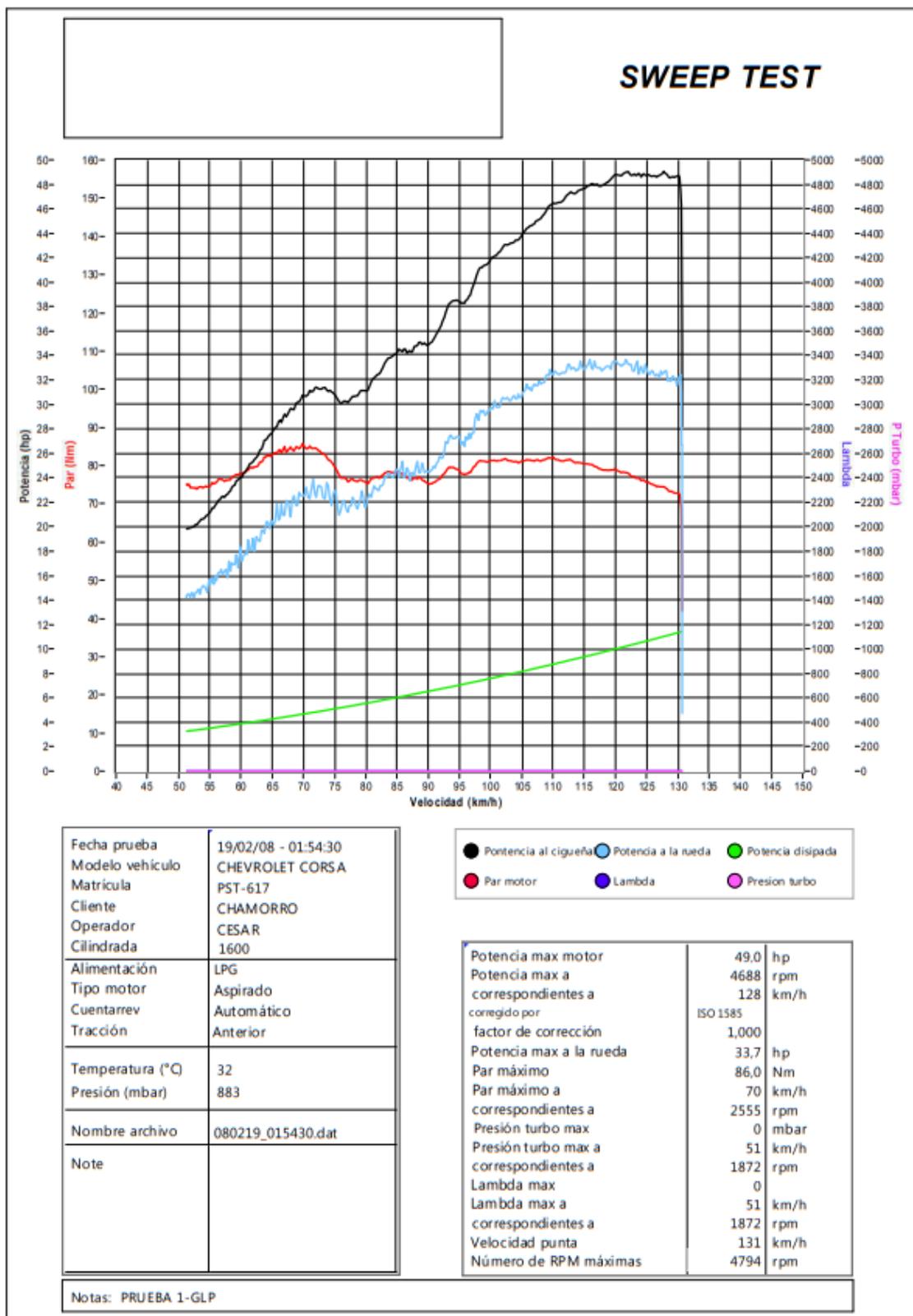


**Anexo 7.** Resultados del tercer ensayo con gasolina extra.

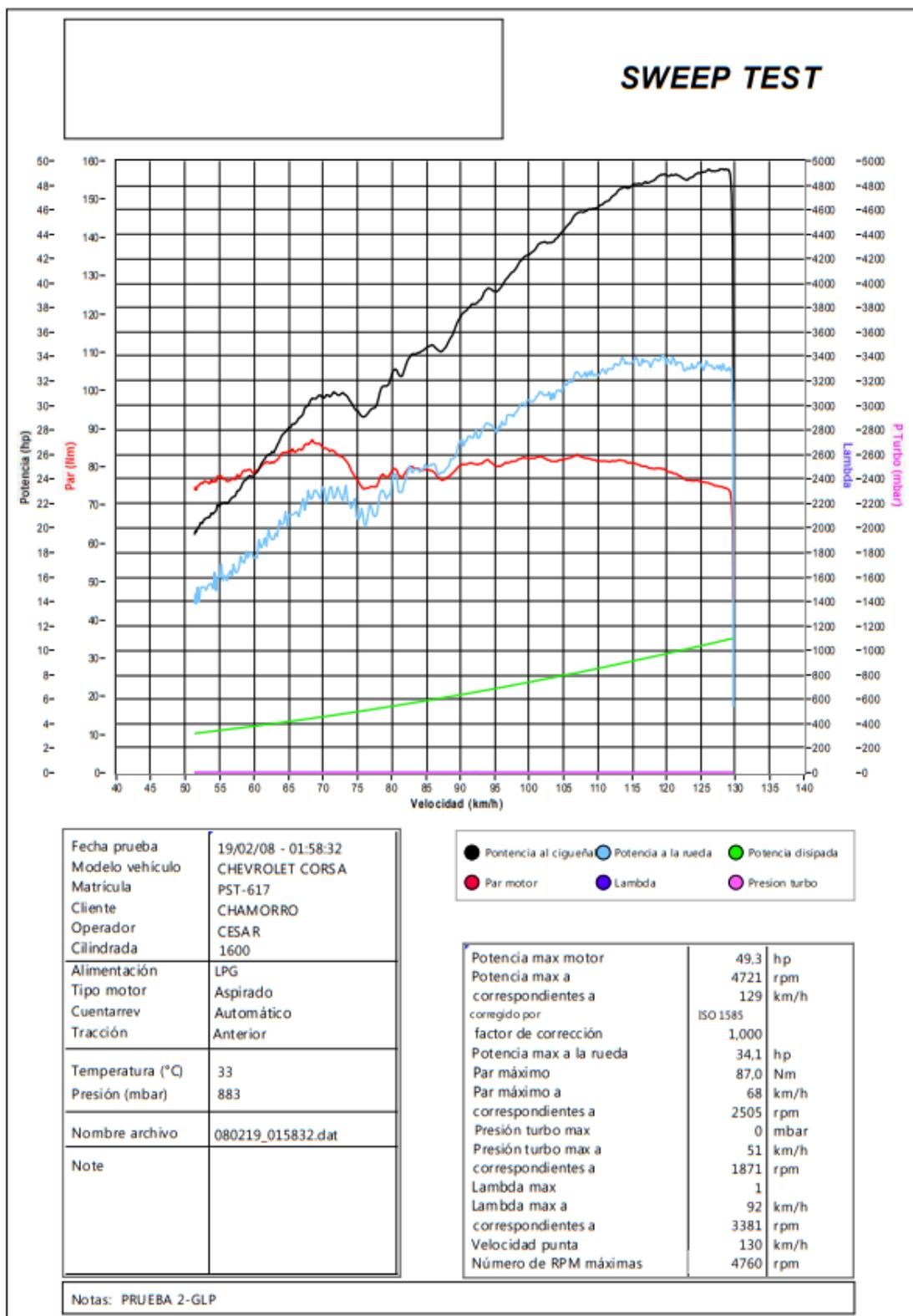


Anexo 8. Resultados del cuarto ensayo con gasolina extra.

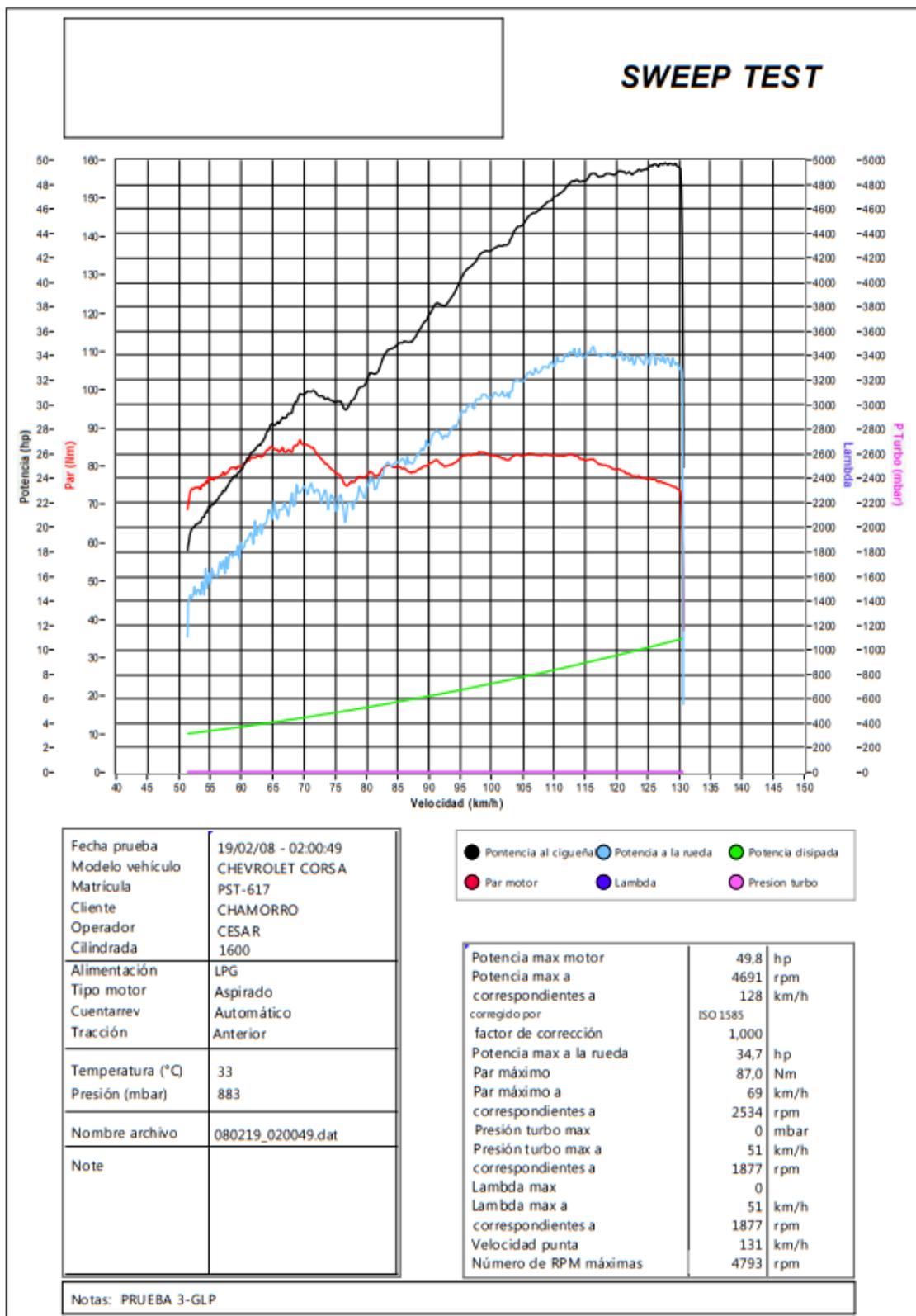
Resultados de par motor y potencia GLP.



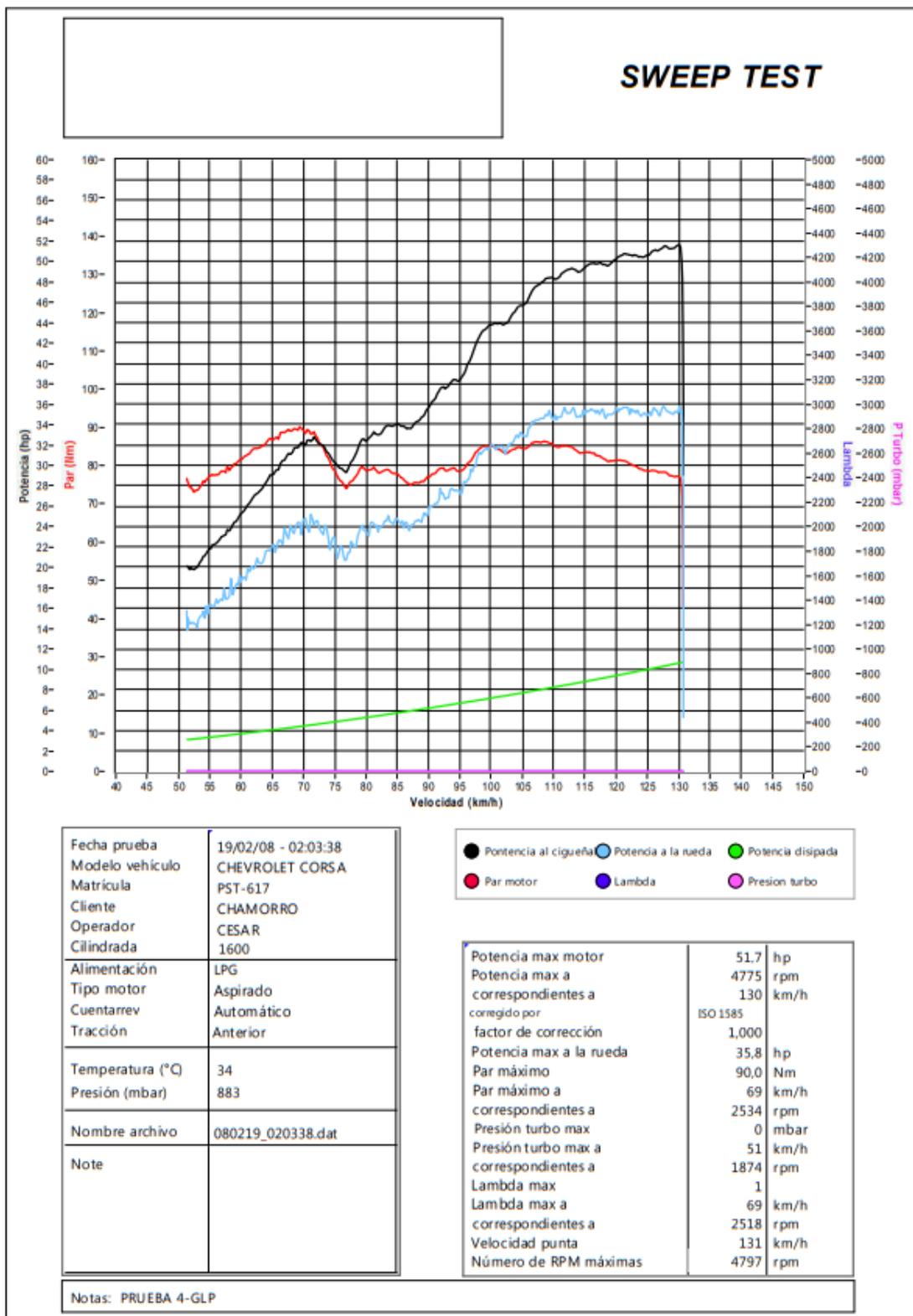
Anexo 9. Resultados del primer ensayo con GLP.



**Anexo 10.** Resultados del segundo ensayo con GLP.



**Anexo 11.** Resultados del tercer ensayo con GLP.



Anexo 12. Resultados del cuarto ensayo con GLP.

### Resultados de medición de gases con gasolina extra en 900 RPM

ANAL. GASES DE ESCAPE				ANAL. GASES DE ESCAPE			
Tipo:	AGS-688	Tipo:	AGS-688				
Version Software:	1.364	Version Software:	1.364				
No. Serie:	110907001146	No. Serie:	110907001146				
Placa:	<i>Ralanti</i>	Placa:	<i>Ralanti</i>				
Tipo combustible:	GASOLINA	Tipo combustible:	GASOLINA				
VALORES MEDIDOS				VALORES MEDIDOS			
Temp. :	-----	[°C]		Temp. :	-----	[°C]	
RPM :	880	[1/min]		RPM :	890	[1/min]	
CO :	1.22	[%Vol]		CO :	1.15	[%Vol]	
CO2 :	13.1	[%Vol]		CO2 :	13.3	[%Vol]	
HC :	138	[ppmVol]		HC :	150	[ppmVol]	
O2 :	1.59	[%Vol]		O2 :	1.54	[%Vol]	
NOx :	0	[ppmVol]		NOx :	0	[ppmVol]	
Lambda :	1.032	[-]		Lambda :	1.031	[-]	
Fecha y hora	31.05.2024 10:54			Fecha y hora	31.05.2024 10:57		
ANAL. GASES DE ESCAPE				ANAL. GASES DE ESCAPE			
Tipo:	AGS-688	Tipo:	AGS-688				
Version Software:	1.364	Version Software:	1.364				
No. Serie:	110907001146	No. Serie:	110907001146				
Placa:	<i>Ralanti</i>	Placa:	<i>Ralanti</i>				
Tipo combustible:	GASOLINA	Tipo combustible:	GASOLINA				
VALORES MEDIDOS				VALORES MEDIDOS			
Temp. :	-----	[°C]		Temp. :	-----	[°C]	
RPM :	890	[1/min]		RPM :	890	[1/min]	
CO :	1.24	[%Vol]		CO :	1.42	[%Vol]	
CO2 :	12.7	[%Vol]		CO2 :	13.5	[%Vol]	
HC :	169	[ppmVol]		HC :	154	[ppmVol]	
O2 :	1.76	[%Vol]		O2 :	1.45	[%Vol]	
NOx :	0	[ppmVol]		NOx :	0	[ppmVol]	
Lambda :	1.039	[-]		Lambda :	1.018	[-]	
Fecha y hora	31.05.2024 11:03			Fecha y hora	31.05.2024 11:12		

**Anexo 13.** Resultados de medición de emisiones con gasolina extra a 900 RPM.

### Resultados de medición de gases con gasolina extra en 2500 RPM

ANAL. GASES DE ESCAPE				ANAL. GASES DE ESCAPE			
Tipo:	AGS-688			Tipo:	AGS-688		
Version Software:	1.364			Version Software:	1.364		
No. Serie:	110907001146			No. Serie:	110907001146		
Placa:	2500			Placa:	2500		
Tipo combustible:	GASOLINA			Tipo combustible:	GASOLINA		
VALORES MEDIDOS				VALORES MEDIDOS			
Temp. :	----	[°C]		Temp. :	----	[°C]	
RPM :	2660	[1/min]		RPM :	2650	[1/min]	
CO :	0.71	[%Vol]		CO :	0.71	[%Vol]	
CO2 :	13.9	[%Vol]		CO2 :	13.8	[%Vol]	
HC :	67	[ppmVol]		HC :	65	[ppmVol]	
O2 :	1.04	[%Vol]		O2 :	1.09	[%Vol]	
NOx :	0	[ppmVol]		NOx :	0	[ppmVol]	
Lambda :	1.024	[-]		Lambda :	1.027	[-]	
Fecha y hora 31.05.2024 10:56				Fecha y hora 31.05.2024 11:01			
ANAL. GASES DE ESCAPE				ANAL. GASES DE ESCAPE			
Tipo:	AGS-688			Tipo:	AGS-688		
Version Software:	1.364			Version Software:	1.364		
No. Serie:	110907001146			No. Serie:	110907001146		
Placa:	2500			Placa:	2500		
Tipo combustible:	GASOLINA			Tipo combustible:	GASOLINA		
VALORES MEDIDOS				VALORES MEDIDOS			
Temp. :	----	[°C]		Temp. :	----	[°C]	
RPM :	2620	[1/min]		RPM :	2660	[1/min]	
CO :	0.76	[%Vol]		CO :	0.81	[%Vol]	
CO2 :	13.5	[%Vol]		CO2 :	14.8	[%Vol]	
HC :	77	[ppmVol]		HC :	71	[ppmVol]	
O2 :	1.03	[%Vol]		O2 :	1.02	[%Vol]	
NOx :	0	[ppmVol]		NOx :	0	[ppmVol]	
Lambda :	1.023	[-]		Lambda :	1.019	[-]	
Fecha y hora 31.05.2024 11:04				Fecha y hora 31.05.2024 11:15			

Anexo 14. Resultados de medición de gases con gasolina extra a 2500 RPM.

## Resultados de medición de gases con GLP en 900 RPM

ANAL. GASES DE ESCAPE		ANAL. GASES DE ESCAPE	
Tipo: <i>Rolendi</i>	AGS-688	Tipo: <i>Rolendi</i>	AGS-688
Version Software: 1.364		Version Software: 1.364	
No. Serie: 110907001146		No. Serie: 110907001146	
Placa:		Placa:	
Tipo combustible: GLP		Tipo combustible: GLP	
VALORES MEDIDOS		VALORES MEDIDOS	
Temp. : -----	[°C]	Temp. : -----	[°C]
RPM : 870	[1/min]	RPM : 880	[1/min]
CO : 0.21	[%Vol]	CO : 0.17	[%Vol]
CO2 : 13.0	[%Vol]	CO2 : 12.9	[%Vol]
HC : 123	[ppmVol]	HC : 104	[ppmVol]
O2 : 1.07	[%Vol]	O2 : 1.25	[%Vol]
NOx : 0	[ppmVol]	NOx : 0	[ppmVol]
Lambda : 1.037	[-]	Lambda : 1.048	[-]
Fecha y hora		Fecha y hora	
12.07.2024 10:55		12.07.2024 11:00	
ANAL. GASES DE ESCAPE		ANAL. GASES DE ESCAPE	
Tipo: <i>Rolendi</i>	AGS-688	Tipo: <i>Rolendi</i>	AGS-688
Version Software: 1.364		Version Software: 1.364	
No. Serie: 110907001146		No. Serie: 110907001146	
Placa:		Placa:	
Tipo combustible: GLP		Tipo combustible: GLP	
VALORES MEDIDOS		VALORES MEDIDOS	
Temp. : -----	[°C]	Temp. : -----	[°C]
RPM : 890	[1/min]	RPM : 890	[1/min]
CO : 0.19	[%Vol]	CO : 0.19	[%Vol]
CO2 : 13.0	[%Vol]	CO2 : 13.0	[%Vol]
HC : 117	[ppmVol]	HC : 117	[ppmVol]
O2 : 1.13	[%Vol]	O2 : 1.13	[%Vol]
NOx : 0	[ppmVol]	NOx : 0	[ppmVol]
Lambda : 1.041	[-]	Lambda : 1.041	[-]
Fecha y hora		Fecha y hora	
12.07.2024 11:04		12.07.2024 11:04	

Anexo 15. Resultados de medición de emisiones con GLP a 900 RPM.

## Resultados de medición de gases con GLP en 2500 RPM

## ANAL. GASES DE ESCAPE

Tipo: *2500* AGS-688  
Version Software: 1.364  
No. Serie: 110907001146

Placa:  
Tipo combustible: GLP

## VALORES MEDIDOS

Temp. : ----- [°C]  
RPM : 2560 [1/min]  
CO : 0.16 [%Vol]  
CO2 : 12.3 [%Vol]  
HC : 57 [ppmVol]  
O2 : 2.17 [%Vol]  
NOx : 0 [ppmVol]  
Lambda : 1.098 [-]

Fecha y hora  
12.07.2024 10:56

## ANAL. GASES DE ESCAPE

Tipo: *2500* AGS-688  
Version Software: 1.364  
No. Serie: 110907001146

Placa:  
Tipo combustible: GLP

## VALORES MEDIDOS

Temp. : ----- [°C]  
RPM : 2570 [1/min]  
CO : 0.16 [%Vol]  
CO2 : 12.3 [%Vol]  
HC : 47 [ppmVol]  
O2 : 2.17 [%Vol]  
NOx : 0 [ppmVol]  
Lambda : 1.099 [-]

Fecha y hora  
12.07.2024 11:01

## ANAL. GASES DE ESCAPE

Tipo: *2500* AGS-688  
Version Software: 1.364  
No. Serie: 110907001146

Placa:  
Tipo combustible: GLP

## VALORES MEDIDOS

Temp. : ----- [°C]  
RPM : 2670 [1/min]  
CO : 0.15 [%Vol]  
CO2 : 12.4 [%Vol]  
HC : 49 [ppmVol]  
O2 : 2.04 [%Vol]  
NOx : 0 [ppmVol]  
Lambda : 1.092 [-]

Fecha y hora  
12.07.2024 11:05

Placa: *2500*  
Tipo combustible: GLP

## VALORES MEDIDOS

Temp. : ----- [°C]  
RPM : 2520 [1/min]  
CO : 0.15 [%Vol]  
CO2 : 12.3 [%Vol]  
HC : 57 [ppmVol]  
O2 : 2.20 [%Vol]  
NOx : 0 [ppmVol]  
Lambda : 1.100 [-]

Fecha y hora  
12.07.2024 11:08

Anexo 16. Resultados de medición de gases con GLP a 2500 RPM.