



**Diseño e implementación del sistema de alimentación alternativo GLP de quinta  
generación para motores de combustión interna GDI**

Feijóo Vivas, Galo Alexander y Guayanlema Gutierrez, Alejandro Ariel

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

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

Automotriz

Ing. Quiroz Erazo, Leonidas Antonio

29 de febrero de 2024

Latacunga



## Plagiarism and AI Content Detection Report

TESIS GUAYANLEMA-FEIJO.docx

*Handwritten signature and text:*  
 Rosmery Quirós  
 0502509995

### Scan details

Scan time: February 29th, 2024 at 21:3 UTC  
 Total Pages: 79  
 Total Words: 19683

### Plagiarism Detection



8.4%

Types of plagiarism		Words
Identical	3.4%	668
Minor Changes	3.8%	748
Paraphrased	1.2%	242
Omitted Words	0%	0

### AI Content Detection

0.6%

Text coverage		Words
AI text	0.6%	127
Human text	99.4%	19556

[Learn more](#)

### Plagiarism Results: (53)

**El alza de la gasolina empuja a los taxistas a migrar al GLP** 0.8%

<https://imgandler.expreso.ec/actualidad/economia/alza-gasolina-empuja-taxistas-migrar-glp-126821.html>

Lisbeth Zumba

preguntas frecuentes Actualidad Política Economía Mundo Guayaquil Quito Opinión Editoriales Columnas  
 Cartas de lectores Deporte...

**El alza de la gasolina empuja a los taxistas a migrar al GLP** 0.8%

<https://www.expreso.ec/actualidad/economia/alza-gasolina-empuja-taxistas-migrar-glp-126821.html>

Lisbeth Zumba

preguntas frecuentes ...

**Análisis y construcción de un banco funcional con sistema de alimentaci...** 0.7%

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1774/13/ups-ct002050.pdf>

Martínez Minga, Pablo César

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA FACULTAD DE INGENIERÍAS CARRERA: INGENIERÍA  
 MECÁNICA AUTOMOTRIZ Tesis previa a la obtención...

**(PDF) CATALOGO DE NORMAS TECNICAS ECUATORIANAS & middot; PDF file...** 0.7%

<https://dokumen.tips/documents/catalogo-de-normas-tecnicas-ecuatorianas-2-esta-norma-sin-ningn-cambio...>

Unknow

x ...



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

### Certificación

Certifico que el trabajo de unidad de integración curricular, "**Diseño e implementación del sistema de alimentación alternativo GLP de quinta generación para motores de combustión interna GDI**" fue realizado por los señores **Feijóo Vivas, Galo Alexander y Guayanlema Gutierrez, Alejandro Ariel**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 21 de marzo del 2024



Ing. Quiroz Erazo, Leonidas Antonio Msc

C. C. 0502509995



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

**Carrera de Ingeniería Automotriz**

**Responsabilidad de autoría**

Nosotros, **Feijóo Vivas, Galo Alexander y Guayanlema Gutierrez, Alejandro Ariel**, con cédulas de ciudadanía C.C. 1726567553 y 0550018352, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de unidad de integración curricular: **Diseño e implementación del sistema de alimentación alternativo GLP de quinta generación para motores de combustión interna GDI**, es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

**Latacunga, 21 de marzo del 2024**

**Feijóo Vivas Galo Alexander**

C.C. 1726567553

**Guayanlema Gutierrez Alejandro Ariel**

C.C. 0550018352



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

**Carrera de Ingeniería Automotriz**

**Autorización de publicación**

Nosotros, **Feijóo Vivas, Galo Alexander y Guayanlema Gutierrez, Alejandro Ariel**, con cédulas de ciudadanía C.C. 1726567553 y 0550018352, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de unidad de integración curricular: **Diseño e implementación del sistema de alimentación alternativo GLP de quinta generación para motores de combustión interna GDI** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

**Latacunga, 21 de marzo del 2024**

**Feijóo Vivas Galo Alexander**

C.C. 1726567553

**Guayanlema Gutierrez Alejandro Ariel**

C.C. 0550018352

## **Dedicatoria**

A Orfa y Galo mis padres amados que con sus grandes esfuerzos desde pequeño me han  
criado y educado como una persona de bien.

A mis hermanos Jonathan y Kevin por guiarme, apoyarme y aconsejarme en todo momento  
de mi formación académica. .

A mi familia que a pesar de las preocupaciones y momentos difíciles siempre me han  
acompañado guiándome y aconsejándome en esto llamado vida.

A mis amigos por las experiencias vividas y su constante apoyo y motivación durante la  
carrera con sus risas y mal entendidos.

A mis profesores por compartir conmigo sus conocimientos que me inspiraron y motivaron  
para seguir adelante en mi proceso de formación profesional, además de sus vivencias y  
consejos aprendidos en el transcurso de su vida.

Y por último a mí, por siempre perseverar a pesar de tantas obligaciones y  
responsabilidades que me han agobiado en toda mi formación personal.

**FEIJOO VIVAS, GALO ALEXANDER**

## Dedicatoria

El presente proyecto de titulación lo dedico en primer lugar a Dios quien me cuida y protege todos los días, vela por mi bien, mi seguridad y salud, al ser tan glorioso que trajo paz y bendición a mi vida en todo este camino académico y mi vida en general.

A mis amados padres Luis y Vilma, que, con su apoyo incondicional, en todo ámbito siempre estuvieron cuando más los necesite, dios les pague a ustedes mis ejemplos de amor incondicional.

A mis queridos abuelitos Juan y Lucinda que forjaron en mi la bondad y alegría, ustedes son y serán mi luz en mis momentos más sombríos.

A mis hermanos Alexis, Fernanda y Maykel quienes, con juegos, peleas, risas y más estuvieron en cada lapso de crecimiento con nuestra gran familia.

A mi amada esposa Ale que, con su apoyo, confianza, respeto y amor fue quien me ayudo en estas últimas gradas de conclusión de mi carrera esto es de ambos.

A toda mi familia por su apoyo, consejo, en especial a mis tíos y primos que desde muy pequeño fueron mis mejores amigos quienes me apoyaban en todo deporte y demás actividades que yo quería practicar como el grandioso futbol.

A mis maestros de vida y de carrera, quienes se convirtieron en amigos, padres de buen consejo que mucho más allá de sus conocimientos enriquecieron mi vida con enseñanzas.

A toda mi familia, amigos y conocidos les dedico este logro, sin su amor comprensión y aliento, este camino habría sido mucho más difícil de transitar, este triunfo también es suyo.

Gracias por ser mi apoyo e inspiración constante.

**GUAYANLEMA GUTIERREZ, ALEJANDRO ARIEL**

## **Agradecimiento**

Agradezco a mis padres por apoyarme, preocuparse y guiarme en este proceso en las buenas y en las malas.

A mis hermanos por su guía y consejos y por las oportunidades que me han dado para para superar esta etapa de mi vida.

A todos los docentes de la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe Sede Latacunga que me impartieron sus conocimientos y consejos, al Ingeniero Leónidas Quiroz que con su valiosa dirección ha sabido guiar de manera acertada durante mi proceso de formación académica.

**FEIJOO VIVAS, GALO ALEXANDER**

## **Agradecimiento**

Agradezco eternamente a Dios por todo lo que ha traído en mi vida universitaria. Especial agradecimiento a mis padres por ser mi base en todo momento y lugar quienes siempre me apoyaron y son los pilares de mi formación moral y humana.

A mis hermanos que con sus charlas y consejos influyeron de buena forma en mi vida. A mi querida Ale y su familia, gracias por apoyarme y ayudarme a concluir con esta parte importante de mis estudios.

Agradezco a todos los maestros de la Universidad de las fuerzas Armada ESPE-L que llegaron en toda la carrera a infundir conocimiento y consejos de vida, es especial a mi tutor de tesis Ingeniero Leónidas Quiroz por guiarnos en estos últimos peldaños de mi carrera, y con su gran ayuda concluir con este importante capítulo de mi vida.

**GUAYANLEMA GUTIERREZ, ALEJANDRO ARIEL**

**ÍNDICE DE CONTENIDO**

<b>Carátula.....</b>	<b>1</b>
<b>Reporte de Verificación de Contenido .....</b>	<b>2</b>
<b>Certificación .....</b>	<b>3</b>
<b>Responsabilidad de autoría.....</b>	<b>4</b>
<b>Autorización de publicación.....</b>	<b>5</b>
<b>Dedicatoria.....</b>	<b>6</b>
<b>Dedicatoria.....</b>	<b>7</b>
<b>Agradecimiento.....</b>	<b>8</b>
<b>Agradecimiento.....</b>	<b>9</b>
<b>Índice de contenido .....</b>	<b>10</b>
<b>Índice de figura .....</b>	<b>15</b>
<b>Índice de tablas .....</b>	<b>17</b>
<b>Índice de ecuaciones.....</b>	<b>18</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>19</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>20</b>
<b>Capítulo I: Generalidades .....</b>	<b>21</b>
<b>Antecedentes investigativos .....</b>	<b>21</b>
<b>Planteamiento del problema.....</b>	<b>27</b>
<b>Justificación, importancia y alcance.....</b>	<b>29</b>
<b>Descripción resumida del proyecto .....</b>	<b>30</b>
<b>Objetivos del proyecto .....</b>	<b>31</b>

<i>Objetivo General</i> .....	31
<i>Objetivos específicos</i> .....	31
<b>Metas</b> .....	32
<b>Hipótesis</b> .....	32
<b>Capítulo II: Marco Teórico</b> .....	33
<b>Datos técnicos del vehículo de tesis</b> .....	33
<i>Características del vehículo</i> .....	33
<i>Ficha técnica.</i> ....	33
<i>Motor</i> .....	34
<b>Características del Gas Licuado de Petróleo</b> .....	34
<b>Fabricante de kits de GLP para vehículos</b> .....	35
<b>Selección del sistema GLP</b> .....	36
<i>Eficiencia y rendimiento.</i> ....	36
<i>Costos y viabilidad económica</i> .....	37
<i>Disponibilidad y accesibilidad</i> .....	37
<i>Normativas</i> .....	38
<i>NTE INEN 2310</i> .....	38
<i>NTE INEN 2311</i> .....	39
<i>NTE INEN 0111</i> .....	39
<b>Funcionamiento del sistema de GLP de quinta generación</b> .....	40
<i>Funcionamiento del motor con GLP</i> .....	40
<b>Funcionamiento del sistema de inyección GDI</b> .....	48
<i>Ventajas de la inyección directa</i> .....	48
<i>Inyección directa GDI</i> .....	48
<i>Bomba de alta presión:</i> .....	48

<i>Sensores que actúan en el funcionamiento del sistema GDI</i> .....	49
<i>La unidad de control electrónica ECU</i> .....	50
<i>Inyectores de alta presión del sistema</i> .....	50
<b>Esfuerzos</b> .....	52
<i>Esfuerzo axial</i> .....	52
<i>Esfuerzo cortante</i> .....	52
<b>Selección de software para el diseño</b> .....	53
<b>Código de colores en cableado Automotriz</b> .....	53
<b>Costos de los diferentes combustibles en el Ecuador</b> .....	54
<b>Distancias de recorrido en Ecuador</b> .....	55
<b>Capítulo III: Diseño e implementación del sistema de quinta generación de GLP en un motor GDI</b> .....	57
<b>Pruebas mecánicas en el vehículo</b> .....	57
<i>Prueba de compresión</i> .....	57
<i>Prueba de vació</i> .....	58
<i>Prueba de fugas</i> .....	59
<b>Parámetros de diseño</b> .....	60
<i>Disposición del compartimiento posterior del vehículo</i> .....	61
<i>Sistema de fijación del depósito</i> .....	63
<i>Disposición del conmutador en el tablero de instrumentos</i> .....	65
<i>Disposición de los componentes de GLP en el compartimiento del motor</i> .....	66
<i>Disposición de la toma de llenado de GLP</i> .....	67
<i>Diseño del soporte del reductor-vaporizador</i> .....	67
<i>Achurado de la tubería de alta presión</i> .....	69
<b>Diseño eléctrico de los componentes de GLP</b> .....	72

Elección del kit.....	74
Selección del sistema GLP a partir del software en línea. ....	74
Componentes del sistema de quinta generación de GLP .....	76
Instalación del sistema .....	76
Pruebas de funcionalidad.....	78
<i>Activación de la electroválvula del evaporador.....</i>	78
<i>Prueba de inyección de GLP.....</i>	79
<i>Prueba de corte del sistema por falta de GLP .....</i>	80
<i>Prueba de corte de alimentación a la unidad de control de GLP .....</i>	80
Análisis económico de la inversión .....	81
Capítulo IV: Análisis de resultados.....	84
Análisis Comparativo, componentes (Normativa NTE INEN 2310 y el sistema de implementación). ....	84
Análisis Comparativo de Implementación (Normativa NTE INEN 2311 y el sistema de implementación GLP).....	86
Análisis porcentual de seguridad, cumplimiento de diseño y accesibilidad.....	87
<i>Pruebas mecánicas del vehículo prototipo de tesis .....</i>	88
<i>Disposición del tanque .....</i>	88
<i>Sistema de fijación del tanque.....</i>	89
<i>Disposición del conmutador .....</i>	89
<i>Disposición de los componentes de GLP en el compartimiento del motor. ....</i>	90
<i>Disposición de la toma de llenado de GLP.....</i>	90
<i>Diseño del soporte del reductor – vaporizador .....</i>	90
<i>Achurado de la tubería de alta presión.....</i>	91
<i>Diseño eléctrico .....</i>	91

<i>Instalación del sistema</i> .....	91
<i>Pruebas de funcionalidad</i> .....	92
Análisis económico de la inversión .....	96
Capítulo V: Marco administrativo .....	98
Recursos.....	98
<i>Recursos Humanos</i> .....	98
<i>Recursos Tecnológicos</i> .....	98
<i>Recursos Materiales</i> .....	99
Presupuesto .....	100
Capítulo VI: Conclusiones y recomendaciones .....	101
Conclusiones .....	101
Recomendaciones .....	103
Bibliografía .....	104
Anexos .....	111

## ÍNDICE DE FIGURA

<b>Figura 1</b> Componentes del sistema de GLP .....	40
<b>Figura 2</b> Ubicación de los componentes del sistema de GLP .....	41
<b>Figura 3</b> Multiválvula de GLP .....	41
<b>Figura 4</b> Toma de llenado de gas con válvula anti retorno .....	42
<b>Figura 5</b> Elementos principales del depósito .....	43
<b>Figura 6</b> Partes del reductor .....	43
<b>Figura 7</b> Reductor de presión positiva de una etapa LI10 .....	44
<b>Figura 8</b> Riel de inyectores GIRS12 .....	45
<b>Figura 9</b> Indicador de nivel y conmutador .....	46
<b>Figura 10</b> Unidad de control electrónico LANDIRENZO OMEGAS DIRECT .....	46
<b>Figura 11</b> Esquema control electrónico de GLP .....	47
<b>Figura 12</b> Bomba de combustible de alta presión .....	49
<b>Figura 13</b> Computadora automotriz ECU .....	50
<b>Figura 14</b> Inyector de sistema de inyección directa GDI .....	51
<b>Figura 15</b> Inyector Electromagnético .....	51
<b>Figura 16</b> Compresión cilindro 4 .....	58
<b>Figura 17</b> Comprobación de vacío .....	59
<b>Figura 18</b> Medida de fugas .....	60
<b>Figura 19</b> Disposición del compartimiento posterior del vehículo .....	61
<b>Figura 20</b> Medidas del depósito de GLP .....	62
<b>Figura 21</b> Ubicación del depósito en el compartimiento posterior .....	62
<b>Figura 22</b> Análisis de desplazamientos del chasis por el depósito de GLP .....	63
<b>Figura 23</b> Disposición del conmutador .....	66
<b>Figura 24</b> Disposición de componentes de GLP .....	66
<b>Figura 25</b> Disposición de la toma de llenado .....	67
<b>Figura 26</b> Soporte del reductor-vaporizador .....	68

<b>Figura 27</b> <i>Análisis de velocidad del achurado</i> .....	69
<b>Figura 28</b> <i>Análisis de presión en el achurado</i> .....	69
<b>Figura 29</b> <i>Esquema hidráulico y neumático</i> .....	71
<b>Figura 30</b> <i>Esquema hidráulico</i> .....	71
<b>Figura 31</b> <i>Esquema neumático</i> .....	72
<b>Figura 32</b> <i>Esquema eléctrico del sistema de GLP</i> .....	73
<b>Figura 33</b> <i>Protocolo de selección a partir del uso de la aplicación LANDI RENZO</i> .....	75
<b>Figura 34</b> <i>Selección del sistema a partir del uso de la aplicación LANDIRENZO</i> .....	75
<b>Figura 35</b> <i>Protocolo de instalación y ubicación de los elementos del sistema GLP</i> .....	77
<b>Figura 36</b> <i>Implementación del depósito de combustible en la parte posterior del vehículo</i> ..	77
<b>Figura 37</b> <i>Protocolo de prueba de corte del sistema por falta de GLP</i> .....	78
<b>Figura 38</b> <i>Activación de electroválvula de evaporador</i> .....	79
<b>Figura 39</b> <i>Protocolo de prueba de inyección de GLP</i> .....	79
<b>Figura 40</b> <i>Activación de inyectores</i> .....	80
<b>Figura 41</b> <i>Conmutador mostrando nivel de GLP en descenso</i> .....	81
<b>Figura 42</b> <i>Porcentajes de seguridad</i> .....	93
<b>Figura 43</b> <i>Porcentajes de cumplimiento del diseño</i> .....	94
<b>Figura 44</b> <i>Porcentajes de accesibilidad de los componentes</i> .....	95
<b>Figura 45</b> <i>Promedio de porcentajes alcanzados</i> .....	96

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Ficha técnica del vehículo Mazda Cx7 2.3 Turbo DISI año 2009</i> .....	33
<b>Tabla 2</b> <i>Ficha técnica del motor Mazda 2.3L DISI Turbo o L3-VDT</i> .....	34
<b>Tabla 3</b> <i>Características de GLP</i> .....	35
<b>Tabla 4</b> <i>Código de colores en cableado automotriz</i> .....	54
<b>Tabla 5</b> <i>Precios de venta para comercializadoras calificadas y autorizadas</i> .....	55
<b>Tabla 6</b> <i>Distancia de recorrido en Ecuador</i> .....	56
<b>Tabla 7</b> <i>Valores de compresión</i> .....	57
<b>Tabla 8</b> <i>Valores de medida de vacío</i> .....	58
<b>Tabla 9</b> <i>Valores de medida de fugas</i> .....	59
<b>Tabla 10</b> <i>Especificaciones del perno de acero a implementar</i> .....	65
<b>Tabla 11</b> <i>Aspectos mecánicos</i> .....	70
<b>Tabla 12</b> <i>Disposición de conductores para el sistema eléctrico</i> .....	74
<b>Tabla 13</b> <i>Datos de selección de inyectores</i> .....	76
<b>Tabla 14</b> <i>Consumo del Vehículo prototipo con uso de gasolina y GLP</i> .....	82
<b>Tabla 15</b> <i>Recorrido aproximado en km entre Latacunga y Riobamba con gasolina extra</i> ....	82
<b>Tabla 16</b> <i>Recorrido en km entre Latacunga y Riobamba con el sistema GLP</i> .....	82
<b>Tabla 17</b> <i>Precio total de consumo de combustible</i> .....	83
<b>Tabla 18</b> <i>Porcentajes obtenidos</i> .....	92
<b>Tabla 19</b> <i>Tabla de consumos y precios anual</i> .....	97
<b>Tabla 20</b> <i>Recursos Humanos</i> .....	98
<b>Tabla 21</b> <i>Recursos Tecnológicos</i> .....	99
<b>Tabla 22</b> <i>Recursos Materiales</i> .....	99
<b>Tabla 23</b> <i>Costo del proyecto de investigación</i> .....	100

**ÍNDICE DE ECUACIONES**

<b>Ecuación 1</b> <i>Esfuerzo axial</i> .....	52
<b>Ecuación 2</b> <i>Esfuerzo cortante</i> .....	53

## Resumen

La investigación desarrollo el diseño de los componentes del sistema GLP a través de la ingeniería asistida por computador mediante el modelado y simulación e implementó un kit de quinta generación de Gas Licuado de petróleo a un motor con inyección directa gasolina (GDI); cumpliendo lo estipulado en la normativa técnica nacional los requisitos mínimos establecidos los equipos de quinta generación y las conversiones por la NTE INEN 2 310 y NTE INEN 2 311 para vehículos automotores funcionamiento con GLP en relación a la instalación, seguridad y fiabilidad técnica – económica sostenible. Se ejecutó pruebas de funcionalidad y operación del sistema hidráulico, neumático, eléctrico y electrónico de alimentación alternativo GLP/gasolina y solo de GLP, mediante protocolos a través de ensayos que garanticen la seguridad técnica – operativa. La puesta a punto del motor de combustión interna consideró el uso del software LANDI RENZO INJECTION SYSTEM DIRECT INJECTION que considera revoluciones, temperatura, tiempo de activación de inyectores y avance al encendido en función de la programación y mapeo de la unidad de control electrónico de gas. Se examinó las condiciones previas de funcionamiento que rigen en la conversión al sistema flexible alternativo como: temperatura operación y régimen de giro como medio de conmutación de gasolina a GLP esta última con operación en rango mínimo de nafta como requerimiento de potencia y protección del sistema de combustible original del automotor. Se cuenta con un sistema indicador visual del nivel de la mezcla propano – butano para niveles de gas licuado, que reconoce reserva y límite mínimo para cambio automático cuando el carburante gaseoso a través de sensores y actuadores del sistema de GLP. En el vehículo se implementó un sistema alternativo de inyección electrónica de quinta generación para gas licuado de petróleo que garantiza la seguridad técnica establecida en la norma nacional.

*Palabras clave:* diseño elementos GLP, simulación asistida, implementación del sistema, GLP quinta generación, motor GDI.

### Abstract

The research developed the design of the LPG system components through computer-aided engineering through modeling and simulation and implemented a fifth generation kit of Liquefied Petroleum Gas to an engine with gasoline direct injection (GDI); complying with the provisions of the national technical regulations, the minimum requirements established for fifth generation equipment and conversions by NTE INEN 2 310 and NTE INEN 2 311 for motor vehicles operating with LPG in relation to installation, safety and technical reliability - sustainable economic . Functionality and operation tests were carried out on the hydraulic, pneumatic, electrical and electronic alternative LPG/gasoline and LPG-only feeding system, using protocols through tests that guarantee technical-operational safety. The tuning of the internal combustion engine considered the use of the LANDI RENZO INJECTION SYSTEM DIRECT INJECTION software that considers revolutions, temperature, injector activation time and ignition advance based on the programming and mapping of the electronic gas control unit. The previous operating conditions that govern the conversion to the alternative flexible system were examined, such as: operating temperature and rotation speed as a means of switching from gasoline to LPG, the latter with operation in the minimum range of gasoline as a power requirement and protection of the fuel system. original automotive fuel. There is a visual indicator system for the level of the propane - butane mixture for liquefied gas levels, which recognizes reserve and minimum limit for automatic change when gaseous fuel is used through sensors and actuators of the LPG system. An alternative fifth-generation electronic injection system for liquefied petroleum gas was implemented in the vehicle, which guarantees the technical safety established in the national standard.

*Key words:* LPG element design, assisted simulation, system implementation, fifth generation LPG, GDI engine.

## Capítulo I

### Generalidades

#### Antecedentes investigativos

El precio de combustible en el Ecuador, ha llevado a varias personas, específicamente a taxistas a dar uso de combustibles alternativos para tener mayor ahorro en su economía, siendo el principal y más implementado la conversión a un sistema dual de GLP.

Se va a realizar el dimensionamiento, selección e implementación del sistema de alimentación alternativo GLP de quinta generación en un motor de combustión interna GDI, detallando los procesos con el fin de comprender el proceso de conversión.

Según (VALDEIGLESI, 2007) indica que se denomina recursos energéticos a los diferentes medios a través del cual el mundo cubre los requerimientos de energía para la población, industria, producción, servicios y para toda la vida moderna y tecnológica actual; sin el uso de energía, todo lo que existe hoy, no tendría razón de ser.

Según la Resolución MME 40246 de 2016, el gas licuado de petróleo "GLP", es una mezcla de hidrocarburos constituido por propano y butano, en Ecuador es un recurso importante en su canasta energética, que puede aprovecharse para la generación de energía en motores de combustión interna M.E.P., sustituyendo a la gasolina, pero debe asegurarse la fiabilidad de desempeño de los motores de combustión de inyección directa asistidos por la gestión electrónica. (MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA, 2016)

El GLP constituye una alternativa como combustible en el parque automotor, por su menor costo y alto rendimiento, sobre todo en el transporte masivo o público. Este gas combustible se usa por lo general en el transporte público y vehículos livianos, la emisión de gases tóxicos o partículas sólidas al medio ambiente es menor; no contamina el aire, es un método rentable, ahorrativo y ecológico. (Caceres; Mollon , 2007)

En la actualidad existen sistema de quinta generación con control electrónico programable de inyección de GLP para motores de combustión interna GDI, diseñados para transformar a gas los automóviles alimentados por inyección directa de gasolina de 2 a 4 cilindros; la protección y la emulación de los inyectores de gasolina son la parte más importante de la aplicación y se han desarrollado sobre la base de exhaustivos estudios de laboratorio y pruebas en carretera para garantizar el máximo desempeño y confort en conducción.

Los kits de conversión de quinta y sexta generación de las marcas de mayor venta a nivel mundial cumplen estándares fundamentados en dos importantes certificaciones en el campo automotriz: el Sistema de Gestión de Calidad ISO / TS 16949 del Sector Automotriz y el Sistema de Gestión de Calidad ISO 9001, así como, la ISO/TS 16949 es una especificación técnica, definida por "ISO" IATF International Automotive Task Force, cuya aplicación ha permitido optimizar tanto la cadena de suministro como los procesos, previniendo defectos y mejorar la calidad de los sistemas y componentes de GLP. La certificación garantiza también el cumplimiento de la norma ISO 9001 y asegura la conformidad de los productos para la conversión a gas a través de pruebas de seguridad y funcionalidad aplicadas al 100%, que permiten asegurar los altos estándares de calidad. (LOVATO LET THE BLUE DRIVE, 2022)

OEM siglas en inglés OEM significa Original Equipment Manufacturer, literalmente “fabricante de equipos originales”. En el mercado automovilístico y de los motores en general, los OEM son los fabricantes de vehículos, a los cuales Lovato Gas suministra los componentes o sistemas de gas que se montan en fábrica; de ahí la noción de “montaje de fábrica”. El alto estándar de calidad, la perfecta integración dentro del vehículo y el elevado contenido tecnológico de los productos y componentes de Lovato Gas han permitido ir entablando a lo largo del tiempo numerosas colaboraciones con los principales fabricantes de automóviles del mundo. (LOVATO LET THE BLUE DRIVE, 2022)

Existe dos principales beneficios que surgen por la modificación de un vehículo de gasolina a GLP: es económico y menor costo por mantenimiento; este ahorro, es

aproximadamente un 50% con relación al uso de gasolina. Otro beneficio es que permite garantizar la vida útil de los componentes de vehículo, como: mantiene las bujías limpias, no ensucia el aceite y evita recambios muy frecuentes, así como de los filtros, los gases por el sistema de escape son menores y garantiza su duración, como lo señala (Caceres; Mollon , 2007)

Desde 2008 las compañías de taxis están autorizados a cambiar su sistema de combustible por gas licuado de petróleo, lo que significa gastar hasta tres veces menos en comparación que con gasolina. El consumo de GLP en el sector automotor se triplicó entre enero y marzo de 2022 respecto al año anterior. Es decir, pasó de 26.829 barriles a 60.960, según datos de Petroecuador como lo señala (PRIMICIAS, 2023).

Hay que tener en cuenta, que para recorrer la misma distancia de un galón de gasolina se requieren dos kilos de GLP. Un kilo más o menos está subsidiado en 0,85. Eso quiere decir, que por cada galón que migra, los taxistas están usando 2 kilos de GLP y eso le estaría costando al Estado en subsidio \$ 1,70”, explica Erazo (ZUMBA, 2022).

Del consumo total de GLP que tiene el país, el Gobierno debe importar el 80 %. Este generalmente va a la demanda de los hogares, para la industria y para el sector automotor. Si se observan sus precios, en terminal, se tiene que el costo del kilogramo más costoso es el que utiliza el sector productivo, pues este vale \$ 1,15, muy distante al que ya pagan los taxis (\$ 0,18) y el doméstico (\$ 0,10). (ZUMBA, 2022).

En Guayaquil, solo cinco estaciones de servicio privadas ofrecen GLP para los taxistas. El sistema de GLP La instalación del sistema de GLP ocurre en el motor del vehículo, que se conecta con un cilindro diseñado para auto y que va en el maletero. “sistema italiano, que no elimina completamente el sistema de gasolina, porque el vehículo se enciende y apaga con combustible”

Duragas Pro inauguró una nueva estación de servicio de gas para taxis ubicada en Primax de Pascuales en la ciudad de Guayaquil, con el fin de ampliar su cobertura. Ahora los taxis que cuentan con el sistema dual de combustible poseen más estaciones para

transportarse con la mejor energía, aprovechando las ventajas del uso de gas para sus vehículos y ahorrando combustible mientras cuidan el medio ambiente (Duragas Pro, 2021).

La instalación de este sistema de GLP para taxis con sistemas de inyección electrónica GDI bordea los USD 850, y requiere de dos mantenimientos anuales, cuyo costo es de USD 120. (PRIMICIAS, 2023)

Los vehículos con sistemas alternativos de combustible de GLP representan una opción de reducción de la contaminación tanto ambiental como sonora, que puede ser aprovechada por los sectores del transporte público como los taxis a nivel nacional, aplicando de una manera adecuada la tecnología y principio de funcionamiento de los vehículo por propulsión con carburantes gaseosos en rutas urbanas y suburbanas de primer, segundo y tercer orden, especialmente en lo que se refiere a parámetros de autonomía y eficiencia respecto de los combustibles tradicionales como la gasolina para motores de ciclo OTTO.

Costos de kit de GLP de quinta generación en el mercado nacional e internacional

A nivel nacional hay locales y talleres comerciales como Vehigas que es un local que comercializa los sistemas de conversión en Durán norte: Coop. Carlos Carrera, en el cual “un kit de conversión a GLP tiene un precio de \$780”. Por otra parte, también está la empresa Vehigas conversión de taxis a GLP ubicado en Vehigas, Sixto Juan Bernal Mz 1203, Guayaquil 090507, en el cual “el precio de conversión va desde los \$850 hasta los \$1000” (PRIMICIAS, 2023).

“A nivel internacional la transformación de un vehículo con motor de gasolina a un vehículo bifuel cuesta en promedio entre 1.800 y 2.000 euros. Este precio puede variar dependiendo del tipo de depósito y las características específicas del mismo” (CARWOW, 2023)

A nivel internacional hay empresas como Landi Renzo que es una empresa italiana que se dedica a sistemas de GLP y GNC para vehículos. Se puede encontrar los componentes y sistemas en las principales marcas de automóviles como son: Škoda, Suzuki, Toyota, Alfa Romeo, Chrysler, Citroën, y Fiat. Otra de las empresas es Tomasetto

Achille ubicada en Italia, se dedica a la fabricación y comercialización de equipos de conversión a GLP y GNC. Prins Autogas Systems es una empresa con sede en los Países Bajos que se enfoca en sistemas de GLP y GNC para vehículos. Lovato Gas es una empresa italiana que fabrica y comercializa equipos de conversión a GLP y GNC. Zavoli es otra empresa italiana que ofrece productos relacionados con GLP y GNC. Impco Technologies es una empresa estadounidense que fabrica sistemas de combustible alternativos, incluyendo GLP y GNC.

#### Desarrollo de las generaciones

Primera Generación (LPG1): La primera generación de sistemas de GLP en automóviles se introdujo en la década de 1940. Estos sistemas eran relativamente simples y se basaban en la adaptación de un carburador convencional para funcionar con GLP. Eran menos eficientes en términos de consumo de combustible y no ofrecían un control electrónico avanzado. (GENERACIONES DE LOS SISTEMAS DE AUTOGAS – 2, s.f.).

Segunda Generación (LPG2): La segunda generación de sistemas GLP en vehículos surgió en las décadas de 1980 y 1990. “Estos sistemas introdujeron mejoras significativas en términos de eficiencia y control. Incluían inyección de GLP y sistemas electrónicos para una gestión más precisa del combustible”. (GENERACIONES DE LOS SISTEMAS DE AUTOGAS – 2, s.f.)

Este sistema es muy similar al sistema de primera generación, la única diferencia es que se le suma a la infraestructura un emulador de pulsos de inyección, para que cuando exista la conmutación de la alimentación de gasolina a GLP, no se genere códigos de falla y un mal funcionamiento del sistema (Minga, César, & Julio, 2011)

Tercera Generación (LPG3 o GLP secuencial): “Esta generación se caracteriza por sistemas de inyección secuencial, que proporcionan un control más preciso de la cantidad de GLP que se inyecta en cada cilindro del motor. Esto mejoró aún más la eficiencia y redujo las emisiones”. (Descripción General de Los Sistemas de Conversión A Gas Vehicular, s.f.)

Cuarta Generación (LPG4 o GLP Multipunto): Los sistemas de cuarta generación se desarrollaron para proporcionar una inyección de GLP multipunto, lo que significa que cada cilindro del motor tiene su propio inyector de GLP. Esto mejoró la distribución del combustible y la eficiencia del motor.

Este sistema está dedicado a la administración mono punto, con dosificación directa de combustible a cada cilindro: es decir vehículos diseñados para trabajar directamente a GLP; estos equipos se conectan en paralelo con los equipos originales se conectan con los equipos originales de gasolina (Minga, César, & Julio, 2011).

Quinta Generación (GLP de Inyección Directa): En esta generación, “se comenzaron a desarrollar sistemas de inyección directa de GLP, que se asemejan más a los sistemas de inyección directa de gasolina y permiten una mejor atomización del GLP y una mayor eficiencia en la combustión” (GENERACIONES DE LOS SISTEMAS DE AUTOGAS – 2, s.f).

Aspectos a considerar en la selección del kit para un motor de combustión interna

Compatibilidad del vehículo: No todos los vehículos son adecuados para la conversión a GLP o GNC. Verifica si tu vehículo es compatible con la conversión y si existen kits específicos disponibles para tu modelo y año de fabricación.

Normativas locales: Investiga las regulaciones y normativas locales relacionadas con la conversión de vehículos a GLP o GNC. Asegúrate de cumplir con todos los requisitos legales y obtener las aprobaciones necesarias.

Calidad del kit: Elige un kit de conversión de alta calidad de un fabricante confiable. Consulta opiniones de otros usuarios y busca marcas reconocidas en la industria.

Tipo de combustible (GLP o GNC): Decide si deseas convertir tu vehículo a GLP o GNC. Cada uno tiene sus propias ventajas y desventajas en términos de costo, disponibilidad y eficiencia.

Tamaño del tanque: Considera el espacio disponible en tu vehículo para instalar el tanque de GLP o GNC. También evalúa cuánto espacio adicional tendrás para carga y pasajeros.

**Costo de la conversión:** Calcula el costo total de la conversión, que incluye el kit en sí, la instalación por un profesional certificado y cualquier modificación necesaria en el vehículo. Compara los costos de conversión con los ahorros estimados en combustible a lo largo del tiempo.

**Garantía y soporte técnico:** Asegúrate de que el kit de conversión esté respaldado por una garantía y que puedas acceder a soporte técnico en caso de problemas o mantenimiento.

**Economía de combustible y rendimiento:** Investiga y compara el rendimiento del vehículo después de la conversión en términos de economía de combustible y potencia. Los kits de alta calidad deben mantener o mejorar el rendimiento original del vehículo.

**Instalación profesional:** La conversión debe ser realizada por un taller o profesional certificado y experimentado en la conversión de vehículos a GLP o GNC. La instalación adecuada es fundamental para la seguridad y el rendimiento.

**Disponibilidad de combustible:** Verifica la disponibilidad de GLP o GNC en tu área. No tiene sentido convertir tu vehículo si no puedes encontrar fácilmente el combustible necesario.

**Seguridad:** Asegúrate de que el sistema de conversión incluya características de seguridad, como válvulas de cierre automático en caso de fuga de gas.

**Emisiones y medio ambiente:** Evalúa cómo la conversión afectará las emisiones de tu vehículo y cómo se alinea con tus preocupaciones ambientales.

## **Planteamiento del problema**

La industria del automóvil se encuentra en la búsqueda constante de automotores con motores a combustión interna eficientes, enfocándose principalmente en reducir las emisiones de gases y consumo de combustible, dadas las restricciones legales impuestas por los gobiernos cada vez más estrictas sobre los niveles de componentes de los contaminantes y a los valores altos de los combustibles fósiles, es así, la tendencia actual es utilizar los motores de ciclo OTTO modernos con tecnologías alternativas de tal manera

de optimizar los procesos de combustión, preparación – relación de mezcla, gestión electrónica y emisiones en diferentes condiciones de operación y funcionamiento con el uso del GLP como combustible y fuente de energía primaria.

Caracterizar la gestión electrónica de la inyección de combustible alternativo del GLP en los contextos de aplicación a vehículos de servicio público para transporte de personas en el sector del transporte público a nivel nacional en torno al motor, la eficiencia del vehículo y la seguridad de los ocupantes, en propósito de beneficios como ahorro de combustible, control óptimo de sensores – actuadores en diferentes rangos de carga del motor, cumplimiento de normativas y uso de kits de conversión homologados requiere de estrategias y aplicaciones electrónicas como físicas para reducir el tiempo de verificación con pruebas de calidad a la tecnologías aplicada al transporte vehicular, en crecimiento en el mercado especialmente en la ciudad de Guayaquil de tal manera que se convierta en el pulso de desarrollo a nivel país

La movilidad con un carburante como el GLP puede ser un aporte al desarrollo sostenible del transporte de vehículos en sectores que incorporan como preocupación primaria disminuir las huellas de carbono y ecológica.

Los procesos de combustión mediante fuentes de energía fósil en países del tercer mundo tienen presencia a través de combustibles derivados del petróleo como la gasolina y el diésel, a esto sumado la inestabilidad del mercado del crudo del petróleo y la fluctuación del costo de los carburantes; así como, los altos niveles de contaminación que generan, sería de gran incidencia en el mercado del taxismo contar con vehículos que combinen tecnología de manufactura original como alternativa con GLP; así de esta manera; crea la necesidad de buscar alternativas de energía para la movilidad sostenible de personas como aporte a la sociedad y al medio ambiente que sean sostenibles y viables técnica y económicamente.

Se piensa, lo que señala (Widman, 2007)“El proceso de modificar no es difícil, pero diversos factores como falta de información, dudas y mecánicos sin conocimiento técnico generan miedo para tomar la decisión”.

El temor radica en que el gas produce depósitos en la cámara de combustión y el escape, el gas causa más desgaste al motor, el gas reseca los pistones, el uso de gas permite la utilización de aceite barato, una vez convertido a gas, creen que el motor del vehículo tiene que ser reparado con más frecuencia y el gas quita fuerza.

De tal manera se mostró posibles medidas y soluciones a la problemática planteada, la Investigación de los sistemas de alimentación de combustible GLP a través del estudio técnico, económico y ambiental de un prototipo de motor con kit de quinta generación en motores GDI que funcione con inyección directa de gasolina y GLP, busca determinar la incidencia del consumo de combustible y las emisiones inyectando directamente los carburantes en los cilindros, en cumplimiento y acorde a norma técnica ecuatoriana NTE INEN 0111, NTE INEN 2310, NTE INEN 2311 y otros que estén considerados en el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 034.

¿Cuál es el beneficio de los propietarios de taxis en la ciudad de Guayaquil al realizar la conversión de vehículos livianos con sistema de quinta generación GLP en motores GDI desde el punto de vista técnico económico y ambiental?

### **Justificación, importancia y alcance**

En la actualidad, el GLP (gas licuado del petróleo), se ha convertido en el combustible sostenible para vehículos más utilizado en todo el mundo. Por ello, las ventajas del carburante para el sector público y privado son numerosas.

Las ventajas del uso del gas licuado de petróleo en vehículos con tecnología de gestión electrónica y sistema de alimentación con inyección directa suponen grandes ventajas, tanto para el medioambiente como por el ahorro de combustible, mayor autonomía y conservación económico que se logra.

Sin dejar de lado la menor contaminación, es así que el precio de este combustible tiene un coste menor en comparación a otros carburantes tradicionales líquidos, por lo que implica una reducción presupuestaria bastante notable.

Los periodos de mantenimiento se incrementan debido a la optimización de los procesos de combustión de los motores GDI que utilizan GLP, presentan un menor desgaste en comparación a motores que únicamente consumen gasolina, esto se traduce en una disminución del gasto de mantenimiento y en una mayor fiabilidad y amortización del vehículo.

De tal manera que la movilidad con GLP puede ser un aporte sostenible para el Ecuador, y principalmente en la ciudad de Guayaquil, en su plan piloto de uso de GLP en el sector del taxismo, la importancia de analizar el sistema de GLP en motores GDI radica en la buena implementación para optimizar la potencia, consumo y sobre todo las emisiones de gases contaminantes.

### **Descripción resumida del proyecto**

Se desarrolló un prototipo de un sistema de alimentación de combustible GLP de quinta generación en motores GDI con control de la gestión electrónica.

Se elaboró de manera científica y técnico usando fuentes bibliográficas confiables mediante el diseño mecánico, eléctrico, electrónico y programación a ser aplicado a través de la ingeniería, de manera que cumpla lo estipulado en la normativa nacional para vehículos automotores funcionamiento con GLP a través de equipos para carburación dual GLP/gasolina y solo de GLP considerando aspectos de seguridad y fiabilidad técnica – económica sostenible.

Se dimensionó el sistema hidráulico, neumático, eléctrico y electrónico de alimentación alternativo GLP/gasolina y solo de GLP a través de la ingeniería asistida por computador mediante el modelado y simulación de los componentes y sistema GLP de quinta generación.

Se seleccionó el sistema de alimentación alternativo GLP, en cumplimiento de los requisitos mínimos que deben cumplir los equipos de quinta generación y las conversiones a realizar en el motor de combustión interna GDI, acorde a lo establecido por la NTE INEN 2 210.

Se implementó el sistema de alimentación alternativo GLP, en cumplimiento de los requisitos mínimos que deben cumplir los equipos de quinta generación para la conversión dual gasolina/GLP o solo GLP a desarrollar en el motor de combustión interna GDI, acorde a lo establecido por la NTE INEN 2 211.

Se realizó pruebas de funcionalidad y operación del sistema hidráulico, neumático, eléctrico y electrónico de alimentación alternativo GLP/gasolina y solo de GLP, mediante protocolos y ensayos que garanticen la seguridad técnica – operativa.

Se ejecutó la grabación y almacenamiento de grandes volúmenes de datos de la instalación del proyecto de integración curricular.

Se valoró de la situación económica y riesgos implícitos de corto a medio plazo para la estabilidad de precios desde la perspectiva de la interacción de la oferta y la demanda en los mercados de recuperación económica de la inversión del uso de GLP como fuente de energía en motores de combustión interna GDI.

## **Objetivos del proyecto**

### ***Objetivo General***

Dimensionar, seleccionar e implementar un sistema de alimentación alternativo GLP de quinta generación para motores de combustión interna GDI.

### ***Objetivos específicos***

- Dimensionamiento del sistema hidráulico, neumático, eléctrico y electrónico de alimentación alternativo GLP/gasolina y solo de GLP a través de la ingeniería asistida por computador y recuperación económica de la inversión.
- Seleccionar el sistema de alimentación alternativo GLP, en cumplimiento de los requisitos mínimos que deben cumplir los equipos de quinta generación y las conversiones a realizar en el motor de combustión interna GDI, acorde a lo establecido por la NTE INEN.

- Implementar en el motor GDI el sistema de alimentación alternativo GLP en concordancia con las normas establecidas por parte de la NTE INEN.
- Grabar y almacenar el procedimiento de instalación del sistema de alimentación alternativo GLP en el motor GDI.

### **Metas**

- Se dimensionó un prototipo del sistema de alimentación de combustible GLP de quinta generación en un motor GDI.
- Se diseñó e implementó el sistema de alimentación de combustible GLP de quinta generación en un motor GDI respetando en lo mínimo las normas NTE INEN.
- Se recopiló información que servirán como datos experimentales del diseño, construcción y pruebas del Prototipo de sistema de alimentación de combustible GLP de quinta generación en motores GDI, a partir de un análisis inicial se procesó la información recolectada en la revisión bibliográfica del estado del arte, para generar la experimentación y la obtención de los resultados propuestos en esta investigación.

### **Hipótesis**

La implementación del sistema GLP de quinta generación en un motor de combustión GDI cumplirá la normativa técnica ecuatoriana NTE INEN garantizando la fiabilidad y seguridad del sistema en un 95%.

## Capítulo II

### Marco teórico

#### Datos técnicos del vehículo de tesis

##### *Características del vehículo*

Según (Mazda Motor Corporation, 2007) El vehículo Mazda CX-7 2.3 Turbo está equipado con un motor de gasolina de 2.3 litros de cuatro cilindros en línea con tecnología turboalimentada.

##### *Ficha técnica.*

**Tabla 1**

*Ficha técnica del vehículo Mazda Cx7 2.3 Turbo DISI año 2009*

<b>Versión</b>	<b>CX-7 2.3 DISI 260 CV Luxury (2009)</b>
<b>Carrocería</b>	SUV
<b>Combustible</b>	Gasolina
<b>Consumo NEDC</b>	Extraurbano 8,1 l/100 km Urbano 13,8 l/100 km Medio 10,2 l/100 km
<b>Depósito de combustible</b>	69 l
<b>Volúmenes del maletero</b>	Con dos filas de asientos disponibles es 455 litros
<b>Potencia máxima</b>	260 CV / 191 kW
<b>Revoluciones potencia máxima</b>	5.500 rpm
<b>Situación</b>	Delantero transversal
<b>Alimentación</b>	Inyección directa. Turbo. Intercooler
<b>Tracción</b>	Delantera

*Nota.* se observa datos principales del vehículo, que van a ser usados para el diseño e implementación. Tomado de (Mazda Motor Corporation, 2007).

### **Motor**

Según (MOTORREVIEWER, 2022) el motor Mazda 2.3L DISI Turbo o L3-VDT se instaló en Mazda CX-7 El motor turbo tiene un sistema de inyección directa de combustible. Mazda lo denominó sistema de 'encendido por chispa por inyección directa' (DISI).

La bomba de alta presión proporciona una presión de 28,3 bar a 130 bar (410-1885 psi) y suministra combustible a los inyectores para la inyección directa en los cilindros. El motor DISI Turbo de 2,3 L tiene una turbina de geometría fija (FGT) y un turbocompresor de entrada única. El turbocompresor proporciona una presión de sobrealimentación máxima de 1,076 bar (15,6 psi) disponible a 2500 rpm. (MOTORREVIEWER, 2022).

**Tabla 2**

*Ficha técnica del motor Mazda 2.3L DISI Turbo o L3-VDT*

<b>Fabricante</b>	<b>Mazda</b>
<b>Sistema de combustible</b>	Inyección directa de combustible
<b>Número de cilindros</b>	4 cilindros en línea
<b>Índice de compresión</b>	9.5:1
<b>Potencia, hp</b>	263 caballos de fuerza (196 kW)/5500 rpm
<b>Torque, lb-pie</b>	280 libras-pie (380 Nm)/3000rpm
<b>Orden de encendido</b>	1-3-4-2
<b>Diseño del tren de válvulas</b>	DOHC

*Nota.* Tabla de datos técnicos del motor para uso de proyecto de integración curricular.

Tomado de (MOTORREVIEWER, 2022), extraído el 20/02/2024.

### **Características del Gas Licuado de Petróleo.**

El Gas Licuado de Petróleo (GLP), es una mezcla de gases (propano y butano) obtenidos de la destilación fraccionada del petróleo crudo, que a temperatura normal y a presión atmosférica permanecen en estado gaseoso, pero que tienen la propiedad de pasar al estado líquido sometidos a presión (Francisco, 2011).

El gas licuado de petróleo, es una mezcla de hidrocarburos volátiles, conformados principalmente por propano, propileno, butano, iso-butano, butileno, obtenidos de los líquidos del gas natural o de gases de refinería, los cuales pueden ser almacenados y manipulados como líquidos por aplicación de una presión moderada a temperatura ambiente y/o descenso de temperatura (Francisco, 2011).

**Tabla 3**

*Características de GLP*

<b>Característica</b>	<b>Propano</b>	<b>Butano</b>
<b>Densidad a 15 °C (kg/l)</b>	0,508	0,584
<b>Tensión de vapor a 37,8 °C</b>	12,1	2,6
<b>Temperatura de ebullición (°C)</b>	43	-0,5
<b>R.O.N.</b>	111	103
<b>M.O.N.</b>	97	89
<b>Poder calorífico inferior (MJ/Kg)</b>	46,1	45,46
<b>Poder calorífico inferior (MJ/l)</b>	23,4	26,5
<b>Relación estequiométrica (kg/kg)</b>	15,8	15,6
<b>Poder calorífico MIX.S. (kg/mc)</b>	3414	3446

*Nota.* En la tabla se observa las características del GLP tanto en Propano y Butano. Tomado de “Adaptación de un sistema de combustible con la utilización de GLP a un motor de gasolina Toyota 5R” por (Cristian & Santiago, 2005).

**Fabricante de kits de GLP para vehículos**

Los sistemas de GLP y gas natural son sistemas que permiten reducir las emisiones contaminantes y ofrecen ventajas económicas significativas. En la actualidad representan un gran aporte para el desarrollo de las nuevas tecnologías que día a día ayudan a reducir las emisiones de gases contaminantes en vehículos actuales que funcionan con motores de combustión interna, al igual que disminuir el consumo de combustible. (LANDIRENZO, Producto, s.f.)

### **Selección del sistema GLP**

Según (Barros Barzallo & Barrera Suárez, 2012) para poder realizar la instalación del sistema de alimentación de GLP el vehículo prototipo, debe tener el motor en buen estado mecánico, eléctrico y electrónico, al igual el prototipo debe poseer el sistema de suspensión específicamente en buen estado, ya que se va a implementar diversos componentes que posiblemente podrían desestabilizar al vehículo.

Se identifica qué tipo de motor posee el vehículo, “Los motores de inyección directa en los automóviles presentan diferencias respecto a otros tipos de motores, permite la introducción directa del combustible en la cámara de combustión. Este diseño resulta en una mejora significativa en la eficiencia del motor” (LANDIRENZO, Sistema de GLP para motores de inyección directa, s.f.).

Según (Mazda Motor Corporation, 2007), el motor correspondiente al vehículo prototipo de tesis es un motor GDI turbo alimentado DISI de Mazda, con esta información se procederá a tomar en cuenta parámetros adicionales de selección del kit de GLP adecuado para el motor que busca el funcionamiento correcto del proyecto

### ***Eficiencia y rendimiento.***

“El sistema LANDIRENZO OMEGAS DIRECT representa la evolución del sistema de gas licuado de petróleo: que fue diseñado para conversión de motores de inyección directa” (LANDIRENZO, Sistema de GLP para motores de inyección directa, s.f.)

### ***Costos y viabilidad económica***

“Los beneficios de cambiar a un sistema de GLP incluyen el ahorro de dinero, la reducción de la contaminación, la mejora de la seguridad y el mantenimiento del rendimiento del vehículo.” (LANDIRENZO, Sistema de GLP para motores de inyección directa, s.f.)

Según (PRIMICIAS, 2023), los costos de combustible se pueden reducir hasta en un 50% de lo habitual al usar gasolina, además la eficiencia y rendimiento no se ven sacrificados, al contrario, aumentarán por las propiedades que ofrece el GLP como tal.

Actualmente, debido a los altos costos de los combustibles como la gasolina y el diésel es importante encontrar alternativas más económicas para el transporte, del mismo modo, existe interés de disminuir la emisión de los gases de efecto invernadero, así como, gases contaminantes como el NOX y el material particulado MP, es por ello que el GLP se muestra como una alternativa interesante para su empleo en el transporte, es por ello que esta investigación tiene como propósito evaluar las ventajas del empleo de gas licuado de petróleo. (Cuasquer Cuasapud, Pineda Maigua, & Álvarez Jaramillo, 2022)

### ***Disponibilidad y accesibilidad***

“Omegas Direct es un sistema de la marca LANDIRENZO y está disponible en varias versiones diferentes para adaptarse a los vehículos con diferentes capacidades cúbicas, incluidos los motores turbo.” (LANDIRENZO, Sistema de GLP para motores de inyección directa, s.f.)

De (Giga, 2024), para el proyecto de integración curricular el vehículo prototipo con un motor turbo alimentado GDI de 2,3 L de cilindrada, los componentes adecuados y programación electrónica para poder realizar la instalación del sistema.

“El sistema Omegas Direct GLP se integra con el sistema de gasolina y proporciona conectividad OBDII a través de los protocolos K y CAN para realizar diagnósticos avanzados del sistema de gas” (LANDIRENZO, Sistema de GLP para motores de inyección directa, s.f.).

Según (Barzallo, 2012), también hay que tener en cuenta que el kit de conversión de GLP tiene conectividad con OBDII por lo cual el estado de los protocolos de comunicación del vehículo de tesis se debe encontrar en buen estado.

La selección del sistema va depender de las normativas INEN 2310 e INEN 2311, a partir de las características de cada uno de los componentes los cuales variarán dependiendo del motor, el espacio para el tanque y los demás componentes, al igual hay que tomar en cuenta el camino que seguirán las tuberías de alta y baja presión del sistema para evitar cualquier problema (Barzallo, 2012).

“Las ventajas que tiene el GLP respecto a otros combustibles es la limpieza, economía, alto poder calorífico, fácil manejo y transporte, seguridad, por lo cual su uso ha incrementado en el ámbito industrial, comercial y doméstico” (Barzallo, 2012).

## **Normativas**

### **NTE INEN 2310**

“Esta normativa tiene como objetivo establecer los requisitos mínimos que deben cumplir los equipos para carburación a GLP en la conversión de motores con carburación de gasolina a carburación dual GLP/gasolina o solo de GLP” (INEN:2310, 2013)

En esta normativa se habla acerca de los requisitos técnicos de los componentes del kit de GLP, teniendo en cuenta el funcionamiento de cada uno. Por ejemplo, la boquilla de llenado debe ir en un soporte fijo y de fácil acceso, el tanque de combustible de GLP debe

tener una multiválvulas que incorpore una válvula de alivio, válvula de máximo nivel de llenado para que no sobrepase el 80% de la capacidad del tanque. El filtro de GLP que debe estar capacitado para retener partículas de un tamaño mayor a 50u, un sistema de corte de combustible por presión, o por un sistema eléctrico de corte. (INEN:2310, 2013)

### ***NTE INEN 2311***

“Esta normativa tiene por objetivo establecer los requisitos mínimos que se debe cumplir al realizar las conversiones de motores de combustión interna con carburación de gasolina por carburación dual GLP/gasolina o solo de GLP” (INEN:2311, 2013).

La normativa menciona los requisitos que se debe cumplir en el vehículo para poder realizar la conversión al sistema de GLP, donde se incluyen pruebas del estado general del vehículo, sistema de escape, frenos, refrigeración, eléctrico, dirección, suspensión, transmisión y alimentación de gasolina (INEN:2311, 2013).

A la vez menciona que la elección de los equipos para el sistema de GLP se debe realizar en función de la normativa INEN 2310 y teniendo en cuenta las características del motor, el tanque debe estar en un lugar seguro y protegido de daños, y por último verificar el buen funcionamiento del vehículo convertido con pruebas de análisis de gases contaminantes y una prueba de potencia (INEN:2311, 2013).

### ***NTE INEN 0111***

Establece los requisitos mínimos que deben cumplir los cilindros de acero soldados para gas licuado de petróleo. Las principales partes que debe tener el depósito de GLP es una válvula de alivio de presión y una válvula de cierre, debe tener un medidor, estar ubicado en un lugar accesible y protegido, y un sistema de detección y alarma de fugas (INEN:0111, 2013).

## Funcionamiento del sistema de GLP de quinta generación

### Figura 1

#### *Componentes del sistema de GLP*



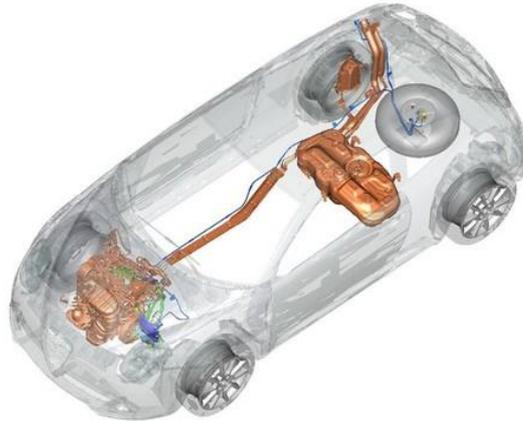
*Nota.* El gráfico muestra los principales componentes del sistema, 1 toma de llenado, 2 depósito de GLP, 3 multiválvula, 4 cañería, 5 válvula de paso, 6 evaporador, 7 sensor de velocidad, 8 inyectores, 9 múltiple de admisión, 10 control electrónico, 11 reductor. Tomado de (LANDIRENZO, Sistema de GLP para motores de inyección directa, s.f.)

#### ***Funcionamiento del motor con GLP***

“El sistema de alimentación flexible, permite conducir el vehículo en el modo de funcionamiento con gas y en el modo de funcionamiento con gasolina” (Calleja, 2015). El sistema de GLP en un motor de combustión interna especialmente con la ayuda del conmutador permite al conductor escoger el modo de funcionamiento del sistema, ya sea con gas o con gasolina, el cambio se da de forma imperceptible y no se lo debe realizar en altas condiciones de carga. (Calleja, 2015).

## Figura 2

*Ubicación de los componentes del sistema de GLP*



*Nota.* En la figura se observa el sistema GLP ya instalado en un vehículo, donde se destaca la parte naranja que muestra el kit GLP. Tomado de (Otero Alejandra, 2020)

### Elementos del kit:

- **Multiválvula:** Evita fugas en el sistema y permite el control de combustible, paso, retención posee una válvula de alivio para evitar cualquier incidente. Es precisa y desconecta el suministro de combustible al 80% de la capacidad total del tanque, tienen una conexión eléctrica para el indicador de nivel de GLP.

## Figura 3

*Multiválvula de GLP*

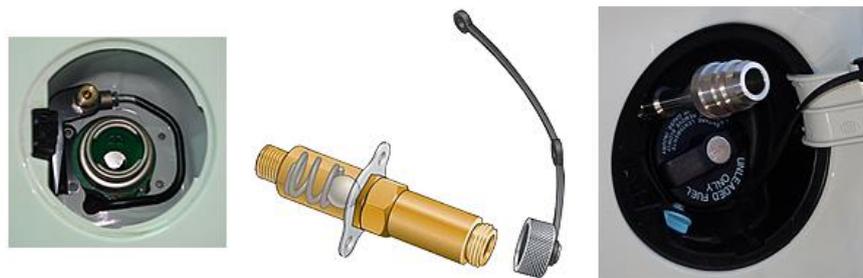


*Nota.* Se puede observar que la multiválvula tiene la función de suministrar el GLP regulando la presión hasta un máximo de 21 bar. *Tomado de* (LANDIRENZO, Sistema de GLP para motores de inyección directa, s.f.)

- **Toma de llenado de gas:** “Se ubica justo en el compartimiento de llenado de gasolina, incluye una válvula antirretorno que produce que el gas circule en una sola dirección hacia el depósito” (Calleja, 2015).

#### Figura 4

*Toma de llenado de gas con válvula anti retorno*



*Nota.* Se puede observar una adaptación realizada de la toma de llenado en el compartimiento de llenado de gasolina. *Tomado de* (Herranz David, 2017)

#### Tuberías de gas

Existen de dos tipos:

- **De alta presión:** “Se emplean desde el punto de llenado hasta el depósito, y desde el depósito hasta el evaporador. Están hechas de cobre recubierto de PVC, y soportan una presión de 8 a 10 bares, para el transporte del GLP líquido” (Calleja, 2015).
- **De baja presión:** “Trabajan con presiones entre 0,1 y 2 bares para el transporte de GLP gaseoso, van desde el evaporador hasta el riel de inyectores, están fabricadas de plástico flexible” (Calleja, 2015).
- **Depósito de GLP:** “Se localiza en el compartimento designado para la llanta de repuesto, está construido con acero resistente y se asegura mediante unos soportes especiales que se deforman de manera controlada en caso de colisión” (Calleja, 2015).

## Figura 5

### Elementos principales del depósito



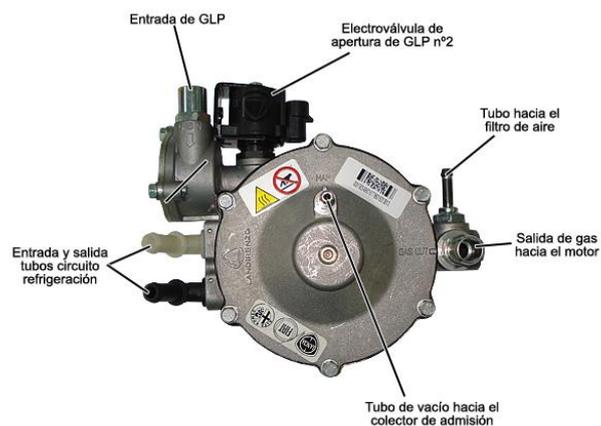
*Nota.* El depósito de GLP que muestra la figura puede tener hasta el 80% de su capacidad por seguridad, también se ve cuál es la forma. Tomado de (Herranz David, 2017)

- **Reductor-evaporador:** Elemento encargado de transformar de estado líquido a gaseoso al GLP. “Se reduce la presión del gas de 10 a 1 bar, dependiendo de la presión que existe en el colector de admisión del motor” (Calleja, 2015).

“El evaporador es recorrido por líquido refrigerante para evitar la congelación del mismo debido a la absorción de calor durante el proceso de expansión del gas”, la presión máxima que puede ingresar en al reductor es de 21 bar y su salida se mantiene entre 0 a 1 bar. (Calleja, 2015).

## Figura 6

### Partes del reductor



*Nota.* Se observa las partes principales que componen al reductor. Tomado de (Herranz David, 2017)

## Figura 7

Reductor de presión positiva de una etapa LI10



*Nota.* Se observa un reductor de la marca Landi Renzo, produce una reducción de presión en una sola etapa, tiene una válvula solenoide y filtros integrados. Tomado de:

(LANDIRENZO, Sistema de GLP para motores de inyección directa, s.f.)

- **Electroválvula de alta presión para el funcionamiento con GLP:** Va instalada la entrada del evaporador y permite el paso de gas a alta presión hacia el mismo en el modo de funcionamiento con gas. La válvula cierra el paso al conmutador al modo de funcionamiento con gasolina, Incorpora un pequeño filtro que debe sustituirse con la periodicidad prescrita por el fabricante. (Calleja, 2015, pág. 427).
- **Filtro de gas:** Está ubicado a la salida del evaporador y antes de la ramba distribuidora, debe cambiarse cada cierto número de kilómetros, respetando las recomendaciones del fabricante (Calleja, 2015).
- **Ramba distribuidora de gas:** Se adapta junto al colector de admisión y en ella se instalan las electroválvulas insufladoras de gas, el sensor de presión y temperatura en la ramba” (Calleja, 2015). Todo el sistema de los insufladores de gas y los diferentes sensores son controlados por la unidad de control del GLP. “La unidad de control controla los inyectores de gas con una señal PWM, que permiten la introducción del gas en el conducto de admisión de cada cilindro” (Calleja, 2015).
- **Riel de inyectores de GLP:** El inyector de carril LANDI RENZO GIRS12 ha sido diseñado y probado para garantizar un alto rendimiento y precisión en la distribución

de combustible GLP. El riel es de tamaño compacto para una mayor facilidad de instalación en el compartimiento del motor. El sistema inyector GIRS12 GLP no es muy ruidoso. Gracias a sus 5 tamaños, se adapta a las necesidades de diferentes motores de rendimiento y cilindrada (2-3-4 cilindros) (LANDIRENZO, Sistema de GLP para motores de inyección directa, s.f.).

### Figura 8

*Riel de inyectores GIRS12*



*Nota.* En la figura se observa el riel de inyectores que poseen una construcción robusta y operan de manera silenciosa, garantiza una estanqueidad muy alta con su conector IP6K9K.” (LANDIRENZO, Sistema de GLP para motores de inyección directa, s.f.).

- **Indicador de nivel de gas y conmutador de selección de combustible:** El conmutador a través de los leds. El cambio entre el gas y la gasolina se realiza automáticamente. Si la presión de gas es demasiado baja (el depósito de gas está vacío), el sistema vuelve automáticamente a gasolina y emite una señal acústica. El sistema detecta automáticamente mayor presión de gas (depósito lleno) durante el siguiente proceso de repostaje y cambia automáticamente a GLP. (Hybrid Supply, s.f.)

#### **Funciones:**

- Conmutador selector de gas/gasolina para el cambio manual de combustibles
- Indicador de la cantidad de gas en el depósito con 5 LEDs

- Indicador LED de combustible – 2 LEDs indican qué combustible se está usando actualmente

### Figura 9

*Indicador de nivel y conmutador*



*Nota.* Se puede observar el conmutador que es un pulsador para realizar el cambio de combustible del vehículo. Tomado de (Hybrid Supply, s.f.)

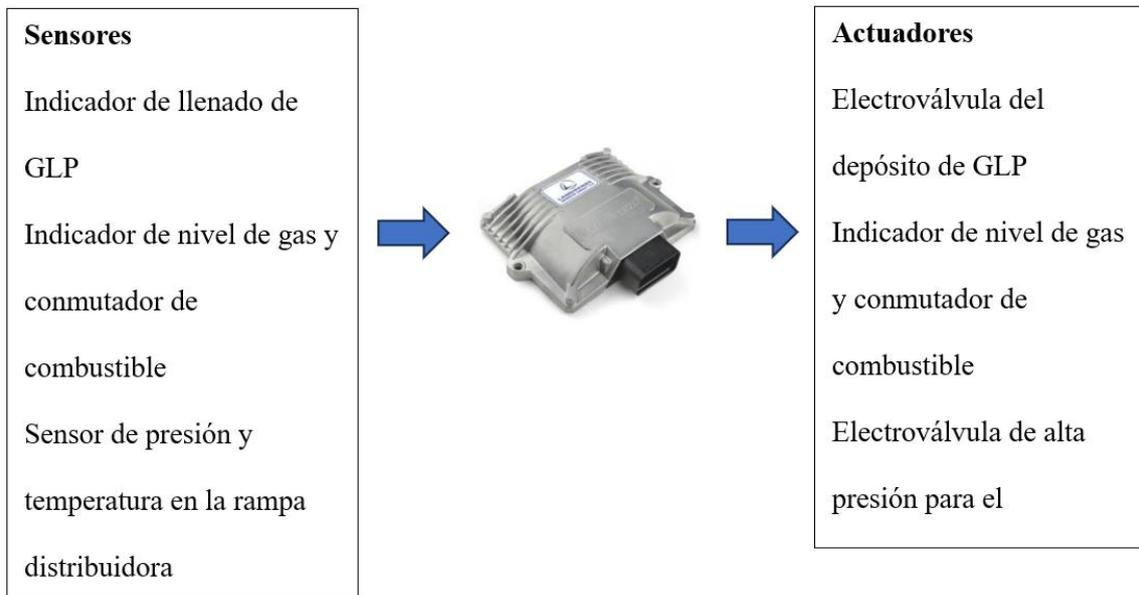
- **Unidad de control del funcionamiento con gas:** “Gestiona el funcionamiento del motor cuando funciona con GLP o gasolina, gobierna los inyectores de gas y los inyectores de gasolina, en conjunto con la unidad de control electrónico del vehículo” (Calleja, 2015)

### Figura 10

*Unidad de control electrónico LANDIRENZO OMEGAS DIRECT*



*Nota.* Se puede observar la ECU del kit de inyección de GLP que controla los inyectores de gas. Tomado de (LANDIRENZO, Sistema de GLP para motores de inyección directa, s.f.)

**Figura 11***Esquema control electrónico de GLP*

*Nota.* Principales componentes que envían y reciben información de la unidad de control de GLP. Tomado de (Calleja, 2015), pág. 428

Se observa todas las señales de entrada que necesita la unidad de control de GLP para poder calcular el tiempo de inyección tanto de los insufladores de gas y los inyectores de gasolina para el funcionamiento del motor.

El equipo de 5ta generación es un sistema dual GLP/gasolina, que se integra al automóvil sin modificar los componentes originales del vehículo. Es un sistema de inyección electrónica secuencial multipunto y combustión catalizada con tecnología avanzada para el aprovechamiento del uso de gas GLP como combustible. Los equipos de 5ta generación son controlados por medios electrónicos adaptados a la misma tecnología del vehículo obteniendo mayores ventajas y beneficios (potencia, mejor encendido, ahorro directo en costos de mantenimiento, seguridad, rendimiento, etc.) (Equipos de Gas LP, s.f.)

## **Funcionamiento del sistema de inyección GDI**

La inyección directa es un proceso de suministro de combustible en los motores de combustión interna, que reemplaza la inyección de combustible indirecta. En la inyección directa, la gasolina o el diésel se inyectan directamente en el cilindro del motor, lo que permite una mejor combustión y mayor eficiencia del combustible. Además, este proceso es compatible con motores turboalimentados y produce menos emisiones de gases contaminantes. (Solomon, 2021)

### ***Ventajas de la inyección directa***

- Este sistema proporciona una mayor eficiencia de combustible, mayores valores de entrada de energía y una capacidad de sincronización del motor flexible. Estos hechos significan que los automóviles GDI no sólo son económicos y eficientes, sino que también pueden adaptarse a una amplia gama de condiciones de conducción. (Solomon, 2021)
- En el periodo de admisión sólo ingresa aire al cilindro, inyectando la gasolina después, por lo que la cantidad de aire que entra en el cilindro es mayor pues no se ve reducida por la gasolina que se inyecta en el colector. Esto comporta un aumento de la eficiencia (la presión media efectiva aumenta) que se ha estimado en ~5% (Álvarez, 2015)

### ***Inyección directa GDI***

Al tomar en cuenta que la mezcla aire-gasolina se realiza dentro de la cámara de combustión, es importante tener en cuenta que la duración de la admisión solo ingresa aire por las válvulas de admisión, es decir la gasolina es inyectada directamente en la cámara de combustión del motor de combustión interna. (Calleja, 2015)

### ***Bomba de alta presión:***

Existen varios tipos de bombas de alta presión, esto depende mucho de la aplicación final en la que se va a usar, siendo las más importantes las siguientes (Calleja, 2015):

### **Figura 12**

*Bomba de combustible de alta presión*



*Nota.* Código de bomba L3K9-13-35Zc para 2006-2013 Mazda Cx-7 3 6 Mzr 2,3 L turbo.

Tomado de (Ebay, s.f.)

### ***Sensores que actúan en el funcionamiento del sistema GDI***

Según (Patiño & Campoverde, 2023) los principales sensores que actúan en el sistema de inyección directa son:

- El control electrónico del acelerador (ETC)
- De oxígeno (O<sub>2</sub>)
- Presión absoluta del múltiple (MAP)
- Posición del árbol de levas (CMP)
- Posición del cigüeñal (CKP)
- Detonación (Ks)
- Presión del riel (RPS)
- Posición del acelerador (APS)
- Presión del tanque de combustible (FTPS)

- Temperatura del refrigerante (ECT)

### ***La unidad de control electrónica ECU***

Este es un dispositivo electrónico que es el encargado de mantener el buen funcionamiento del motor en los diferentes modos de operación, este componente lo contiene todos los vehículos con gestión electrónica debido a que es un computador que gestiona y comanda varios aspectos de los subsistemas de admisión, combustible, combustión y escape. (Tacuri, 2013)

### **Figura 13**

*Computadora automotriz ECU*



*Nota.* Ecu Automotriz sin tapa. Tomado de (Donado, 2022)

### ***Inyectores de alta presión del sistema***

Los inyectores de Inyección Directa de Gasolina GDI (Gasoline Direct Injection) trabajan hasta 2,900 libras de presión y van instalados directamente en la cámara de combustión, esto representa ahorros de hasta 15% en consumo de gasolina e incrementar el par de torsión del motor hasta un 40%, los vehículos que son equipados con estos sistemas son de reciente integración al mercado (Ingeniería y Mecánica Automotriz, 2023).

**Figura 14**

*Inyector de sistema de inyección directa GDI*

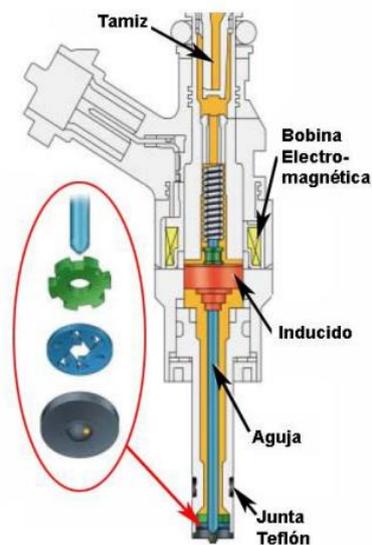


*Nota.* Inyector en corte, muestra su constitución interior. Tomado de (Ingeniería y Mecánica Automotriz, 2023).

Existen dos tipos de inyectores de alta presión que pueden venir instalados en el sistema de inyección directa de gasolina estos son electromagnéticos y piezoeléctricos (Calleja, 2015)

**Figura 15**

*Inyector Electromagnético*



*Nota.* Tomado de (Inyección directa de gasolina, 2016)

### **Formas de la inyección**

Los sistemas de inyección tienen dos formas principales de realizar el proceso de inyección (Calleja, 2015).

- **Guiada por pared:** en esta forma de inyección los inyectores introducen el combustible a una presión de unos 120 bar, sobre la cabeza del pistón, la cabeza del pistón tiene una forma que dirige el combustible hacia la bujía de encendido. La configuración del deflector del pistón y la inclinación del inyector, permiten formar una mezcla estratificada.
- **Chorro cónico:** el inyector se encuentra en el centro de la cámara de combustión y la bujía muy cercana a él, normalmente inclinada hacia el escape, los inyectores suelen ser de tipo piezoeléctricos, por lo que se tiene como resultado una nube de mezcla estable en cualquier condición operativa del motor.

## **Esfuerzos**

“Conjunto de fuerzas a las que se encuentra sometido un cuerpo a causa de las acciones que actúan sobre él” (Fernidand & Pytel, 1994).

### ***Esfuerzo axial***

“Es el esfuerzo que experimenta cargas axiales de tensión o de compresión que soporta una estructura” (Norton, 2011)

$$\sigma_x = \frac{F_t}{A_t}$$

#### ***Ecuación 1 Esfuerzo axial***

Donde:

- $\sigma_x =$  *Esfuerzo axial*
- $F_t =$  *Fuerza aplicada*
- $A_t =$  *Área sometida a tracción o compresión*

### ***Esfuerzo cortante***

“Esfuerzo que experimenta cargas perpendiculares en relación al eje principal de la estructura” (Norton, 2011).

$$\tau = \frac{F}{2\pi r * e}$$

### ***Ecuación 2 Esfuerzo cortante***

- $\tau =$  *Esfuerzo cortante*
- $F =$  *Fuerza aplicada*
- $r =$  *radio*
- $e =$  *espesor*

### **Selección de software para el diseño**

Es el conjunto de herramientas que permiten al programador desarrollar programas informáticos, usando diferentes alternativas y lenguajes de programación, de una manera práctica. (Maida & Pacienza, 2015) Los softwares que han sido considerados son LPG System For Direct Injection Engines: y se emplea para la instalación y calibración del sistema de quinta generación en el motor GDI. El software de diseño CAD 3D (diseño asistido por computadora) para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D (SOLIDBI, 2024).

### **Código de colores en cableado Automotriz**

“Con el fin de simplificar la identificación y reparación del cableado automotriz se usan diferentes colores para recubrirlos y según estos poder identificar cables de señal, alimentación, etc.” (Fajardo, 2017)

**Tabla 4***Código de colores en cableado automotriz*

<b>Español</b>	<b>Inglés</b>	<b>Abreviatura</b>
<b>Naranja</b>	Orange	ORG
<b>Negro</b>	Black	BLK
<b>Blanco</b>	White	WHT
<b>Rojo</b>	Red	RED
<b>Verde</b>	Green	GRN
<b>Amarillo</b>	Yellow	YEL
<b>Púrpura</b>	Purple	PPL
<b>Café</b>	Brown	BRN
<b>Azul</b>	Blue	BLU
<b>Rosa</b>	Pink	PNK
<b>Gris</b>	Gray	GRY

*Nota.* Se puede observar las abreviaturas de los colores usados en los diagramas de cableado automotriz. *Tomado de* (Fajardo, 2017)

### **Costos de los diferentes combustibles en el Ecuador**

“La Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARC) regula, controla, fiscaliza y audita las actividades de los recursos energético y naturales no renovables del Ecuador” (ARC, 2021)

“ARC realiza el cálculo de los precios referenciales de la gasolina Extra y Extra con etanol, para abastecedora y comercializadoras autorizadas del país mediante el Decreto Ejecutivo 1183” (ARC, PRECIOS DE COMBUSTIBLES, s.f.)

Para el precio final que paga el usuario como tal, será definido por la o las abastecedoras siendo una de las más importantes del país PETROECUADOR.

El GLP domestico está regulado por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR) garantiza que el gas de uso doméstico se comercialice al precio fijado: USD 1,60. (controlrecursosyenergia, 2022)

**Tabla 5***Precios de venta para comercializadoras autorizadas*

<b>Sector Automotriz</b>		
<b>Gasolina extra automotriz</b>	Galones	\$ 2,220450
<b>Gasolina extra con etanol automotriz</b>	Galones	\$ 2,220450
<b>Diésel 2 / Diesel premium (automotriz)</b>	Galones	\$ 1,606151
<b>Gasolina super premium 95 automotriz</b>	Galones	\$ 3,122847
<b>Diésel premium transp. De carga pesada placa internacional</b>	Galones	\$ 1,606151
<b>Gas licuado de petróleo (G.L.P.) taxis</b>	Kilogramos	\$ 0,188384
<b>Gas licuado de petróleo (G.L.P.) de uso doméstico</b>	Tanque de 30 kg	\$ 1,60
<b>Sector Industrial</b>		
<b>Gas licuado de petróleo (GLP) industrial</b>	Kilogramos	\$ 0,854967

*Nota.* Precios de venta en terminal para las comercializadoras calificadas y autorizadas a nivel nacional. Tomado de (EPPETROECUADOR, 2024)

### **Distancias de recorrido en Ecuador**

A continuación, se presentan varias tablas con las distancias entre las ciudades principales del Ecuador. Además, se explica un poco sobre las carreteras del país, que es también llamada "Red Vial nacional", que es el medio por el cual se llega a los distintos lugares del Ecuador. En el siguiente cuadro encontrarán las distancias, en kilómetros, que separan a las ciudades más grandes e importantes del Ecuador, capitales de provincias y las ciudades más pobladas del Ecuador. (Red vial nacional, 2015)

Tabla 6

*Distancia de recorrido en Ecuador*

Ciudad de origen	Quito	Riobamba	Rumichaca	Sto. Domingo	Tena	Tulcán	Zamora	Lago Agrio
Ambato	136	52	380	205	180	376	575	397
Azogues	405	217	649	445	412	645	306	664
Babahoyo	304	182	584	207	377	580	504	599
Cuenca	442	254	686	482	449	682	269	700
Esmeraldas	418	442	562	185	497	558	896	579
Guayaquil	420	233	664	287	428	660	481	679
Guaranda	235	61	479	328	255	475	558	496
Ibarra	115	303	129	248	271	125	826	375
Latacunga	89	99	323	158	227	329	622	350
Loja	647	459	891	647	598	887	64	904
Macará	837	649	1081	634	788	1077	254	1084
Macas	366	245	608	435	208	604	326	456
Machala	518	328	762	424	523	758	209	766
Manta	390	456	634	257	584	630	675	649
Portoviejo	355	427	599	222	549	595	675	614
Puyo	237	116	479	306	79	475	455	327
Quito	---	188	244	133	186	240	711	259
Riobamba	188	---	432	257	195	428	523	440
Rumichaca	244	432	---	377	400	4	955	492
Sto. Domingo	133	257	377	---	312	373	711	394
Tena	186	195	400	312	---	396	534	248
Tulcan	240	428	4	373	396	---	951	488
Zamora	711	523	955	711	534	951	---	781
Lago Agrio	259	440	492	394	248	448	781	-

*Nota.* El cuadro puede resultar de utilidad para estudiantes, maestros, turistas, transportistas y público en general que desee conocer con precisión la distancia que separa, en kilómetros, a las principales ciudades del Ecuador. (Red vial nacional, 2015)

### Capítulo III

#### Diseño e Implementación del sistema de quinta generación de GLP en un motor GDI

Este capítulo se enfocó en las pruebas, diseños y diagramas de procesos realizados para adaptar el kit de quinta generación de GLP, para lo cual se realizó pruebas mecánicas del motor como son compresión, vacío y fugas de presión en los cilindros, diseños y esquemas por medio de programas CAD, CAE, y los procesos realizados en la implementación.

#### Pruebas mecánicas en el vehículo

Se desarrolla en 3 pruebas en relación al desempeño mecánico del motor, las cuales son compresión, vacío y fugas.

#### *Prueba de compresión*

El valor de compresión determina el estado mecánico o una posible falla en los componentes internos del motor.

**Tabla 7**

*Valores de compresión.*

Cilindro	Antes de la instalación	Después de la instalación
	Valor de compresión (psi)	Valor de compresión (psi)
1	140	140
2	130	130
3	135	135
4	140	140

*Nota.* Los valores obtenidos muestran el estado mecánico del motor antes y después de la instalación del kit.

**Figura 16***Compresión cilindro 4*

*Nota.* Se observa un compresómetro con el valor de compresión de cada cilindro del motor.

***Prueba de vacío***

Se determinó las posibles fallas de hermeticidad los cuales pueden influir en el comportamiento del motor provocando fallas en la utilización de GLP o gasolina como carburante.

**Tabla 8***Valores de medida de vacío*

Prueba	Antes de la instalación		Después de la instalación	
	presión (in Hg)	Resultado	presión (in Hg)	Resultado
<b>Vacío a Ralentí</b>	10 – 11	normal	10 – 11	normal
<b>Vacío aceleración brusca</b>	18	normal	18	normal
<b>Aceleración progresiva</b>	11-13	Condición normal	11-13	normal

*Nota.* El valor de vacío muestra que no existen fallas de hermeticidad representativas que influyan en el estado mecánico del motor.

**Figura 17**

*Comprobación de vacío*



*Nota.* Se observa un manómetro que determinó las condiciones de vacío que generó el motor que tiene valores de inHg.

### ***Prueba de fugas***

Es una prueba que determinó el porcentaje de fugas presentes en el motor cuando se aplica presión en el espacio del cilindro utilizando aire comprimido, que va a influir en el desempeño mecánico.

**Tabla 9**

Valores de medida de fugas.

Cilindro	Antes de la instalación		Después de la instalación	
	Valor de ingreso de aire (psi)	Resultado	Valor de ingreso de aire (psi)	Resultado
1	100	0 % Condición normal	100	0 % Condición normal

Cilindro	Antes de la instalación		Después de la instalación	
	Valor de ingreso de aire (psi)	Resultado	Valor de ingreso de aire (psi)	Resultado
2	100	0 % Condición normal	100	0 % Condición normal
3	100	0 % Condición normal	100	0 % Condición normal
4	100 psi	0 % Condición normal	100 psi	0 % Condición normal

*Nota.* Se puede observar que el porcentaje de fugas presentes en el motor son del 0%.

### Figura 18

*Medida de fugas*



*Nota.* Se observa un manómetro y el comprobador de fugas utilizados para medir el porcentaje de fugas existentes en cada cilindro.

### Parámetros de diseño

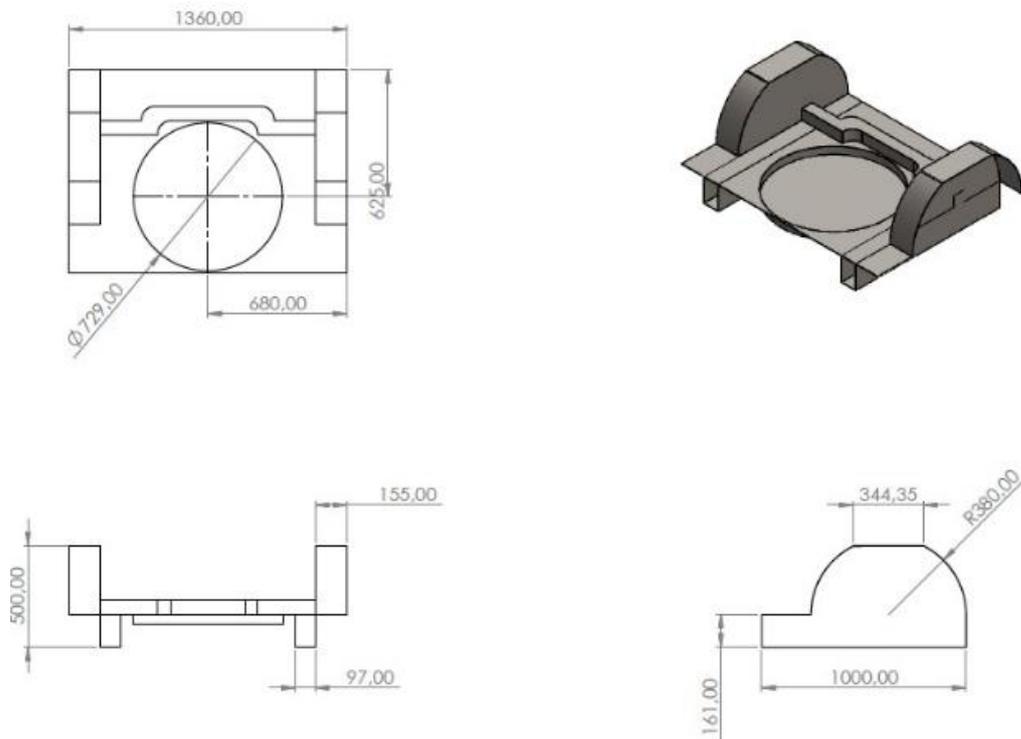
Se realizó diferentes esquemas con ayuda de los softwares de diseño CAD, CAE y de simulación dinámica de fluidos, para determinar la disposición de los diferentes componentes del kit de GLP con el fin de cumplir aspectos de seguridad y accesibilidad.

### **Disposición del compartimiento posterior del vehículo**

Se observa las dimensiones del neumático de emergencia, a fin de determinar el espacio disponible para la selección del tipo de depósito de GLP en relación a su forma geométrica.

**Figura 19**

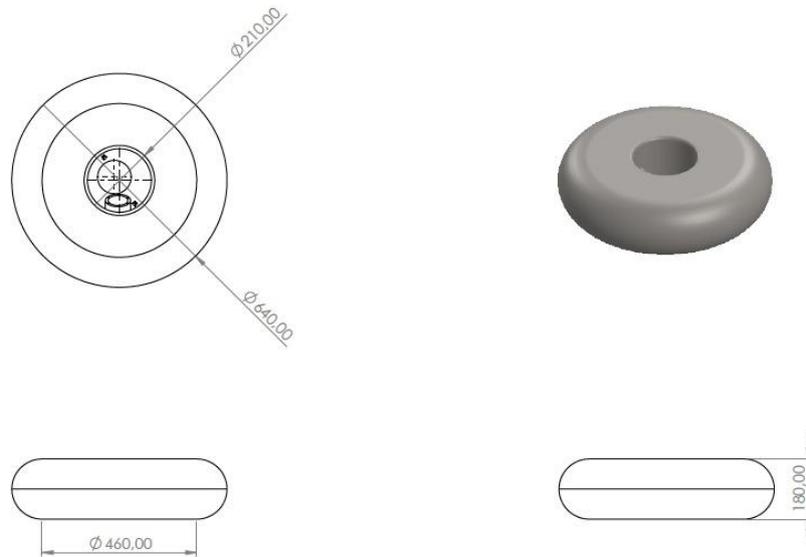
*Disposición del compartimiento posterior del vehículo*



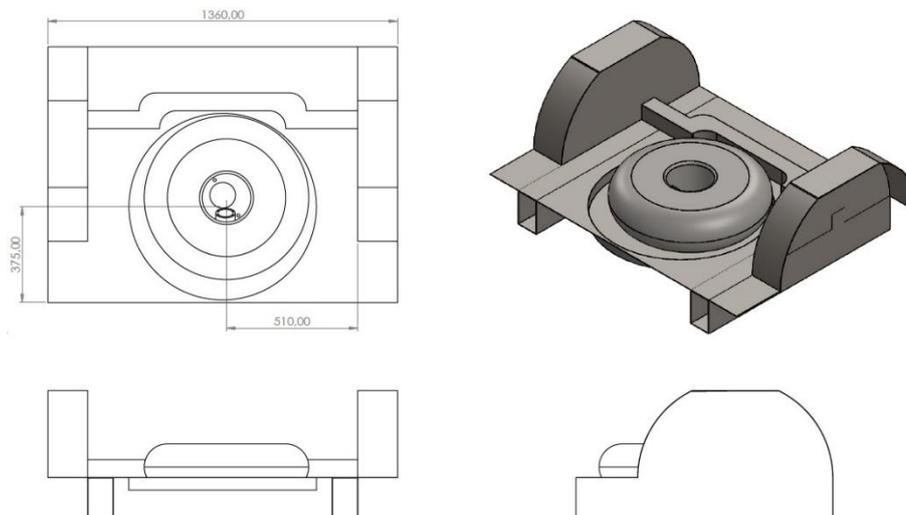
*Nota.* Se puede observar las dimensiones del neumático de emergencia a fin de determinar el espacio disponible para la selección del tipo de depósito de GLP en relación a su forma geométrica.

### **Medidas del depósito**

De acuerdo a la forma disponible en el espacio del neumático de emergencia, se selecciona un depósito toroidal por las características dimensionales que el elemento posee. Se implementó el depósito en el compartimiento posterior, sin embargo, por factores no contemplados como la ubicación del silenciador no se pudo centrar de la manera correcta.

**Figura 20***Medidas del depósito de GLP*

*Nota.* Se observa que el depósito que se va a utilizar tiene un diámetro máximo de 640 mm, y teniendo en cuenta el espacio del compartimiento se puede realizar la adaptación del mismo.

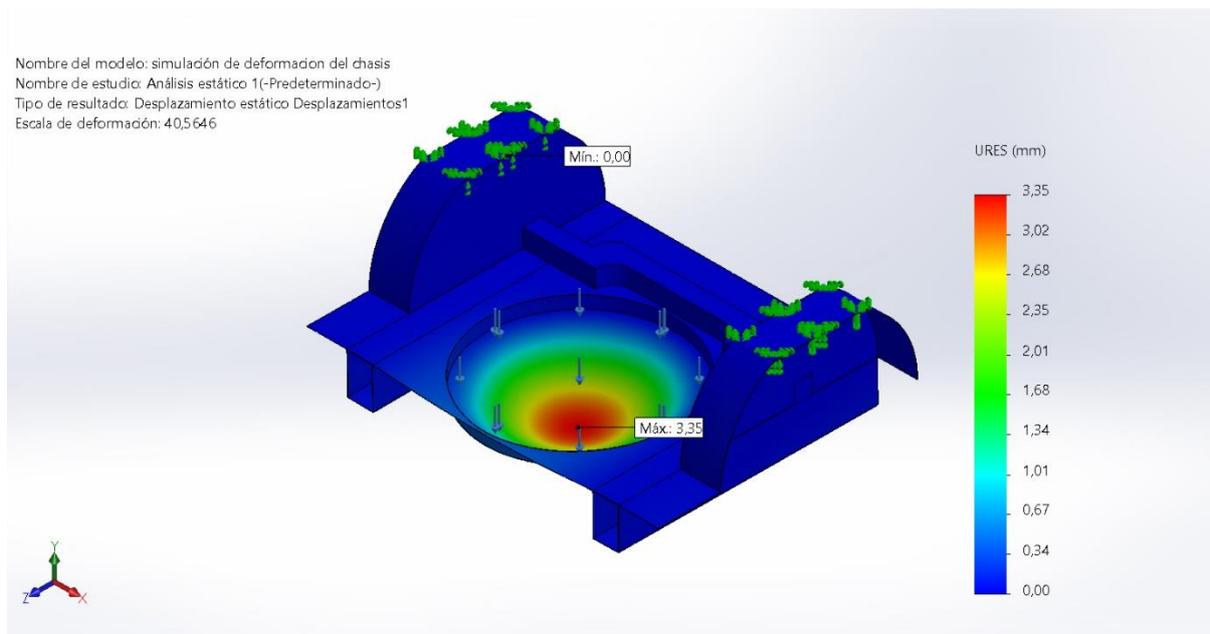
**Figura 21***Ubicación del depósito en el compartimiento posterior.*

*Nota.* Se observa la ubicación en la que el depósito fue instalado debido a temas de otros componentes no considerados, teniendo un incidente muy bajo en la estructura automotriz y el sistema de suspensión del vehículo.

En el software CAE se realiza la simulación del espacio, en donde se va a ubicar el depósito de GLP de manera segura, de acuerdo a las normas.

## Figura 22

### *Análisis de desplazamientos del chasis por el depósito de GLP*



*Nota.* Se puede observar los desplazamientos máximos que sufrió la carrocería por la adaptación del depósito de GLP.

“Las estructuras de las carrocerías deberá resistir una carga estática equivalente al 50% del peso máximo admisible para el chasis, sin experimentar deformaciones en ningún punto que superen los 70 mm” (INEN:1323, 2009).

### **Sistema de fijación del depósito**

El diseño del sistema de fijación se realizó para determinar cuál es el perno adecuado a implementarse para tener una deformación programada del mismo en caso de un accidente.

Se tomó en cuenta que el kit de implementación de GLP ya tiene previsto un sistema de fijación para dos pernos de diámetro 12 mm y la longitud disponible para que atraviese el perno es de 110 mm. El peso total del depósito es de 59,125 kg, dando una fuerza aplicada de 580,016 N, sin embargo, al contar con dos orificios para la fijación, cada perno tendrá una carga aplicada de 290,008 N.

Se menciona que “Dichos soportes deben estar capacitados para resistir como mínimo cuatro veces el peso del tanque completamente lleno de combustible” (INEN:2311, 2013) . Se consideró esta posibilidad debido a temas de seguridad en el vehículo.

Por lo cual la carga total aplicada para cada perno fue de 1160,032 N, con lo cual se consideró la normativa.

Para poder realizar la selección se determinó la primera sección de posible falla en el perno, la cual es por rotura del vástago de la rosca o debajo de la cabeza.

$$\sigma_x = \frac{F_t}{A_t}$$

Se estima que el perno es de paso fino de 1,25, “por medio de las tablas se muestra que el  $A_t$  (área de fuerza de tracción) es de  $92,07 \text{ mm}^2$ ” (Norton, 2011). Con estos datos se determinó:

$$A_t = 92,07 \text{ mm}^2 * \frac{(1 \text{ m})^2}{(1000 \text{ mm})^2}$$

$$A_t = 9,207 * 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\sigma_x = \frac{1160,032 \text{ N}}{9,207 * 10^{-5} \text{ m}^2}$$

$$\sigma_x = 12599456,93 \text{ Pa}$$

$$\sigma_x = 12,599 \text{ MPa}$$

El esfuerzo cortante teniendo en cuenta que el espesor del soporte del tanque es de 2mm es igual a:

$$\tau = \frac{F}{2\pi r * e}$$

$$\tau = \frac{1160,032 \text{ N}}{\pi(0,012\text{m}) * 0,002\text{m}}$$

$$\tau = 15385402,25 \frac{N}{m^2}$$

$$\tau = 15,38 \text{ MPa}$$

En función de la fuerza cortante y de tracción, se seleccionó la clase de perno a implementar en función de la resistencia a la fluencia y tensión mínimas que se encuentran en tablas.

**Tabla 10**

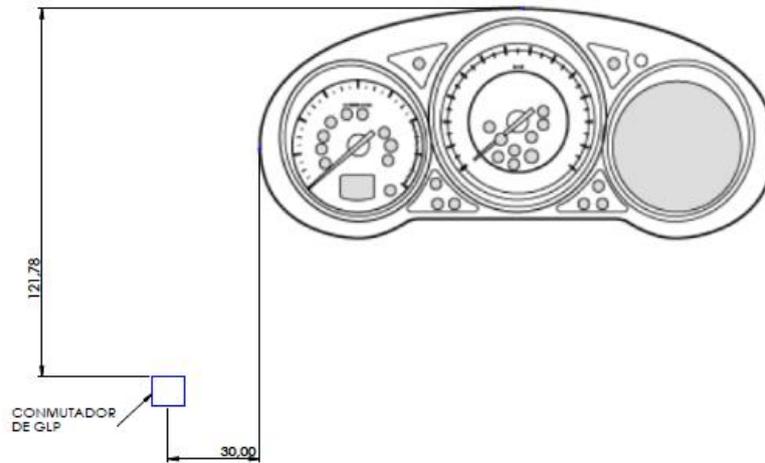
*Especificaciones del perno de acero a implementar*

Número de clase	Intervalo del tamaño del diámetro externo (mm)	Resistencia a la fluencia mínima (MPa)	Resistencia a la tensión mínima (MPa)	Material
4,6	M5-M36	240	400	Bajo o medio carbono

*Nota.* Se debe implementar un perno de clase 4,6 que va a cumplir con las características adecuadas para el diseño y va a asegurar la seguridad en la fijación del depósito.

### ***Disposición del conmutador en el tablero de instrumentos***

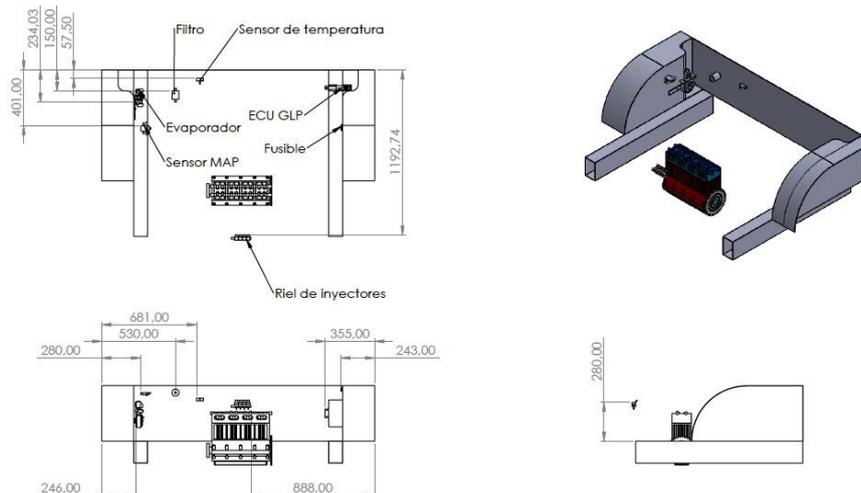
El conmutador se dispuso de tal forma que sea accesible para el conductor, sea visible y no interfiera en la conducción teniendo en cuenta la disposición de diferentes componentes en el habitáculo y la forma geométrica.

**Figura 23***Disposición del conmutador*

*Nota.* Se observa el esquema de implementación del conmutador que se encuentra en un lugar de fácil acceso para el conductor.

***Disposición de los componentes de GLP en el compartimiento del motor***

Se consideró la forma geométrica del compartimiento del motor donde se distribuye la ubicación del motor, depósitos de fluidos, batería, caja de fusibles, etc. En base a eso se ubicó los componentes del sistema del kit de GLP.

**Figura 24***Disposición de componentes de GLP*

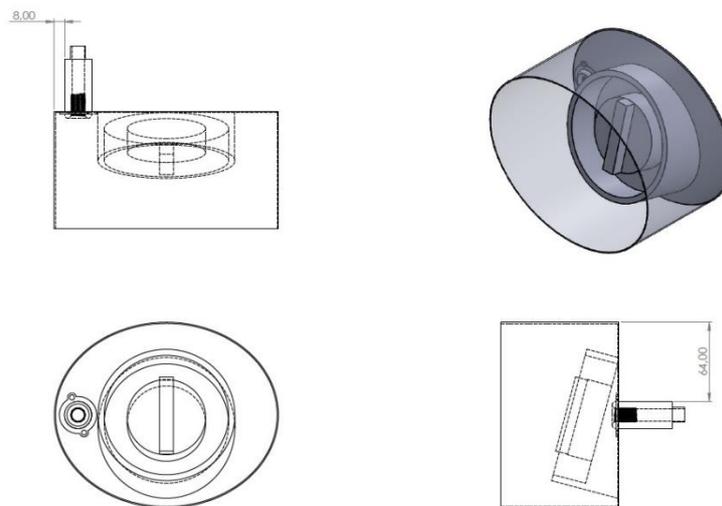
*Nota.* En la figura se observa la esquematización de los diversos componentes del kit en relación al compartimiento delantero del vehículo, estos espacios se encuentran libres y son de utilidad para la adaptación.

### ***Disposición de la toma de llenado de GLP***

De acuerdo a las dimensiones, forma y espacios disponibles dentro del compartimiento de carga de gasolina, en base a esto se ubicó la toma de llenado para GLP.

### **Figura 25**

#### *Disposición de la toma de llenado*



*Nota.* en la imagen se aprecia la toma de llenado y su ubicación dentro del compartimiento de carga de gasolina.

### ***Diseño del soporte del reductor-vaporizador***

Se consideró el material de la carrocería del motor, la disponibilidad del espacio, el material del soporte, el peso y el diámetro del perno trasero que tiene el reductor para usarlo como acople al soporte.

El material de la carrocería es ASTM A36, el espacio disponible es de 800 mm, el material a implementarse es “aluminio que posee un módulo de elasticidad de 27,574 MPa” (Budynas, 2008), el diámetro para el acople al reductor es de 14 mm y su peso de 1 kg y la

distancia desde la fijación de la carrocería hasta el conmutador es de 78,75 mm, el espesor de la placa se supondrá que es de 3 mm y tiene una sección cuadrada de 34 mm de altura.

El momento flexionante máximo que va a soportar es de:

$$M = F * d$$

$$M = 9,81 \text{ N} * 0,07875 \text{ m}$$

$$M = 0,7725 \text{ Nm}$$

Por tanto se calcula el esfuerzo máximo

$$\sigma_x = \frac{F_t}{A_t}$$

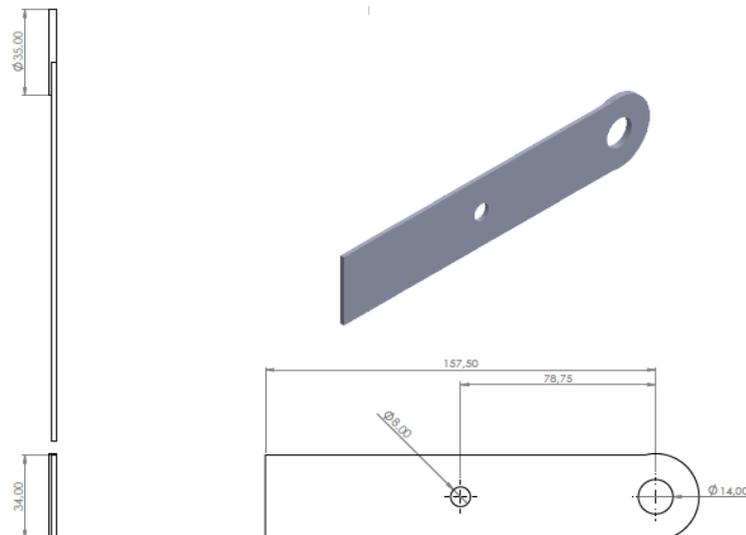
$$\sigma_x = \frac{9,81 \text{ N}}{(0,034 * 0,003) \text{ m}^2}$$

$$\sigma_x = 96176,47 \text{ Pa} \approx 0,096 \text{ MPa}$$

La fuerza cortante máxima es igual a 0,096 MPa siendo el aluminio un excelente material para poder cumplir con la función de soporte seguro para el reductor.

## Figura 26

*Soporte del reductor-vaporizador*



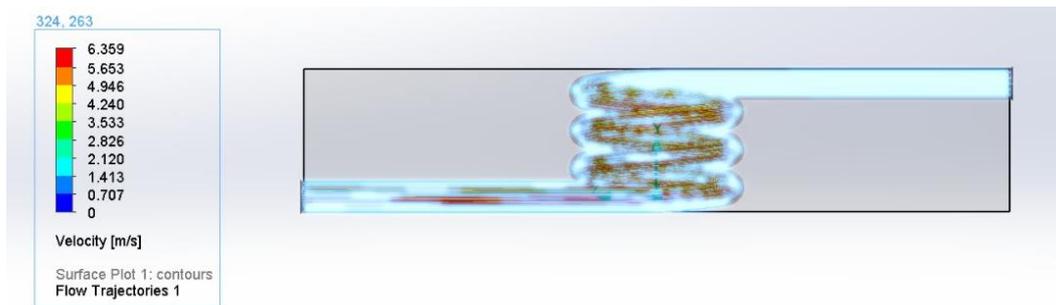
*Nota.* Se puede observar el diseño de la base para el soporte del reductor-vaporizador logrando un anclaje seguro con la carrocería del vehículo en función de los parámetros conseguidos.

### ***Achurado de la tubería de alta presión***

Por motivos de seguridad y control de la presión del GLP líquido y evitar un posible daño en el reductor, se dio la forma de achurado con el fin de reducir la presión a la salida del mismo.

#### **Figura 27**

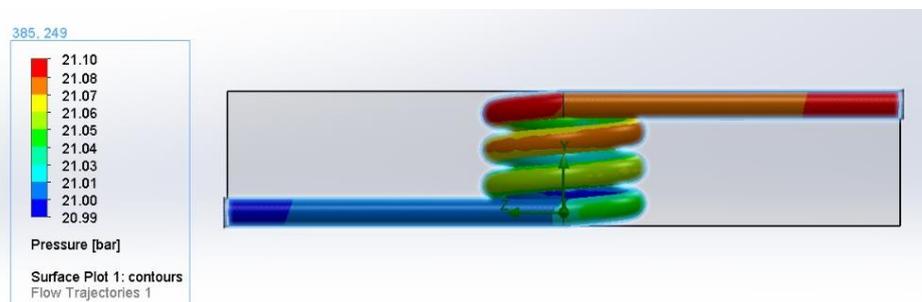
##### *Análisis de velocidad del achurado*



*Nota.* La velocidad se mantiene a lo largo de todo el recorrido aumentando en cierta medida al final siendo el valor mínimo de 0,707 m/s y el máximo de 6,359 m/s, este diseño distribuye y mezcla de manera óptima el GLP.

#### **Figura 28**

##### *Análisis de presión en el achurado*



*Nota.* La presión de entrada es mayor igual a 21,1<sup>o</sup> bar que a la de salida de 20,99 bar, ayuda a reducir la presión de ingreso hacia el reductor-vaporizador.

Se observa en la figura que la presión de entrada es mayor a la de salida, ayuda a reducir la presión de ingreso hacia el reductor-vaporizador que debe ser máximo de 21 bares.

En relación al aspecto mecánico del motor a continuación se muestra una tabla de todos los aspectos a aplicados en la implementación del kit de GLP.

**Tabla 11**

*Aspectos mecánicos*

<b>Componente</b>	<b>Características</b>	<b>Valores</b>
<b>Carrocería del compartimiento posterior</b>	Máxima deformación	2,20 mm
<b>Pernos del sistema de fijación del depósito</b>	Clase del perno	4,6
	Diámetro externo	12 mm
	Resistencia a la fluencia	240 MPa
	mínima	400 MPa
	Resistencia a la tensión mínima	Acero de bajo o medio carbono
<b>Soporte reductor- evaporador</b>	Material	Aluminio
	Módulo de elasticidad	71 MPa
<b>Achurada tubería de alta presión</b>	Diámetro del achurado	30 mm
	Revoluciones	3

*Nota.* Los aspectos mecánicos como deformaciones máximas permitidas, tipos de material, diámetros, módulo de elasticidad y resistencia a la fluencia y tensión mínimas son esenciales para un alto porcentaje de seguridad.

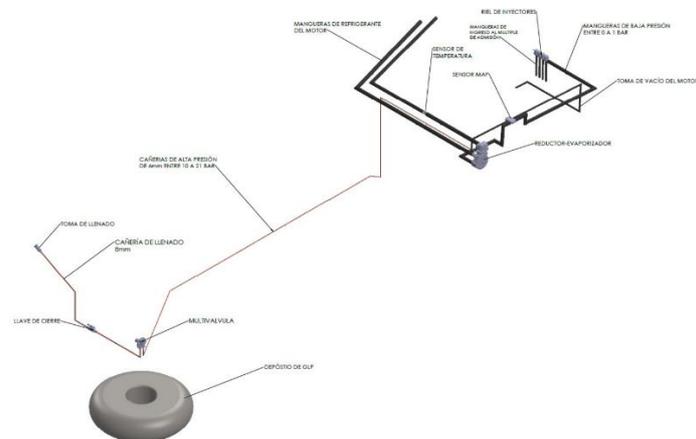
**Esquema hidráulico y neumático del GLP**

La forma geométrica de la parte inferior de la carrocería del vehículo, disposición de las tuberías que transportan la gasolina hasta el motor y el espacio en el compartimento

motor, se determinó la posición por la cual se dirigen las tuberías de alta presión del GLP y las mangueras de baja presión.

**Figura 29**

*Esquema hidráulico y neumático*

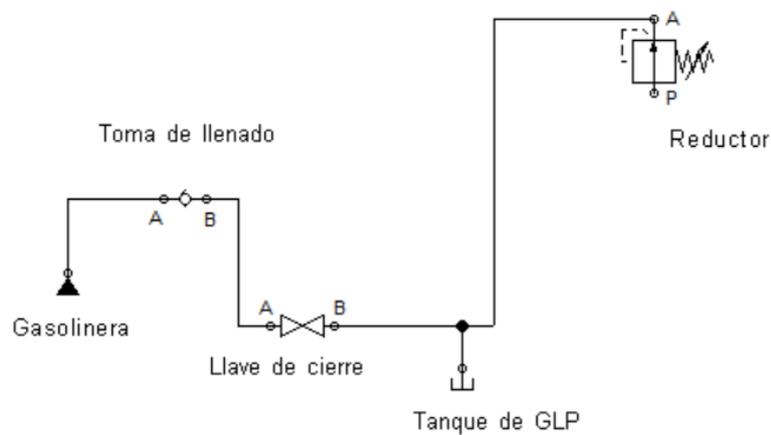


*Nota.* Diseño de tuberías y mangueras para el sistema hidráulico.

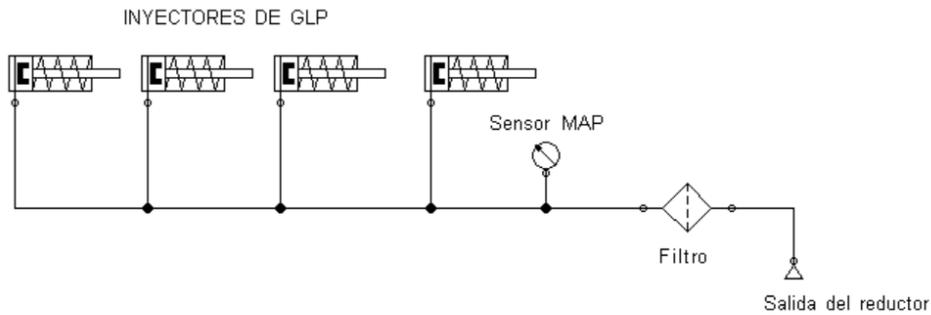
Se realizó una esquematización del sistema hidráulico y neumático con ayuda del software de simulación de dinámica de fluidos.

**Figura 30**

*Esquema hidráulico*



*Nota.* Los componentes que conforman la alta presión del kit de GLP es la toma de llenado, llave de cierre, tanque de GLP y el reductor que corresponden al aparatado hidráulico del sistema.

**Figura 31***Esquema neumático*

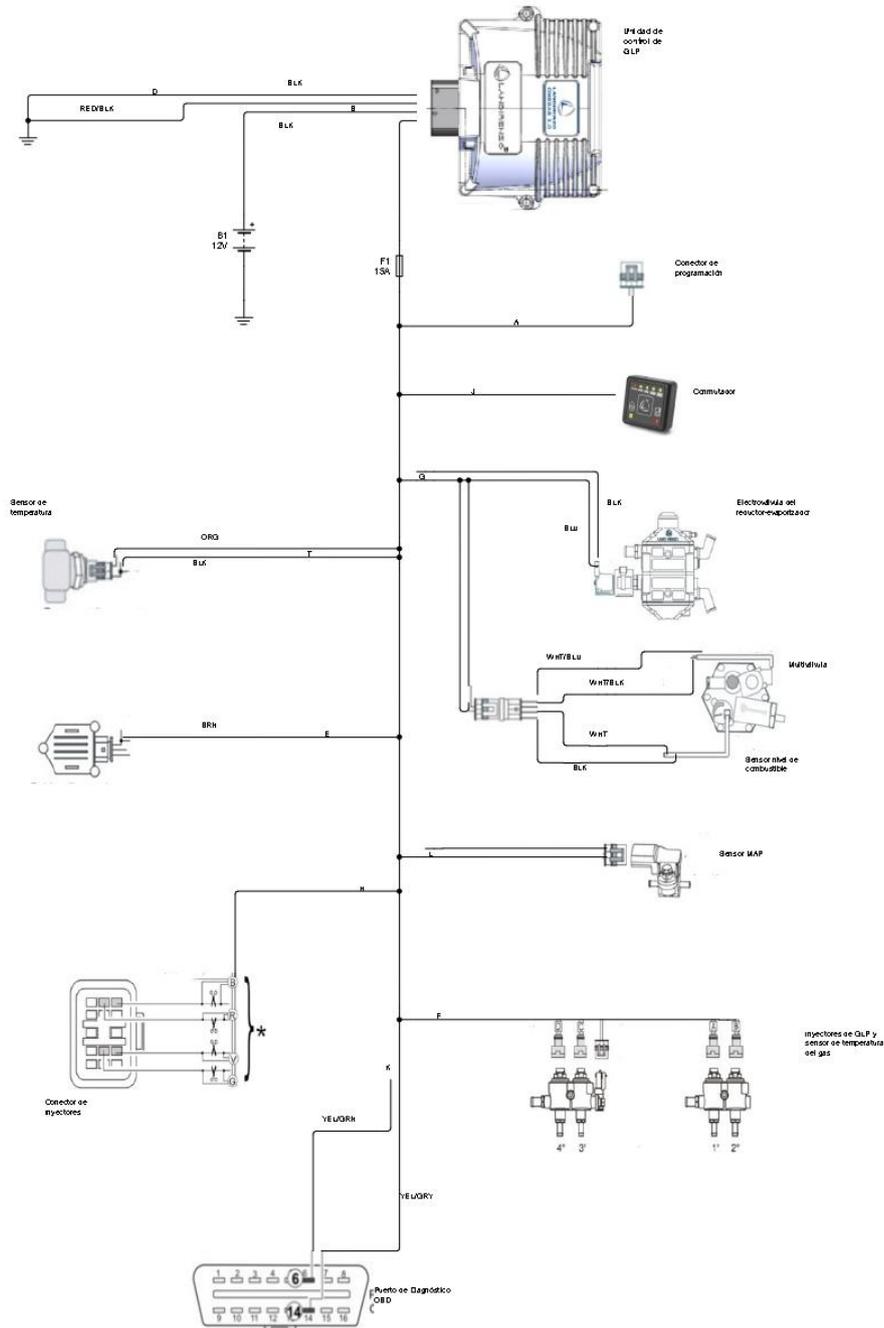
*Nota.* El apartado neumático del sistema que conforman la baja presión del kit de GLP consta del filtro, sensor MAP y los inyectores de GLP.

### **Diseño eléctrico de los componentes de GLP**

Se consideró los diferentes componentes que tiene comunicación con la unidad de control tanto actuadores como sensores necesarios para el buen funcionamiento del kit y las características básicas para realizar un diagrama de componentes eléctricos. A partir del diagrama de conexión y elementos del sistema de GLP de quinta generación, estableciendo su ubicación, se representa la instalación eléctrica.

Figura 32

## Esquema eléctrico del sistema de GLP



*Nota.* Las conexiones para cada componente tienen comunicación con la unidad de control electrónico mediante un conductor único y diferente por el color.

Tabla 12

Disposición de conductores para el sistema eléctrico

<b>Conductor eléctrico inyector del</b>			
<b>cilindro 1</b>	<b>B</b>	<b>BLU/BLK</b>	
<b>Cable eléctrico inyector del</b>			<b>*</b>
<b>cilindro 2</b>	<b>R</b>	<b>RED/BLK</b>	<b>Cable bicolor</b>
<b>Conductor eléctrico inyector del</b>			<b>ECU de GLP</b>
<b>cilindro 3</b>	<b>V</b>	<b>GRN/BLK</b>	<b>Cable unicolor</b>
<b>Conductor eléctrico inyector del</b>			<b>Inyector de gasolina</b>
<b>cilindro 4</b>	<b>G</b>	<b>YEL/BLK</b>	

*Nota.* Se muestra los colores de los cables de los inyectores de GLP encerrados en círculo, y en descripción los cables bicolors correspondientes a los inyectores del vehículo.

### Elección del kit

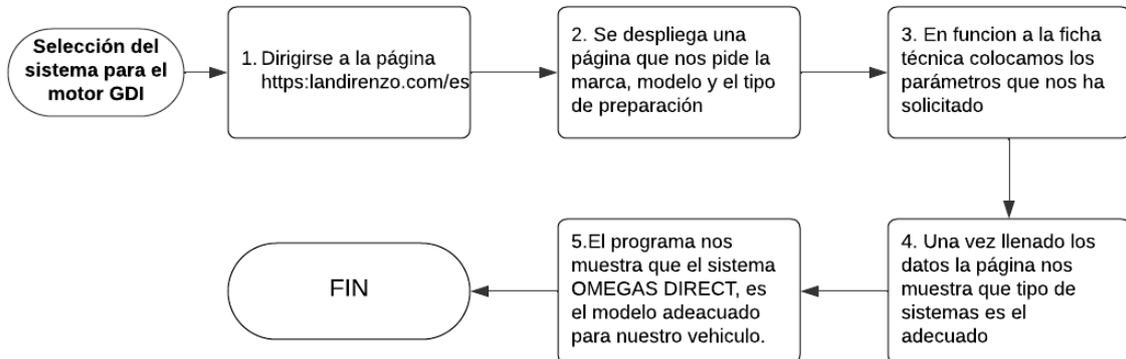
Al ser el motor de inyección directa, es importante seleccionar un sistema de GLP compatible con esta tecnología. El sistema de GLP de quinta generación es el adecuado para motores de inyección directa, ya que utiliza tecnología avanzada de control electrónico que permite adaptarse a las características específicas de este tipo de motores. Estos sistemas ajustan la dosificación del GLP de manera precisa y eficiente, maximizando el rendimiento del motor y asegurando un funcionamiento óptimo.

### Selección del sistema GLP a partir del software en línea.

La selección del Kit que se usara para la instalación, también se puede realizar a partir de la aplicación de: (LANDIRENZO, Sistema de GLP para motores de inyección directa, s.f.), esta aplicación, recoge datos importantes del vehículo; definiendo que tipo de kit es el necesario y que cumpla con las condiciones para el motor GDI turboalimentado.

**Figura 33**

*Protocolo de selección a partir del uso de la aplicación LANDIRENZO.*



*Nota.* Esquema de selección del kit de quinta generación de GLP

**Figura 34**

*Selección del sistema a partir del uso de la aplicación LANDIRENZO.*



*Nota.* Página de selección del sistema de GLP. Tomado de: (LANDIRENZO, Sistema de GLP para motores de inyección directa, s.f.)

Se recomienda adquirir el sistema de GLP para motores de inyección directa OMEGAS DIRECT gracias a la aplicación.

#### **Selección del riel de inyectores de gas:**

Para la elección del riel de inyectores de gas, se tuvo en cuenta la tabla siguiente

**Tabla 13**

*Datos de selección de inyectores.*

<b>Inyector GIRS 12</b>	<b>Talla</b>	<b>Potencia Máxima (kW)</b>
<b>Para motores de 4 cilindros</b>	S	74-88
	M	88-114
	L	114 en adelante

*Nota.* El motor es de 4 cilindros y tiene una potencia de 191 kW, por lo cual se seleccionó el riel de inyectores de tamaño L, que soporta 4 cilindros y una potencia superior de 114 kW.

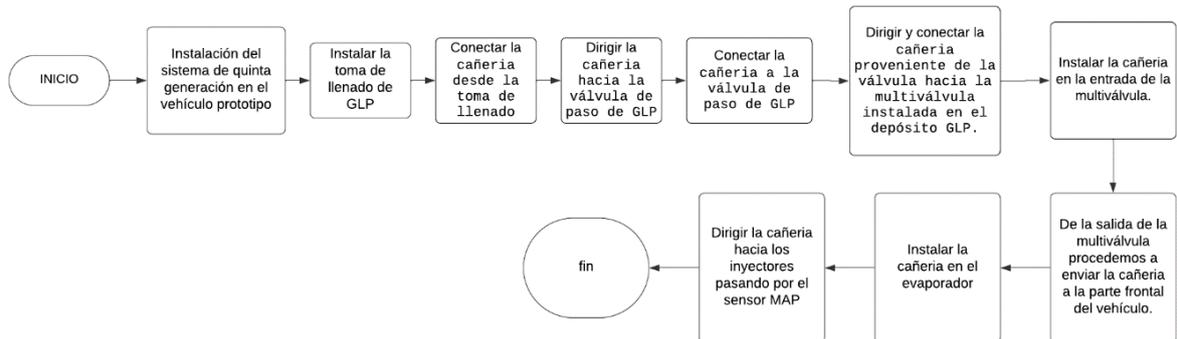
En relación al depósito debido a comodidad, seguridad y optimización de espacio se optó por un cilindro de GLP toroidal, la unidad de control, conmutador, multiválvulas, vaporizador, tubos de alta y baja presión son suministrados en el kit y son los mismos para cualquier vehículo con el sistema de inyección directa, lo único que variará será la programación.

### **Componentes del sistema de quinta generación de GLP**

En función del anexo 2 se identificó los diferentes elementos que se seleccionó para la implementación del sistema de quinta generación GLP en el motor GDI.

### **Instalación del sistema**

Se procedió con la instalación y ubicación de los diferentes elementos que conforman al sistema GLP de quinta generación ubicadas en el motor GDI en el vehículo prototipo.

**Figura 35***Protocolo de instalación y ubicación de los elementos del sistema GLP*

*Nota.* Esquema del proceso de instalación e implementación del sistema de GLP en el vehículo prototipo.

Se implementó el depósito toroidal de GLP, sin embargo, por la ubicación no considerada del silenciador del vehículo, no se cumplió con el correcto centrado en la fijación del mismo.

**Figura 36***Implementación del depósito de combustible en la parte posterior del vehículo*

*Nota.* El depósito toroidal se instaló, la fijación fue compleja, sin embargo, no representó un gran problema en el apartado de seguridad.

A partir de haber culminado con la instalación y ubicación desarrollada a partir de los diseños, se realiza la calibración del sistema GLP en el motor GDI, es decir instalar el mapa

de funcionamiento en la computadora del sistema de quinta generación, para obtener el trabajo apropiado de los inyectores, y los tiempos de inyección que deben ser similares a los que se obtiene con los inyectores del sistema de inyección directa.

### Pruebas de funcionalidad

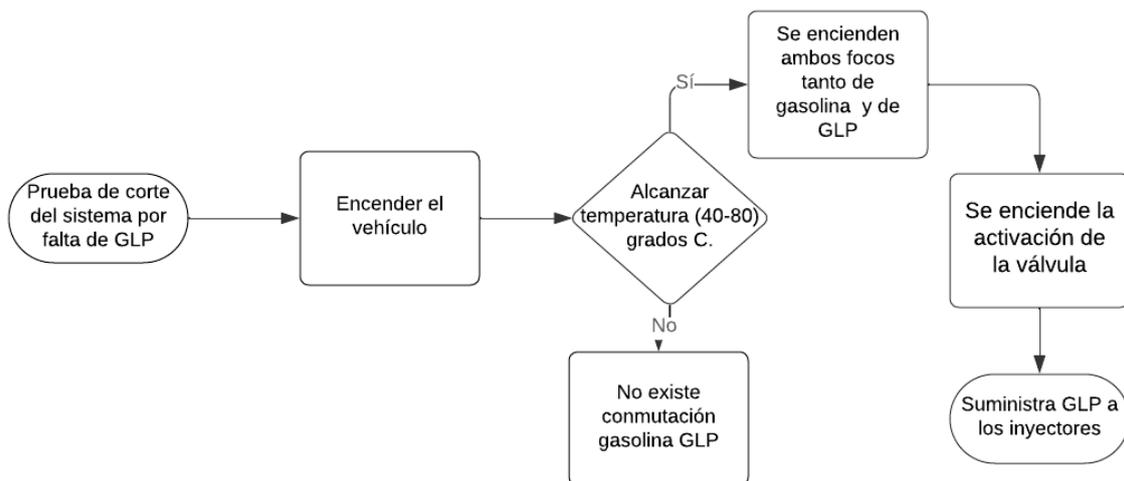
Con la ayuda de equipos de diagnóstico como el Multímetro y el Osciloscopio se procedió a verificar las pruebas de funcionamiento del sistema GLP ya instalado.

### Activación de la electroválvula del evaporador

Si no existe la activación de la electroválvula el vehículo no podrá conmutar el cambio de combustible, por lo cual la prueba consiste en comprobar el correcto funcionamiento de la electroválvula a partir de los protocolos.

### Figura 37

#### Protocolo de prueba de corte del sistema por falta de GLP



*Nota.* La temperatura es la primera condición de funcionamiento que exige el uso de GLP.

**Figura 38**

*Activación de electroválvula de evaporador*



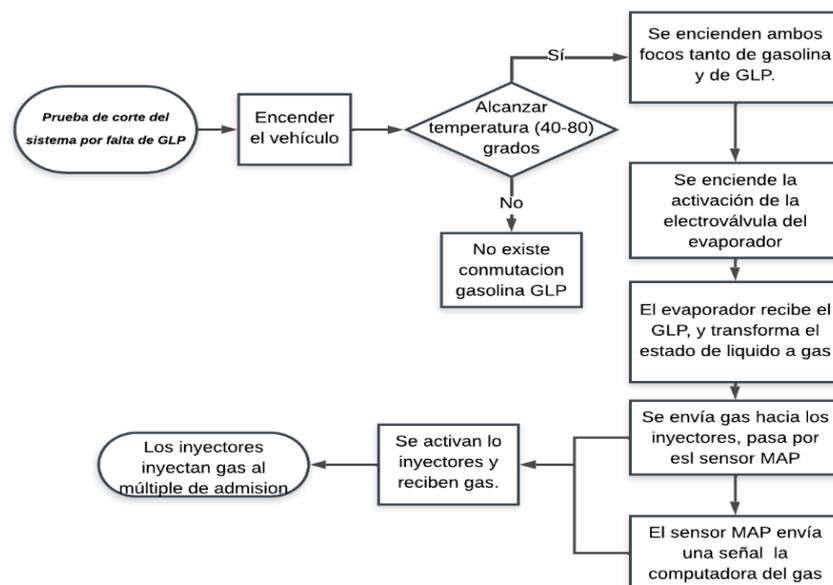
*Nota.* La conexión del osciloscopio al positivo y control de masa que sirvió como base para determinar el número de revoluciones las que el vehículo realiza el cambio de combustible siendo en el intervalo de 1500-2000 rpm.

### **Prueba de inyección de GLP**

Se comprobó el correcto funcionamiento en la inyección de GLP por medio del osciloscopio, y multímetro.

**Figura 39**

Protocolo de prueba de inyección de GLP



*Nota.* En la imagen se muestra como está establecido el protocolo de prueba de inyección de GLP, es importante recordar sus condiciones de funcionamiento.

#### **Figura 40**

*Activación de inyectores*



*Nota.* Se observa la conexión con la cual se verificó los pulsos de inyección de los inyectores de GLP.

#### ***Prueba de corte del sistema por falta de GLP***

Para esta prueba se usó el GLP hasta agotar el depósito al máximo, y seguir con los mismos pasos ya relatados en la prueba de activación de los inyectores, el conmutador mostró que el sistema se mantuvo en funcionamiento con gas a partir de los leds indicadores, sin embargo el led rojo se encendió lo que demostró que se encontraba el sistema en la reserva, el conmutador automáticamente realizó el corte del sistema por falta de combustible GLP en el sistema procediendo a enviar una señal a la electroválvula y regresó al funcionamiento del sistema de combustible original del auto.

#### ***Prueba de corte de alimentación a la unidad de control de GLP***

Esto va ligado con el funcionamiento de la prueba de corte de del sistema por falta de GLP en donde a partir de la falta del combustible gaseoso el sistema toma la decisión de funcionar y por lo tanto corta la alimentación a la unidad de control de GLP haciendo que ya

no trabaje el evaporador y el riel de inyectores, y funcione en su totalidad el sistema de inyección directa del auto.

#### **Figura 41**

*Conmutador mostrando nivel de GLP en descenso*



*Nota.* El nivel de combustible de GLP se ve reflejado por medio de las luces led de color verde.

#### **Análisis económico de la inversión**

Para realizar los cálculos se va a tomar en cuenta el recorrido diario, semanal y anual que tiene un vehículo entre la ciudad de Latacunga y la ciudad de Riobamba al ser de uso personal recorrerá diariamente 100 km aproximadamente (Ministerio de Transporte y obras públicas), si este auto realiza este recorrido 5 días a la semana se tendrá en un año lo siguiente.

En base a los siguientes datos obtenidos en recorridos realizados con el vehículo prototipo tanto con uso de gasolina y GLP, se ejecutó un análisis más detallado y encontrar así el valor de inversión – beneficio.

**Tabla 14**

*Consumo del Vehículo prototipo con uso de gasolina y GLP.*

<b>Recorrido Extraurbano del vehículo prototipo con Gasolina</b>	2.64 gal /100 km
<b>Recorrido Extraurbano del vehículo prototipo con Gasolina y GLP</b>	1.82 gal /100 km

*Nota.* La presenta tabla muestra el consumo del vehículo.

A partir del consumo de combustibles del vehículo prototipo con uso de gasolina y GLP con sistema de alimentación flexible al uso de gas, se tabula la información obtenida.

**Tabla 15**

*Recorrido aproximado en km entre Latacunga y Riobamba con gasolina extra.*

<b>Recorrido diario (Latacunga-Riobamba)</b>	<b>Recorrido semanal</b>	<b>Recorrido anual</b>
<b>100 km</b>	500 km	26000 km
<b>2.64 gal</b>	13.2 gal	686.4 gal
<b>5.86 \$</b>	29.30 \$	1523.80 \$

*Nota.* La presenta tabla muestra el recorrido diario, semanal y anual que tiene un vehículo.

El GLP para el transporte particular de pasajeros a baja escala (taxis), tiene un precio fijo de USD 0,188 por cada kilo, esto según la tabla de comercialización del carburante gaseoso para este sector.

**Tabla 16**

*Recorrido en km entre Latacunga y Riobamba con el sistema GLP.*

<b>Recorrido diario (Latacunga-Riobamba)</b>	<b>Recorrido semanal</b>	<b>Recorrido anual</b>
<b>100 km</b>	500 km	26000 km
<b>1.82 gal</b>	9.1 gal	473.2 gal
<b>6.89 kg</b>	34.45 kg	1791.25 kg
<b>1.30\$</b>	6.48\$	336.755 \$

*Nota.* La presenta tabla muestra el recorrido y consumo con GLP.

El valor total contemplado por un coste aproximado de consumo de gasolina en litros la cual será 0.25 litros por cada 100 km. Además de Estados Unidos, los países de Puerto Rico, Panamá, Perú, Colombia, Ecuador y Venezuela usan la definición de galón que equivale a: 3.785411784 litros (redondeado a 3.7854 litros).

**Tabla 17**

*Precio total de consumo de combustible*

<b>Recorrido diario (Latacunga-Riobamba)</b>	<b>Recorrido semanal</b>	<b>Recorrido anual</b>
100 km	500 km	26000 km
6.89 kg	34.45 kg	1791.25 kg
1.30\$	6.48\$	336.755 \$
<b>Valores de consumo de 0,25 l por cada 100 km</b>		
100 km	500km	26000 km
0.25 litros	1.25 litros	65 litros
0.147gal	0.735 gal	38.22gal
0.32 \$	1.63 \$	84.84 \$
<b>Total</b>		
1.30 \$	6.48 \$	336.755 \$
0.32 \$	1.63 \$	84.84 \$
1.62 \$	8.11\$	421.60 \$

*Nota.* en la tabla se muestran los valores aproximados a partir de un ejemplo particular de recorrido entre Latacunga y Riobamba, en donde aproximadamente por cada 100km el valor total diario de consumo en dólares será de 1.62\$

## Capítulo IV

### Análisis de resultados

#### Análisis Comparativo, componentes (Normativa NTE INEN 2310 y el sistema de implementación).

Para este análisis se emplea una comparativa entre los componentes que demandan la Norma NTE INEN 2310 y los componentes que vienen en el kit de GLP

**Tabla 18**

*Análisis comparativo de elementos (Normativa- Kit)*

<b>Componentes</b>	<b>INEN 2310</b>	<b>KIT 5ta Generación</b>	<b>% De cumplimiento</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Válvula de llenado</b>	X	X	90%	Se necesitó de un acople rápido en vez del original por falta de estaciones de carga de GLP
<b>Válvula de máximo nivel de llenado</b>	X	X	100%	Cumple con la multiválvula.
<b>Válvula de servicio</b>	X	X	100%	Controla la entrada y salida de GLP a la multiválvula.
<b>Indicador de nivel de líquido</b>	X	X	100%	Se implementó el indicador de nivel de GLP.
<b>Guarda de protección de la multiválvula y los accesorios</b>	X	X	100%	Si posee
<b>Espesor mínimo de pared del tanque</b>	X	X	100%	Cumple con la normativa

<b>Componentes</b>	<b>INEN 2310</b>	<b>KIT 5ta Generación</b>	<b>% De cumplimiento</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Válvula de alivio</b>	X	X	100%	Si se implementó
<b>Capacidad de almacenamiento</b>	X	X	100%	Tiene una gran capacidad de llenado y autonomía
<b>Placa de identificación</b>	X	X	100%	S/N
<b>Sistema de corte de combustible</b>	X	X	100%	Si posee.
<b>Sistema de corte por presión.</b>	X	X	100%	Si posee en la multiválvula
<b>Tanque</b>	X	X	100%	Si posee y se instaló correctamente.
<b>Vaporizador - Regulador</b>	X	X	100%	Si posee y se ubica cerca del motor
<b>Líneas de conducción de combustible</b>	X	X	100%	Si posee y ya se instaló en el vehículo
<b>Tubería Rígida</b>	X	X	100%	Si dispone y ya se instalo
<b>Tubería semirrígida</b>	X	X	100%	Si posee y ya se instalo
<b>Mangueras</b>	X	X	100%	S/N
<b>Filtros</b>	X	X	100%	Si posee y en la multiválvula posee uno
<b>ECU</b>	X	X	100%	S/N
<b>Sensor de oxígeno</b>	X	X	100%	S/N
<b>Riel de inyectores</b>		X	100%	Posee al ser de 5ta generación.
<b>Sensor MAP</b>		X	100%	S/N
<b>Sensor de temperatura</b>		X	100%	S/N
<b>Conmutador</b>		X	100%	S/N
<b>TOTAL</b>			<b>99,6%</b>	

*Nota.* En la tabla se observan la comparación de elementos y en base a eso el porcentaje de cumplimiento, de acuerdo a la NTE INEN 2310.

Se evidenció a partir del análisis que los componentes del sistema de gas licuado de petróleo de quinta generación un 99,6% de cumplimiento de la norma, adicionalmente consta de varios elementos que la normativa no posee, mostrando un excelente porcentaje de cumplimiento.

### **Análisis Comparativo de Implementación (Normativa NTE INEN 2311 y el sistema de implementación GLP).**

Para este análisis se emplea una comparativa entre los componentes que demandan la Norma NTE INEN 2311 y los componentes que vienen en el kit de GLP

**Tabla 19**

*Análisis comparativo de implementación*

<b>Detalle de Actividad</b>	<b>NTE INEN 2311</b>	<b>Kit 5ta generación</b>	<b>%</b>	<b>Observación</b>
<b>Revisión general del motor</b>	X	X	100	S/N
<b>Instalación del tanque de GLP</b>	X	X	100	S/N
<b>Instalación de los soportes del tanque.</b>	X	X	90	Se instalo
<b>Inspeccionar válvula de llenado y multiválvula.</b>	X	X	100	Si cumple con el proceso de instalación e inspección.
<b>Instalación de líneas de combustible</b>	X	X	100	La distancia entre la cañería y el tubo de escape es inferior a 20 cm, pero se implementó barreras aislantes.
<b>Instalación de sistema de corte de combustible</b>	X	X	100	S/N
<b>Mezclador de Aire combustible</b>	X	X	100	Se refiere a los inyectores en el caso del kit de quinta generación

<b>Detalle de Actividad</b>	<b>NTE INEN 2311</b>	<b>Kit 5ta generación</b>	<b>%</b>	<b>Observación</b>
<b>Vaporizador-Regulador</b>	X	X	100	Se instaló correctamente usando soportes de contención.
<b>Recalibración del sistema de encendido para combustibles alternos</b>	X	X	100	Se cumplió con la calibración del sistema, usando programación asistida.
<b>TOTAL</b>			<b>98.88%</b>	

*Nota.* En la tabla se observa la comparación en la instalación y cumplimiento del kit de quinta generación GLP en un motor GDI, de acuerdo a la NTE INEN 2311

De acuerdo a las normativas utilizadas se logró obtener los siguientes parámetros de cumplimiento.

#### **Tabla 20**

##### *Porcentaje de cumplimiento de normativas*

<b>Normativa</b>	<b>Porcentaje de cumplimiento</b>
<b>INEN 2310</b>	99,60%
<b>INEN 2311</b>	98,88%

*Nota.* Se cumplió en promedio en un 99,24% las normativas necesarias para proceder con el dimensionamiento de los mismos a través de softwares CAD, CAE.

#### **Análisis porcentual de seguridad, cumplimiento de diseño y accesibilidad**

Se realizó el diseño de todos los elementos a implementarse en el vehículo prototipo, a partir de estudios, mediciones y simulaciones de los espacios en donde fueron ubicados las distintas partes del sistema GLP de quinta generación, logrando cumplir con las normas NTE INEN 2310 y 2311, dando paso a la implementación del sistema en el vehículo de tesis.

En función del porcentaje de seguridad, se dio una correcta implementación de los esquemas de diseño previamente desarrollados y la accesibilidad de los componentes. Se

realiza un análisis para determinar; el porcentaje de implementación de acuerdo a la norma NTE INEN 2311 y se cumplió con el 98.88%

### **Análisis de pruebas en el vehículo antes de la instalación**

El sistema GLP de quinta generación, logrando en su mayoría cumplir con las normas NTE INEN 2310 y 2311, dando paso a la implementación del sistema en el vehículo prototipo

### ***Pruebas mecánicas del vehículo prototipo de tesis***

Las pruebas mecánicas del vehículo realizadas antes de la implementación demostraron que el motor tuvo un funcionamiento adecuado e ideal para realizar la adaptación, por otro lado, las pruebas después de la instalación arrojaron que el motor mantuvo un buen funcionamiento.

En relación a las pruebas de compresión respecto al cilindro 1 se obtuvo un valor de 140 psi, el cilindro 2 fue de 130 psi, el cilindro 3 de 135 psi y el cilindro 4 de 140 psi; antes y después de la instalación. La prueba de vacío arrojó valores de 10-11 inHg en ralentí, 18 inHg cuando se realizó una aceleración brusca, y de 11-13 inHg cuando se realizó una aceleración progresiva. Por último, la prueba de fugas demostró que el porcentaje de pérdidas fue del 0% para todos los cilindros.

Lo cual demostró que el GLP no afecta a largo plazo en el motor, dando un porcentaje del 100% en relación al aspecto mecánico del vehículo.

Por otra parte, el proceso de perforación del múltiple de admisión se realizó según el anexo 1, sin embargo, el proceso de trabajo, la difícil accesibilidad generó un cumplimiento del 80% en el proceso de cumplimiento con el diseño, y la accesibilidad de un 80%, debido a que las perforaciones realizadas cambiaron de posición, y por otra parte al estar otros componentes como intercooler y radiador dificultaron el acceso a las tomas instaladas.

### ***Disposición del tanque***

En función del diseño realizado el depósito debió ubicarse centrado de forma ideal en el compartimiento posterior, sin embargo, por el tema del silenciador considerado en la implementación, se modificó su ubicación. Respecto a la normativa NTE INEN 1323:2009, la deformación máxima permitida es de 70 mm, para lo cual se realizó la simulación con programas CAE que otorgaron como resultado una deformación máxima de la carrocería de 2,02 mm en el compartimiento posterior, que en relación a la normativa no representó un valor significativo que afecte la estructura, ni la suspensión del vehículo, dando un porcentaje del 80% en cumplimiento con el diseño, respecto a la seguridad no se evitó en la totalidad la cercanía del tubo de escape con las tuberías lo cual produjo una disminución al 75%, y por último en accesibilidad se cumple con el 100% ya que se aprovechó el comportamiento dispuesto para el neumático de emergencia.

### ***Sistema de fijación del tanque***

El principal aspecto tomado en cuenta fue la seguridad que debe existir en caso de suceder un accidente logrando de esta forma generar una deformación programada de la fijación evitando que el depósito salga disparado. Se obtuvo el esfuerzo normal igual a 1,60 MPa y un esfuerzo cortante de 1,95 MPa. Por tal motivo se seleccionó e implemento dos pernos de 12 mm, de clase 4,6 de acero de medio carbono con una resistencia a la fluencia mínima de 240 MPa y a la tensión mínima de 400 MPa que en caso de colisión por las excelentes propiedades que tiene el perno apenas sufrirá una deformación, otorgando un porcentaje del 100% en seguridad y 100% en el cumplimiento del diseño; la accesibilidad fue complicado puesto que el silenciador del vehículo lo dificulta en gran medida llevando al 75% el porcentaje de accesibilidad.

### ***Disposición del conmutador***

La disposición de los botones de otros accesorios y funciones que se incorporan en los vehículos dio un lugar óptimo tanto en accesibilidad y seguridad, por lo cual se encontró el lugar adecuado para la instalación del conmutador este será en la parte izquierda del

volante debajo de la palanca de luces del volante, su visibilidad es muy buena su accesibilidad para su manipulación es correcta cumpliendo con las normas de instalación y el diseño establecido. Llegando a un 100% en todos los aspectos considerados.

### ***Disposición de los componentes de GLP en el compartimiento del motor.***

Se tomó en cuenta las características de seguridad como evitar temperaturas excesivas y espacios disponibles en el compartimiento motor y se logró realizar el esquema para la ubicación de los componentes, sin embargo en el proceso de instalación se respetó los parámetros seguridad teniendo un porcentaje del 100%, sin embargo por la disposición y accesibilidad para realizar la adaptación de soportes la ubicación varió como la ubicación de la ECU de GLP, reductor - vaporizador y la riel de inyectores, bajando el porcentaje de cumplimiento del diseño hasta un 70%, por último respecto a la accesibilidad por el cambio de ubicación algunos componentes como el evaporador son de difícil acceso para futuros mantenimientos.

### ***Disposición de la toma de llenado de GLP***

Debido a la situación de nuestra provincia no se cuenta con un gasolinera que suministre GLP, por lo cual no se instaló una válvula unidireccional en la toma de llenado para el depósito, lo cual redujo el porcentaje de seguridad hasta el 85%, en relación al cumplimiento del diseño igual se redujo por no considerar el espacio que ocupa la tapa del compartimiento de carga de gasolina obligando a cambiar la ubicación, lo cual lo redujo el porcentaje a un 90% y por último la accesibilidad es excelente ya que se consiguió tener el punto de recarga en el mismo compartimiento para recarga de combustible del vehículo otorgando un porcentaje del 100%.

### ***Diseño del soporte del reductor – vaporizador***

De acuerdo al diseño y principalmente a la adaptación que se rige en el proyecto se tiene los siguientes valores, 90% seguridad, 100% cumplimiento del diseño y 75 % de

accesibilidad, esto muestra que se cumplió con las normas NTE INEN 2310 y 2311, segundo que la seguridad se mantiene en un valor muy tolerable ya que el reductor-vaporizador tiene un peso aproximado de 1 kg, esto sumado al peso del GLP establece parámetros de buena resistencia en el soporte, y que a su vez sea accesible.

### ***Achurado de la tubería de alta presión***

El achurado principalmente mejora la presión del GLP, antes que ingrese al reductor-vaporizador, al realizar la simulación se observa en la figura que la presión de entrada es mayor a la de salida, reduce la presión de ingreso hacia el reductor-vaporizador que debe ser máximo de 21 bares. Con ello se establece que se cumple con la reducción de presión gracias al achurado.

### ***Diseño eléctrico***

A partir del diseño realizado se obtiene un cumplimiento, obteniendo los siguientes resultados a partir de la consideración de los diferentes componentes que tienen comunicación con la unidad de control tanto actuadores como sensores necesarios para el buen funcionamiento del kit y las características básicas para realizar un diagrama de componentes eléctricos, a partir de esto se tiene lo siguiente el 100% en seguridad, el 100% en cumplimiento del diseño y el 80% en accesibilidad.

### ***Instalación del sistema***

Tomando en cuenta las normas NTE INEN 2310 y 2311 se realizó la instalación y ubicación correcta de cada uno de los elementos del sistema de quinta generación GLP en el vehículo prototipo, en consecuencia de ello se establecieron los siguientes parámetros: en cuanto a seguridad el 100% verificando que todos los elementos del kit se encuentren bien instalados y las conexiones tanto hidráulica, neumática y electrónica se realizaron de manera correcta, el cumplimiento del diseño tiene un 70% en calidad, de que muchas partes se adaptaron a las características que posee el vehículo, tanto en la parte frontal donde van

alojados elementos como la computadora, el reductor- evaporador, inyectores, etc. En la parte posterior donde se ubicaron el depósito, la multiválvula, y la toma de llenado de GLP.

### ***Pruebas de funcionalidad***

Se realizaron todas las pruebas propuestas de funcionamiento dando el resultado esperado, mostrando que el sistema funciona, con el accionamiento del conmutador se realiza el cambio de gasolina a GLP correctamente, no existen sonidos extraños, y todos los elementos cumplen la función para los que han sido instalados, dando un resultado del 100 % cumpliendo con el correcto cumplimiento de la instalación a partir de las normas.

**Tabla 21**

*Porcentajes obtenidos*

<b>Apartado a considerar</b>	<b>%Seguridad</b>	<b>%Cumplimiento del diseño</b>	<b>%Accesibilidad</b>
<b>Aspecto mecánico</b>	100	80	80
<b>Diseño de soportes</b>	90	100	75
<b>Apartado a considerar</b>	<b>%Seguridad</b>	<b>%Cumplimiento del diseño</b>	<b>%Accesibilidad</b>
<b>Disposición del tanque</b>	75	80	100
<b>Sistema de fijación del tanque</b>	100	100	75
<b>Disposición del conmutador</b>	100	100	100
<b>Disposición de los componentes en el compartimiento motor</b>	100	70	80
<b>Disposición de la toma de llenado de GLP</b>	85	90	100
<b>Diseño de achurado de tubería de alta presión</b>	100	100	90
<b>Diseño eléctrico</b>	100	100	80
<b>Instalación del sistema</b>	100	70	-

Apartado a considerar	%Seguridad	%Cumplimiento del diseño	%Accesibilidad
Pruebas de funcionalidad del sistema	100	-	-
<b>PROMEDIO</b>	95%	90%	86,67%

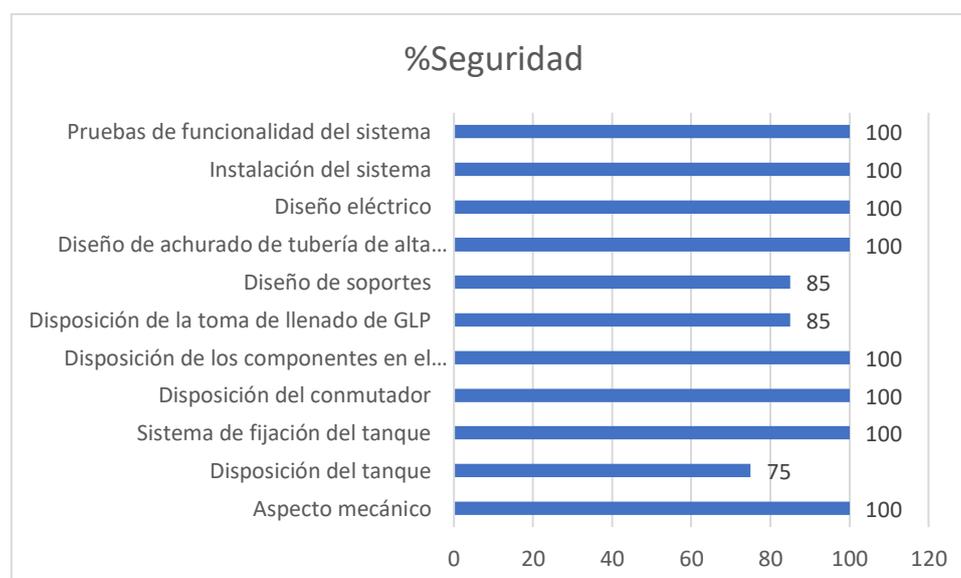
*Nota.* Se puede observar los porcentajes logrados en la adaptación del kit de GLP.

La tabla anterior mostró que el porcentaje de seguridad, cumplimiento del diseño y porcentaje de accesibilidad para algún tipo de mantenimiento del sistema, generó un promedio que reflejo una gran garantía de funcionamiento y confiabilidad del sistema, cabe recalcar que esto varía de acuerdo al mantenimiento, y buen uso del sistema respetando siempre las advertencias que se muestran en cuanto a regímenes de uso.

Los distintos porcentajes informan el éxito que se consiguió en el proceso de instalación del kit de quinta generación de GLP, siendo el aspecto más importante el de seguridad que se cumplió a nivel general en el proyecto.

## Figura 42

### Porcentajes de seguridad



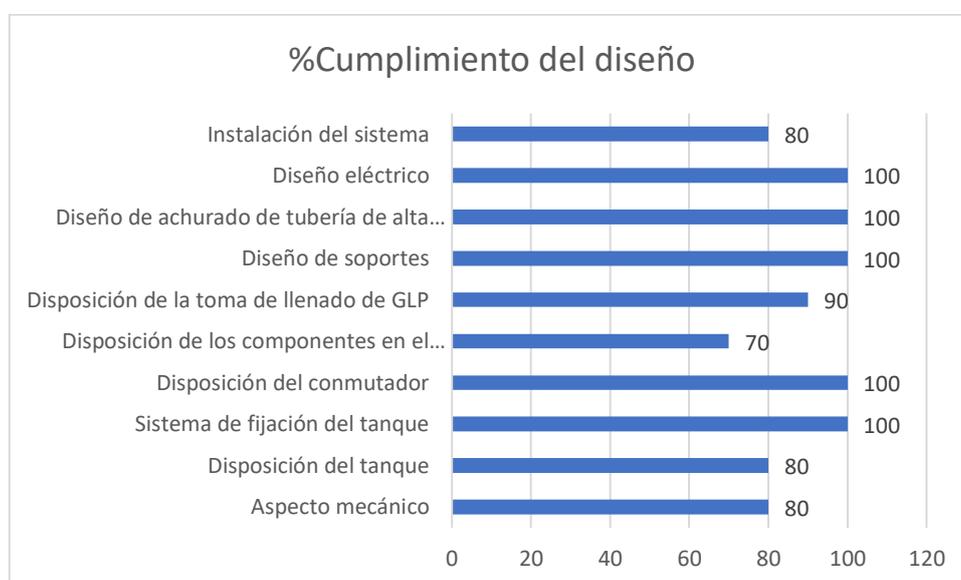
*Nota.* Se puede observar los porcentajes de seguridad alcanzados.

Los principales problemas presentados respecto a seguridad fueron el diseño de soportes para los componentes, la disposición de la toma de llenado, y la disposición del depósito de GLP. Siendo aspectos que con modificaciones futuras pueden mejorarse, sin embargo, estas deficiencias en la seguridad no comprometen de manera significativa al sistema y mucho menos a la seguridad de los pasajeros.

La seguridad se establece datos que garantizan la correcta instalación y seguridad de todos los elementos del sistema que han sido diseñados, seleccionados e instalados en concordancia con las normas.

### Figura 43

#### Porcentajes de cumplimiento del diseño



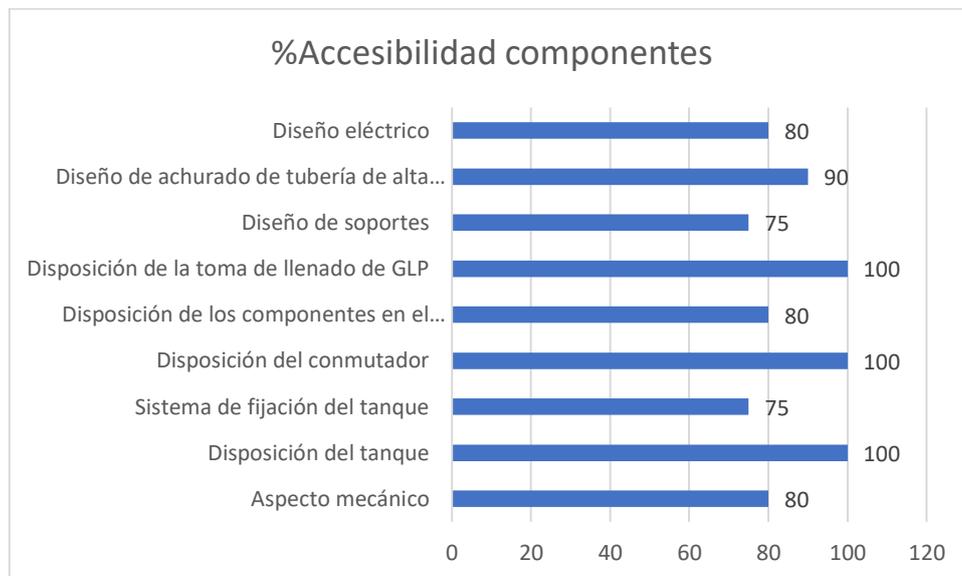
*Nota.* Se puede observar los porcentajes de cumplimiento del diseño conseguidos.

La figura muestra que el porcentaje de cumplimiento del diseño en aval de las normas NTE INEN 2310 y 2311 se cumplen en su mayoría con excelentes porcentajes de asertividad, demostrando que el diseño se realizó correctamente

El diseño desarrollado previamente fue de gran aporte, a fin de considerar requisitos técnicos y establecidos en la norma y realizar la instalación del sistema que garantice seguridad y funcionalidad.

**Figura 44**

*Porcentajes de accesibilidad de los componentes*



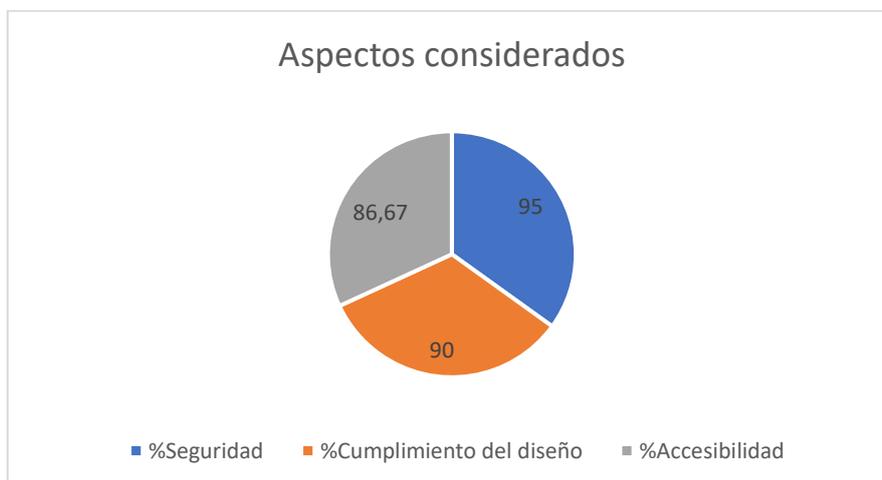
*Nota.* En la imagen se observan los porcentajes de accesibilidad alcanzados.

En relación a la accesibilidad es un aspecto fundamental para el futuro debido a la facilidad para poder realizar el mantenimiento de los componentes del kit, siendo uno de los más importantes el reductor que debido a su ubicación se vuelve complejo el tema de mantenimiento del mismo. Por otra parte, la disposición del motor y componentes auxiliares en el compartimiento motor volvió muy difícil cumplir con un mayor porcentaje de accesibilidad de los diferentes componentes del sistema.

La accesibilidad de los distintos componentes tiene una vital importancia ya que los mismo cumplen con buenos estándares de accesibilidad para futuros mantenimiento y buena ubicación de todos los elementos, en el caso de avería de alguno de ellos.

**Figura 45**

*Promedio de porcentajes alcanzados*



*Nota.* En la imagen los valores porcentuales de los tres aspectos tomados en cuenta, son favorables, 95% de seguridad, 86,67% de accesibilidad y el 90% del cumplimiento del diseño,

De manera general se obtuvo una alta efectividad en relación a la seguridad, cumplimiento del diseño y la accesibilidad durante el proceso de la instalación de los diversos componentes del kit de quinta generación de GLP para el vehículo con un motor de inyección directa, con 90,56% efectividad en la implementación del kit de quinta generación cumpliendo los objetivos establecidos.

**Análisis económico de la inversión**

Se determinó que el consumo de combustible de gasolina al entrar en conmutación con el de GLP disminuyó considerablemente, es importante recordar que la inyección de gasolina va a seguir funcionando aun en funcionamiento de gas, claro está que, en mucha menor medida de consumo de gasolina, ahora bien, el consumo de GLP comparado con el consumo de gasolina es insignificante en tema económico.

**Tabla 22**

*Tabla de consumos y precios anual.*

<b>Consumo de gasolina</b>	<b>Consumo de GLP</b>
1523.80\$	421.60\$

*Nota.* Se muestra en la tabla el consumo y el precio anual.

Existe un gran ahorro en cuanto a valor de consumo el cual da un ahorro de 1102,2 dolares aproximadamente en cada año. A partir del ejemplo planteado en el capítulo 3, con ello se entiende que en dos años y 6 meses aproximadamente se va recuperar el valor de la instalación, claro está que aquí se debe tomar en cuenta valores de mantenimiento que se realizan cada 10000km, en definitiva, se tiene que el costo beneficio de la instalación de un sistema de GLP de quinta generación en un vehículo con sistema GDI es recomendable, por su ventaja en valores de consumo.

## Capítulo V

### Marco administrativo

#### Recursos

El “Diseño e implementación del sistema de alimentación alternativo GLP de quinta generación para motores de combustión interna GDI” requirió de recursos humanos, materiales y tecnológicos.

#### *Recursos Humanos*

Se indican los recursos humanos que formaron parte en el trabajo de investigación.

**Tabla 23**

#### *Recursos Humanos*

Orden	Detalle	Cantidad	Función
1	Sr. Galo Alexander Feijóo Vivas	1	Investigador
2	Sr. Alejandro Ariel Guayanlema Gutierrez	1	Investigador
3	Ing. Leonidas Antonio Quiroz Erazo	1	Investigador Director del trabajo de titulación Especialista emisiones – sistemas de encendido

*Nota.* La tabla muestra los recursos humanos que formaron parte del trabajo de investigación

#### *Recursos Tecnológicos*

Fueron necesarios recursos tecnológicos para la investigación que se detallan en la siguiente tabla.

**Tabla 24***Recursos Tecnológicos*

<b>Orden</b>	<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor</b>
1	Osciloscopio Hantek	1	\$0.00
2	Multímetro	1	\$0.00
3	Instalación de software Landi Renzo Injection System	1	\$40.00
4	Instalación software CAD y CAE	1	\$0.00
5	Instalación software Microsoft office	1	\$0.00
6	Instalación software de dinámica de fluidos	1	\$0.00
7	Computadoras	2	\$0.00
	<b>TOTAL</b>		<b>\$40.00</b>

*Nota.* Se muestra los recursos tecnológicos que formaron parte en la investigación.

**Recursos Materiales**

Los recursos materiales implementados para la investigación e implementación se detallan en la siguiente tabla.

**Tabla 25***Recursos Materiales*

<b>Orden</b>	<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor</b>
1	Vehículo prototipo	1	\$1265.00
2	Caja de herramientas	1	\$350.00
3	Estilete	1	\$1.00
4	Taladro	1	\$45.00
5	Cortador de tubos	1	\$15.00
6	Cautín	1	\$10.00
7	Accesorios para depósito de gas	2	\$3.20

<b>Orden</b>	<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor</b>
8	Cinta taipe	1	\$1.00
9	Termo fundible	1	\$1.00
10	Pinzas	1	\$0.00
11	Grasa	1	\$10.00
12	Amarras plásticas	1	\$1.00
13	Kit de quinta generación de GLP	1	\$700.00
14	Desarmadores	1	\$0.00
<b>TOTAL</b>			<b>\$2402.20</b>

*Nota.* Se muestra los recursos tecnológicos que formaron parte en la investigación.

### **Presupuesto**

**El costo total del proyecto de investigación se detalla a continuación.**

**Tabla 26**

*Costo del proyecto de investigación*

<b>Orden</b>	<b>Detalle</b>	<b>Costo</b>
1	Recursos Tecnológicos	\$40.00
2	Recursos Materiales	\$2402.20
<b>TOTAL</b>		<b>\$2442.20</b>

*Nota.* El costo del proyecto de investigación fue de \$2442,20 a partir de haber sumado los valores de los recursos tecnológicos y materiales.

## Capítulo VI

### Conclusiones y recomendaciones

#### Conclusiones

- Se dimensionó el sistema hidráulico, neumático, eléctrico y electrónico del sistema de alimentación alternativo GLP/gasolina y solo de GLP a través de la ingeniería asistida por computador a través de la selección de los componentes en observancia de los requisitos mínimos que deben cumplir los equipos de quinta generación y las conversiones a realizar en el motor de combustión interna GDI, acorde a lo establecido por la NTE INEN 2310.
- Se implementó el sistema de alimentación alternativo GLP de quinta generación para motores de combustión interna GDI en concordancia con las normas establecidas por parte de la NTE INEN 2311.
- A través del manejo sustentado de información y análisis de ingeniería asistida por computador para el diseño, construcción y pruebas del Prototipo de sistema de alimentación de combustible GLP de quinta generación en motores GDI y la obtención de los resultados propuestos en esta investigación, se implementó un sistema flexible a un carburante gaseoso que cumple con la normativa técnica ecuatoriana NTE INEN garantizando la fiabilidad y seguridad del sistema en un 95%.
- Se obtuvo un 98,88% acorde a la normativa técnica ecuatoriana NTE INEN 2311 para conversión y un 99,60% 2310 según lo fijado por la NTE INEN 2310.
- Se recopiló información necesaria para realizar la adaptación de sistemas de quinta generación de GLP en motores de inyección directa.
- Se esquematizó el apartado eléctrico del kit de GLP identificando los sensores y actuadores utilizados.
- Por medio de pruebas del prototipo de sistema de alimentación de GLP se pudo garantizar en accesibilidad a los componentes del kit en un 86,67%.

- Se evidencio un incremento en la potencia del vehículo en relación al uso exclusivamente de gasolina, viéndose reflejado en un ahorro económico.
- Se cumplió con el diseño de soportes de manera correcta para que el reductor-evaporador no tenga ningún movimiento que pueda producir alguna fuga, en pleno funcionamiento del vehículo.
- En base al diseño y la simulación realizada se obtiene un resultado positivo en cuanto a disminución de presión de GLP antes de ingresar al reductor-evaporador.
- El diseño eléctrico muestra un notable nivel de consideración dirigido a la seguridad y el cumplimiento del diseño, esto apunta que se han implementado medidas efectivas que garantizan el desarrollo del proyecto.
- Las pruebas de funcionalidad han determinado que el proyecto cumple con los objetivos establecidos en términos de funcionalidad, y comportamiento, los resultados validan que a partir de las pruebas realizadas el proyecto está bien encaminado.

## Recomendaciones

- Establecer parámetros de mantenimiento adecuados para el kit de quinta generación de GLP en función de las condiciones de calidad del combustible en Ecuador.
- Establecer un proceso para la detección de fugas de GLP en los diversos componentes del kit.
- Analizar las ventajas y desventajas del kit de sexta generación de diferentes marcas que tienen la facilidad para adaptarse al vehículo GDI.
- Determinar las ventajas y desventajas del uso de variadores de avance al encendido en el motor GDI con sistema de alimentación de GLP de quinta generación.
- Determinar los kits de instalación GLP en vehículos con motores de inyección directa mono punto y multipunto.

## Bibliografía

- ARC. (06 de Julio de 2021). *La Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARC) cumple su primer año de gestión*. Obtenido de [recursosyenergia.gob.ec: https://www.recursoyenergia.gob.ec/la-agencia-de-regulacion-y-control-de-energia-y-recursos-naturales-no-renovables-arc-cumple-su-primer-ano-de-gestion/#:~:text=La%20ARC%20fue%20creada%20el,naturales%20no%20renovables%20del%20Ecuador](https://www.recursoyenergia.gob.ec/la-agencia-de-regulacion-y-control-de-energia-y-recursos-naturales-no-renovables-arc-cumple-su-primer-ano-de-gestion/#:~:text=La%20ARC%20fue%20creada%20el,naturales%20no%20renovables%20del%20Ecuador).
- ARC. (s.f.). *PRECIOS DE COMBUSTIBLES*. Obtenido de [controlrecursosyenergia.gob.ec: https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/precios-combustibles/](https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/precios-combustibles/)
- Barros Barzallo, E. M., & Barrera Suárez, M. A. (2012). *Estudio del sistema GLP como combustible alternativo de uso en vehículos automotrices [Tesis de grado, Universidad del Azuay]*. Azuay: Universidad del Azuay. Obtenido de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/1421>
- Barzallo, E. M. (2012). *Límites de inflamabilidad en el a)Inferior*. Cuenca. Obtenido de <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/1421/1/09589.pdf>
- Budynas, R. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México: The McGraw-Hill.
- Caceres; Mollon . (2007). *Evaluación de la Factibilidad del uso de gas natural vehicular como una alternativa energética para disminuir*. Venezuela. Obtenido de [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/10091/torres\\_vc.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/10091/torres_vc.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Calleja, D. G. (2015). *Motores térmicos y sus sistemas auxiliares* (2da ed.). Madrid: Ediciones Parafino.
- CARWOW. (30 de junio de 2023). *CARWOW.ES*. Obtenido de <https://www.carwow.es/blog/conversion-coche-gasolina-a-glp#gref>
- controlrecursosyenergia. (2022). *La Agencia de Regulación realiza controles permanentes para verificar precio de venta de GLP en todo el país*. Quito: El nuevo Ecuador.

- Obtenido de <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/la-agencia-de-regulacion-realiza-controles-permanentes-para-verificar-precio-de-venta-de-glp-en-todo-el-pais/>
- Cristian, G., & Santiago, T. (2005). *“ADAPTACIÓN DE UN SISTEMA DE COMBUSTIBLE CON LA UTILIZACION DE GLP A UN MOTOR DE GASOLINA TOYOTA 5R [Tesis de Grado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]*. Repositorio Institucional, Latacunga, Cotopaxi, Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4205/1/T-ESPEL-0190.pdf>
- Cuasquer Cuasapud, J. S., Pineda Maigua, D. P., & Álvarez Jaramillo, E. (2022). *Ventaja del uso de gas licuado de petróleo en comparación al sistema de combustible tradicional*. Urcuqui, Ecuador: Instituto Superior Tecnológico 17 de julio. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8635294>
- Donado, A. (2022). *Conociendo los circuitos de procesamiento de datos de una ECU. AUTOSOPORTE*. Obtenido de <https://autosoporte.com/conociendo-los-circuitos-de-procesamiento-de-datos-de-una-ecu/>
- Duragas Pro. (27 de septiembre de 2021). Obtenido de <https://www.duragas.com.ec/nueva-estacion-de-servicio-de-gas-para-taxis-duragas-pro/#:~:text=Duragas%20Pro%20inauguró%20una%20nueva,Orellana%20diagonal%20al%20Parque%20Samanes.>
- Ebay. (s.f.). *ebay.com*. Obtenido de <https://www.ebay.com/itm/134783937734?fits=Model%3ACX-7%7CMake%3AMazda&itmmeta=01HQ57739H96P21TW9SYCA9DRM&hash=item1f61bfacc6:g:f8AAAOSwntNIO1rr&amdata=enc%3AAQAIAAAA4BV1yGu6NUKa654euVyKADEdOgCChsLX5XvwWJDpNlyEwHyG4HNIHvAHcU6T7UCsNjx%2Fmj2Vbqm8CCjsswfvJvn>
- EPETROECUADOR. (2024). *PRECIOS DE VENTA EN TERMINAL PARA LAS COMERCIALIZADORAS CALIFICADAS Y AUTORIZADAS A NIVEL NACIONAL*. Obtenido de [eppetroecuador.ec: https://www.eppetroecuador.ec/wp-](https://www.eppetroecuador.ec/wp-)

content/uploads/downloads/2024/02/ESTRUCTURA-DE-PRECIOS-FEBRERO-2024.pdf

Equipos de Gas LP. (s.f.). *SYTA-Sistemas y Tecnología Automotriz*. Obtenido de [https://www.equiposdegaslp.com.mx/equipos\\_5tagen.html#:~:text=El%20equipo%20de%205ta%20generaci%C3%B3n,de%20gas%20lp%20como%20combustible](https://www.equiposdegaslp.com.mx/equipos_5tagen.html#:~:text=El%20equipo%20de%205ta%20generaci%C3%B3n,de%20gas%20lp%20como%20combustible).

Fajardo, E. (25 de julio de 2017). *Código de Colores en Cableado Automotriz*. Obtenido de e-auto.com.mx - El Sitio de los Mecánicos y Refaccionarios : <https://www.e-auto.com.mx/enev/index.php?view=article&id=6995-codigos-de-colores>

Felipe, A. (08 de octubre de 2015). *Blog mecanicos*. Obtenido de <https://www.blogmecanicos.com/2015/10/como-funciona-un-inyector-piezoelectrico.html>

Fernidand, S., & Pytel, A. (1994). *Resistencia de materiales*. México: Alfaomega.

Francisco, S. H. (2011). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROPULSION PARA EMBARCACIONES FLUVIALES DE 650 Kg EN GAS LICUADO DE PETROLEO (GLP)*. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ, Lima. Obtenido de [https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/926/SOTO\\_HERRERA\\_WAGNER\\_PROPULSION\\_EMBARCACIONES\\_FLUVIALES.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/926/SOTO_HERRERA_WAGNER_PROPULSION_EMBARCACIONES_FLUVIALES.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

GENERACIONES DE LOS SISTEMAS DE AUTOGAS – 2. (s.f.). *007Verde.com*.

Recuperado el 2024, de <https://007verde.com/generaciones-de-los-sistemas-de-autogas-2/>

Giga, M. (02 de 2024). *MOTOR GIGA*. Obtenido de <https://motorgiga.com/mazda/cx-7/cx-7-23-disi-260-cv-luxury/2010/precio-ficha-tecnica>

GNC MARCOS. (30 de mayo de 2013). *GNC MARCOS*. Obtenido de [https://www.facebook.com/gncmarcos.santafe/posts/diferencias-entre-equipos-de-3ra-4ta-y-5ta-generaci%C3%B3n/514196348645388/?locale=es\\_ES](https://www.facebook.com/gncmarcos.santafe/posts/diferencias-entre-equipos-de-3ra-4ta-y-5ta-generaci%C3%B3n/514196348645388/?locale=es_ES)

Herranz David. (26 de enero de 2017). *blogmecánicos.com*. Obtenido de [https://www.blogmecanicos.com/2017/01/como-funciona-un-sistema-glp\\_26.html](https://www.blogmecanicos.com/2017/01/como-funciona-un-sistema-glp_26.html)

- Hoz, O. I. (2014). Diagnóstico preliminar sobre el impacto del uso de gas vehicular en el transporte. Santiago de Chile, Chile.
- Hybrid Supply. (s.f.). *Hybrid Supply*. Obtenido de <https://hybridsupply.es/productos/landirenzo/componentes/conmutador-de-gasolina-glp-de-landirenzo/>
- INEN, N. (2009). *Vehículos Automotores. Carrocerías de buses. Requisitos*.
- INEN:0111. (2013). *Cilindros de acero soldados para gas licuado de petróleo GLP. Requisitos e inspección*. Obtenido de <https://archive.org/details/ec.nte.0111.1998>
- INEN:1323, N. (2009). *VEHICULOS AUTOMOTORES. CARROCERIAS DE BUSES*.
- INEN:2310. (2013). *Funcionamiento de vehículos con GLP. Equipos para carburación dual GLP/gasolina o solo de GLP en motores de combustión interna. Requisitos*. Obtenido de <https://archive.org/details/ec.nte.2310.2008/page/n3/mode/2up>
- INEN:2311, N. (2013). *NTE INEN 2311: 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*. Obtenido de <https://archive.org/details/ec.nte.2311.2008>
- Ingeniería y Mecánica Automotriz. (11 de octubre de 2023). *ingenieríaymecánicaautomotriz.com*. Obtenido de <https://www.ingenieriymecanicaautomotriz.com/que-son-los-inyectores-gdi/>
- Inyeccion directa de gasolina. (2016). *se346317cda677321.jimcontent.com* . Obtenido de <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fse346317cda677321.jimcontent.com%2Fdownload%2Fversion%2F1606732317%2Fmodule%2F11773487377%2Fname%2FINYECCION%2520DIRECTA%2520DE%2520COMBUSTIBLE.pdf&psig=AOvVaw0OSvZgjAimY3Mub1ozv0BC&ust=1708603453734000&so>
- LANDIRENZO. (s.f.). Producto. Cavriago, Italia.
- LANDIRENZO. (s.f.). Sistema de GLP para motores de inyección directa. Cavriago, Italia. Obtenido de <https://landirenzo.com/py/omegas-sistemas-glp-inyeccion-directa>
- LOVATO LET THE BLUE DRIVE. (2022). *EASY FAST DIRECT INJECTION 4 CILINDROS GLP*. Obtenido de

[http://www.lovatogas.com/php/spa/sistemas\\_glp\\_detail/id\\_6\\_producto\\_easy-fast-direct-injection-4-cilindros-glp.html](http://www.lovatogas.com/php/spa/sistemas_glp_detail/id_6_producto_easy-fast-direct-injection-4-cilindros-glp.html)

Maida, E. G., & Pacienza, J. (2015). *Metodologías de desarrollo de software*. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA ARGENTINA SANTA MARIA DE LOS BUENOS AIRES, Buenos Aires, Argentina. Obtenido de <https://repositorio.uca.edu.ar/bitstream/123456789/522/1/metodologias-desarrollo-software.pdf>

Mazda Motor Corporation. (2007). *Mazda Cx-7 Workshop Manual*. HIROSHIMA. Obtenido de <https://www.mazdabg.com/ftp-uploads/Mazda/CX-7/Mazda%20CX-7.pdf>

Minga, M., César, P., & Julio, T. (2011). *Análisis y construcción de un banco funcional con sistema de alimentación Dual GLP-Gasolina en un motor con gestión electrónica para el laboratorio de motores de combustión interna, Tesis de Pregrado, Universidad Politécnica Salesiana*. Universidad Politécnica Salesiana, CUENCA. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1774/13/UPS-CT002050.pdf>

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. (2016). *RESOLUCIÓN 40246 DE 2016*. Bogota, Colombia. Obtenido de [https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion\\_minminas\\_40246\\_2016.htm](https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_minminas_40246_2016.htm)

Ministerio de Transporte y obras públicas. (s.f.). *Cuadro de distancias terrestres Ecuador*. Quito: Scribd. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/133426226/Cuadro-de-Distancias-Terrestres-Ecuador>

MOTORREVIEWER. (2022). *MOTORREVIEWER*. Obtenido de [https://www.motorreviewer.com/engine.php?engine\\_id=110](https://www.motorreviewer.com/engine.php?engine_id=110)

MVW Autotechniek. (2024). <https://www.mvwautotechniek.nl/>. Obtenido de [https://www.mvwautotechniek.nl/es/compressie\\_meten\\_cilinderlektest/](https://www.mvwautotechniek.nl/es/compressie_meten_cilinderlektest/)

Norton, R. L. (2011). *Diseño de Máquinas*. México: Pearson Educación.

- Otero Alejandra. (15 de enero de 2020). *motorpasión*. Obtenido de <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/coches-glp-combustible-alternativo-inconvenientes-espana>
- Patiño, C., & Campoverde, P. (2023). *Desarrollo de un módulo virtual para el aprendizaje del funcionamiento y mantenimiento de un Motor de Inyección Directa a Gasolina Hyundai G4FD*[Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca]. Cuenca. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/25612/1/UPS-CT010728.pdf>
- Pozo, K. E. (2018). ESTUDIO DE LAS PÉRDIDAS ENERGÉTICAS EN EL POLIDUCTO SHUSHUFINDI-QUITO Y SU INFLUENCIA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL GLP. Quito, Pichincha, Ecuador. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20101/1/CD-9543.pdf>
- PRIMICIAS. (2023). Gas, el combustible barato que aumenta entre taxistas de Guayaquil. *Gas, el combustible barato que aumenta entre taxistas de Guayaquil*, pág. 1. Obtenido de <https://www.primicias.ec/noticias/economia/aumenta-demanda-sistemas-gas-taxismo-guayaquil/>
- SOLIDBI. (2024). *SOLIDBI inspira tu innovación*. Obtenido de <https://solidbi.es/solidworks/#:~:text=Definici%C3%B3n,proceso%20de%20desarrollo%20del%20producto.>
- Solomon, O. (2021). *Explained: Direct Injection Piston Design and Tuning Theories*. MOTORTREND. Obtenido de [https://rxmechanic-com.translate.goog/what-does-gdi-mean-on-a-car/?\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=es&\\_x\\_tr\\_hl=es&\\_x\\_tr\\_pto=sc](https://rxmechanic-com.translate.goog/what-does-gdi-mean-on-a-car/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=sc)
- Tacuri, H. P. (2013). *ANÁLISIS DEL SISTEMA DE INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA EN MOTORES DE VOLKSWAGEN*[Tesis de grado, Universidad del Azuay, Cuenca]. Cuenca: Faculta de Ciencia y Tecnología, Escuela de Ingeniería Mecánica. Obtenido de <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/3273/1/10047.pdf>
- Top Motors. (18 de julio de 2012). *Top Motors Servicio Automotriz*. Obtenido de <https://orsaam.blogspot.com/2012/07/glp-de-5ta-generacion-huancayo.html>

VALDEIGLESIAS, F. d. (2007). Estudio de factibilidad económica para la. *Estudio de factibilidad económica para la*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Recuperado el 20 de 02 de 2024, de <http://hdl.handle.net/20.500.14076/660>

Widman. (2007). *El Mantenimiento de Motores de Autos Convertidos a GNC o GLP*.

ZUMBA, L. (04 de 05 de 2022). El alza de la gasolina empuja a los taxistas a migrar al GLP.

*El alza de la gasolina empuja a los taxistas a migrar al GLP*. Obtenido de

<https://www.expreso.ec/actualidad/economia/alza-gasolina-empuja-taxistas-migrar-glp-126821.html>

**ANEXOS**