

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

Tesis

**Análisis de emisiones de gases y el consumo de  
combustible en un motor Toyota 3T convertido a GLP  
en la ciudad de Huánuco**

John Miguel Apelo Silvestre

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Mecánico

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

**INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE  
INVESTIGACIÓN**

**A** : Decano de la Facultad de Ingeniería  
**DE** : NILTON JAVIER ARZAPALO MARCELO  
Asesor de trabajo de investigación  
**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación  
**FECHA** : 02 de Agosto de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

**Título:**  
**ANÁLISIS DE EMISIONES DE GASES Y EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN UN MOTOR TOYOTA 3T CONVERTIDO A GLP EN LA CIUDAD DE HUÁNUCO**

**Autor:**  
JOHN MIGUEL APELO SILVESTRE – EAP. Ingeniería Mecánica

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 18 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores  
Nº de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"): 30 palabras SI  NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

**ASESOR**

Ing. Nilton Javier Arzapalo Marcelo

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por darme la vida, por ser mi fortaleza en momentos de debilidad, que me permite sonreír ante todo mis logros que son resultados de su infinito amor y voluntad.

A los docentes de la facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Continental, por los conocimientos brindados durante la etapa formativa hacia los estudiantes.

Al Ing. Nilton Javier Arzapalo Marcelo, por su orientación y apoyo para la culminación exitosa de esta tesis.

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Maruja y Juvencio, que siempre estuvieron a mi lado de manera incondicional en esta etapa de mi vida, expresarles un profundo agradecimiento por su apoyo, consejos y valores.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

Asesor.....	iv
Agradecimiento .....	v
Dedicatoria .....	vi
Índice de contenidos.....	vii
Lista de tablas.....	x
Lista de figuras.....	xi
Resumen.....	xiii
Abstract.....	xiv
Introducción .....	xv
<b>Capítulo I.....</b>	<b>16</b>
<b>Planteamiento del problema .....</b>	<b>16</b>
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	16
1.1.1. Problema general .....	17
1.1.2. Problemas específicos.....	17
1.2. Objetivos .....	18
1.2.1. Objetivo general.....	18
1.2.2. Objetivos específicos .....	18
1.3. Justificación.....	18
1.3.1. Justificación teórica .....	18
1.3.2. Justificación práctica.....	18
1.3.3. Justificación metodológica.....	19
1.3.4. Justificación social .....	19
1.4. Delimitación del proyecto .....	20
1.4.1. Limitaciones de la investigación.....	20
1.5. Hipótesis.....	20
1.5.1. Hipótesis general.....	20
1.5.2. Hipótesis específicas .....	20
1.6. Variable.....	21
1.6.1. Variable de la investigación.....	21
1.6.2. Cuadro de operacionalización.....	21
1.6.2.1. Variable independiente .....	21
1.6.2.2. Variable dependiente.....	21
<b>Capítulo II .....</b>	<b>22</b>
<b>Marco teórico .....</b>	<b>22</b>

2.1. Antecedentes de la investigación .....	22
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	22
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	23
2.2. Bases teóricas.....	24
2.2.1. Funcionamiento de un motor de cuatro tiempos ciclo Otto .....	24
2.2.2. Motor Toyota 3T .....	27
2.2.3. Sistemas de combustible .....	27
2.2.4. Consumo de combustible .....	29
2.2.5. Emisión de gases vehiculares .....	29
2.2.6. Conversión de GLP (gas licuado de petróleo).....	29
2.2.7. GLP .....	31
2.2.8. Características técnicas del GLP .....	32
2.2.9. Características química y física de los GLP comerciales.....	32
2.2.10. Uso del GLP .....	35
2.2.11. Estado del GLP .....	36
2.2.12. Rango de flamabilidad del GLP .....	36
2.2.13. Ventajas del GLP .....	36
2.2.14. Inconvenientes del GLP .....	37
2.2.15. Por qué el GLP .....	38
2.2.16. Conversión a GLP .....	39
2.2.17. Aspectos legales de la conversión a GLP .....	39
2.2.18. Normas de emisiones máximas permisibles.....	39
2.2.19. Beneficios al usar GLP en los vehículos .....	40
2.2.20. Componentes principales de la conversión a GLP .....	41
2.2.20.1. Reductor – evaporador.....	41
2.2.20.2. Sistemas eléctricos de corte .....	43
2.2.20.3. Mezclador .....	44
2.2.20.4. Tubería semirrígida.....	45
2.2.20.5. Mangueras.....	45
2.2.20.6. Tanque de GLP .....	46
2.2.20.7. Placa de información del tanque .....	48
2.2.20.8. Multiválvulas .....	48
2.2.20.9. Conmutador.....	49
2.2.20.10. Toma de combustible o carga .....	50
2.2.20.11. Componentes del equipo de GLP para motores carburados .....	50
2.2.21. Motor Toyota 3T .....	50

2.2.22. Datos de mantenimiento: motor Toyota 3T .....	51
2.2.23. Funcionamiento del sistema GLP .....	52
<b>Capítulo III.....</b>	<b>53</b>
<b>Metodología de la investigación.....</b>	<b>53</b>
3.1. Materiales y métodos.....	53
3.1.1. Método de la investigación .....	53
3.1.2. Tipo de investigación .....	53
3.1.3. Nivel de investigación.....	54
3.1.4. Diseño de investigación .....	54
3.1.5. Población y muestra o unidad de observación .....	54
3.1.5.1. Población .....	54
3.1.5.2. Muestra .....	55
3.2. Técnicas e instrumentos .....	55
3.3. Materiales.....	55
<b>Capítulo IV .....</b>	<b>56</b>
<b>Resultados.....</b>	<b>56</b>
4.1. Presentación del motor en estudio.....	56
4.1.1. Características técnicas del motor .....	56
4.1.2. Condiciones de funcionamiento normal del motor convencional .....	57
4.1.3. Condiciones de funcionamiento del motor con GLP .....	61
4.1.4. Valores máximos permisibles de gases .....	61
4.1.5. Pruebas realizadas al motor convencional.....	62
4.1.6. Pruebas realizadas al motor utilizando GLP .....	65
4.2. Evaluación de resultados.....	67
4.2.1. Evaluación de gases de escape obtenidos en las pruebas .....	67
<b>Capítulo V.....</b>	<b>73</b>
<b>Discusión e interpretación de resultados .....</b>	<b>73</b>
5.1. Discusiones.....	73
5.2. Interpretación.....	74
5.3. Consecuencias del dual adaptado.....	78
<b>Conclusiones .....</b>	<b>79</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>80</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>81</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>83</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Variable independiente .....	21
Tabla 2. Variable dependiente .....	21
Tabla 3. Propiedades físicas del gas licuado de petróleo .....	33
Tabla 4. Propiedades químicas del gas licuado de petróleo.....	33
Tabla 5. Propiedades físicas del GLP .....	34
Tabla 6. Decreto Supremo N.º 010-2017-Minam .....	40
Tabla 7. Especificaciones de motor Toyota 3T.....	51
Tabla 8. Mantenimiento del motor Toyota 3T.....	51
Tabla 9. Materiales utilizados para la conversión a GLP.....	55
Tabla 10. Valores máximos permisibles de gases del fabricante.....	61
Tabla 11. Datos promedio de límites máximos permisibles para vehículos en circulación a nivel nacional.....	62
Tabla 12. Datos promedio de las pruebas, análisis de gases en el motor a carburación utilizando gasolina 90 octanos .....	64
Tabla 13. Datos promedio de análisis de gases en el motor utilizando GLP .....	65
Tabla 14. Datos promedio de las pruebas de análisis de gases, motor con velocidad variable, utilizando GLP.....	66
Tabla 15. Emisión de hidrocarburos HC en motor a gasolina de 90 octanos .....	67
Tabla 16. Emisión de %CO en el motor a gasolina de 90 octanos .....	68
Tabla 17. Emisión de % CO <sub>2</sub> en el motor a gasolina de 90 octanos .....	69
Tabla 18. Factor lambda .....	70
Tabla 19. Factor lambda A en el motor .....	70
Tabla 20. Valor comparativo del consumo y ahorro de la gasolina vs. GLP.....	71
Tabla 21. Coeficiente lambda y características de la mezcla del motor con gasolina de 90 octanos .....	73
Tabla 22. Coeficiente lambda y características de la mezcla del motor con gasolina de 90 octanos .....	73
Tabla 23. Coeficiente lambda y características de la mezcla del motor con GLP .....	73
Tabla 24. Coeficiente lambda y características de la mezcla del motor con GLP .....	74
Tabla 25. Poder calorífico de los combustibles GLP y gasolina.....	76
Tabla 26. Consecuencias de la mezcla del dual .....	78

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Monoblock del motor de combustión interna.....	25
Figura 2. Pistón del MCI.....	25
Figura 3. Cigüeñal del MCI.....	26
Figura 4. Carter del MCI.....	26
Figura 5. Culata del MCI.....	27
Figura 6. Composición del GLP.....	32
Figura 7. Reductor de gas licuado.....	41
Figura 8. Despiece del reductor de gas licuado.....	42
Figura 9. Reductor de GLP, ubicado en el motor Toyota 3T.....	43
Figura 10. Electroválvula de gasolina y GLP.....	43
Figura 11. Electroválvula de gasolina ubicada en el motor.....	44
Figura 12. Modelo de mezcladores.....	44
Figura 13. Cañería de cobre revestida.....	45
Figura 14. Manguera flexible de agua GLP.....	46
Figura 15. Tanque de combustible.....	46
Figura 16. Posición del tanque.....	47
Figura 17. Placa de temperatura/presión en los cilindros de GLP.....	48
Figura 18. Multiválvulas.....	49
Figura 19. El conmutador.....	49
Figura 20. Componentes de GLP para motores carburados.....	50
Figura 21. Placa de identificación del vehículo Toyota 3T.....	51
Figura 22. Vehículo convertido a GLP.....	52
Figura 23. Analizador MAHA MGT5.....	63
Figura 24. Promedio de emisiones en el motor con gasolina de 90 octanos.....	64
Figura 25. Emisiones de gases promedio en el motor utilizando GLP.....	65
Figura 26. Emisiones de gases HC promedio en el motor utilizando GLP.....	66
Figura 27. Emisiones de gases TIS promedio en el motor utilizando GLP.....	66
Figura 28. Emisiones de gases en el motor utilizando GLP (velocidad variable).....	67
Figura 29. Emisión de hidrocarburos HC (pruebas TIS) motor a carburación.....	68
Figura 30. Emisión de hidrocarburos HC en el motor a carburación utilizando combustible gasolina o GLP.....	68
Figura 31. Emisión %CO <sub>2</sub> en el motor a carburación utilizando gasolina súper o GLP.....	69
Figura 32. Emisión %CO <sub>2</sub> en el motor utilizando gasolina o GLP.....	69
Figura 33. Componentes de combustión.....	74
Figura 34. Coeficiente lambda A.....	74

Figura 35. Combustión completa.....	77
Figura 36. Combustión incompleta.....	78

## RESUMEN

El objetivo principal de esta tesis es llevar a cabo la adaptación de un sistema de combustible de gasolina a GLP (gas licuado de petróleo) como medio de energía para un motor de combustión interna de marca Toyota 3T, para luego realizar el análisis de emisiones de gases y el consumo de combustible en el motor convertido a GLP en la ciudad de Huánuco. Se utilizó la metodología de observación directa con ese fin, se llevó a cabo una investigación básica con un nivel descriptivo simple, para identificar los componentes o elementos de conversión necesarios para realizar la conversión, se seleccionó y adquirió el sistema por adaptar de acuerdo con el motor en el que se llevó a cabo el trabajo. Luego, se procedió con instalar los distintos componentes del sistema, lo que implicó hacer ajustes en los sistemas de admisión y refrigeración del motor original. Se realizaron pruebas de rendimiento del motor utilizando el sistema de combustible recientemente implementado. Se ajustaron las calibraciones de ralentí y la mezcla de combustible tanto en altas como en bajas revoluciones, con el objetivo de alcanzar un funcionamiento óptimo del motor. Se llevaron a cabo pruebas de cambio en tiempo real entre los sistemas de GLP y gasolina mientras el motor se encontraba en funcionamiento. Al finalizar, se realizó un análisis de emisiones para identificar las variaciones fundamentales entre ambos sistemas. Los sistemas de combustible, tanto para GLP como para gasolina, funcionan de forma independiente, ajustándose según las preferencias del conductor. Se obtuvo como uno de los resultados que el bióxido de carbono CO<sub>2</sub> baja en un 94 % en ralentí y 8,56 % en velocidad de cruce, respectivamente, esto hace que el motor Toyota 3T convertido a gas licuado de petróleo (GLP) reduzca la emisión de CO<sub>2</sub>, concluyendo en varias ventajas, entre ellas, una combustión más limpia y un costo del 51.12 % menor en comparación con la gasolina, lo cual representa un aporte muy importante en este trabajo de investigación.

La adopción de esta conversión del tipo de combustible se realizó gracias a una investigación exhaustiva sobre los temas pertinentes y la implementación de elementos que pudieron adquirirse mediante la importación de componentes de países que permiten el uso de estos equipos.

**Palabras claves:** bicomcombustible, conversión a GLP, gas licuado, modificación motora

## ABSTRACT

The main objective of this thesis is to adapt an LPG (liquefied petroleum gas) fuel system as an energy source for a Toyota 3T internal combustion engine through carburation, followed by an analysis of gas emissions and fuel consumption in the Toyota 3T engine converted to LPG in the city of Huánuco. The methodology of direct observation was used for this purpose, carrying out an applicative investigation to identify the components or conversion elements necessary for the conversion. The system to be adapted was selected and tested according to the engine, and the installation of the system components required adjustments to the original engine's intake and cooling systems. Engine performance tests were conducted using the newly implemented fuel system. Idle calibrations and fuel mixture were adjusted at both high and low revs to achieve optimal engine operation. Real-time switching tests between the LPG and gasoline systems were conducted while the engine was running. Finally, an emissions analysis was carried out to identify the fundamental variations between the two systems. Both the LPG and gasoline fuel systems operate independently, adjusting according to driver preferences. One of the results obtained was a 94% reduction in carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions at idle and 8.56% at cruising speed, respectively. This demonstrates that converting the Toyota 3T engine to Liquefied Petroleum Gas (LPG) reduces CO<sub>2</sub> emissions, leading to several advantages, including cleaner combustion and a 40% lower cost compared to gasoline. This research work was possible thanks to exhaustive research on relevant topics and the implementation of elements that could be acquired through the importation of components from countries allowing the use of these systems.

**Keywords:** dual-fuel, engine modification, liquefied gas, LPG conversion

## INTRODUCCIÓN

En el contexto actual, el consumo de combustible representa uno de los principales desafíos tanto para los propietarios de vehículos como para el medio ambiente. El incremento en los precios de la gasolina y la creciente preocupación por el impacto ambiental han impulsado la búsqueda de alternativas más eficientes y sostenibles en el sector automotriz. En este sentido, la conversión a GLP se ha destacado como una opción para reducir el consumo de combustible y minimizar los costos operativos de los vehículos.

En el departamento de Huánuco, la empresa Automotores Elías E. I. R. L. ha incursionado en el mercado de conversiones a GLP, brindando servicios de alta calidad en la conversión, reparación y mantenimiento de vehículos gasolineros convertidos a GLP, así como, vehículos originales adaptados para funcionar con este combustible alternativo. Con la visión de convertirse en el taller líder de conversiones a GLP en la ciudad de Huánuco, Automotores Elías E. I. R. L. se ha propuesto mejorar la calidad de vida de sus clientes y contribuir con la preservación del medio ambiente.

En este contexto, el presente trabajo de investigación se centra en el estudio de la conversión a GLP en el vehículo Toyota 3T. El objetivo principal es analizar la viabilidad y efectividad de esta conversión, considerando los aspectos técnicos y económicos.

Uno de los principales problemas que enfrenta el vehículo Toyota 3T es el alto consumo de combustible, lo cual genera un elevado costo de operación. En busca de una solución a este problema, la conversión a GLP se presenta como una alternativa que puede contribuir a reducir el consumo de combustible, mejorar la eficiencia del motor y prolongar la vida útil del vehículo.

A lo largo de este trabajo, se aborda el análisis de los beneficios esperados, como el ahorro de combustible y reducción de costos operativos, así como, los posibles desafíos técnicos, económicos y ambientales relacionados con la conversión a GLP.

Mediante esta investigación, se buscó proporcionar una base sólida para la toma de decisiones informadas en relación con la conversión a GLP en el vehículo Toyota 3T. Se espera que los resultados obtenidos contribuyan a mejorar la eficiencia y sostenibilidad del vehículo ofreciendo una alternativa económica.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. Planteamiento y formulación del problema**

Huánuco es una de las ciudades del país que cuenta con cantidad de vehículos de categorías M1, es decir, autos colectivos que en su mayoría prestan servicios de transporte al público y pasajeros para los respectivos traslados diarios a los diferentes puntos de trabajo, estos vehículos en su mayoría tienen motores de combustión interna que consumen gasolina de 90 octanos. Si se habla de consumo de combustible, estos económicamente representan un costo elevado de inversión diaria para los conductores, que luego del recorrido durante el día, los productos de sus ganancias por sus labores son reducidas o bajas dado que la inversión por el costo del combustible no le permite obtener mejores ganancias convirtiéndose, así mismo, en una dependencia del uso de combustibles fósiles que generan emisiones de gases que contaminan el medio ambiente de la ciudad, convirtiéndose todo ello en un problema y necesidad urgente de solucionar. Es por lo que se busca mejorar estas condiciones con mejores alternativas y que sean sostenibles en el sector automotriz, esto se ha vuelto un tema importante, en estas circunstancias, la conversión de motores de combustión de sistema de combustible de gasolina a GLP ha surgido como una buena opción para reducir el consumo de combustible como las emisiones de gases contaminantes.

Los autos colectivos generalmente vienen equipados con motores Toyota 3T que en su mayoría representa una parte importante del parque automotor en diversos distritos de la ciudad de Huánuco, y su conversión a GLP tendría un impacto significativo en términos de ahorro de combustible y emisiones de gases.

Por lo tanto, surge la necesidad de realizar una comparación adecuada y rigurosa entre el consumo de combustible y las emisiones de gases contaminantes antes y después de la conversión del sistema de combustible de gasolina a GLP en motores Toyota 3T en el departamento de Huánuco, este estudio no solo proporciona información necesaria para los propietarios de los vehículos y la industria automotriz, sino que también contribuye a la toma de decisiones informadas por parte de las autoridades locales en relación con la promoción de alternativas más sostenibles en el sector automotriz en la ciudad de Huánuco y, potencialmente, servir de base para futuras investigaciones y políticas orientadas a la reducción de la huella ambiental de los vehículos en circulación.

#### **1.1.1. Problema general**

¿En qué medida el cambio al sistema de combustible GLP reduce la emisión de gases contaminantes y el gasto en combustible en un motor Toyota 3T convertido a GLP en la ciudad de Huánuco?

#### **1.1.2. Problemas específicos**

- ¿En qué medida el cambio al sistema de combustible GLP reduce el gasto en combustible en carretera en un motor Toyota 3T convertido a GLP en la ciudad de Huánuco?
- ¿En qué medida el cambio al sistema de combustible GLP reduce el gasto en combustible en ciudad en un motor Toyota 3T convertido a GLP en la ciudad de Huánuco?
- ¿En qué medida el cambio al sistema de combustible GLP reduce la emisión de CO<sub>2</sub> en un motor Toyota 3T convertido a GLP en la ciudad de Huánuco?
- ¿En qué medida el cambio al sistema de combustible GLP reduce la emisión de CO en un motor Toyota 3T convertido a GLP en la ciudad de Huánuco?
- ¿En qué medida el cambio al sistema de combustible GLP reduce la emisión de NO<sub>x</sub> en un motor Toyota 3T convertido a GLP en la ciudad de Huánuco?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Demostrar que el cambio del sistema de gasolina al sistema de combustible GLP reduce la emisión de gases contaminantes y el gasto en combustible en un motor Toyota 3T en la ciudad de Huánuco.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Probar que el cambio al sistema de combustible GLP reduce el gasto en combustible en carretera en un motor Toyota 3T convertido a GLP en la ciudad de Huánuco.
- Verificar que el cambio al sistema de combustible GLP reduce el gasto en combustible en ciudad en un motor Toyota 3T convertido a GLP en la ciudad de Huánuco.
- Evaluar que el cambio al sistema de combustible GLP reduce la emisión de CO<sub>2</sub> en un motor Toyota 3T convertido a GLP en la ciudad de Huánuco.
- Comprobar que el cambio al sistema de combustible GLP reduce la emisión de CO en un motor Toyota 3T convertido a GLP en la ciudad de Huánuco.
- Determinar que el cambio al sistema de combustible GLP reduce la emisión de NO<sub>x</sub> en un motor Toyota 3T convertido a GLP en la ciudad de Huánuco.

## **1.3. Justificación**

### **1.3.1. Justificación teórica**

Esta investigación es relevante teóricamente porque aborda un vacío en la literatura académica sobre la conversión de sistemas de combustibles en vehículos Toyota 3T, hasta la fecha, existe una falta de estudios que analicen específicamente los efectos de la conversión de gasolina a GLP en esta categoría de vehículos en la ciudad de Huánuco. Al llenar este vacío, esta investigación contribuye al entendimiento de las implicaciones teóricas de dichas conversiones.

### **1.3.2. Justificación práctica**

Esta investigación es significativa desde una perspectiva práctica porque asiste a los propietarios de vehículos Toyota 3T en la ciudad de Huánuco en la toma de decisiones informadas sobre la conversión de su sistema de combustible. Los hallazgos proporcionan información valiosa sobre el impacto en el consumo de combustible y las emisiones de gases,

permitiendo a los propietarios evaluar los beneficios y considerar la conversión como una opción viable y económica.

Desde un punto de vista técnico, los vehículos que utilizan GLP demuestran una notable eficiencia y rendimiento en comparación con otras opciones de combustibles alternativos. El GLP proporciona un mayor octanaje en el motor en comparación con la gasolina, resultando en un funcionamiento más suave para los vehículos convertidos a GLP con encendido eléctrico. Este sistema contribuye a prevenir el deterioro, reduce la necesidad de mantenimiento, disminuye la frecuencia de cambio de aceite y minimiza la formación de hollín, así como la fricción y pérdida de viscosidad del aceite.

El empleo de GLP también ejerce un impacto favorable en la película de las paredes de los cilindros, mitigando un problema habitual en motores a gasolina durante el arranque en frío. Es crucial llevar a cabo una instalación técnica apropiada del equipo GLP para asegurar el rendimiento óptimo del motor, evitando posibles accidentes, daños o ineficiencias a lo largo de su vida útil. Esto no solo garantiza la seguridad de las personas, sino también la integridad del propio vehículo.

### **1.3.3. Justificación metodológica**

Los métodos de investigación seleccionados, como la observación directa, la revisión de registros y las entrevistas, son apropiados para este estudio a su capacidad para recopilar datos precisos y contextuales sobre los vehículos Toyota 3T en la ciudad de Huánuco. La observación permitió la verificación visual de los sistemas de combustibles, mientras que las entrevistas proporcionaron información cualitativa sobre las experiencias de los propietarios con la conversión.

### **1.3.4. Justificación social**

Esta investigación puede tener un impacto social significativo al contribuir con la reducción de emisiones contaminantes y al fomento de prácticas más sostenibles en el sector del transporte en la ciudad de Huánuco. Al proporcionar datos sobre la conversión de gasolina a GLP y sus efectos en el medio ambiente, esta investigación podría respaldar futuras políticas o incentivos para promover tecnologías de combustible más limpio y reducir la huella ambiental en la ciudad de Huánuco.

## **1.4. Delimitación del proyecto**

### **1.4.1. Limitaciones de la investigación**

Este estudio se limita geográficamente a la ciudad de Huánuco y temporalmente a un periodo de julio 2023 a febrero 2024, para analizar la conversión de sistemas de combustible de gasolina a GLP en vehículos Toyota 3T. Esta delimitación podría afectar la generalización de los resultados a otras zonas geográficas y a largo plazo. La disponibilidad de datos y el tamaño de las muestras también son limitados, lo que podría influir en la representatividad de los resultados.

Además, factores como las condiciones de conducción y el mantenimiento del vehículo no se consideran en este estudio. Estas limitaciones son importantes para tener en cuenta al interpretar los resultados.

## **1.5. Hipótesis**

### **1.5.1. Hipótesis general**

El cambio al sistema de combustible GLP reduce la emisión de gases contaminantes y el gasto en combustible en un motor Toyota 3T convertido a GLP en la ciudad de Huánuco.

### **1.5.2. Hipótesis específicas**

- El cambio al sistema de combustible GLP reduce el gasto en combustible en carretera en un motor Toyota 3T convertido a GLP en la ciudad de Huánuco.
- El cambio al sistema de combustible GLP reduce el gasto en combustible en ciudad en un motor Toyota 3T convertido a GLP en la ciudad de Huánuco.
- El cambio al sistema de combustible GLP reduce la emisión de CO<sub>2</sub> en un motor Toyota 3T convertido a GLP en la ciudad de Huánuco.
- El cambio al sistema de combustible GLP reduce la emisión de CO en un motor Toyota 3T convertido a GLP en la ciudad de Huánuco.
- El cambio al sistema de combustible GLP reduce la emisión de NO<sub>x</sub> en un motor Toyota 3T convertido a GLP en la ciudad de Huánuco.

## 1.6. Variable

### 1.6.1. Variable de la investigación

#### Variable independiente

Sistema de combustible del motor Toyota 3T

#### Variable dependiente

Gasto en combustible en un motor Toyota 3T

Emisión de gases contaminantes en un motor Toyota 3T

### 1.6.2. Cuadro de operacionalización

#### 1.6.2.1. Variable independiente

**Tabla 1. Variable independiente**

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Técnicas e instrumentos
Sistema de combustible del motor Toyota 3T	El sistema de combustible utilizado en los vehículos Toyota 3T en función del tipo de combustible	El tipo de combustible con el que operan los vehículos Toyota 3T	Tipo de combustible.	<ul style="list-style-type: none"><li>Gasolina</li><li>GLP</li></ul>	Encuestas a los propietarios de los vehículos

#### 1.6.2.2. Variable dependiente

**Tabla 2. Variable dependiente**

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Técnicas e instrumentos
Gasto en combustible en motor Toyota 3T	La cantidad de combustible utilizada por el vehículo	El número de litros de combustible consumidos por kilómetro recorrido (L/km)	<ul style="list-style-type: none"><li>Gasto de combustible en ciudad.</li><li>Gasto de combustible en carretera.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Litros de combustible por kilómetro en tráfico urbano.</li><li>Litros de combustible consumidos por kilómetro en carretera.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Registro de gasto de combustible del vehículo.</li><li>Pruebas de medición en condiciones de flujo de combustible</li></ul>
Emisiones de gases contaminantes en un motor Toyota 3T	Los gases liberados por el escape del vehículo durante su funcionamiento	La concentración de gases específicos en partes por millón (ppm) en los gases de escape	<ul style="list-style-type: none"><li>Emisiones de CO<sub>2</sub>.</li><li>Emisiones de CO</li><li>Emisiones de NO<sub>x</sub>.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Concentración de CO<sub>2</sub> en ppm.</li><li>Concentración de CO en ppm.</li><li>Concentración de NO<sub>x</sub> en ppm.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Análisis de gases de escape.</li></ul>

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de la investigación**

##### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

Menéndez (2019), en su tesis «Proyecto de conversión a GNC/GLP de un vehículo con MCI de combustible líquido como alternativa a la hibridación eléctrica», concluye que la conversión del vehículo es un proceso relativamente sencillo. Para llevar a cabo esta transformación, se requiere la instalación de depósitos diseñados específicamente para el nuevo combustible. En el caso del gas natural comprimido (GNC), el depósito debe ser capaz de soportar presiones significativamente altas, lo que hace esencial el uso de materiales resistentes a dichas presiones. Además, es necesario incorporar una toma de llenado con una válvula que impida el retorno del combustible durante el llenado, incrementando así la seguridad del sistema.

Desde el depósito, se instalarán tuberías que transporten el combustible hacia el motor. Estas tuberías deben ser diseñadas para soportar tanto altas presiones como la fatiga asociada. En el caso específico del GNC, será necesario incorporar un conmutador para seleccionar el tipo de combustible en cada momento. Además, se requerirá un indicador de nivel para monitorear la cantidad de combustible gaseoso disponible en el sistema. Este conjunto de elementos asegura un funcionamiento seguro y eficiente del vehículo convertido.

Sánchez (2) en su tesis «Transformación de un vehículo automóvil mediante el cambio de combustible, de gasolina a LPG», concluye que «el estudio y definición de las características de la instalación y posterior puesta en marcha y comprobación de los kit de adaptación para vehículos automóviles, furgonetas y camiones ligeros a un combustible alternativo como es el

GLP, con el fin de obtener un ahorro en combustible y una disminución de las partículas contaminantes».

Chaparro (3), en su tesis «Evaluación del uso de gas licuado de petróleo en vehículos automotores convencionales sobre territorio colombiano», señala que una parte significativa de la contaminación atmosférica global proviene del uso de combustibles derivados del petróleo en vehículos automotores. Estos combustibles son los principales responsables de la emisión de óxidos de carbono, nitrógeno y otros compuestos volátiles perjudiciales para el medio ambiente. No obstante, en los últimos años, ha surgido un interés considerable en la adopción del GLP como una alternativa de combustible, e incluso como una opción transitoria hacia fuentes de energía automotriz más amigables que no generen emisiones de compuestos de carbono al medio ambiente.

Este tema ha sido objeto de debate, abordándose desde enfoques experimentales, de modelización y simulación para evaluar el rendimiento y la eficiencia del motor cuando se implementa el GLP como fuente de energía. En este trabajo se propone el diseño y las normativas para la conversión de vehículos automotores que usan gasolina hacia el uso de GLP, así como para las estaciones de servicio y el establecimiento de un estándar de calidad del GLP para su uso en vehículos automotores colombianos. Se pretende evidenciar las variables de calidad y las propiedades fisicoquímicas que garanticen un alto rendimiento de los vehículos en territorio colombiano, establecer las especificaciones técnicas para vehículos y estaciones de servicio para la implementación del combustible, y comparar las emisiones del uso del GLP respecto a la gasolina.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Bejarano (4), en su tesis «Efectos que produce la conversión a GLP en el performance de los motores de marca Toyota en Huancayo», encontró que al reducirse el ralentí en 51 rpm, con un promedio inicial de 750 rpm, y aumentar la potencia del motor en 10.5 CV, partiendo de una potencia inicial de 90 CV, la performance general se vio afectada negativamente. Este estudio tiene como objetivo contribuir a la sensibilización y concientización de los propietarios de vehículos en el sector automotriz, permitiéndoles identificar los problemas asociados con el funcionamiento del motor tras la conversión a GLP. Los resultados demuestran que la conversión a GLP disminuye el rendimiento de los motores de marca Toyota en Huancayo cuando se utiliza un combustible gaseoso como alternativa. Asimismo, se espera que esta investigación, de carácter exploratorio, fomente futuros estudios en este ámbito.

Catalán (5), en su tesis titulada «Estudio y análisis comparativo de un sistema de gasolina empleando GLP para optimizar la combustión interna de un motor Otto en un montacarga, Arequipa – Perú», tiene como objetivo realizar un estudio comparativo entre los sistemas de combustible de gasolina y GLP para mejorar la combustión interna en motores Otto de montacargas. Este estudio se clasifica tanto como descriptivo como comparativo, evaluando cuál de los combustibles proporciona un mejor rendimiento para las tareas específicas realizadas por los montacargas. El análisis se centró en el impacto de cada tipo de combustible en el motor, revelando que, aunque ambos combustibles presentan ventajas y desventajas, el GLP tiene efectos negativos en el mantenimiento del motor, ya que no lubrica de manera efectiva todas las piezas del motor y puede acumularse en ciertas áreas. En conclusión, el estudio determinó que los motores alimentados con gasolina ofrecen beneficios superiores en comparación con aquellos alimentados con GLP.

Por su parte, Cabrejos (6) señala que en Chiclayo hay 25,000 vehículos que utilizan gas, de los cuales 17,000 son taxis. En muchos casos, estos vehículos enfrentan problemas de desabastecimiento del combustible, lo que afecta su capacidad de operar de manera continua.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Funcionamiento de un motor de cuatro tiempos ciclo Otto**

El motor es una máquina diseñada para transformar la energía térmica generada por la combustión de un combustible, en este caso, gasolina, en energía mecánica. Esta conversión se lleva a cabo a través de una serie de componentes, tanto fijos como móviles, que trabajan en conjunto para generar el movimiento. Entre estas piezas, las más destacadas son:

#### **Partes principales**

**Bloque:** Esta es la parte fundamental del motor, ya que en ella se encuentran ubicados los cilindros, donde se desplazarán los pistones. Además, en su interior cuenta con una red de canales para garantizar la lubricación y refrigeración adecuada del motor. En la figura 1 se muestra el bloque del motor de combustión.



**Figura 1. Monoblock del motor de combustión interna**  
Tomada de: <https://www.actualidadmotor.com/el-bloque-motor-y-la-culata/>

### **Pistones**

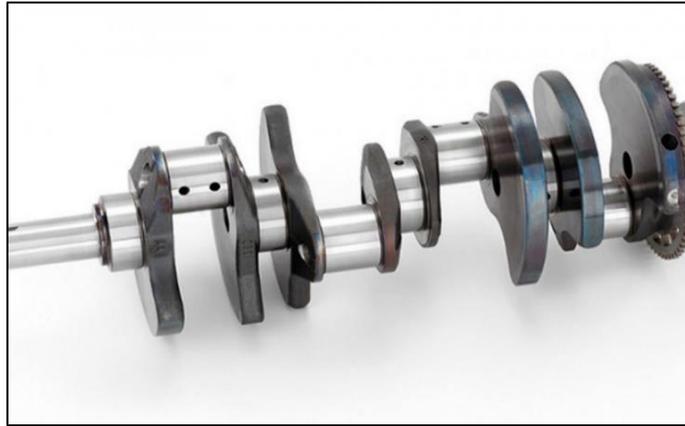
Los pistones, fabricados como una única pieza metálica hecha a medida, están diseñados para encajar de manera precisa dentro de los cilindros. Estos pistones se ajustan con cierta holgura que se completa gracias a los anillos de pistón. La función principal de los pistones es recibir la fuerza generada por la combustión de los gases y transmitirla hacia el cigüeñal mediante las bielas. Se muestra en la figura 2.



**Figura 2. Pistón del MCI**  
Tomada de: <https://www.actualidadmotor.com/el-bloque-motor-y-la-culata/>

### **Cigüeñal**

El cigüeñal, elaborado en metal y con una forma irregular, cumple la función de recibir la fuerza generada por la combustión a través del conjunto biela-pistón. Además, su tarea incluye la sincronización del movimiento de estos componentes. El cigüeñal mostrado en la figura 3, desempeña un papel crucial al transformar el movimiento rectilíneo uniforme en un movimiento rotativo en el motor.



**Figura 3. Cigüeñal del MCI**

*Tomada de: <https://www.actualidadmotor.com/el-bloque-motor-y-la-culata/>*

### **Cárter**

El cárter, una pieza con forma de bañera situada en la parte inferior del motor, cumple varias funciones cruciales. Además de servir como tapa para la sección inferior del motor, actúa como depósito para el aceite de lubricación. Su diseño y ubicación permiten que el cárter también contribuya al enfriamiento del aceite, dado que está en contacto directo con el aire. Se muestra en la figura 4.



**Figura 4. Carter del MCI**

*Tomada de: <https://www.actualidadmotor.com/el-bloque-motor-y-la-culata/>*

### **Culata**

La pieza en cuestión es la culata, situada en la parte superior del motor. Su función principal es servir como tapa para los cilindros, formando así la cámara de combustión. En la culata se encuentran alojadas las válvulas y el eje de levas, el cual se encarga de regular su movimiento.



**Figura 5. Culata del MCI**

*Tomada de: <https://www.actualidadmotor.com/el-bloque-motor-y-la-culata/>*

### **2.2.2. Motor Toyota 3T**

El motor 3T-C 1980 Toyota es parte de la línea del motor de Toyota «T», el motor 3T-C es conocido por sus controles de emisión (EGR). El motor Toyota 3T-C es más comúnmente conocido por ser el motor del Toyota Corolla, Corona y líneas Célida de vehículos.

### **3T-C Especificaciones del motor**

El motor tiene un desplazamiento de 1770 cc, y tiene un agujero por el movimiento de 3,35 pulgadas por 3,07 pulgadas. El motor 3T-C también tiene la tecnología DOHC para crear un motor funcionando sin problemas. El motor 3T-C también utiliza la tecnología OHC.

### **2.2.3. Sistemas de combustible**

Los sistemas de combustible en motores de combustión interna desempeñan un papel crucial en el suministro de combustible al motor para su combustión eficiente.

El tipo de sistema de combustible (carburación o inyección) y la presencia de tecnologías modernas, como la inyección directa, pueden variar según el tipo de motor y la aplicación del vehículo. Los motores modernos tienden a utilizar sistemas de inyección de combustible debido a su mayor eficiencia y capacidad de control preciso.

Aquí hay una descripción general de los componentes y el funcionamiento de un sistema de combustible típico:

**Tanque de combustible:** Almacena el combustible, generalmente gasolina o diésel, y se encuentra en la parte trasera del vehículo.

**Bomba de combustible:** Se encarga de trasladar el combustible desde el tanque hasta el motor. Puede estar ubicada dentro del tanque o en la línea de combustible.

**Filtro de combustible:** Retiene impurezas y partículas presentes en el combustible para evitar que lleguen al motor y causen daños.

**Regulador de presión:** Mantiene la presión del combustible en un nivel constante antes de ingresar al sistema de inyección o al carburador.

**Inyectores de combustible (en motores de inyección):** Rociadores que liberan precisamente el combustible en la cámara de combustión, basándose en la cantidad y el momento adecuado, controlados electrónicamente.

**Carburador (en motores de carburación):** Mezcla aire y combustible en proporciones adecuadas antes de que ingresen a la cámara de combustión.

**Colector de admisión:** Canaliza la mezcla de aire y combustible hacia las cámaras de combustión.

**Válvulas de admisión y escape:** Regulan el flujo de la mezcla de aire y combustible hacia y desde la cámara de combustión.

**Sensor de oxígeno (O<sub>2</sub>):** Monitorea el nivel de oxígeno en los gases de escape y proporciona retroalimentación al sistema de gestión del motor para ajustar la mezcla aire-combustible.

**Sistema de escape:** Elimina los gases de escape resultantes de la combustión.

**Unidad de control del motor (ECU):** Controla y gestiona electrónicamente el sistema de combustible, ajustando la mezcla y otros parámetros para optimizar la eficiencia y reducir las emisiones.

#### **2.2.4. Consumo de combustible**

El consumo de combustible para un automóvil o un vehículo personal se refiere a la cantidad de combustible que dicho vehículo utiliza durante un determinado período de tiempo o distancia recorrida. Se expresa comúnmente en términos de la cantidad de combustible consumido por unidad de distancia, como kilómetros por litro (km/l) o litros por 100 kilómetros (l/100 km). El consumo de combustible puede variar dependiendo de varios factores, como el tipo de vehículo, el motor, las condiciones de conducción (como la velocidad, la carga del vehículo y el terreno), el estilo de conducción, la calidad del combustible y el mantenimiento del vehículo (7).

El consumo de combustible de un vehículo puede depender de varios factores, entre ellos:

**Tipo de combustible:** El tipo de combustible utilizado también puede afectar la eficiencia del vehículo. Por ejemplo, los vehículos convertidos a GLP tienden a ser más económicos y eficientes en emisiones de gases que los vehículos de combustión interna a gasolina en términos de uso de energía.

Es importante tener en cuenta que las cifras de eficiencia de combustible proporcionadas por los fabricantes son generalmente estimaciones y el consumo real puede variar según las condiciones de conducción y otros factores.

#### **2.2.5. Emisión de gases vehiculares**

La emisión de gases contaminantes vehiculares se refiere a la liberación de gases nocivos al medio ambiente producidos por la combustión de combustibles en el motor de un vehículo. Estas emisiones incluyen una variedad de contaminantes atmosféricos, como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), hidrocarburos (HC), así como, partículas en suspensión y otros compuestos químicos. La cantidad y composición de las emisiones vehiculares dependen de varios factores, como el tipo de combustible utilizado, el diseño y la eficiencia del motor, las condiciones de conducción y el mantenimiento del vehículo. La regulación y control de las emisiones vehiculares son importantes para reducir su impacto negativo en el medio ambiente y la salud humana (8).

#### **2.2.6. Conversión de GLP (gas licuado de petróleo)**

La conversión a GLP de un motor de combustión interna implica modificar el sistema de combustible del vehículo para que pueda utilizar GLP como combustible en lugar de

gasolina o diésel. Aquí hay un resumen de los pasos comunes para realizar una conversión a GLP:

### **Inspección del vehículo**

Realizar una inspección detallada del vehículo para evaluar su idoneidad para la conversión. Algunos vehículos pueden no ser adecuados para convertirse en GLP debido a su diseño o especificaciones.

### **Selección del sistema de conversión**

Elegir un sistema de conversión GLP. Hay diferentes tipos de sistemas, como sistemas de inyección de GLP, sistemas de carburación y sistemas bifuel (que permiten el uso tanto de GLP como de gasolina).

### **Instalación del tanque de GLP**

Instalar un tanque de almacenamiento de GLP en el vehículo. El tanque suele colocarse en el maletero o en otro lugar específico designado para ello.

### **Instalación del sistema de inyección o carburación**

Instalar el sistema de inyección de GLP o el sistema de carburación, según la elección realizada en el paso 2. Esto implica la instalación de inyectores de GLP, reguladores de presión y otros componentes asociados.

### **Conexión con el sistema de encendido y control del motor**

Conectar el sistema de GLP al sistema de encendido y control del motor. Esto permite que el sistema de GLP funcione en conjunto con el sistema original del vehículo.

### **Ajustes y calibración**

Realizar ajustes y calibración en la unidad de control del sistema de GLP para garantizar un rendimiento óptimo y eficiente. Esto puede incluir ajustar la mezcla de aire y GLP, así como, la sincronización con el motor.

### **Pruebas y homologación**

Realizar pruebas en el vehículo para asegurarse de que la conversión a GLP funcione correctamente. En algunos lugares, puede ser necesario cumplir con ciertos estándares y obtener la homologación legal para la conversión.

### **Formación del conductor**

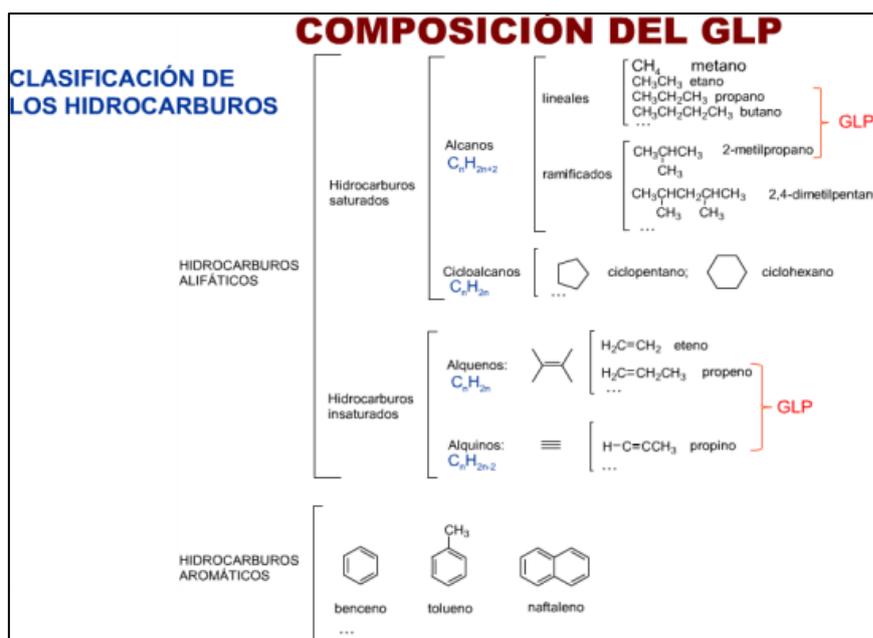
Proporcionar formación al conductor sobre el uso seguro y adecuado del sistema de GLP, así como, sobre cualquier procedimiento de emergencia.

Es fundamental que la conversión a GLP sea realizada por profesionales capacitados y en conformidad con las regulaciones locales. Además, es importante asegurarse de que la instalación cumpla con las normativas de seguridad para prevenir posibles riesgos asociados con el uso de GLP.

#### **2.2.7. GLP**

El GLP, o gas licuado de petróleo, es un derivado del petróleo compuesto por una mezcla de hidrocarburos obtenidos a través del proceso de refinación. Principalmente, está constituido por propano ( $C_3H_8$ ) y butano ( $C_4H_{10}$ ), con aproximadamente un 60 % de butano y un 40 % de propano. En su estado de almacenamiento, el GLP se encuentra en fase líquida, pero se convierte en gas cuando se introduce en el motor. Durante la combustión, el GLP utiliza aire atmosférico, que tiene una proporción de 3.76 partes de nitrógeno por cada parte de oxígeno, generando gases de combustión que se expulsan al medio ambiente.

El GLP es incoloro e inodoro; por ello, se le añaden compuestos odorantes para garantizar la seguridad del usuario y de los equipos. Aunque el GLP se transporta en estado líquido, se utiliza en estado gaseoso. A presiones relativamente bajas, de 4 a 12 bares, el GLP se mantiene líquido. A presión atmosférica y temperatura ambiente (1 atmósfera y 20 °C), el GLP es gaseoso, pero para facilitar su almacenamiento y transporte, se licúa y vaporiza, permitiendo su uso como combustible en calderas y motores. La figura 6 ilustra la composición del GLP.



*Figura 6. Composición del GLP*

*Tomada de: [www.eii.uva.es/~organica/quimica2/material/tema-2.doc](http://www.eii.uva.es/~organica/quimica2/material/tema-2.doc)*

### 2.2.8. Características técnicas del GLP

Las características de alta pureza y uniformidad en los componentes del gas propano facilitan el ajuste preciso de la cantidad de aire necesaria para alcanzar una combustión estequiométrica. Una ventaja destacada del propano es que está prácticamente libre de azufre y otros contaminantes, como metales pesados. Debido a su pureza y a su estado gaseoso, el propano es particularmente ventajoso en aplicaciones de calefacción directa y en instalaciones donde su almacenamiento en depósito, junto con su ausencia de azufre, proporciona beneficios significativos frente a otros combustibles.

- Almacenamiento y transporte: el propano se almacena y transporta en estado líquido, bajo presión en tanques.
- Composición: no contiene plomo.
- Estado físico: permanece en estado gaseoso a temperatura ambiente y presión atmosférica.

### 2.2.9. Características química y física de los GLP comerciales

Como se ha mencionado, el GLP es un hidrocarburo que, bajo condiciones normales de presión y temperatura, se encuentra en estado gaseoso. Sin embargo, a temperatura ambiente y una presión moderadamente alta, puede licuarse. En la tabla 4 se muestran las propiedades químicas del GLP.

**Tabla 3. Propiedades físicas del gas licuado de petróleo**

GAS	Unidades	G. Natural	Butano	Propano
FÓRMULA		CH <sub>4</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>
PRESIÓN NORMAL A TEMP. AMB	Kg/cm <sup>2</sup>	8	2	9
PUNTO DE EBULLICIÓN	°C	-160	-1	-42
PESO ESPECÍFICO	g/L	551	584	508
PODER CALORÍFICO	Cal/Kg		11823	11,657
	Kjoul/Kg		1.464	1.276
	BTU/lb	1000	3175	2500
Gravedad especifica de Liquido	Relación agua	0.551	.582	.504
Gravedad especifica de vapor	Relación aire	0.61	1.50	2.01
gasto (vapor)	m <sup>3</sup> /L	.6	.23	.27
Limites de flamabilidad	%	4.5-14.5	1.55-8.60	2.15-9.60
Temp de ignición	°C	650	482-583	493-604
Maxima temp de flama	°C	1700	1991	1980

*Nota: unidades; gas natural; butano; butano*

*Tomada de: <https://www.gplatam.com/propiedades-fisicas-glp/>*

**Tabla 4. Propiedades químicas del gas licuado de petróleo**

	Puro	Comercial	Puro	Comercial		
Fórmula química	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>		C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>		-	
Temperatura crítica	96,8		152		°C	
Presión crítica	42		37,5		kg/cm <sup>2</sup>	
Temp. ebullición (a 1 kg/cm <sup>2</sup> )	-42,1	-40	-0,5	-10	°C	
Limites inflamabilidad en aire	superior	9,5	10	8,5	8,8	%
	inferior	2,2	2,2	1,9	1,8	%
Temperatura inflamación	466	535	405	525	°C	
Peso molecular	44	~46	58	~58		
LIQUIDO	Masa volumétrica a 15° C	0,506		0,582		kg/l (g/cm <sup>3</sup> )
	Densidad (peso específico 20° C)		0,505		0,580	kg/l (g/cm <sup>3</sup> )
	Viscosidad dinam. (15° C)	1060		1800		micropoise
	Calor específico (C.N.)	0,58		0,55		kcal/kg °C
	Poder calorífico superior	12040	11900	11842	11800	kcal/kg
	Poder calorífico inferior	11080	11000	10930	10900	kcal/kg
	Calor latente vaporización	101,7		92,2		kcal/kg
GAS	Viscosidad (20° C)	80		74		micropoise
	Densidad rel. (15° C)	1,52	1,43	2,06	1,86	-
	(a presión atmosférica) (20° C)		1,85		2,41	-
	Masa volumétrica (15° C)	1,86		2,46		kg/m <sup>3</sup>
	Calor específico o pres. cte. (a 15° C) a vol. cte.	0,390		0,396		kcal/ m <sup>3</sup> °C
	Poder calorífico superior (C.N.)	24350	22000 (20°)	32060	28300 (20°)	kcal/m <sup>3</sup>
	Poder calorífico inferior (C.N.)	22380	20400 (20°)	29560	26200 (20°)	kcal/m <sup>3</sup>
	Tensión vapor a 20° C	11	9,2	2,2	2,90	hg/cm <sup>2</sup> ab
	Tensión vapor a 50° C	22	18	5	6,6	kg/cm <sup>2</sup> ab
	Temperatura máxima llama (en aire)		1925		1895	°C
Temperatura máxima llama (en oxígeno)		2820		2820	°C	
Indice Wobbe		18390		20750	kcal/m <sup>3</sup>	
Punto de rocío (aprox.)		-43		-4		

*Nota: gas puro; comercial*

*Tomada de: <https://www.gplatam.com/propiedades-fisicas-glp/>*

Presión en un cilindro con propano según temperatura.

**Tabla 5. Propiedades físicas del GLP**

LPG (Propane) Cylinder Pressure Chart			
Temperature		Vapour Pressure	
C	F	kPa	PSIG
54	130	1794	257
43	110	1358	197
38	100	1186	172
32	90	1027	149
27	80	883	128
16	60	637	92
-1	30	356	51
-18	0	152	24
-29	-20	74	11
-43	-45	0	0

Copyright © 2015 Elgas Ltd.

*Nota: C = grados centígrados; F= grados Fahrenheit; kPa = kilo pascal; PSIG= libras por pulgada cuadrada*

*Tomada de: <https://www.gplatam.com/propiedades-fisicas-glp/>*

En la tabla 5 se muestran las propiedades físicas del GLP donde se detalla la temperatura y la presión de vapor del GLP, líneas abajo se describen las propiedades de dicho gas.

- El gas propano es incoloro y transparente en su estado líquido, lo que facilita su identificación en términos de color físico. Este atributo es importante en su manejo y almacenamiento, ya que no presenta indicadores visuales de color en su forma pura.
- El gas propano en su estado natural es inodoro. Sin embargo, para detectar posibles fugas, se le agrega una sustancia odorizante, comúnmente etil mercaptano, que tiene un olor penetrante y desagradable. Esta adición de un odorizante es crucial para la seguridad, ya que permite que las personas puedan percibir fácilmente la presencia de gas en el caso de una fuga, aunque el gas en sí mismo sea inodoro (etil mercaptano).
- El gas propano es altamente inflamable. En el caso de una fuga, cuando se mezcla con el aire y encuentra una fuente de ignición, como una pequeña llama o chispa, puede encenderse violentamente. Por esta razón, se deben tomar precauciones especiales en su manipulación, almacenamiento y uso para evitar situaciones de riesgo y garantizar la seguridad.
- Una de las ventajas ambientales del gas propano es que, durante su combustión, produce una llama adecuada y eficaz, sin generar humo, tizne o restos. Esta

característica contribuye a reducir las emisiones de contaminantes atmosféricos y partículas tóxicas al medio ambiente, comparado con algunos otros combustibles que pueden generar residuos más perjudiciales para la calidad del aire. Es una razón por la cual el gas propano es considerado una opción más amigable con el medio ambiente en ciertos contextos.

- El gas propano tiene un elevado poder calorífico por unidad de peso y volumen. Esto significa que, al quemarse, libera una gran cantidad de energía calorífica en comparación con la cantidad de peso o volumen que ocupa. Este alto poder calorífico hace que el gas propano sea una fuente de energía eficiente y efectiva, lo que lo convierte en una opción popular para diversas aplicaciones, como calefacción, cocina, generación de energía y otros usos industriales y domésticos.
- Contenido bajo de azufre
- Máximo ahorro de combustible
- Elevado octanaje superior a 100, evitando se produzca fallas por pistoneo del motor
- Mayor duración lubricante
- Prolongada vida del motor (5)

#### **2.2.10. Uso del GLP**

El GLP, también conocido como autogás, es un combustible ampliamente utilizado en varios países europeos, incluyendo Italia, Alemania, Francia, Polonia y Rumania. Es importante tener en cuenta que la popularidad y aceptación del GLP pueden variar entre diferentes naciones. En cuanto a su precio, el promedio actual es de aproximadamente 0,65 a 0,70 euros por litro, aunque este valor puede fluctuar dependiendo de la región y las condiciones del mercado.

Además, es un punto crucial mencionar que, al viajar por Europa con un vehículo a GLP, es necesario estar consciente de las diferentes normativas y tipos de adaptadores utilizados para repostar en los distintos países. Dado que las regulaciones y estándares pueden variar, es esencial contar con el equipo adecuado para garantizar un abastecimiento eficiente y seguro del combustible.

El GLP se emplea extensamente en autocaravanas para una variedad de servicios, tales como cocina, refrigeración, calefacción y suministro de agua caliente. Su versatilidad y

conveniencia se deben a la posibilidad de llenar el depósito o bombona en estaciones de servicio o puntos de suministro autorizados, lo que facilita su uso en estos vehículos.

Además, el GLP se ha convertido en uno de los combustibles alternativos más demandados a nivel mundial. Su versatilidad y propiedades limpias lo hacen atractivo para diversas aplicaciones, incluyendo el uso en carretillas elevadoras. En este contexto, la presencia de depósitos adicionales en la parte trasera superior de algunas carretillas permite que puedan operar en recintos cerrados sin generar contaminación ambiental significativa. Esto resalta las ventajas ambientales y la versatilidad de uso que ofrece el GLP en diferentes sectores.

#### **2.2.11. Estado del GLP**

De acuerdo con la normativa vigente de Osinergmin (9), a presión atmosférica y temperatura ambiente (1 atm y 20 °C), el GLP se encuentra en estado gaseoso. Para que el GLP se mantenga en estado líquido a temperatura ambiente, es necesario someterlo a una presión de 1,3 atm para el butano y 7,8 atm para el propano.

#### **2.2.12. Rango de flamabilidad del GLP**

Según la normativa de Osinergmin (9), el propano puede formar mezclas explosivas con el aire en concentraciones que varían entre el 2,3 % y el 9,5 %. Por su parte, el butano puede formar mezclas explosivas en concentraciones que van del 1,9 % al 8,9 % de gas en el aire.

#### **2.2.13. Ventajas del GLP**

El aumento en la popularidad del GLP se atribuye a diversas razones, convirtiéndolo en una alternativa viable frente a los combustibles tradicionales, que actualmente enfrentan mayores restricciones a nivel fiscal y legislativo.

#### **Precio**

Uno de los principales atractivos del GLP es su menor costo en comparación con la gasolina. Se estima que su precio es alrededor de un 45 % más bajo que el de la gasolina, actualmente rondando los 0,70 €/kg/l. Esta diferencia de costos ha impulsado su aceptación como una opción más económica para los conductores.

#### **Repostaje**

El proceso de llenado del depósito de GLP no difiere significativamente del de un vehículo que utiliza gasolina o diésel. La principal distinción radica en la necesidad de utilizar un adaptador que se atornilla a la toma de llenado del depósito. Este adaptador permite fijar a

presión la manguera, asegurando la estanqueidad del sistema. Aunque presenta esta diferencia en el procedimiento, el repostaje de GLP es un proceso relativamente sencillo y seguro.

Estos factores combinados han contribuido al crecimiento de la popularidad del GLP como una opción de combustible más económica y sostenible en comparación con los combustibles convencionales.

La elección del GLP como combustible también se basa en sus beneficios ambientales:

### **Reducción de emisiones**

Los vehículos al utilizar el GLP emiten aproximadamente un 15 % menos de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) comparando con los vehículos que utilizan gasolina. Además, emiten alrededor de un 80 % menos de óxidos de nitrógeno que los vehículos diésel. Así mismo emiten menores emisiones en comparación con los vehículos propulsados por combustibles tradicionales. Estas reducciones en las emisiones contribuyen a mejorar la calidad del aire y a mitigar el impacto ambiental.

### **Etiqueta ECO de la DGT**

Debido a sus menores emisiones contaminantes, los vehículos que utilizan GLP suelen ser clasificados con la etiqueta ECO de la Dirección General de Tráfico (DGT) en muchos países. Esta clasificación conlleva beneficios adicionales, como acceso a áreas restringidas, descuentos en peajes y otras ventajas asociadas a políticas de movilidad sostenible.

### **Instalación del sistema GLP**

Los vehículos adaptados para utilizar GLP mantienen los componentes tradicionales del motor, los inyectores y el depósito de gasolina (según la normativa EURO 3).

La conversión implica la instalación de un sistema adicional que incluye inyectores específicos para GLP, una toma de llenado, un vaporizador, una red de tuberías, una unidad electrónica de control, un conmutador y un depósito diseñado para el gas. Este sistema permite que el vehículo funcione tanto con gas como con gasolina, ofreciendo flexibilidad para elegir el combustible en función de las necesidades y la disponibilidad.

## **2.2.14. Inconvenientes del GLP**

### **Potencia**

El GLP presenta un rendimiento energético inferior en comparación con la gasolina, lo que puede resultar en una reducción de la potencia del motor de entre un 5 % y un 10 %. Esta

disminución en la potencia puede ser comparable al efecto de conectar el aire acondicionado en un vehículo, cuya magnitud puede variar según la capacidad del coche y las condiciones del trayecto.

### **Consumo**

Cuando un vehículo opera con GLP, su consumo de combustible aumenta entre un 5 % y un 10 % en comparación con el uso de gasolina. Esto se debe a que el motor trabaja más intensamente para compensar la menor potencia generada por el GLP. No obstante, dado que el GLP es significativamente más económico que la gasolina, esta diferencia en el consumo aún resulta ventajosa en términos de costo.

### **Instalación de Calidad**

La calidad de la instalación del sistema GLP es crucial, tanto si el sistema es de fábrica como si se ha instalado posteriormente. Asegurarse de que el sistema de GLP sea de alta calidad es fundamental para su rendimiento y seguridad.

### **Dependencia de la Gasolina**

Incluso si se utiliza GLP de manera continua, es necesario mantener una cantidad de gasolina en el depósito del vehículo. El arranque del motor se realiza con gasolina, y el sistema no cambiará a GLP hasta que el motor alcance aproximadamente 40 °C. Esto se debe a que el gas necesita una temperatura adecuada para evaporarse correctamente.

### **2.2.15. Por qué el GLP**

El GLP es uno de los combustibles más económicos, con un costo aproximadamente un 50 % menor que el de la gasolina. Además, muestra una menor sensibilidad a las fluctuaciones de precios y no produce pistoneos en el motor. En términos ambientales, el GLP es considerado un combustible ecológico, ya que reduce las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) en un 95 % en comparación con el diésel y disminuye las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en relación con la gasolina. Dependiendo del estado del motor, la emisión de partículas contaminantes con GLP puede ser mínima.

El GLP es fácilmente disponible y, a diferencia de otros combustibles, es adaptable a todos los vehículos con motor de gasolina. También ofrece un mayor rendimiento y, dependiendo del estado del motor, puede reducir hasta un 30 % los costos de mantenimiento.

### **2.2.16. Conversión a GLP**

La conversión de un vehículo a GLP requiere una reforma significativa y su posterior homologación. Es crucial familiarizarse con las normativas aplicables, siendo la principal la Normativa R67, que regula las instalaciones y componentes del GLP.

Antes de proceder con la adaptación, es fundamental tener en cuenta que no todos los vehículos son aptos para ser convertidos a funcionamiento con gas licuado de petróleo.

### **2.2.17. Aspectos legales de la conversión a GLP**

Según la Resolución Directoral N.º 14540-2007 -MTC/15 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2007), que establece directrices para el «Régimen de autorización y funcionamiento de las entidades certificadoras de conversiones a GLP y de los talleres de conversión a GLP», se regulan los siguientes aspectos:

- a) Los procedimientos relacionados con el mantenimiento, seguridad y calidad de los servicios vinculados a la instalación, equipos, herramientas y utilización del gas licuado de petróleo (GLP).
- b) Los requisitos y procedimientos que deben cumplir las entidades con personería jurídica involucradas en el proceso.
- c) Los requisitos y procedimientos para la conversión a gas licuado de petróleo (GLP).
- d) La verificación de la caducidad de las autorizaciones otorgadas.
- e) Los requisitos y procedimientos para la instalación, reparación y mantenimiento del sistema de combustión a gas licuado de petróleo (GLP).

### **2.2.18. Normas de emisiones máximas permisibles**

El Decreto Supremo N.º 029-2021-MINAM, emitido por el Ministerio del Ambiente (Minam), establece los límites máximos permisibles (LMP) para las emisiones atmosféricas de vehículos automotores. A continuación, se detallan aspectos clave de esta normativa:

#### **Definición de límites máximos permisibles (LMP)**

Los límites máximos permisibles (LMP) se definen como los niveles específicos permitidos de concentración o grado de ciertos elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos en las emisiones. Estos límites son establecidos para evitar la

contaminación y minimizar los impactos negativos en la salud humana, el bienestar general y el medio ambiente. Si se superan estos límites, puede haber riesgos de daños significativos.

### Ámbito de aplicación de la normativa

La normativa se aplica a todos los vehículos automotores, incluyendo tanto vehículos livianos de pasajeros como vehículos de carga.

### Límites máximos permisibles (LMP) para vehículos automotores

Los límites máximos permisibles establecidos varían según la categoría del vehículo. La tabla 6, publicada por el Ministerio del Ambiente, proporciona los detalles específicos sobre los LMP para diferentes tipos de vehículos.

El Decreto Supremo N.º 010-2017-Minam establece los límites máximos permisibles de las emisiones de gases para vehículos automotrices.

Establecen límites máximos permisibles de emisiones atmosféricas para vehículos automotores.

**Tabla 6. Decreto Supremo N.º 010-2017-Minam**

I.4. Vehículos livianos para el transporte de pasajeros (LDV) ≤ 12 asientos									
Año de aplicación (*)	Norma	Ciclo	Tipo de Motor	CO [g/mi]	HC+NOx [g/mi]	THC [g/mi]	NMHC [g/mi]	NOx [g/mi]	PM [g/mi]
2017 a marzo 2018	Tier 1 o de mayor exigencia	FTP	Gasolina	3,40	-	0,41	0,25	0,40	0,08
			GNV	3,40	-	-	0,25	0,40	0,08
			GLP	3,40	-	0,41	0,25	0,40	0,08
			Diésel	3,40	-	0,41	0,25	1,00	0,08
Año aplicación (*)	Norma	Ciclo	Tipo de Motor	CO [g/mi]	NMOG <sup>(1)</sup> [g/mi]	HCHO [g/mi]	NOx [g/mi]	PM [g/mi]	
Abril 2018 en adelante	Tier 2 (Bin 5) o de mayor exigencia	FTP	Gasolina GNV GLP Diésel	4,20	0,090	0,018	0,07	0,01	

(\*) El Año de Aplicación se refiere a la fecha correspondiente al conocimiento de embarque, no a la fecha de incorporación al país.

<sup>(1)</sup> Para vehículos a

<sup>(2)</sup> Diésel, NMOG (Gases Orgánicos No Metanos) significa NMHC (Hidrocarburos No Metanos).

**Nota:** CO= óxido de carbono; HC= hidrocarburos; NOx= óxido de nitrógeno; PM = partículas por millón

**Tomada de:** Prevención de la contaminación: establecen límites máximos permisibles de emisiones atmosféricas para vehículos automotores – CPB Abogados ([cpb-abogados.com.pe](http://cpb-abogados.com.pe))

### 2.2.19. Beneficios al usar GLP en los vehículos

La conversión de un vehículo de gasolina a GLP ofrece dos beneficios principales: un ahorro económico significativo y una reducción en los costos de mantenimiento. Este ahorro puede alcanzar hasta un 50 % en comparación con el uso de gasolina. Adicionalmente, el GLP contribuye a prolongar la vida útil de los componentes del vehículo, ya que mantiene las bujías

limpias, evita la contaminación del aceite y disminuye la frecuencia de reemplazo de elementos como los filtros. Los gases emitidos por el sistema de escape también son menores, lo que mejora la durabilidad del vehículo, tal como indican Cáceres y Mallón (11).

## **2.2.20. Componentes principales de la conversión a GLP**

### **2.2.20.1. Reductor – evaporador**

El reductor-evaporador, también conocido como convertidor o vaporizador-regulador, se ubica entre la válvula de corte y el mezclador. Su función principal es vaporizar el GLP mientras reduce y regula su presión. Está compuesto principalmente por los siguientes elementos:

- Cámara de alta presión: Actúa como un intercambiador de calor, facilitando la vaporización del GLP y contrarrestando el efecto refrigerante provocado por el cambio de estado del gas.

- Válvula de drenaje: Permite la evacuación de líquidos que puedan formarse en el lado de baja presión del sistema. La cámara de alta presión debe incorporar un mecanismo para realizar la primera reducción de presión. En condiciones normales de operación, la presión máxima del gas en la entrada del regulador es de 1,73 MPa.

En la figura 7, se muestra el reductor de GLP.



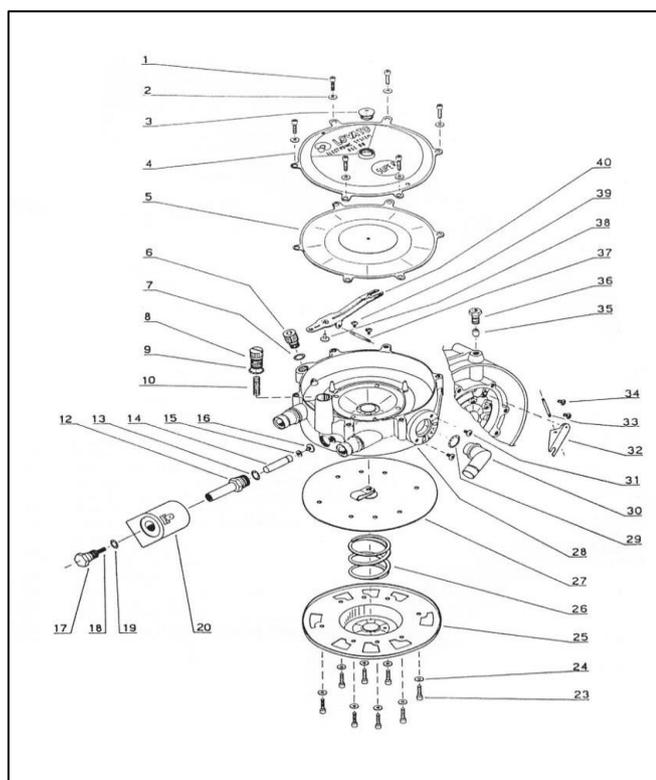
*Figura 7. Reductor de gas licuado*

*Tomada 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)*

## Despiece del reductor de gas licuado

En la figura 8 se muestra el reductor de GLP en despiece cuyos componentes principales están enumerados y se detallan a continuación:

- |   |  |
|---|--|
| 1. Tornillo TCCE M5x14                    | 15. Conexión para despresurizado           |
| 2. Arandela ondulada                      | 16. Tornillo TCCE M5x14                    |
| 3. Arrancador eléctrico                   | 17. Arandela ondulada                      |
| 4. Tapón 2. <sup>a</sup> fase             | 18. Tapón 2. <sup>a</sup> fase             |
| 5. Tapa membrana 2. <sup>a</sup> fase     | 19. Muelle membrana 1. <sup>a</sup> fase   |
| 6. Tornillo TC M4x6                       | 20. Tapa Membrana 1. <sup>a</sup> fase     |
| 7. Espiga cilíndrica                      | 21. Cuerpo del reductor                    |
| 8. Balancín 2. <sup>a</sup> fase          | 22. Anillo del estancamiento OR            |
| 9. Plaquita balancín 2. <sup>a</sup> fase | 23. Pipa salida gas                        |
| 10. Tapón descarga aceite                 | 24. Tornillo TCI M4x6                      |
| 11. Anillo de estancamiento OR            | 25. Balancín 1. <sup>a</sup> fase completo |
| 12. Tornillo regulación del mínimo        | 26. Espiga cilíndrica                      |
| 13. Anillo de estancamiento OR            | 27. Tornillo TCI M4x6                      |
| 14. Muelle de regulación del mínimo       |  |



**Figura 8. Despiece del reductor de gas licuado**

Tomada 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)

Reductor de GLP, ubicado en el motor Toyota 3T. En la figura 9 se muestra una ubicación en una zona libre espaciada del lado izquierdo del motor Toyota 3T.



*Figura 9. Reductor de GLP, ubicado en el motor Toyota 3T*

#### **2.2.20.2. Sistemas eléctricos de corte**

Los sistemas de corte de combustible que funcionan eléctricamente se basan en una señal eléctrica enviada a una válvula solenoide. En un sistema dual (GLP/gasolina), se requieren dos válvulas: una para cortar el paso del GLP y otra para el paso de la gasolina. La operación de estas válvulas es coordinada por un control maestro (eléctrico o mecánico) situado en un lugar visible y de fácil acceso desde la posición del conductor.

Este sistema debe garantizar que, al interrumpirse el flujo de GLP, se active automáticamente el flujo de gasolina, y viceversa. Existe también una variante que utiliza un microinterruptor de vacío para accionar una válvula solenoide, la cual bloquea el paso de GLP cuando el motor se apaga. Las figuras 10 y 11 ilustran la electroválvula de gas.



*Figura 10. Electroválvula de gasolina y GLP  
Tomada de: <https://www.blogmecanicos.com>*



*Figura 11. Electroválvula de gasolina ubicada en el motor*

### **2.2.20.3. Mezclador**

El mezclador es responsable de succionar GLP vaporizado del vaporizador-regulador, mezclarlo con aire en las proporciones adecuadas y suministrar la mezcla necesaria para el funcionamiento óptimo del motor.

Las características generales que debe poseer un mezclador incluyen:

- Resistencia a la corrosión: Los mezcladores deben ser capaces de resistir los efectos corrosivos provocados por los componentes del GLP.

- Dispositivos de regulación de flujo: Deben contar con mecanismos que aseguren un control preciso del flujo a cualquier velocidad del motor.

- Resistencia al choque térmico: Los mezcladores y adaptadores deben mantener su integridad y dimensiones estables a pesar de variaciones bruscas de temperatura, que van desde -10 °C hasta 100 °C.



*Figura 12. Modelo de mezcladores*

*Tomada 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)*

#### 2.2.20.4. Tubería semirrígida

Para la fabricación de la línea de conducción utilizando tubería semirrígida, se deben seguir estas especificaciones:

- Material de la tubería: Debe ser acero o cobre sin costura, de tipo K o L. La presión máxima que puede soportar la tubería debe estar claramente estampada en ella.

- Recubrimiento: Se recomienda aplicar un recubrimiento alrededor de la tubería para protegerla contra la corrosión.

- Soldadura: Si se utiliza tubería semirrígida de acero, debe ser soldada mediante un proceso de resistencia eléctrica aprobado para líneas de gas y aceite. El espesor mínimo de la pared de la tubería debe ser de 1,25 mm y el diámetro exterior debe ser de 9,5 mm.

#### 2.2.20.5. Mangueras



*Figura 13. Cañería de cobre revestida  
Tomada de: <https://www.blogmecanicos.com>*

En la figura 13 se ilustra la cañería de cobre revestida que se utiliza para la instalación de equipos de carburación con GLP. Para este propósito, se emplean dos tipos de mangueras:

1. Mangueras de alta presión: Utilizadas tanto en fase líquida como gaseosa.
2. Mangueras de baja presión: Empleadas exclusivamente en fase gaseosa.

Estas mangueras deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Resistencia a la acción del GLP: Deben estar fabricadas con materiales que soporten la influencia del GLP en estado gaseoso.

- Rotulación: Deben estar rotuladas a lo largo de toda su extensión con inscripciones que indiquen la presión de trabajo, las letras "GLP" y la marca del fabricante.

- Accesorios: Los accesorios utilizados en las conexiones con mangueras flexibles de baja presión deben cumplir con los requisitos establecidos (10).



*Figura 14. Manguera flexible de agua GLP  
Tomada de: <https://www.blogmecanicos.com>*

#### **2.2.20.6. Tanque de GLP**

El gas o GLP puede ser almacenado en un tanque de acero diseñado específicamente para vehículos, existiendo dos opciones principales: el tanque toroidal (redondo) y el cilindro estándar (cilíndrico o en forma de lenteja). Ambos tipos de tanques cumplen con rigurosas medidas de seguridad.

Las válvulas de estos tanques están fabricadas conforme a los estándares de seguridad del depósito y están protegidas contra roturas que puedan provocar cambios abruptos en el flujo de GLP. En caso de emergencia, estas válvulas se cierran de manera automática para prevenir incidentes.

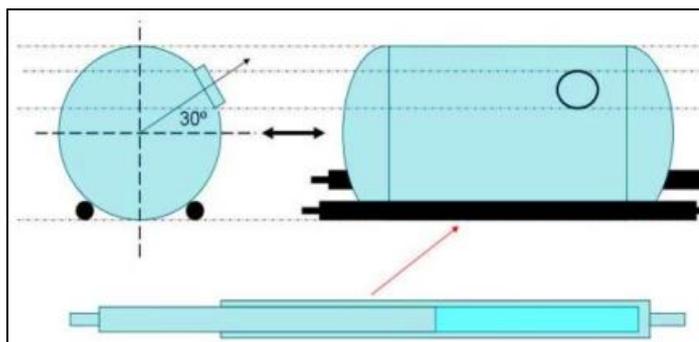


*Figura 15. Tanque de combustible  
Tomada de: <http://www.riojaracing.es/glp/tag/glp>*

El depósito para el almacenamiento de GLP, como se ilustra en la figura 15, debe instalarse de manera permanente en el vehículo. Estos tanques tienen una capacidad aproximada de 44 litros y están diseñados para soportar presiones de hasta 45 bar. Es crucial

que los tanques de GLP destinados al uso automotriz se fabriquen conforme a las normas de fabricación pertinentes.

Una vez instalado el tanque sobre una base completamente horizontal, debe girarse sobre su eje longitudinal hasta que el centro de la brida del tanque forme un ángulo de aproximadamente 30 grados con respecto al plano horizontal, en sentido antihorario, según lo indicado en el cuerpo de las multiválvulas.



**Figura 16. Posición del tanque**

*Tomada de: <http://michatarrita.host56.com/category/sistemas-glp-y-gnv>*

Todos los tanques de GLP deben pasar rigurosas pruebas de alta presión antes de ser vendidos, y se proporciona un certificado de estas pruebas al cliente en el momento de la compra. Además, se incluye una placa metálica en el tanque que indica su capacidad y la posición correcta de instalación.

Para asegurar la seguridad, los tanques están equipados con una válvula de seguridad auxiliar que evita que la presión interna del depósito exceda un límite prefijado. También se incorpora una válvula de llenado que detiene automáticamente el proceso al alcanzar un nivel específico, minimizando el riesgo de sobrellenado. La presión del GLP en el depósito varía con la temperatura; por ejemplo, a 15 °C y presión atmosférica, 1 litro de GLP líquido equivale a 242 litros de GLP gaseoso.

### 2.2.20.7. Placa de información del tanque



*Figura 17. Placa de temperatura/presión en los cilindros de GLP*

En la figura 17 se muestra la placa de información del tanque donde se detalla la temperatura y la presión en los cilindros de GLP.

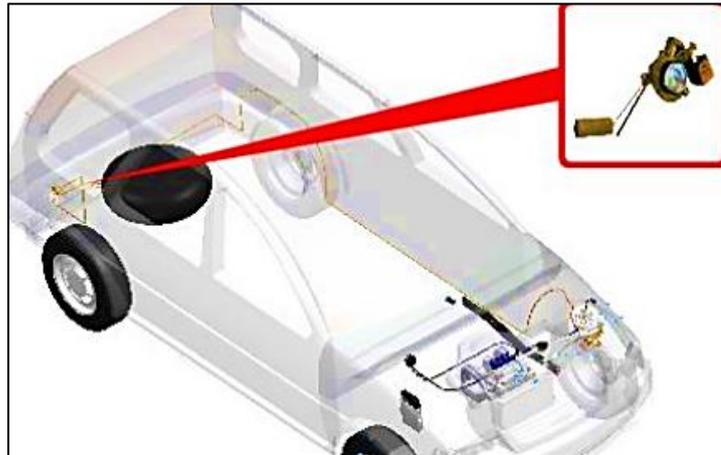
### 2.2.20.8. Multiválvulas

La multiválvula electrónica del tanque, como se ilustra en la figura 18, desempeña un papel crucial en la gestión y seguridad del almacenamiento de GLP. Sus funciones principales incluyen:

1. Lectura del nivel de GLP: Permite monitorear el nivel del gas en el tanque.
2. Control del Flujo de Gas: Regula el flujo de GLP hacia el motor, asegurando un suministro adecuado.
3. Cierre en caso de emergencia: En caso de accidente o ruptura de la línea, la válvula cierra electrónicamente el paso del gas para prevenir fugas.
4. Proceso de llenado: La válvula se conecta al surtidor de GLP mediante un sistema de acoplamiento rápido completamente estanco, facilitando un proceso de llenado similar al de gasolina.
5. Sistema de seguridad:
  - Doble válvula antirretorno: Previene la salida de GLP al conectar el surtidor, evitando fugas durante el llenado.

- Dispositivo de llenado máximo: Asegura que el depósito no se llene más allá del 80% de su capacidad. Cuando se alcanza este nivel, la válvula se cierra automáticamente, evitando sobrellenado.

Esta configuración garantiza una operación segura y eficiente del sistema de GLP en el vehículo.

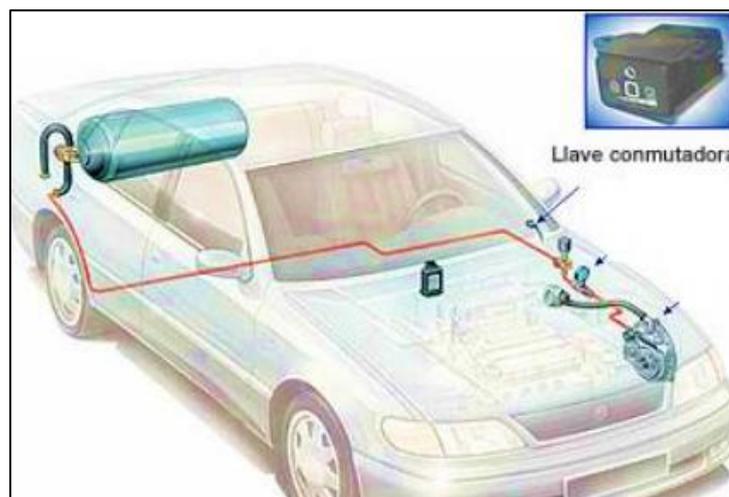


*Figura 18. Multiválvulas*

*Tomada de: <http://www.autotecnigas.com/index.php/contenido/productos/>*

#### **2.2.20.9. Conmutador**

El conmutador es un pequeño módulo electrónico diseñado para ser colocado en un lugar accesible y cómodo para el usuario. Su tamaño compacto permite integrarlo fácilmente en el tablero de instrumentos, optimizando el uso del espacio disponible. En la figura 19 se muestra la ubicación del conmutador en el interior del vehículo automotriz.



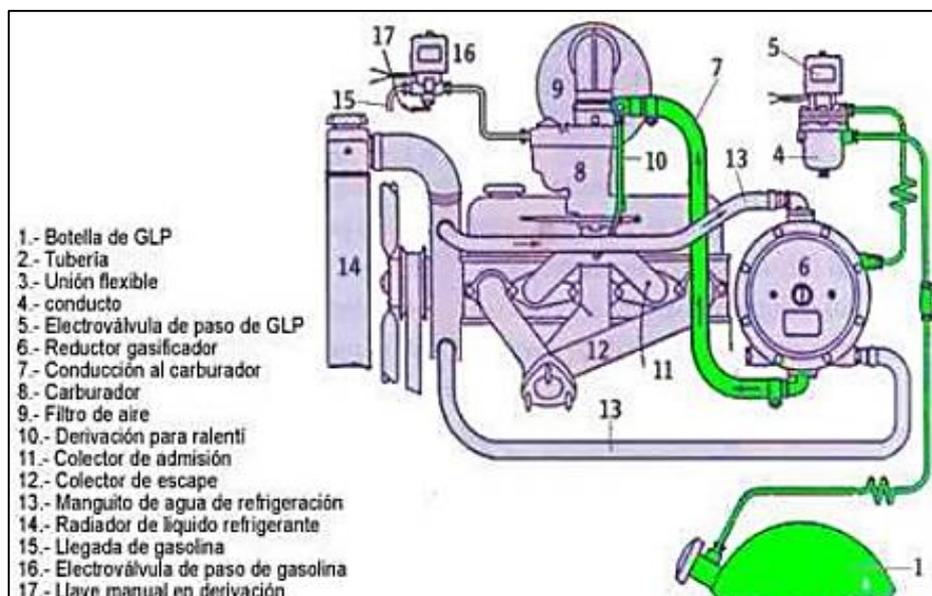
*Figura 19. El conmutador*

*Tomada de: [http://www.landirengo.com.br/es/?target=componentes\\_interno&sid=3&uid=39&cid=11](http://www.landirengo.com.br/es/?target=componentes_interno&sid=3&uid=39&cid=11)*

### 2.2.20.10. Toma de combustible o carga

La toma de combustible o carga es un dispositivo empleado para llenar el gas o GLP en un tanque de acero especialmente fabricado para vehículos (12).

### 2.2.20.11. Componentes del equipo de GLP para motores carburados



*Figura 20. Componentes de GLP para motores carburados  
Tomada de: [http://www.aficionadosalamecanica.com/glp\\_motores.htm](http://www.aficionadosalamecanica.com/glp_motores.htm)*

### 2.2.21. Motor Toyota 3T

El Toyota 3T es un motor de gasolina con carburador de cuatro tiempos y cuatro cilindros en línea de 1.8 litros (1.770 cc, 108.0 cu-in) de la familia T de Toyota. El motor Toyota 3T se fabricó entre 1977 y 1985. Este motor usaba un diseño OHV (válvula en cabeza) con dos válvulas por cilindro (8 válvulas en total), bloque de cilindros de hierro fundido y una culata de aleación con asientos de válvula endurecidos y un diseño de cámara de combustión hemisférica (HEMI). El motor 3T utiliza una cadena de distribución (13).

El diámetro y la carrera son 85,0 mm (3,35 pulgadas) y 78,0 mm (3,07 pulgadas), respectivamente. El motor Toyota 3T tiene un bloque de cilindros de hierro fundido con un sistema de soporte de tres cojinetes principales. El diámetro interior del cilindro del motor 2T es de 85,0 mm (3,35 in). Y la carrera del pistón es de 78,0 mm (3,07 in), índice de relación de compresión de 9,0: 1. Cada pistón está equipado con dos anillos de compresión y un solo anillo de aceite (4).

**Tabla 7. Especificaciones de motor Toyota 3T**

<b>Especificaciones del motor</b>	
Código del motor	3T
Diseño	Cuatro tiempos, Inline-4
Tipo de combustible	Gasolina
Producción	1977-1985
Desplazamiento	1.8 litros 1.770 cc
Max. caballo de fuerza	71 PSI (52 kW, 70 HP)
Orden de encendido	1-3-4-2

**Nota: Especificaciones de motor Toyota 3T**

**Tomada de: Datos del manual Toyota 3T**



**Figura 21. Placa de identificación del vehículo Toyota 3T**

### 2.2.22. Datos de mantenimiento: motor Toyota 3T

**Tabla 8. Mantenimiento del motor Toyota 3T**

<b>Holgura de la válvula (caliente)</b>	
Válvula de admisión	0.20 mm (0.008 pulgadas)
Válvula de escape	0.33 mm (0.013 pulgadas)
<b>Holgura de válvulas (frio)</b>	
Válvula de admisión	0.18 mm (0.007 pulgadas)
Válvula de escape	0.30 mm (0.012 pulgadas)
<b>Presión de compresión</b>	
Estándar	11.5 kg/cm <sup>2</sup> (163 psi)/250 rpm
Mínimo	9.0 kg/cm <sup>2</sup> (128 psi)/250 rpm
<b>Sistema de aceite</b>	
Aceite de motor recomendado	10 W-30
API de tipo de aceite	SE
Capacidad de aceite del motor capacidad de llenado)	Con filtro 3.8 L sin filtro 3.3 L
<b>Sistema de encendido</b>	
Bujía	NGK: BPR5EA, DENSO: W14EXR-U

---

Espacio de la bujía	0.8 mm (0.0315 in) o 1.1 mm (0.0433 in)
---------------------	---

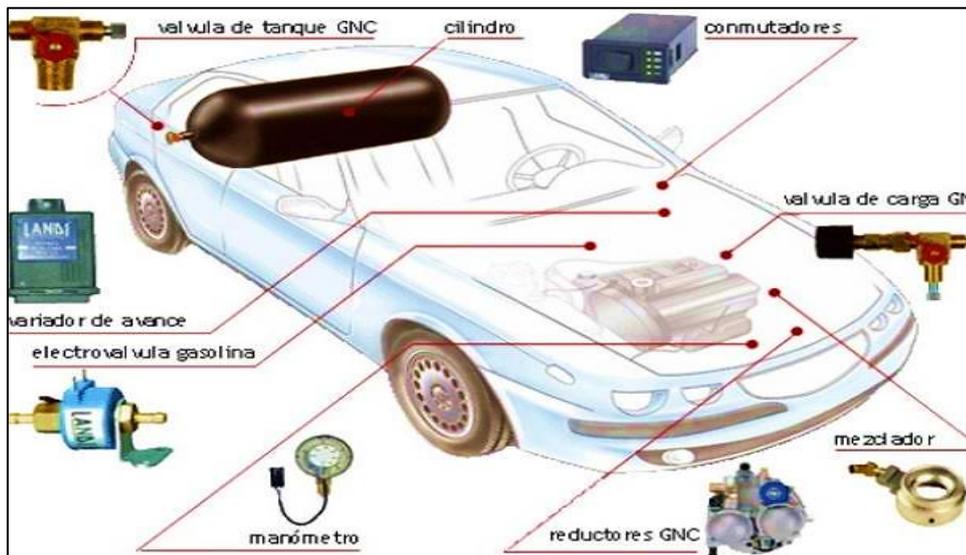
Para de apriete de la bujía	18 NM (1.8 kg.m, 13 pies-lb)
-----------------------------	------------------------------

---

*Nota: se refiere al mantenimiento del motor Toyota 3T*  
*Tomada de: Manual de Toyota*

### 2.2.23. Funcionamiento del sistema GLP

El gas en el sistema GLP ingresa al vehículo a través de una boquilla de llenado (1), que está conectada a un tanque de almacenamiento (2). En este tanque, el gas se conserva en estado líquido a una presión de entre 8 a 10 bar. Cuando el conductor acciona el conmutador (3) en el tablero, envía una señal eléctrica a la unidad de mando (4), solicitando el uso del gas como combustible. En la figura 22 se observa los componentes de un vehículo convertido a GLP).



*Figura 22. Vehículo convertido a GLP*

*Tomada de: <https://www.multicarr.com/servicio/conversi%C3%B3n-de-veh%C3%A>*

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Materiales y métodos**

##### **3.1.1. Método de la investigación**

En el siguiente trabajo de investigación se utilizó el método de investigación descriptivo, según Arias (15) «enfatisa que el método descriptivo tiene como objeto principal obtener una descripción precisa y detallada de propiedades, características y comportamientos de un fenómeno o área de la realidad. Este enfoque es particularmente útil cuando se busca explorar un fenómeno sobre el cual se tiene un conocimiento limitado o cuando se desea obtener una visión general antes de profundizar en aspectos específicos. En este proyecto, se aplica el método descriptivo para analizar y presentar de manera sistemática los efectos de la conversión de vehículos a GLP en el consumo de combustible y las emisiones de gases contaminantes en la ciudad de Huánuco, siguiendo el enfoque de Arias de proporcionar una descripción precisa y completa de los hechos y fenómenos en estudio» (15).

##### **3.1.2. Tipo de investigación**

Esta investigación es de tipo básico, se enfoca en utilizar los hallazgos y conocimientos obtenidos para abordar problemas o situaciones prácticas del mundo real (14).

En el contexto de la investigación mencionada, una investigación aplicada implica el análisis de los sistemas de combustible de automóviles (GLP y gasolina) en términos de su consumo de combustible y emisiones de gases con el objetivo de proporcionar información relevante para la toma de decisiones en políticas públicas, desarrollo de tecnologías automotrices más eficientes y sostenibles, o recomendaciones para consumidores sobre opciones de combustible más amigables con el medio ambiente y económicamente viables. En

lugar de simplemente generar conocimientos teóricos, una investigación aplicada busca generar soluciones prácticas y aplicables que tengan un impacto directo en la sociedad o en el ámbito específico de estudio.

### **3.1.3. Nivel de investigación**

Esta investigación se enmarca en el nivel descriptivo simple, la cual se enfoca en describir y caracterizar fenómenos, situaciones o variables de interés, sin buscar necesariamente establecer relaciones causales entre ellas.

Es así como, la presente investigación contempla la recopilación detallada de datos sobre el consumo de combustible y las emisiones de gases en diferentes sistemas de combustible de automóviles (GLP y gasolina) en diversas condiciones de conducción, tales como carretera y ciudad. El objetivo principal fue proporcionar una representación clara y precisa de cómo se comportan estas variables en cada sistema de combustible y en cada situación de conducción. Esta investigación se centró en la presentación de información detallada y descriptiva que sirva como punto de partida para investigaciones posteriores o para la toma de decisiones informadas.

### **3.1.4. Diseño de investigación**

Este estudio ha adoptado un diseño descriptivo simple, conforme a Espinoza (16), que tiene como objetivo recolectar información actualizada sobre el tema en cuestión. Es útil para investigaciones de diagnóstico descriptivo, caracterizaciones, perfiles, entre otros.

Diseño descriptivo simple

Diagrama: M  $\longrightarrow$  O

Donde:

M: muestra u objeto en el que se realizó el estudio

O: observación de la muestra

No se pueden suponer las influencias de algunas variables. Poniendo límite a recoger información de la situación actual.

### **3.1.5. Población y muestra o unidad de observación**

#### **3.1.5.1. Población**

La población de interés en la investigación son los vehículos Toyota 3T de 1983 a 1985 en la ciudad de Huánuco que han realizado la conversión de su sistema de combustible de gasolina a GLP.

### 3.1.5.2. Muestra

Para el presente estudio, se ha tomado como muestra un vehículo con motor de gasolina Toyota 3T convertido a GLP. Y que sus características son adecuadas para realizar la conversión.

### 3.2. Técnicas e instrumentos

Las técnicas e instrumentos que se utilizaron en el presente trabajo son:

La observación directa del procedimiento de conversión a GLP de un motor Toyota 3T siguiendo los pasos correspondientes y su transformación del sistema de combustible, para lo cual se utilizó también algunas encuestas a propietarios de vehículos con similares características del modelo trabajado.

En los instrumentos se utilizó el analizador de gases para realizar las pruebas de medición de emisiones de gases, así como, la medición en condiciones de flujo y consumo de combustible mediante un registro de consumo de combustible del vehículo.

### 3.3. Materiales

Los materiales utilizados se muestran detalladamente en la siguiente tabla:

**Tabla 9. Materiales utilizados para la conversión a GLP**

Ítem	Descripción	Cantidad
1	Conmutador	1
2	Electroválvula de gasolina	1
3	Manguera de gasolina	1
4	Electroválvula de GLP	1
5	Reductor / evaporador	1
6	Registro de alta	1
7	Mezclador	1
8	Manguera de agua	2
9	Manguera de GLP	1
10	Cañería de cobre 6 mm x 5.5 m	1
11	Cañería de cobre 8 mm x 1.8 m	1
12	Multiválvulas de GLP	1
13	Tanque de GLP	1
14	Toma de carga	1

*Nota: Se describe la relación de materiales por utilizar en la conversión a GLP*

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

#### **4.1. Presentación del motor en estudio**

##### **4.1.1. Características técnicas del motor**

El motor 3T 1980 Toyota es parte de la línea del motor de Toyota «T», el 3T-C es conocida por sus controles de emisión (EGR). El motor Toyota 3T-C es más comúnmente conocido por ser el motor del Toyota Corolla, Corona y líneas Célida de vehículos Corolla.

##### **Aplicación del 3T motor**

En 1980, Toyota Corolla utiliza el motor 3T para su línea de vehículos. Los estilos de carrocería varían de un ascensor 2 - puerta de atrás, sedán de cuatro puertas, familiar de cuatro puertas y un coupé de dos puertas. El motor es el I4 75 caballos de fuerza versión 1.8L de 1980 Toyota Corolla. La transmisión disponible para el Corolla es un manual de tres velocidades automática de cuatro velocidades y una manual de cinco velocidades.

##### **Aplicación Corona del 3T-C motor**

El Toyota T130 utiliza el motor 3T-C para su línea de vehículos. El T130 cuenta con diferentes modelos, desde un sedán de cuatro puertas, sedán de cinco puertas, coupé de dos puertas, y un carro de cinco puertas. El T130 utiliza el motor de 75 3T-C de 1.4L I4 HP para algunos de sus modelos 3T-C.

##### **Especificaciones del motor**

3T – C Toyota es un motor que tiene un desplazamiento de 1770 cc, y tiene un agujero por el movimiento de 3,35 pulgadas por 3,07 pulgadas. El motor 3T-C también tiene la

tecnología DOHC para crear un motor funcionando sin problemas. El motor 3T-C también utiliza la tecnología OHC.

En el motor en estudio las características técnicas se registraron directamente de la unidad automotor referido al estudio, y es como sigue:

Características técnicas del motor Corolla 3T:

- Clase: automóvil
- Marca: Toyota
- Modelo: Corolla 3T
- Año: 1985
- Cilindros: 04
- Potencia: 132 CV @ 6000 rpm. (97 kW)
- Torque: 170 Nm @ 4200 rpm. (17,3 kg-m)
- Relación compresión: 10:1
- Cilindrada: 1,770 litros
- Diámetro: 79 mm
- Carrera: 91,5 mm
- Alimentación: convencional
- Combustible: nafta de 90 octanos
- N.º de puertas: 4
- N.º de ruedas: 4
- Estado actual: operativo

#### **4.1.2. Condiciones de funcionamiento normal del motor convencional**

##### **A) Suministro de aire-combustible (Mi)**

En el motor del automóvil, la cantidad real de aire consumida puede variar respecto a la cantidad teórica necesaria para una combustión completa, dependiendo del tipo de mezcla, las condiciones de encendido y combustión, y el régimen de funcionamiento.

El coeficiente de exceso de aire, también conocido como coeficiente lambda ( $\lambda$ ), representa la relación entre la cantidad real de aire que ingresa al cilindro del motor (en kg o L en mol) y la cantidad teóricamente necesaria para la combustión completa de un kilogramo de combustible.

$$\lambda = l/l_0 \quad A = L/L_0$$

$\lambda = 1$  mezcla estequiométrica

$\lambda > 1$  mezcla pobre

$\lambda < 1$  mezcla rica

El motor en estudio trabaja en un rango del coeficiente de exceso de aire, entre 0,97 y 1,03, de acuerdo con las indicaciones del fabricante, sin embargo, es necesario verificar analítica y técnicamente los resultados, por una parte, la cantidad de aire real necesaria para quemar 1 kilogramo de combustible nafta o gasolina de 90 octanos; por otra parte, la cantidad de los productos de combustión.

Por ende, la cantidad total de mezcla aire-combustible ( $M_1$  en kmol), compuesta por vapores de combustible y aire, en el caso de una combustión completa de 1 kg de carburante, es:

$$M_1 = \lambda L_0 + \frac{1}{\mu_c}$$

Donde:

Combustión de 1 kg de combustible, en kg

Para calcular la cantidad teórica de aire necesaria para la combustión de 1 kg de combustible, se puede usar la proporción de oxígeno en el aire y la masa molecular del aire y del oxígeno.

Contenido de oxígeno en el aire:

En masa: 23 % del aire es oxígeno.

En volumen: 21 % del aire es oxígeno.

Masa molecular del aire:

Aproximadamente 29 g/mol

Masa molecular del oxígeno: 32 g/mol

Para obtener la cantidad teórica de aire necesaria para la combustión de 1 kg de combustible:

En masa:

La cantidad de aire teóricamente necesaria será el cociente entre la masa de oxígeno requerida para quemar 1 kg de combustible y el porcentaje de oxígeno en el aire (en masa).

Masa de oxígeno requerida para 1 kg de combustible =  $1 \text{ kg} \times (23/100) = 0.23 \text{ kg}$

Cantidad teórica de aire necesaria =  $0.23 \text{ kg} / (23/100) = 1 \text{ kg}$

En volumen:

Similarmente, la cantidad teórica de aire en volumen necesario se obtiene considerando el porcentaje de oxígeno en volumen.

Volumen de oxígeno requerido para 1 kg de combustible =  $1 \text{ kg} \times (21/100) = 0.21 \text{ kg}$

Cantidad teórica de aire en volumen necesaria =  $0.21 \text{ kg} / (21/100) = 1 \text{ kg}$

Estos cálculos proporcionan la cantidad teórica de aire, tanto en masa como en volumen, necesaria para la combustión completa de 1 kg de combustible, considerando el contenido de oxígeno en el aire.

$$l_0 = \frac{1}{0.23} \left( \frac{8}{3} C + 8H - O_c \right) = \frac{1}{0.23} \left( \frac{8}{3} \times 0,885 + 8 \times 0,145 - 0 \right) = 14,96$$

Si la composición de la gasolina de 90 octanos es: C=0,885; H=0,145 y  $O_c=0$ , entonces  $l_0 = 14,96 \text{ kg}$  de aire para 1 kg de gasolina de 90 octanos.

En kmol

$$L_0 = \frac{1}{0.21} \left( \frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O_c}{32} \right) = \frac{1}{0.21} \left( \frac{0,885}{12} + \frac{0,145}{4} - \frac{0}{32} \right) = 0,516$$

Entonces  $U = 0,516 \text{ kmol}$  de aire para 1 kg de gasolina

## **B) Productos de combustión ( $M_2$ )**

La cantidad de cada uno de los componentes de los productos de combustión y la suma de todos ellos, asumiendo  $K = 0,50$  de acuerdo con las expresiones 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8 y 2.9.

La cantidad de componentes cuando  $A < 1$ , donde  $A = 0,97$ .

$$M_{CO} = 0,42 \frac{1-\lambda}{1+k} L_0 = 0,42 \frac{1-0,97}{1+0,5} 0,516 = 0,00433 \text{ kmol}$$

$$M_{CO_2} = \frac{C}{12} - 0,42 \frac{1-\lambda}{1+k} L_0 = \frac{0,855}{12} - 0,42 \frac{1-0,97}{1+0,5} 0,516 = 0,0669 \text{ kmol}$$

$$M_{H_2} = k M_{CO} = 0,5 \times 0,00433 = 0,002165 \text{ kmol}$$

$$M_{H_2O} = \frac{H}{2} - M_{H_2} = 0,0725 - 0,002165 = 0,07033 \text{ kmol}$$

$$M_{N_2} = 0,79 \lambda L_0 = 0,79 \times 0,97 \times 0,516 = 0,39542 \text{ kmol}$$

La cantidad de productos de combustión es

$$M_2 = 0,00433 + 0,0669 + 0,002165 + 0,07033 + 0,39542 = 0,5391 \text{ kmol}$$

El incremento de volumen es:

$$AM = M_2 - M_i = 0,5391 - 0,4732 = 0,0659 \text{ kmol.}$$

### Conclusión

Siendo una combustión con contaminantes CO e hidrógeno suelto que no participa en la combustión.

La cantidad de componentes cuando A=1, donde A = 1,0

$$M_{CO} = 0,42 \frac{1-\lambda}{1+k} L_0 = 0,42 \frac{1-1}{1+0,5} 0,516 = 0,00 \text{ kmol}$$

$$M_{CO_2} = \frac{C}{12} - 0,42 \frac{1-\lambda}{1+k} L_0 = \frac{0,855}{12} - 0,42 \frac{1-1}{1+0,5} 0,516 = 0,07125 \text{ kmol}$$

$M_{H_2} = k M_{CO} = 0,5 \times 0,00433 = 0,00 \text{ kmol}$   $M_{H_2O} = \text{---} \text{---} M_{H_2} = 0,0725 = 0,0725 \text{ kmol}$

$M_{N_2} = 0,79 A L_0 = 0,79 \times 1 \times 0,516 = 0,40764 \text{ kmol}$ , la cantidad de productos de combustión es:

$M_2 = 0,00 + 0,07125 + 0,00 + 0,0725 + 0,40764 = 0,5391 \text{ kmol}$ , el decremento de volumen es:

$$AM = M_2 - M_i = 0,5391 - 0,55107 = -0,01197 \text{ kmol.}$$

### Conclusión

Siendo una combustión sin contaminantes CO y el hidrógeno que participa incrementando el vapor de agua.

### 4.1.3. Condiciones de funcionamiento del motor con GLP

#### A) Suministro de aire requerido

La cantidad de aire requerido (en kmol y kg) para la combustión estequiométrica de un kmol de combustible GLP, su composición volumétrica es 68 % propano (C<sub>3</sub> H<sub>8</sub>), 30 % el butano (C<sub>4</sub> H<sub>10</sub>).

Será necesario aplicar la ecuación 2.11:

$$L_0 = \frac{1}{0,21} \sum f \left( n + \frac{m}{4} - \frac{r}{2} \right) C_n H_m O_r \quad (\text{kmol de aire/kmol de GLP})$$

Si propano = (C<sub>3</sub> H<sub>8</sub>) -----→ = 3, m = 8, f = 68

Butano = (C<sub>4</sub> H<sub>10</sub>) -----→ n = 4, m = 10, f = 30

Reemplazando en la ecuación 2.11:

$$L_0 = \frac{1}{0,21} \left[ 0,68 \left( 3 + \frac{8}{4} \right) + 0,30 \left( 4 + \frac{10}{4} \right) \right] = 25,48 \quad (\text{kmol de aire/kmol de glp})$$

Si la masa molecular de aire es igual a 28,97 l<sub>0</sub> = 25,48 X 28,97 = 738,16 kg de aire/kmol de GLP.

### 4.1.4. Valores máximos permisibles de gases

#### A) Valores máximos permisibles de gases del fabricante

**Tabla 10. Valores máximos permisibles de gases del fabricante**

Velocidad de ralentí	700 -800
Emisiones de gases de escape CO a velocidad de ralentí (% en volumen)	<0,5
Emisiones de gases de escape CO a una velocidad de ralentí elevada (% en volumen) (1 / min)	< 0,3/2400-2600
Emisiones de gases de escape HC a ralentí (ppm)	< 100
Emisiones de gases de escape CO <sub>2</sub> / O <sub>2</sub> a velocidad de ralentí (% en volumen)	14,0/0,1 -0,5
Lambda (coeficiente de exceso de aire)	0,97-1,03

#### B) Valores máximos permisibles de gases en el Perú

Establecen límites máximos permisibles de emisiones contaminantes para vehículos automotores que circulen en la red vial.

## Decreto supremo N.º 047-2001-MTC

Artículo 10.- «El Ministerio de Transportes y Comunicaciones, en coordinación con el Ministerio del Ambiente, expedirá las disposiciones complementarias necesarias para la mejor aplicación del presente Decreto Supremo».

### Valores de límites máximos permisibles

Según el Artículo 4 del Decreto Supremo N.º 002-2003-MTC, publicado el 16-01-2003, se establece que las normas EURO o Tier más avanzadas son aceptables siempre que cumplan con la directiva o regulación correspondiente.

### I. Límites máximos permisibles para vehículos en circulación a nivel nacional

Tabla 11. Datos promedio de límites máximos permisibles para vehículos en circulación a nivel nacional

b) PRIMER REAJUSTE: A LOS DIECIOCHO MESES DE LA PUBLICACION DEL PRESENTE DECRETO SUPREMO			
VEHÍCULOS MAYORES A GASOLINA, GAS LICUADO DE PETRÓLEO Y GAS NATURAL			
(livianos, medianos y pesados)			
AÑO DE FABRICACION	CO % de Volumen	HC (ppm) (4)	CO + CO <sub>2</sub> % (minimo)
Hasta 1995	3,0	400	10
1996 en adelante	2,5	300	10
2003 en adelante	0,5	100	12

(4) Para vehículos a gasolina, únicamente en controles en carretera o vía pública realizados a más de 1800 metros sobre el nivel del mar, se aceptarán los siguientes valores para HC:

- Modelos hasta 1995:  $HC \leq 450$  ppm y 8 % CO + CO<sub>2</sub>.
- Modelos 1996 en adelante:  $HC \leq 350$  ppm y 8 % CO + CO<sub>2</sub>.

#### 4.1.5. Pruebas realizadas al motor convencional

Utilizando gasolina de 90 octanos.

##### A) Equipo utilizado

Analizador MAHA MGT5

- Este equipo compacto e independiente está diseñado para aplicaciones tanto estacionarias como móviles, basado en el opacímetro MD02 LON, permitiendo la

combinación multifuncional para el análisis de gases de escape en motores de gasolina y diésel.

- Presenta un amplio rango de aplicación, desde un dispositivo móvil básico con LED y terminal manual hasta un sistema más avanzado conectado a una computadora y un software de manejo sencillo.
- Un software inteligente facilita el uso del equipo, proporcionando toda la información necesaria para su operación.
- Diseñado con visión de futuro, incluye módulos funcionales adicionales, como la medición de revoluciones por minuto (rpm) y conexión a módulos E-OBD.
- Incluye módulos de interfaz que permiten conexión a PC y línea de pruebas.
- Compatible con ASA/Eurosystem y Citrix.
- Capaz de medir NOx.
- Dispositivo universal adecuado para la medición de gases de escape en motores a gasolina.
- Posee la opción de conectarse a una base de datos de vehículos.



*Figura 23. Analizador MAHA MGT5*

### **B) Pruebas registradas**

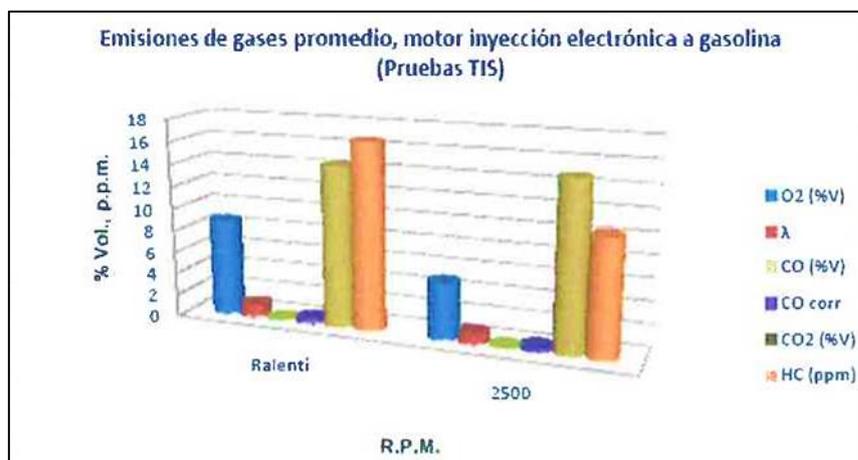
La medición de gases de escape en un motor de carburación se realiza a diferentes velocidades, incluyendo la marcha mínima (ralentí) a 1000 rpm y la marcha de cruce a 2500 rpm, en pruebas conocidas como TIS.

Se llevan a cabo mediciones a distintas velocidades del motor con carga, variando las revoluciones por minuto (rpm) en puntos específicos como 1000, 1500, 2000 y 2500 rpm. Los resultados de estas mediciones se presentan en las tablas y figuras correspondientes.

Para obtener datos promedio de las pruebas y analizar los gases del motor con gasolina de 90 octanos, se calcula la media de los resultados obtenidos en las diferentes velocidades del motor y condiciones de carga. Este análisis ofrece una visión general del rendimiento y las emisiones del motor con gasolina de 90 octanos en condiciones específicas. Los datos promedio se presentan en tablas o gráficos para facilitar su interpretación.

**Tabla 12. Datos promedio de las pruebas, análisis de gases en el motor a carburación utilizando gasolina 90 octanos**

RPM	Parámetros						
	k	CO (%)	CO <sub>2</sub> (%)	HC (ppm)	O <sub>2</sub> (%)	T °C	COcORR
903 (Ralenti)	1,092	0,000	14,40	17,00	8,72	92	0,35
2510 (crucero)	0,836	0,010	14,87	10,00	5,010	93	0,34



**Figura 24. Promedio de emisiones en el motor con gasolina de 90 octanos**

Para calcular las emisiones de gases promedio en el motor a carburación utilizando gasolina de 90 octanos, se toman los resultados obtenidos en las pruebas a diferentes velocidades y condiciones de carga, y se realiza un promedio de las emisiones específicas de cada gas. Estas emisiones pueden incluir dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono

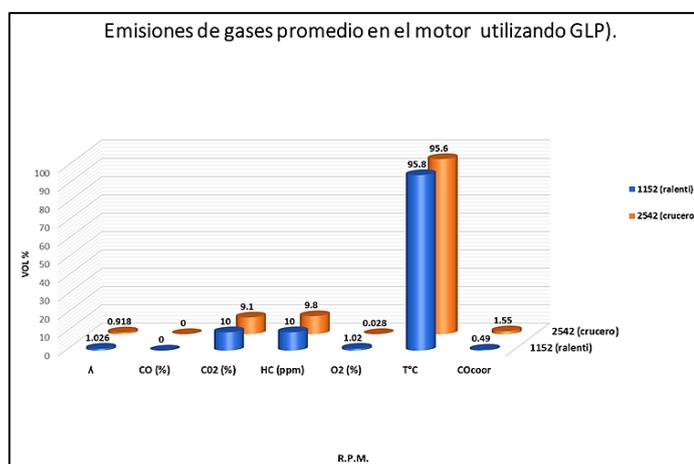
(CO), óxidos de nitrógeno (NOx) y otros compuestos según la configuración del sistema de escape.

El análisis de las emisiones promedio proporcionará una comprensión más completa del impacto ambiental y del rendimiento del motor al utilizar gasolina de 90 octanos en condiciones específicas. Estos datos son esenciales para evaluar la eficiencia del motor y cumplir con los estándares ambientales.

#### 4.1.6. Pruebas realizadas al motor utilizando GLP

**Tabla 13. Datos promedio de análisis de gases en el motor utilizando GLP**

Parámetros							
RPM	X	CO (%)	CO <sub>2</sub> (%)	HC (ppm)	O <sub>2</sub> (%)	T °C	COCOOR
1152 (ralentí)	1.026	0.000	10.000	10.000	1.020	95.800	0.490
2542 (crucero)	0.918	0.000	9.100	9.800	0.028	95.600	1.550



**Figura 25. Emisiones de gases promedio en el motor utilizando GLP**

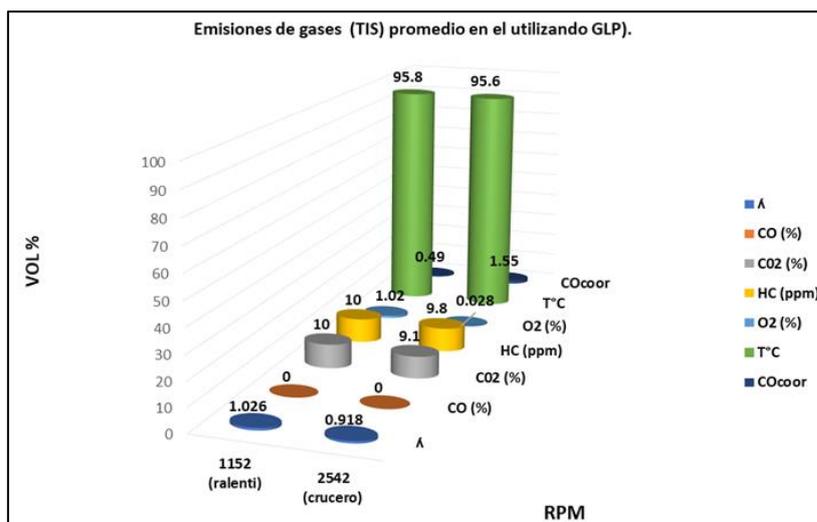


Figura 26. Emisiones de gases HC promedio en el motor utilizando GLP

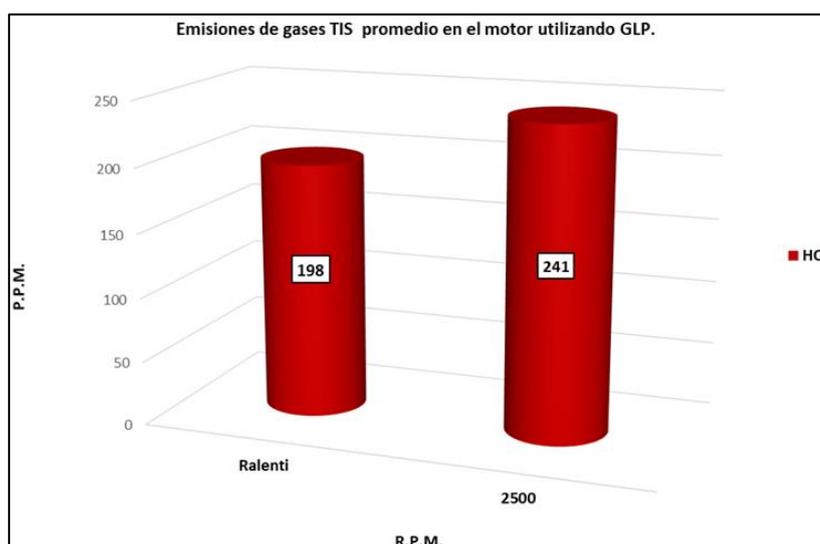


Figura 27. Emisiones de gases TIS promedio en el motor utilizando GLP

Tabla 14. Datos promedio de las pruebas de análisis de gases, motor con velocidad variable, utilizando GLP

Parámetros								
RPM	h	CO (%)	CO <sub>2</sub> (%)	HC (ppm)	O <sub>2</sub> (%1)	T °C	CO <sub>c</sub> ORR	NO <sub>x</sub>
1000	0,924	0,000	11,660	10	0,060	96	1,940	4
1500	0,928	0,000	11,880	10	0,020	96	1,750	1
2000	0,932	0,000	12,080	10	0,010	96	1,680	1
2500	0,931	0,000	11,540	10	0,010	97	2,200	0

Para obtener los datos promedio de las pruebas y realizar un análisis de gases en el motor con velocidad variable utilizando GLP, se calcula la media de los resultados obtenidos

en las diferentes velocidades del motor y condiciones de carga durante el uso de GLP. Este análisis proporcionará información sobre las emisiones y el rendimiento del motor al utilizar GLP en diversas condiciones operativas.

Los datos promedio pueden presentarse en tablas o gráficos, y el análisis puede incluir la evaluación de emisiones específicas como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y otros gases de escape relevantes. Estos resultados son valiosos para comprender el impacto ambiental y la eficiencia del motor cuando funciona con GLP.

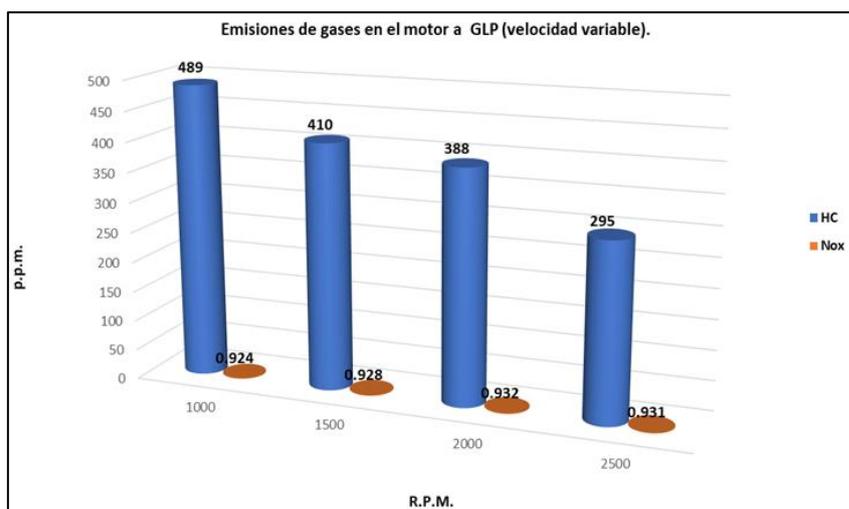


Figura 28. Emisiones de gases en el motor utilizando GLP (velocidad variable)

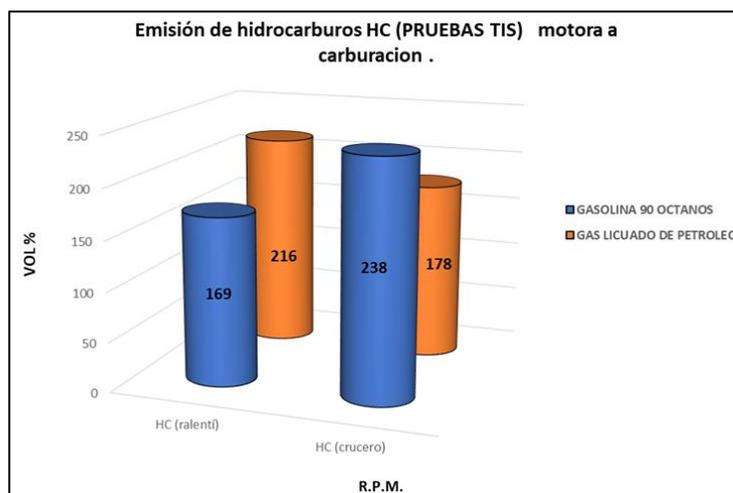
## 4.2. Evaluación de resultados

### 4.2.1. Evaluación de gases de escape obtenidos en las pruebas

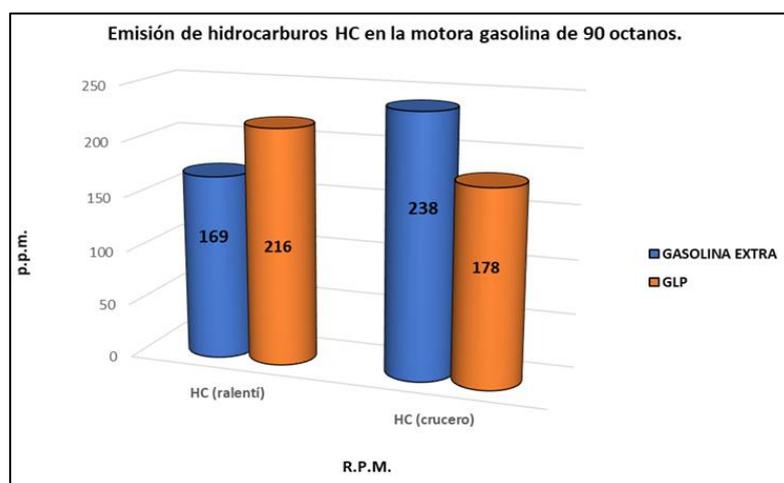
#### a) Análisis de hidrocarburos HC (ppm)

Tabla 15. Emisión de hidrocarburos HC en motor a gasolina de 90 octanos

Combustible	HC (ralentí)	HC (cruce)
Gasolina 90 octanos	169	238
Gas licuado de petróleo	216	178



**Figura 29. Emisión de hidrocarburos HC (pruebas TIS) motor a carburación**



**Figura 30. Emisión de hidrocarburos HC en el motor a carburación utilizando combustible gasolina o GLP**

Según los resultados obtenidos, se observa en la figura 29 un notable aumento en las emisiones de hidrocarburos (HC) cuando el motor opera con GLP. En ralentí, las emisiones aumentan un 17,5 % (47 unidades), mientras que a velocidad de cruceiro, el incremento es del 29,26 % (40,47 unidades). A pesar de estos incrementos, tanto las emisiones de HC con gasolina como con GLP se mantienen dentro de los límites permitidos por la normativa vigente.

**b) Análisis de CO (%V)**

**Tabla 16. Emisión de %CO en el motor a gasolina de 90 octanos**

Combustible	CO (ralentí)	CO (cruceiro)
Gasolina 90 octanos	1,20	1,47
Gas licuado de petróleo	0,07	1,71

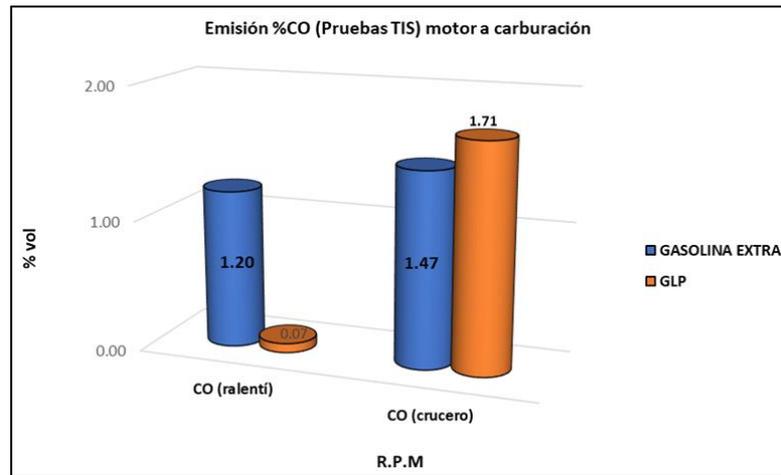


Figura 31. Emisión %CO<sub>2</sub> en el motor a carburación utilizando gasolina súper o GLP

Según los resultados, se observa en la figura 30 que, con gasolina de 90 octanos, la emisión de monóxido de carbono (%CO) disminuye en 1,13 unidades (94,16 %) cuando el motor funciona con GLP en ralentí. No obstante, a velocidad de cruceo (2500 rpm), la emisión de %CO aumenta en 0,24 unidades (14,04 %). A pesar de estos cambios, tanto las emisiones de %CO con gasolina como con GLP están dentro de los límites establecidos por la normativa vigente.

### c) Análisis de CO<sub>2</sub> (%V)

Tabla 17. Emisión de % CO<sub>2</sub> en el motor a gasolina de 90 octanos

Combustible	CO <sub>2</sub> (ralentí)	CO <sub>2</sub> (cruceo)
Gasolina 90 octanos	12,87	12,97
Gas licuado de petróleo	11,66	11,86

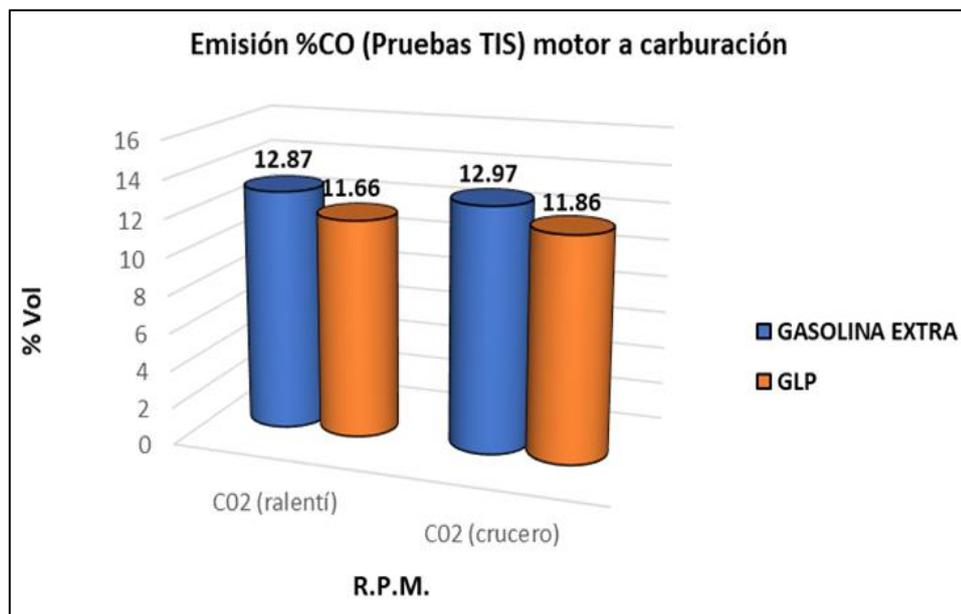


Figura 32. Emisión %CO<sub>2</sub> en el motor utilizando gasolina o GLP

De acuerdo con los resultados obtenidos y como se muestra en la figura 31, se observa que el uso de GLP en el motor a carburación reduce las emisiones de dióxido de carbono (%CO<sub>2</sub>) en comparación con el funcionamiento con gasolina. En ralentí, el %CO<sub>2</sub> disminuye en 1,21 unidades (9,4 %), mientras que a velocidad de crucero, baja en 1,11 unidades (8,56 %). Esto sugiere que el GLP contribuye a una reducción efectiva de las emisiones de CO<sub>2</sub> en este tipo de motor.

#### d) Análisis del factor lambda (A)

El factor lambda, o coeficiente de exceso de aire, se calcula dividiendo la relación aire/combustible actual del motor entre la relación ideal para una combustión completa. Este factor numérico indica la riqueza o pobreza de la mezcla aire-combustible y es crucial para evaluar el consumo de combustible y las emisiones de gases, como se presenta en la tabla 18.

**Tabla 18. Factor lambda**

Factor lambda (A)	Causas
=1	El volumen de aire aspirado corresponde con el teórico necesario
<1	Falta de aire (mezcla rica)
>1	Exceso de aire (mezcla pobre)
>1.3	Mezcla ya no es inflamable
0.9-1.1	Valores de lambda más adecuados

Cuando se menciona que «el volumen de aire aspirado corresponde con el teórico necesario», se está sugiriendo que la cantidad de aire que entra en el motor durante el proceso de aspiración es igual a la cantidad teórica que se considera óptima para una combustión eficiente. Esta igualdad es crucial para asegurar un equilibrio adecuado en la mezcla aire/combustible y, por lo tanto, optimizar el rendimiento del motor.

Un adecuado equilibrio en la relación aire/combustible es esencial para lograr una combustión completa y eficiente, lo que tiene un impacto directo en el consumo de combustible y las emisiones. Mantener un volumen de aire aspirado que coincida con la cantidad teórica necesaria contribuye a maximizar la eficiencia del motor y minimizar la generación de emisiones contaminantes.

**Tabla 19. Factor lambda A en el motor**

Combustible	A (ralentí)	A (crucero)
Gasolina 90 octanos	0,99	0,97
Gas licuado de petróleo	1,14	0,96

Según los resultados observados en la tabla 19, se nota que el valor de «A» (factor lambda) al utilizar GLP aumenta en 0.15 (15 %) en ralentí y en 0.01 (1 %) a velocidad crucero, en comparación con la gasolina. Esto indica que con GLP, la mezcla tiende a ser más rica en comparación con la mezcla estequiométrica ideal ( $\lambda = 1$ ).

En la tabla 19, se menciona que cuando el motor funciona con gasolina, el valor de «A» es el más adecuado, lo que sugiere que la mezcla de gasolina está cerca de la estequiométrica. En contraste, cuando el motor funciona con GLP en ralentí, el valor de «A» indica un exceso de aire en la mezcla, es decir, la mezcla tiende a ser más pobre de lo ideal para una combustión completa y eficiente.

Estos hallazgos subrayan la importancia de ajustar adecuadamente la mezcla aire-combustible según el tipo de combustible utilizado para optimizar el rendimiento del motor y minimizar las emisiones contaminantes.

Este análisis sugiere que el factor lambda o coeficiente de exceso de aire («A») varía al utilizar GLP en comparación con la gasolina. En ralentí, hay un aumento significativo en el valor de «A», indicando un mayor exceso de aire cuando se utiliza GLP. Esto puede tener implicaciones en el rendimiento del motor y en las emisiones, resaltando la importancia de ajustar la mezcla aire/combustible para optimizar el funcionamiento del motor con diferentes tipos de combustible.

**Tabla 20. Valor comparativo del consumo y ahorro de la gasolina vs. GLP**

Costo de la conversión a GLP	3750
Kilómetros recorridos por semana	400
Rendimiento en km/ galón con gasolina	35
(-20 %) rendimiento en GLP (km / galón GLP)	28.00
Consumo galones de gasolina 90 octanos semanal	11.43
Consumo galones de GLP semanal	14.29
	90 octanos                      GLP

---

Gasto semanal en combustible (en nuevos soles - S/)	165.71	81.00
Ahorro semanal vs. GLP (en porcentaje - %)	51.12	
Ahorro semanal vs. glp (en nuevos soles - S/)	84.71	
Valor de recuperación (en meses)	11	
Valor comparativo de ahorro	51.12 %	

---

## CAPÍTULO V

### DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 5.1. Discusiones

**Tabla 21. Coeficiente lambda y características de la mezcla del motor con gasolina de 90 octanos**

Variables	Medida	Unidades	Prueba
Poder calorífico inferior	43,95	MJ/kg	Calorímetro
Mezcla estequiométrica	= 1	Adimensional	Relación de aire teórico/aire real
Mezcla rica	<1	Adimensional	Relación de aire teórico/aire real
Mezcla pobre	>1	Adimensional	Relación de aire teórico/aire real
Coeficiente lambda A	0.97-1,03	Adimensional	Rango permisible

**Tabla 22. Coeficiente lambda y características de la mezcla del motor con gasolina de 90 octanos**

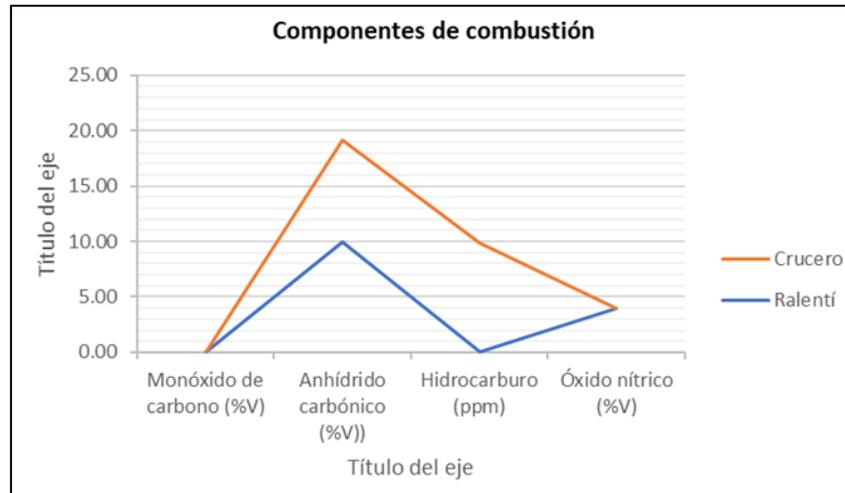
Componentes de combustión	Ralentí	Crucero	Resultado
Monóxido de carbono (% V)	0,00	0,01	Cumple con DL
Anhídrido carbónico (% V)	14,40	14,87	Cumple con DL
Hidrocarburo (ppm)	17,00	10,00	Cumple con DL
Óxido nítrico (% V)	13,00	8,00	NR
Vapor de agua (% V)	6,26	N.R	Permisible

**Tabla 23. Coeficiente lambda y características de la mezcla del motor con GLP**

Variables	Medida	Unidades	Prueba
Poder calorífico inferior	44,94	MJ/kg	Calorímetro
Mezcla estequiométrica	= 1	Adimensional	Relación de aire teórico/aire real
Mezcla rica	<1	Adimensional	Relación de aire teórico/aire real
Mezcla pobre	>1	Adimensional	Relación de aire teórico/aire real
Coeficiente lambda K	0.918-1,026	Adimensional	Rango permisible

**Tabla 24. Coeficiente lambda y características de la mezcla del motor con GLP**

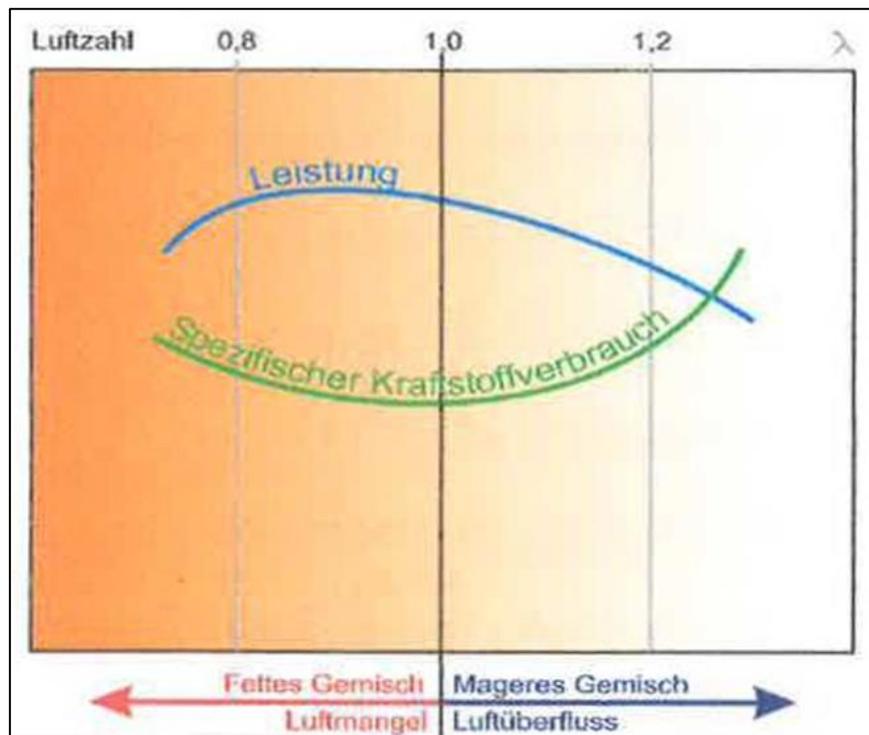
Componentes de combustión	Ralentí	Crucero	Resultado
Monóxido de carbono (% V)	0,00	0,00	Cumple con DL
Anhídrido carbónico (% V)	10,0	9,10	Cumple con DL
Hidrocarburo (ppm)	10,00	9,80	Cumple con DL
Óxido nítrico (% V)	4,00	0,00	NR
Vapor de agua (% V)	7,95	N.R	Permisible



**Figura 33. Componentes de combustión**

*Nota: El diagrama representa los componentes de combustión como son: monóxido de carbono (%V); anhídrido carbónico (%V); hidrocarburo (ppm); óxido nítrico (%V); vapor de agua (%V), tanto en ralentí como en crucero, mostrando los resultados permisibles*

## 5.2. Interpretación



**Figura 34. Coeficiente lambda A**

El factor lambda, comúnmente designado con la letra griega « $\lambda$ », indica la proporción aire/combustible (en peso) de la mezcla que ingresa al cilindro de un motor de ciclo Otto, en comparación con la mezcla estequiométrica ideal. Para la gasolina, la mezcla estequiométrica ideal es de 14,96 partes de aire en peso por 1 parte de combustible en peso. Para el GLP, esta proporción se expresa como 0,516 partes de volumen de aire por 1 parte de combustible en volumen.

El valor de lambda permite conocer si la mezcla es más rica ( $\lambda < 1$ ), estequiométrica ( $\lambda = 1$ ) o más pobre ( $\lambda > 1$ ) respecto a la mezcla ideal para una combustión completa y eficiente en el motor.

Con la inyección electrónica de combustible, el ajuste de la cantidad de combustible se realiza variando el tiempo de inyección, controlado por la unidad de control electrónico (ECM). Esta unidad recibe datos de sensores que miden las RPM del motor, el flujo de aire, la temperatura del líquido refrigerante y la posición de la válvula de aceleración. Con esta información, el ECM determina el tiempo óptimo de inyección para asegurar una mezcla adecuada de aire y combustible, maximizando el rendimiento del motor y minimizando las emisiones.

La incorporación del catalizador busca mantener el factor lambda cerca de 1, logrando así el mejor rendimiento del motor y reduciendo las emisiones. La sonda lambda, o sensor de oxígeno, mide el nivel de oxígeno en los gases de escape y envía estos datos al ECM. El ECM ajusta continuamente el tiempo de inyección para mantener la mezcla aire-combustible en la relación estequiométrica ( $\lambda = 1$ ), optimizando la eficiencia del motor y la efectividad del catalizador en la reducción de emisiones.

### **Poder calorífico**

La cantidad de calor que entrega un kilogramo o un metro cúbico de combustible al oxidarse completamente se conoce como poder calorífico. Este proceso implica que el carbono del combustible se convierta en dióxido de carbono y el hidrógeno se oxide a vapor de agua.

Para responder a la pregunta:

- a) La humedad propia del combustible: Esto se refiere a la cantidad de agua que está naturalmente presente en el combustible antes de la combustión. Al quemarse, esta humedad contribuye a la formación de vapor de agua en el proceso de oxidación.

- b) El agua formada por la combustión del hidrógeno del combustible: El hidrógeno presente en el combustible se combina con el oxígeno del aire durante la combustión para formar vapor de agua.

En resumen, el calor liberado durante la combustión del combustible proviene tanto del carbono que se convierte en dióxido de carbono como del hidrógeno que se convierte en vapor de agua, utilizando tanto la humedad natural del combustible como la que se forma durante la combustión.

De esta manera, al condensar el vapor de agua contenido en los gases de combustión se tiene un aporte de calor de: 597 597 kcal / kg vapor de agua condensado. Ambos combustibles utilizados en el sistema dual tienen valores casi similares, en consecuencia, no hay problema.

**Tabla 25. Poder calorífico de los combustibles GLP y gasolina**

<b>Combustible</b>	<b>Poder calorífico inferior</b>	<b>Poder calorífico superior</b>
Gas licuado de petróleo	10 734 kcal/kg	11660 kcal/kg
Gasolina de 90 octanos	43950 kJ/kg	46885 kJ/kg

### **Mezcla estequiométrica, mezcla rica y mezcla pobre**

La mezcla estequiométrica es la proporción ideal de aire y gasolina necesaria para una combustión completa. En un motor de automóvil, se requieren aproximadamente 14.96 gramos de aire para quemar 1 gramo de gasolina. Debido a la dificultad de lograr una mezcla perfectamente homogénea, los sistemas de alimentación suministran una mezcla ligeramente más rica en aire.

En este contexto, la "mezcla económica" incluye un 10 % más de aire por gramo de gasolina, resultando en una proporción de 16 partes de aire por cada parte de combustible. Esta estrategia ayuda a compensar la falta de homogeneidad en la mezcla, mejorando la eficiencia del motor y reduciendo las emisiones.

El ajuste de la mezcla en motores de ciclo Otto, como los de los automóviles, se adapta a diferentes condiciones de operación para optimizar el rendimiento y la eficiencia. Algunos puntos clave en este ajuste son:

### Arranque en frío y aceleración franca

Al arrancar el motor en frío o cuando se requiere una aceleración rápida, se ajusta la mezcla para que sea más rica. Esto ayuda a facilitar la ignición en frío y proporciona la cantidad adecuada de combustible durante una aceleración rápida.

### Mínimo consumo con motor caliente

Cuando el motor está caliente y se busca un consumo mínimo de combustible, se ajusta la mezcla para que sea más pobre. Esto se hace para optimizar la eficiencia del combustible cuando no se requiere una potencia significativa.

### Ralentí

En el ralentí, es conveniente tener una mezcla ligeramente más rica para superar las resistencias internas del motor y garantizar un funcionamiento suave y estable a velocidades bajas.

### Adaptación a variaciones en la altura

En vehículos que operan en diferentes altitudes, como en áreas costeras, montañas y selvas, donde hay variaciones significativas en la densidad del aire, se puede requerir un ajuste manual de la mezcla. Esto se monitorea a menudo utilizando la temperatura de los gases de escape como indicador.

En resumen, el ajuste de la mezcla en motores de automóviles se realiza de manera dinámica para adaptarse a las condiciones específicas de operación y optimizar la eficiencia y el rendimiento del motor.

### Combustión completa

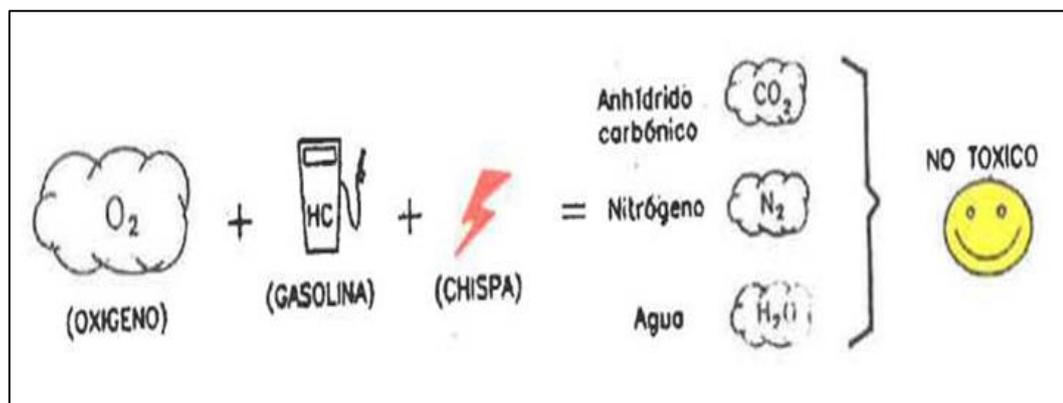


Figura 35. Combustión completa

### Combustión incompleta

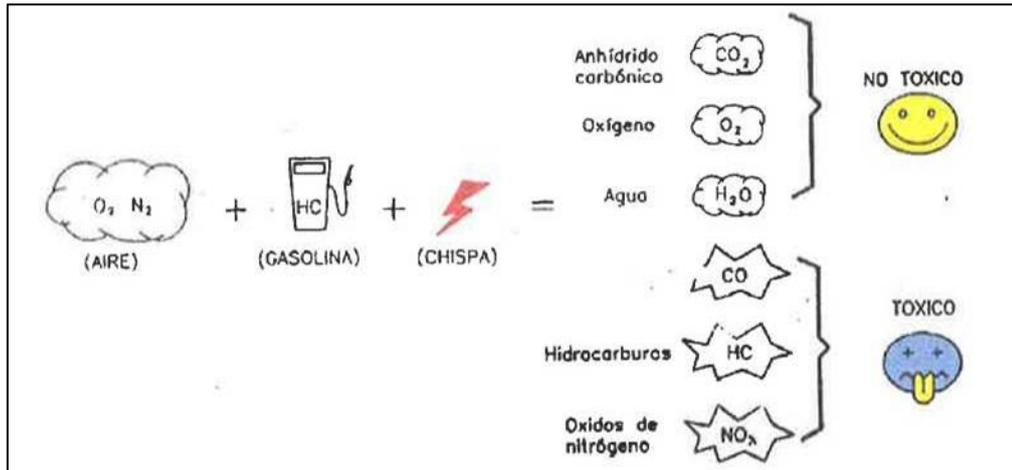


Figura 36. Combustión incompleta

### 5.3. Consecuencias del dual adaptado

Tabla 26. Consecuencias de la mezcla del dual

Mezcla	Porcentaje	Consecuencias
	< 0,75	El motor se ahoga y no funciona
Rica	0,75-0,85	Incrementa la potencia
	0,75-0,95	Potencia máxima en régimen continuo
Normal	0,95 - 1,05	Conducción normal (reg. de crucero)
	1,05-1,15	Consumo mínimo con pérdida de pot.
Pobre	1,15 - 1,30	Incremento de consumo con baja pot.
	> 1,30	Motor no funciona, no combustiona

## CONCLUSIONES

1. Los hidrocarburos adicionan HC que se añaden en ralentí un 47 ppm y en velocidad de crucero en 40 ppm y se lleva a cabo con el decreto de la norma legislativa.
2. El anhídrido carbónico CO en ralentí disminuye en 94.11 % y en velocidad de crucero aumenta 14.14 % lo cual sigue manteniendo la norma.
3. El bióxido de carbono CO<sub>2</sub> baja en un 94 % en ralentí y 8,56 % en velocidad de crucero respectivamente.
4.  $\lambda$  por ser combustible de propano y etano solo aumenta en ralentí un 15 % y en velocidad de crucero en 1 %.
5. El GLP ofrece varias ventajas, entre ellas, una combustión más limpia y un costo significativamente menor en comparación con la gasolina. Estas características hacen del GLP una alternativa económica inmediata en su utilización como combustible.
6. El valor comparativo por del consumo de combustible entre la gasolina de 90 octanos y el GLP es de un 51.12 % que representa un porcentaje de ahorro económico por consumo muy significativo.
7. En resumen, el GLP se destaca como una alternativa viable y económica, ofreciendo beneficios tanto en términos de costos como de emisiones, lo que lo convierte en una opción atractiva para muchos consumidores y flotas de vehículos.

## RECOMENDACIONES

1. Las afirmaciones son críticas y fundamentales cuando se trata de la instalación y el uso de sistemas de GLP en vehículos: instalación por profesionales idóneos y en talleres autorizados.
2. La instalación de un sistema de GLP en un vehículo debe ser llevada a cabo por profesionales altamente capacitados y en talleres autorizados por las entidades pertinentes, como el Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Esto garantiza que la instalación cumpla con los estándares de seguridad y calidad requeridos.
3. Correcta calibración de la mezcla aire-combustible: La calibración adecuada de la mezcla aire-combustible es esencial para evitar daños y asegurar el funcionamiento óptimo del motor. Una mezcla incorrecta puede llevar a problemas de rendimiento, aumento de emisiones contaminantes y posibles daños al motor. La calibración precisa se realiza durante la instalación y debe ser realizada por profesionales con experiencia en sistemas de GLP.
4. En conjunto, estas medidas contribuyen a la seguridad, eficiencia y fiabilidad del sistema de GLP en el vehículo. Es fundamental seguir los procedimientos y estándares establecidos para garantizar un funcionamiento seguro y óptimo del motor, así como, para cumplir con las regulaciones y normativas aplicables.
5. La recomendación de llenar el tanque de almacenamiento de GLP hasta un 80 % de su capacidad es una medida de seguridad estándar en la industria del GLP. Esto se hace para dejar espacio para la expansión del gas en condiciones de aumento de temperatura y para prevenir posibles riesgos asociados con el llenado completo del tanque.

## REFERENCIAS

1. **MENÉNDEZ, Carlos.** *Proyecto de Conversión a GNC/GLP de un vehículo con MCI de combustible líquido como alternativa a la hibridación eléctrica.* Madrid: Universidad Pontificia de Comillas (ICAI), 2019.
2. **SÁNCHEZ, Jaime.** *Transformación de un Vehículo automóvil mediante el cambio de combustible de gasolina a LPG.* Madrid: s.n., 2018.
3. **CHAPARRO, Mauricio.** *Evaluación del uso de Gas licuado de petróleo en vehículos automotores convencionales sobre territorio colombiano.* Online. Tesis de grado. Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2015. [Fecha de consulta 5 de marzo de 2024]. Disponible en:  
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/56586/1082902626.2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
4. **BEJARANO, Christian.** *Efectos que produce la conversión a GLP en el performance de los motores de marca Toyota en Huancayo.* Huancayo - Perú: s.n., 2022.
5. **CATALAN, Gerald.** *Estudio y análisis comparativo de un sistema de gasolina empleando GLP para optimizar la combustión interna de un motor OTTO en un montacarga Arequipa- Perú.* Arequipa, Perú: s.n., 2021.
6. **CABREJOS, Juan.** *Taxistas de Chiclayo preocupados por falta de gas para sus vehículos.* 2013. (Fecha de consulta: 4 setiembre 2016). Disponible en:  
[http://www.rpp.com.pe/2013-04-24-taxistas-de-chiclayo-preocupadospor-falta-de-gas-para-sus-vehiculos-noticia\\_588419.html](http://www.rpp.com.pe/2013-04-24-taxistas-de-chiclayo-preocupadospor-falta-de-gas-para-sus-vehiculos-noticia_588419.html)
7. **RODRÍGUEZ, Juan.** *Incidencia del consumo de combustible en la huella de carbono en la ciudad de Moyobamba.* En línea. Tesis de grado. Tarapoto: Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, 2021. [Fecha de consulta: 5 de marzo de 2024]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11458/4075>
8. **VARAS, Lupo; BALTODANO, Luz; GÁLVEZ, Rosa.** Emisión de gases vehiculares y su impacto en la calidad del aire. *Advances in Science and Innovation.* En línea. 6 December 2022. 1(1), p. 119–132. [Fecha de consulta: 5 de marzo de 2024]. Disponible en: DOI 10.61210/asi.v1i1.11.
9. **Osinermin.** Osinermin. [En línea] Osinermin, 07 de 05 de 2023. [Fecha de consulta: 7 de mayo de 2023]. Disponible en :  
<https://www.facilito.gob.pe/facilito/actions/PreciosGLPAction.do>.
10. **Ministerio de Transportes y Comunicaciones.** *Directiva Régimen de Autorización y Funcionamiento de las Entidades Certificadoras de Conversión a GLP y de los talleres de Conversión a GLP Resolución directoral 145040-2007-MTC-15.* [En línea] Sutran, 19 de octubre de 2007. [Fecha de consulta: 07 de mayo de 2023.] Disponible en:



## ANEXOS

**Anexo 1: Matriz de consistencia**

Formulación de problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
<b>Problema general</b>	<b>Objetivo general</b>	<b>Hipótesis general</b>	<b>Variable independiente</b>	<b>Método de investigación:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿En qué medida el cambio al sistema de combustible GLP reduce la emisión de gases contaminantes y el gasto en combustible en un motor Toyota 3T convertido a GLP en la ciudad de Huánuco?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Demostrar que el cambio al sistema de combustible GLP reduce la emisión de gases contaminantes y el gasto en combustible en un motor Toyota 3T convertido a GLP en la ciudad de Huánuco.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El cambio al sistema de combustible GLP reduce la emisión de gases contaminantes y el gasto en combustible en un motor Toyota 3T convertido a GLP en la ciudad de Huánuco.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema de combustible del motor Toyota 3T.</li> </ul>	<p style="text-align: center;">Cuantitativo</p>
<b>Problemas específicos</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis específicas</b>	<b>Variable dependiente</b>	<b>Nivel de investigación:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿En qué medida el cambio al sistema de combustible GLP reduce el gasto en combustible en carretera en un motor Toyota 3T convertido a GLP en la ciudad de Huánuco?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Probar que el cambio al sistema de combustible GLP reduce el gasto en combustible en carretera en un motor Toyota 3T convertido a GLP en la ciudad de Huánuco.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El cambio al sistema de combustible GLP reduce el gasto en combustible en carretera en un motor Toyota 3T convertido a GLP en la ciudad de Huánuco.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gasto en combustible en motor Toyota 3T.</li> <li>• Emisión de gases contaminantes en un motor Toyota 3T.</li> </ul>	<p style="text-align: center;">Descriptivo</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿En qué medida el cambio al sistema de combustible GLP</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar que el cambio al sistema de combustible GLP</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El cambio al sistema de combustible GLP reduce el gasto en combustible en ciudad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>3T.</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Diseño:</b> Descriptivo simple</p>

---

<p>reduce el gasto en combustible en ciudad en un motor Toyota 3T convertido a GLP en la ciudad de Huánuco?</p>	<p>reduce el gasto en combustible en ciudad en un motor Toyota 3T convertido a GLP en la ciudad de Huánuco.</p>	<p>en un motor Toyota 3T convertido a GLP en la ciudad de Huánuco.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿En qué medida el cambio al sistema de combustible GLP reduce la emisión de CO<sub>2</sub> en un motor Toyota 3T convertido a GLP en la ciudad de Huánuco?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluar que el cambio al sistema de combustible GLP reduce la emisión de CO<sub>2</sub> en un motor Toyota 3T convertido a GLP en la ciudad de Huánuco.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El cambio al sistema de combustible GLP reduce la emisión de CO<sub>2</sub> en un motor Toyota 3T convertido a GLP en la ciudad de Huánuco.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿En qué medida el cambio al sistema de combustible GLP reduce la emisión de CO en un motor Toyota 3T convertido a GLP en la ciudad de Huánuco?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprobar que el cambio al sistema de combustible GLP reduce la emisión de CO en un motor Toyota 3T convertido a GLP en la ciudad de Huánuco.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El cambio al sistema de combustible GLP reduce la emisión de CO en un motor Toyota 3T convertido a GLP en la ciudad de Huánuco.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿En qué medida el cambio al sistema de combustible GLP reduce la emisión de NO<sub>x</sub> en un motor Toyota 3T convertido a GLP en la ciudad de Huánuco?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar que el cambio al sistema de combustible GLP reduce la emisión de NO<sub>x</sub> en un motor Toyota 3T convertido a GLP en la ciudad de Huánuco.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El cambio al sistema de combustible GLP reduce la emisión de NO<sub>x</sub> en un motor Toyota 3T convertido a GLP en la ciudad de Huánuco.</li> </ul>

---

**Anexo 2: Fotografías diversas tomadas en el proceso de conversión a GLP y toma de datos del motor Toyota 3T**







