



Universidad Internacional del Ecuador

Escuela de Ingeniería Automotriz

Artículo de Integración Curricular previo a la obtención del Título
de Ingeniería Mecánica Automotriz

PROYECCIÓN SOBRE EL IMPACTO DE LA HUELLA DE
CARBONO PARA VEHÍCULOS M1 USANDO GLP EN EL
DMQ.

Autores:

José Antonio Alvarez Muñoz

Esteban Andrés Velasco Aguaiza

Director: Ing. Denny Javier Guanuche Larco

Quito, enero 2022

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre Tania y mi hermano Francisco por su inagotable amor y apoyo durante el transcurso de mi vida. Un especial agradecimiento a mis abuelos maternos Francisco Hernán y María Ercilia quienes con su amor incondicional y presencia formaron mi carácter y me dieron seguridad para afrontar con valores la vida. A Dios, por dotarme de las capacidades necesarias para culminar mi carrera y mantener mi fe intacta.

José Antonio Alvarez Muñoz

DEDICATORIA

A Dios y Madre Celestial, quien, con su infinita buena voluntad y amor, han sabido guiarme en el camino. A mis padres: Jorge y Lourdes que han sido ejemplo de lucha, apoyo y amor incondicional. A mi tía Tangee y abuelita Ana que sin su apoyo y consejos nada de esto sería posible. A mis abuelitos maternos. A todos ustedes, infinitas gracias desde el fondo de mi corazón.

Esteban Andrés Velasco Aguiza

AGRADECIMIENTO

Mi gratitud a los docentes de la carrera de Ingeniería Automotriz quienes me transmitieron el conocimiento necesario para afrontar con entereza y seguridad mi vida laboral y profesional.

Agradezco a mi tutor Ing. Denny Guanuche, por su constante apoyo y dirección en la elaboración y culminación de este trabajo académico.

Agradezco a la Universidad Internacional del Ecuador por brindarme una formación integral profundizando la parte académica, pero sin olvidar la formación de valores, lo que me hace sentir orgulloso de formar parte de esta comunidad universitaria.

José Antonio Alvarez Muñoz

AGRADECIMIENTO

Gracias a toda la comunidad UIDE que se encarga de formar grandes profesionales con conocimientos sólidos y calidez humana.

A nuestro tutor, Ing. Denny Guanuche y todos quienes sin interés aportaron en la elaboración de este trabajo.

Esteban Andrés Velasco Aguaiza

Tabla de contenido	
RESUMEN-----	1
ABSTRACT -----	1
1. INTRODUCCION-----	2
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA -----	2
2.1. Parque automotor de taxis en Quito -----	2
2.2. Normativa Ecuatoriana para uso de GLP en automoción -----	2
2.3. Normativa Ecuatoriana regulatorios para equipos de carburación del GLP-----	3
2.4. Norma Ecuatoriana requisitos GLP -----	3
2.5. Análisis de costo GLP vs gasolina -----	4
2.6. Datos técnicos del GLP -----	5
2.7. Estudio matemático GLP -----	5
2.7.1. Huella de carbono -----	6
3. MATERIALES Y MÉTODOS -----	6
3.1. Metodología Empleada-----	6
3.2. Vehículos en estudio -----	6
3.3. Fichas Técnicas -----	7
3.4. Normativa de medición -----	8
3.5. Ecuación Estequiométrica -----	8
3.6. Consumo Específico GLP -----	8
3.7. Cantidad de Emisiones -----	8
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN -----	9
4.1. Datos de Entrada-----	9
4.2. Estimación y Proyección de emisiones -----	9
5. CONCLUSIONES-----	11
6. REFERENCIAS -----	11
ANEXOS-----	13

Índice de ecuaciones

Ecuación Estequiométrica. Ec [1]	6
Kilogramos de CO ₂ . Ec [2]	6
Kilogramos de CO. Ec [3]	6
Consumo Específico. Ec [4]	8
Emisiones de CO ₂ . Ec [5]	8
Emisiones de CO. Ec [6]	9
Ecuación estequiométrica Gasolina AveoEc [7]	22
KG de CO ₂ gasolina aveo. Ec [8]	22
Kg de CO gasolina aveo. Ec [9]	22
Ecuación estequiométrica GLP Aveo. Ec [10]	23
Kg de CO ₂ GLP Aveo. Ec [11]	23
Kg de CO GLP Aveo. Ec [12]	23
Ecuación estequiométrica KIA Gasolina. Ec [13]	24
Kg de CO ₂ gasolina KIA. Ec [14]	24
Kg de CO gasolina KIA. Ec [15]	24
Ecuación estequiométrica GLP KIA. Ec [16]	24
Kg de CO ₂ GLP KIA. Ec [17]	25
Kg de co GLP KIA. Ec [18]	25

Índice de Tablas

Tabla 1. Requisitos para el uso de GLP.....	4
Tabla 2. Precios GLP según su Aplicación	5
Tabla 3. Emisiones comparativas de combustibles alternativos en comparación a combustibles convencionales	5
Tabla 4. Datos Técnicos del Tanque reservorio de GLP	7
Tabla 5. Tolerancia de Medición	7
Tabla 6. Valores Permisibles de Emisiones para GLP	8
Tabla 7. Recorrido promedio Chevrolet Aveo con tanque de GLP.....	8
Tabla 8. Recorrido promedio KIA Soluto con tanque de GLP	8
Tabla 9. Medición Aveo Gasolina	9
Tabla 10. Medición Aveo GLP.....	9
Tabla 11. Medición KIA Gasolina.....	9
Tabla 12. Medición KIA GLP	9

Índice de Figuras

Figura 1. Kg CO ₂ Chevrolet Aveo; GLP y Gasolina.....	10
Figura 2. Kg CO Chevrolet Aveo; GLP y Gasolina.....	10
Figura 3. Kg CO ₂ KIA Soluto; GLP y Gasolina.....	10
Figura 4. Kg CO KIA Soluto; GLP y Gasolina.....	10
Figura 5. Proyección Media Global de CO ₂ de Gasolina y GLP.....	10
Figura 6. Proyección Global CO de Gasolina y GLP.....	11

PROYECCIÓN SOBRE EL IMPACTO DE LA HUELLA DE CARBONO PARA VEHÍCULOS M1 USANDO GLP EN EL DMQ.

Ing. Denny Guanuche¹, José Alvarez², Esteban Velasco³.

¹ *Ingeniería Automotriz Universidad Internacional del Ecuador, email deguanuchela@uide.edu.ec, Quito – Ecuador*

² *Ingeniería Automotriz Universidad Internacional del Ecuador, email joalvarezmu@uide.edu.ec, Quito - Ecuador*

³ *Ingeniería Automotriz Universidad Internacional del Ecuador, email esvelascoag@uide.edu.ec, Quito – Ecuador*

RESUMEN

La contaminación provocada por motores de combustión interna se hace con más presencia por el impacto provocado en la huella de carbono, causantes del calentamiento global y enfermedades cardiorrespiratorias. Con este antecedente hemos propuesto el estudio del parque automotor de categoría M1 de transporte público en el DMQ, con intención de implementar GLP en sustitución de la gasolina. El objetivo es mermar el impacto sobre la contaminación atmosférica. Para llevar a cabo el estudio se realizó mediciones de gases en dos vehículos que funcionan con sistema dual GLP/Gasolina. Adicionalmente se realizó un estudio de autonomía. Con la recolección de datos se aplicó un modelo matemático que cuantifica con exactitud la cantidad de gases emitidos. En base a estos valores se hace una proyección respecto al tiempo necesario para la adquisición e implementación de GLP de 5 años. Se toma en consideración que: en dos años el 40% de vehículos usará GLP, en cuatro años el 80% y el 100% en cinco años. Los resultados muestran que el uso de GLP disminuye las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) en un índice de 30% lo que conduce a contemplar esta alternativa como un método para reducir transitoriamente las emisiones contaminantes en la ciudad de Quito. No obstante, el CO reduce drásticamente su tasa de emisión siempre y cuando el vehículo cuente con catalizador. Por lo que se concluye en este estudio la alta viabilidad de implementación de GLP en sustitución de la gasolina, tanto por su menor impacto sobre la huella de carbono y por el ahorro económico que representa su uso.

Palabras clave: GLP, huella de carbono, ahorro económico, transporte público M1, DMQ

ABSTRACT

Pollution caused by internal combustion engines is more present due to the impact caused on the carbon footprint, causing global warming and cardiorespiratory diseases, against this background the fleet of M1 category public transport in the DMQ has been put under study with the intention of implementing LPG to replace gasoline; this in order to reduce the impact on air pollution. To carry out the study, gas measurements were taken in two vehicles that operate with dual system LPG/Gasoline, additionally a study of autonomy, with the collection of data a mathematical model was applied that accurately quantifies the amount of gases emitted, based on these values a projection is made, regarding the time required for the acquisition and implementation of LPG of 5 years, it is taken into consideration that: in two years 40% of vehicles will use LPG, in four years 80% and 100% in five years. The results show that the use of LPG decreases carbon dioxide (CO₂) emissions by 30%, while carbon monoxide (CO) increases 40% with respect to gasoline; however, CO for a vehicle with a catalytic converter is well below a range considered highly risky. The study proves the high feasibility of implementing LPG as a substitute for gasoline, both for its lower impact on the carbon footprint and for the economic savings that its use represents.

Keywords: GLP, carbon footprint, economic savings, public transport M1, DMQ.

1. INTRODUCCION

En el contexto global, las emisiones contaminantes son una problemática a la que los fabricantes de automotores se han enfrentado durante varias décadas en su afán por reducir los agentes contaminantes que producen los motores de combustión interna hacia el medio ambiente. Éstos afectan no solo la calidad de vida de los ciudadanos, quienes se ven expuestos a estos gases, sino también pasa a ser un detonante de problemas de salud pública como consecuencia de las afectaciones de los gases contaminantes, la Organización Mundial de la Salud corrobora que 9 de cada 10 personas respiran aire con altos niveles de contaminantes. Con este antecedente, se considera oportuno recomendar el uso de un combustible alternativo como el GLP para motores de combustión, que ofrecen menores emisiones contaminantes; que, si bien no elimina el problema, podría ayudar a mermarlo, en estudios relacionados se aprecia al GLP como buen sustituto [10]. El objetivo de la investigación es realizar una proyección centrada sobre el efecto de la huella de carbono que producirá el uso del GLP en vehículos de transporte público de categoría M1 para el Distrito Metropolitano de Quito. Los objetivos específicos son la determinación del porcentaje de reducción de emisiones contaminantes con uso de GLP y determinación de sistemas empleados a nivel mundial para la reducción de gases contaminantes tomando en cuenta el tamaño del parque automotor de taxis en Quito. El tema es seleccionado en respuesta a la necesidad de reducir emisiones de gases contaminantes. Cabe mencionar que el subsidio a la gasolina, sobre todo a la denomina Súper, actualmente se ha visto mermado con el tiempo; por lo que los usuarios de vehículos se ven en la necesidad de economizar cada recarga de su tanque de combustible. El GLP es una gran opción, puesto que éste puede movilizar el vehículo a la misma distancia que la gasolina a un precio muy por debajo. En correspondencia a ello es importante demostrar que, con sustituir el carburante, en este caso la gasolina por el GLP se puede conseguir reducir emisiones y economizar en combustible. De esta forma se mejorará la calidad del aire en el DMQ. El proceso de

obtención del GLP es a través de la extracción del gas natural. El gas licuado de petróleo es un combustible alternativo que se usa en más de 15 millones de vehículos a nivel mundial. En un estudio de Beneficios Ambientales y Técnicos del GLP se corrobora que en continentes como Asia, Oceanía y principalmente Europa su implementación ha conseguido una minimización importante de emisiones de CO, HC y CO₂ en comparación con la gasolina en automoción, [1]. Cuando se trata de emisiones se concluye que: “Durante su combustión, los GLP generan un 36% menos de emisiones de CO₂ (dióxido de carbono) que el carbón, un 15% menos que la gasolina y un 10% menos que el diésel.” [1]. Por lo dicho con anterioridad se debe implementar el sistema GLP en el parque automotor del DMQ para vehículos de transporte público categoría M1.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Parque automotor de taxis en Quito

Establecer el tamaño del parque automotor de taxis en Quito hace posible crear límites para realizar una proyección de emisiones contaminantes para este segmento. El Municipio de Quito para conocer los taxis legales en funcionamiento atravesó un proceso de regularización el cual es realizado por la Agencia Metropolitana de Tránsito AMT. Para este trámite hubo tres etapas: la primera etapa en octubre de 2018 cuando se presentaron 12905 postulantes; la segunda etapa donde se habilitaron 8656 taxis y en la tercera etapa se verificó documentación para entregar permisos de operación para 8439 taxis. Para enero del 2020 habría en circulación 30.000 taxis en Quito. [2]

2.2. Normativa Ecuatoriana para uso de GLP en automoción

En el año 2000, el Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN expidió cuatro normas para el uso de GLP. Ese mismo año se emitió el primer decreto N.º 543 el cual autorizó el uso del gas como combustible. Las normas expedidas regulan el sistema de funcionamiento, el establecimiento

instalador, la forma de colocarlo y los surtidores. [3]

Hoy en día, el Instituto Ecuatoriano de Normalización en la norma técnica NTE INEN 2 311:2008 “Vehículos Automotores. Funcionamiento de Vehículos con GLP. Conversión de Motores de Combustión Interna con Sistema de Carburación de Gasolina por Carburación Dual GLP/Gasolina o solo de GLP. Requisitos”, tiene como objetivo establecer requisitos mínimos para realizar la conversión de motores de combustión interna de carburación de gasolina por carburación dual GLP/Gasolina o solo de GLP. La conversión no conlleva la modificación interna del motor, al contrario, se requiere de la instalación de un kit adicional para su funcionamiento. Entre las consideraciones más importantes para la instalación y funcionamiento encontradas en la norma técnica se destacan:

- . - Revisión de las condiciones del motor, las cuales se deben ajustar a las recomendadas por el fabricante
- . – Para la instalación del tanque se debe determinar un lugar protegido contra colisiones y que no cause molestias al movimiento normal del vehículo. Es por ello que el tanque no puede estar situado en el techo, delante del eje de las ruedas delanteras o atrás del guardachoque posterior.
- . – El tanque debe estar alejado al menos 20cm del sistema de gases de escape o fuentes de calor. En caso de imposibilitarse se debe usar pantallas aislantes.
- . – El tanque no puede ser instalado por debajo del punto más bajo del vehículo.
- . – El soporte del tanque debe ser capaz de soportar 4 veces el peso del tanque lleno de combustible. Se debe usar al menos cuatro elementos de fijación.
- . – Emplear elementos sellantes en todas las uniones y sujeciones para prevenir fugas de GLP.
- . – Los vehículos que operan con GLP deben tener un identificador mediante una etiqueta en forma de rombo. [4]

2.3. Normativa Ecuatoriana regulatorios para equipos de carburación del GLP

El Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) en la norma técnica NTE INEN 2

310:2008 “Vehículos Automotores. Funcionamiento de vehículos con GLP. Equipos para carburación dual GLP/Gasolina o solo de GLP en motores de combustión interna. Requisitos”, tiene como objeto “establecer requisitos mínimos que deben cumplir los equipos de carburación de GLP para la conversión de motores con carburación de gasolina a carburación dual GLP/Gasolina o solo de GLP utilizados para motores de combustión interna” [5] Los equipos que se utilicen para la conversión al sistema dual o solo de GLP deberán certificarse en correspondencia a esta norma para garantizar el funcionamiento seguro del equipo. La norma técnica se centra en el buen funcionamiento de elementos como: válvula de llenado, tanque, sistema de corte de combustible, sistemas de corte por presión, sistemas eléctricos de corte, vaporizador-regulador, mezclador, líneas de conducción de combustible, mangueras, adaptadores, sistema cerrado de operación, unidad central de control lógico, sensor de oxígeno, válvula de control mezcla de combustible, sistema de control de ignición. Esta normativa junto a la NTE INEN 2 311:2008 certifican un buen funcionamiento en la conversión de sistema dual o solo GLP.[5]

2.4. Norma Ecuatoriana requisitos GLP

El Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) en la norma técnica NTE INEN 675 “Productos Derivados de Petróleo. Gas Licuado de Petróleo (GLP). Requisitos”, establece los requisitos que debe cumplir el gas licuado de petróleo para su uso. En su clasificación encontramos el propano comercial (alta volatilidad), butano comercial (baja volatilidad) y mezcla comercial propano-butano (volatilidad intermedia). Es indispensable que el gas licuado de petróleo no contenga agua, que este contenga odorizantes para detectar la presencia de este mediante el olfato. El gas licuado de petróleo y cualquiera sea su clasificación debe cumplir los requisitos dispuestos en la tabla mostrada a continuación:

Tabla 1. Requisitos para el uso de GLP

Requisito	Unidad	Propano Comercial	Butano Comercial	Mezcla propano-butano	Método de ensayo
Densidad relativa a 15,6 °C	---	Informar	Informar	Informar	AST M D 1657 AST M D 2598
Sulfuro de hidrógeno	---	Negativo	Negativo	Negativo	AST M D 2163 IP 272
Presión de vapor a 37,8°C, máx.	kpa	1 434	483	Informar ^a	AST M D 1267 AST M D 6897 AST M D 2598
Contenido de azufre ^b . máx.	mg/kg	185	185	185	AST M D 6667 IP 272
Mancha de aceite observada	---	Negativo	Negativo	Negativo	AST M D 2158
Residuo por evaporación de 100 ml, máx.	mL	0,05	0,05	0,05	AST M D 2158
Temperatura de evaporación del 95% del residuo volátil, máx.	°C	-38,3	2,2	2,2	AST M D 1837
Butano (C ₄) y pesados, máx.	% ^c	2,5	---	---	AST M D 2163
Pentano (C ₅) y pesados, máx.	% ^c	---	2,0	2,0	AST M D 2163
Corrosión a la lámina de cobre	---	No. 1	No. 1	No. 1	AST M D 1838
Contenido de humedad	---	Negativo	---	---	AST M D 2713

^a La presión de vapor no debe exceder de 1430 kPa, tampoco debe exceder el valor calculado entre la

presión de vapor observada y la densidad relativa observada mediante la siguiente relación: Presión de vapor – 1167 – 1880 x (densidad relativa a 15,6°C)
^b El contenido de azufre incluye los compuestos de azufre del odorizante adicionado en el gas licuado de petróleo.
^c % correspondiente a rección de volumen expresada en porcentaje.

Fuente. [6] NTE INEN 675

2.5. Análisis de costo GLP vs gasolina

Actualmente y una vez considerada la fluctuación del precio de la gasolina en el país, el GLP no deja de ser una de las mejores opciones para usuarios que buscan economía a la hora de abastecerse de combustible en su automóvil. Datos recuperados de la región chilena ratifican que, “el precio promedio del litro de GLP vehicular es de \$524 pesos chilenos con el que se puede recorrer 9 kilómetros por litro; en contraparte el precio de la gasolina de 95 octanos es de \$921 pesos chilenos con el que, para un ciclo de manejo mixto se puede recorrer entre 12 y 15 kilómetros por litro” [7] (2021). La relación de costos es notablemente superior en el caso de la gasolina frente al GLP; sin embargo, el recorrido que se puede hacer con un combustible y el otro difiere por no máximo de 5 kilómetros por litro.

Ecuador no se aleja de esta vivencia chilena con respecto al precio de la gasolina y del GLP. En Ecuador la Agencia de Regulación y Control Hidrocarbúrico ha establecido para octubre de 2020 el precio del GLP vehicular en \$0,188384 USD el kilogramo. Entonces, cada tanque de GLP llegará a contener un máximo de 30 kilogramos o su equivalencia en volumen de GLP de 55 litros. Debido a que la densidad del GLP es de 0,54 kilos/litro a una temperatura de 15,56°C, la autonomía de un automóvil a GLP se equiparará a uno de gasolina. Cabe adicionar que el precio del GLP es menor y no fluctúa en comparación a la gasolina.

En contraparte, a octubre del 2021, el precio del litro de gasolina extra en Ecuador se estableció en un precio de \$0,674 USD. Es un hecho que el precio de éste se elevará en poco tiempo. Se toma en consideración que: si un usuario vehicular hace una repostita de gasolina de 55L, el costo llegará a ser de \$37,07 USD (haciendo referencia a los 55 litros de capacidad de un tanque de GLP).

Por otro lado, la misma recarga de 55L de GLP llegará a costar \$5,65 USD.

Si tenemos en cuenta el punto de vista económico se aprecia una reducción de costos de aproximadamente el 85% para el GLP. En la tabla a continuación se presentan los precios del GLP según su aplicación.

Tabla 2. Precios GLP según su Aplicación

Precio GLP		
Producto	Unidad de medida	Precio en Terminal
GLP	Kilogramos	\$0,188384
Agroindustrial		
GLP Doméstico	Kilogramos	\$0,106667
GLP Industrial	Kilogramos	\$0,640017
GLP Vehicular	Kilogramos	\$0,188384

Fuente. [8] Agencia de Regulación y Control Hidrocarbúrico

2.6. Datos técnicos del GLP

El GLP en esta investigación se define como la mezcla de propano y butano denominados hidrocarburos gaseosos, los cuales se obtienen de la producción y refinado de crudo y gas. El propano se presenta como gas en el ambiente; mientras que el butano tiene una característica líquida o de gas.

Si bien su estructura muestra algunas variaciones propias, el GLP tiene mayor poder calorífico por lo que deriva mayor energía por masa que otros hidrocarburos.

La composición molecular simple del GLP facilita la combustión y provoca menores emisiones contaminantes si comparamos con otro tipo de carburantes. De acuerdo con la WLPGA, “el GLP tiene más de 1.000 aplicaciones. Cientos de millones de personas actualmente usan GLP y dependen de esta fuente energética para usos comerciales, industriales, transporte, agricultura, generación de energía, cocina, calefacción y para fines recreativos” [9]

“Varias son las cualidades del GLP: eficiencia, con un poder calorífico más alto que otros combustibles; portabilidad, que le permite ser transportado fácilmente por tierra, mar o ferrocarril a cualquier lugar del planeta sin requerir grandes inversiones en infraestructura de transporte para llevarlo al usuario final; es amigable con el medio ambiente, por ser bajo en carbono, presentar

menores emisiones de CO₂ y menos material particulado que la gasolina” [10]

En una publicación hecha por la WLPGA “en las mismas condiciones, los vehículos de gas emiten un 81% menos de contaminantes, que los de gasolina; siendo estos un 21% menos contaminantes de CO. En comparación con el diésel, producen un 74% menos de emisiones entre ellas menos dióxido de carbono” [9]

En la tabla 4 presentada a continuación, se comparan las emisiones producidas por cada uno de los combustibles empleados para automoción.

Tabla 3. Emisiones comparativas de combustibles alternativos en comparación a combustibles convencionales

Emisiones	CO ₂	NO _x	CO	HC	PM
Biodiésel	↓	↑	↓	↓	↓
Bioetanol	↓	→	↓	→	↓
Gas a líquido (GTL)	→	→	↓	↓	↓
Biomasa a líquido (BTL)	↓	?	?	?	?
Etanol lignocelulósico	↓	?	?	?	?
Gas natural*	*	↓	↓	↓	↓
Gas licuado de petróleo (GLP)	→	↓	→	→	↓
Vehículos eléctricos	*	↓	↓	↓	↓
Vehículos híbridos				↓	↓
Pila de combustible	*	↓	↓	↓	↓
Hidrógeno en motores de combustión interna	*	↓	↓	↓	↓

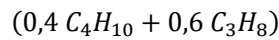
Fuente. [10] FITSA 2008

2.7. Estudio matemático GLP

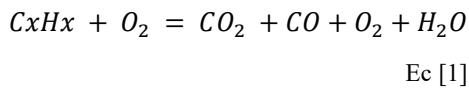
En este apartado se establecerán datos técnicos del GLP que permitirán realizar los cálculos pertinentes a la estequiometría de las reacciones de combustión. El GLP al tratarse de un carburante produce reacciones similares a las de la gasolina y el diésel. La reacción de combustión se da por un combustible y un oxidante. Cuando se trata

de un oxidante siempre es el Oxígeno O₂, por tal motivo una reacción común es la formación de dióxido de carbono CO₂ y agua H₂O. Cuando existe una denominada combustión incompleta suelen aparecer compuestos como el monóxido de carbono CO.

Para el método matemático se asume que el GLP como combustible se formará por carbono C e hidrógeno H con lo que bastará para realizar el estudio para determinar la huella de carbono. El gas GLP está constituido por su mezcla comercial de 60% propano y 40% butano, siendo la forma molecular del GLP:



Donde a partir de la ecuación estequiométrica se obtendrán las reacciones de combustión.



2.7.1. Huella de carbono

La huella de carbono no es más que el indicador que determina la cantidad de gases contaminantes que producen las personas, empresas, vehículos, etc. en sus actividades cotidianas. Este indicador permite cuantificar el impacto que genera la producción de CO₂ y CO. Los gases emitidos por las actividades de estos individuos se acumulan en la atmosfera y provocan un efecto invernadero, causante del conocido calentamiento global. Para determinar la huella de carbono proveniente de un automotor se emplea la siguiente ecuación:

$$\frac{kgCO_2}{kgComb} = \frac{44 \frac{kgCO_2}{mol} * x molCO_2}{Peso Comb \frac{kgComb}{mol} * 1 molComb}$$

Ec [2]

$$\frac{kgCO}{kgComb} = \frac{44 \frac{kgCO}{mol} * x molCO}{Peso Comb \frac{kgComb}{mol} * 1 molComb}$$

Ec [3]

El indicador de huella de carbono se expresa en kilogramos de CO₂ sobre kilogramo de

combustible. Así mismo para el indicador de monóxido de carbono CO

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Metodología Empleada

El presente artículo utiliza un método cuantitativo comparativo que consiste en realizar la comparación sistemática de los objetos de estudio para encontrar generalizaciones empíricas para corroborar una hipótesis. Por lo que este estudio compara las emisiones de CO₂ y CO de dos tipos de vehículos con sistema dual fuel GLP/Gasolina. Las pruebas de emisiones se realizaron de acuerdo con la Normativa NTE INEN 2349:2003 que establece el procedimiento a seguir para realizar el control de emisiones y revisión vehicular en centros técnicos autorizados. Para encontrar los resultados se realizó sistemáticamente, la medición de gases, cálculo de huella de carbono a partir de la ecuación estequiométrica, sondeo de participación de cada modelo escogido en varias cooperativas de taxis, proyección de emisiones para cada modelo tomando en cuenta que de cada modelo habrá 30000 ejemplares al pasar 5 años, por último, sacar una proyección denominada global dada por la media entre la proyección de cada modelo escogido.

3.2. Vehículos en estudio

Para el estudio de este artículo se han tomado en cuenta las dos marcas de vehículos dominantes en ventas en el mercado ecuatoriano, al año 2020, según el anuario AEADE: Chevrolet y KIA, con una participación en el mercado del 20,7% en ventas para Chevrolet y 18,2% para KIA. Los modelos escogidos para la experimentación fueron Aveo 2014 por tener gran participación en el parque automotor de taxis en Quito y KIA Soluto Xcite por ser el tercer vehículo más vendido en Pichincha en 2020 [11]. En un sondeo hecho por los autores a cooperativas de taxi en Quito se encuentra que 4 de cada 10 transportistas utilizan Aveo mientras 3 de cada 10 transportistas utilizan KIA Soluto. Por tal motivo estos modelos son considerados los de mayor preferencia para el uso de transporte por tarifa. Se debe tener en cuenta que, en el caso del Chevrolet Aveo su equipo de GLP era de tercera generación, no

contaba con inyectores ni módulo de control electrónico. La medición se la hizo sin catalizador para obtener valores reales. En el caso del KIA Soluto Xcite, su equipo de GLP era de quinta generación. Para esta generación ya se incorporan inyectores y un módulo de control electrónico. Esta medición se la hizo con catalizador. Es importante aclarar que ambos modelos de vehículos contaban con sistema dual GLP/Gasolina que funcionan por separado, según el requerimiento. Los fabricantes del kit GLP aseguran que existe una mejora de hasta 30% en consumo y emisiones respecto de la tercera generación a la quinta generación.

3.3. Fichas Técnicas

a. Chevrolet AVEO [12]

Marca: CHEVROLET
 Modelo: AVEO Family
 Motor: 1.5L SOHC
 Relación de compresión: 9,5
 Inyección: Electrónica Multipunto
 Consumo de Combustible
 Ciudad: 7.7l/100km
 Carretera: 5.0l/100km
 Combinado: 6.0l/100km

b. KIA Soluto [13]

Marca: KIA
 Modelo: Soluto Xcite
 Motor: 1.4L DOHC
 Multipunto MPI
 Consumo de Combustible
 Ciudad: 12.3 km/l
 Carretera: 19.8 km/l
 Combinado: 16.2 km/l

c. Datos del tanque de GLP

La Normativa NTE INEN 2 310:2008 establece que los depósitos de almacenamiento de GLP deben cumplir con las siguientes condiciones con el objeto de brindar seguridad tanto en la recarga de GLP como en el uso cotidiano del vehículo.

Tabla 4. Datos Técnicos del Tanque reservorio de GLP

Proceso de fabricación	Soldadura SAW Sumerged y tratamiento térmico de alivio de tensiones
Uso	GLP
Volumen de agua	54 litros
Límite de llenado	80%
Capacidad máxima de GLP	42 litros
Material	Acero al carbono ASTM A-36 de 2.5mm espesor
Presión de diseño	305 PSI
Presión de prueba hidrostática	400PSI
Norma técnica de referencia	NTP 321.115

Fuente. Tanques Yordiley S.A.C.

d. Equipo de medición

Se hizo una medición de gases para el Chevrolet Aveo y KIA Soluto; cada uno funcionando a gasolina y GLP por separado. Para la medición se empleó el equipo GASBOX Autopower de TEXA SPA que cumple la Normativa ISO 3930:2009 propuesta para pruebas de mediciones de gases para vehículos terrestres y requerimientos técnicos de medición. El equipo cuenta con calibración e inspección a semestral a cargo de la empresa INGEAUTO Equipamiento Automotriz. El equipo está en capacidad de realizar las siguientes mediciones de gases contaminantes a continuación se muestra su rango de operación.

Tabla 5. Tolerancia de Medición

Valores	Tolerancia
CO	0 - 9.99 % vol
CO2	0 - 19.9 % vol
HC	0 - 9999 ppm vol
O2	0 - 21.9 % vol
RPM	0 - 9990 1/min
Temperatura del motor	0 - 200 °C

Fuente. GASBOX Autopower, TEXA SPA.

3.4. Normativa de medición

La Normativa 2349:2003 señala el proceso a seguir para una correcta medición de gases.

En la actualidad en Ecuador no existe una normativa que regule las emisiones de gases provenientes de motores funcionando estrictamente con GLP. En Ecuador en la norma técnica NTE INEN 2204 se integran los límites permitidos de emisiones por fuentes móviles terrestres tanto para gasolina y GLP; sin embargo, en la región sudamericana, se encuentran normativas en países como Chile, Argentina, Colombia y Perú donde hace varios años el GLP fue de las mejores opciones para usuarios de vehículos. En el presente estudio se toma en cuenta la norma peruana encontrada en la Resolución Ministerial N.º 306 de 2017, la cual presenta la siguiente tabla para vehículos funcionando con GLP:

Tabla 6. Valores Permisibles de Emisiones para GLP

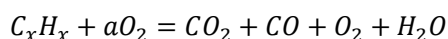
11.4. Vehículos de categoría M y N con motor de encendido por chispa a gasolina, GLP o GNV como combustible u otros combustibles alternos				
Año de Fabricación	Altitud (msnm)	CO [% - v/v]	HC [ppm]	CO + CO ₂ [% - v/v] mínimo
Hasta 1995	0 a 1800	3,0	400	10[8 ⁽¹⁾]
	> 1800	3,0	450	8
1996 a 2002	0 a 1800	2,5	300	10[8 ⁽¹⁾]
	> 1800	2,5	350	8
2003 en adelante	A cualquier altitud	0,5	100	12[8 ⁽¹⁾]

Fuente. [14] MINAM

La medición se la realiza con el vehículo encendido a marcha mínima (ralentí), si el vehículo cuenta con sistema dual GLP/Gasolina se medirá cada uno por separado.

3.5. Ecuación Estequiométrica

La presente ecuación engloba todo el proceso de combustión ocurrido en cada medición realizada en los objetos de prueba, esta se emplea tanto en el cálculo de emisiones de gasolina y GLP, el proceso es repetitivo por lo que se presenta a continuación de manera simplificada.



Ec [1]

3.6. Consumo Específico GLP

El consumo real de los vehículos fue medido en ciclos de manejo durante días laborales de los taxis, basados específicamente en un ciclo de manejo ECE-15 en ruta urbana, donde se obtuvieron los resultados mostrados en las tablas a continuación:

Tabla 7. Recorrido promedio Chevrolet Aveo con tanque de GLP

Capacidad tanque GLP	Distancia promedio recorrida.
42 lts	356.6 km

Fuente. Autores.

Tabla 8. Recorrido promedio KIA Soluta con tanque de GLP

Capacidad tanque GLP	Distancia promedio recorrida.
42 lts	368.3 km

Fuente. Autores.

La medición se hizo con el tanque de GLP lleno con sus 42 litros de capacidad y se tomó en cuenta el recorrido que lograron los vehículos hasta que el tanque se vació. El tiempo promedio de duración de los tanques fue de 8 horas para Aveo y 8 horas 20 minutos para KIA. De esa forma se obtuvo una medición real de consumo. Para el taxi Chevrolet Aveo el promedio de consumo es de 8.490 km por litro o su equivalencia de 11.82 l/100km. En cambio, el consumo promedio del taxi KIA Soluta fue de 8.773 km por litro o de 11.30 l/100km. A continuación, aplicaremos la ecuación de consumo específico para conocer el consumo en base a la densidad del GLP:

$$Con. esp = \frac{Densidad Comb \text{ kg/m}^3}{Consumo \text{ km/litro}}$$

Ec [4]

3.7. Cantidad de Emisiones

Las emisiones reales provocadas por estos automóviles serán expuestas por la siguiente ecuación, basada en el consumo específico y la huella de carbono.

$$Emisiones \frac{kgCO_2}{km} = conesp * huella carb. \frac{KgCO_2}{KgComb}$$

Ec [5]

$$\text{Emisiones} \frac{\text{kgCO}}{\text{km}} = \text{con. esp} * \text{huella carb.} \frac{\text{KgCO}}{\text{KgComb}}$$

Ec [6]

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Datos de Entrada

Los datos recopilados de las mediciones contemplan únicamente pruebas estáticas en ralentí a causa de las limitaciones en obtención de un equipo móvil para medir el comportamiento de las emisiones en una ruta de manejo. A continuación, se muestra los datos medidos en la sección de resultados

a. Chevrolet AVEO

Medición hecha en marcha mínima (ralentí)

Tabla 9. Medición Aveo Gasolina

Medición a Gasolina	
Gases	Valor leído
CO (% vol.)	0,54
CO2 (% vol.)	15,6
HC (ppm)	214
O2 (% vol.)	22,00

Tabla 10. Medición Aveo GLP

Medición a GLP	
Gases	Valor leído
CO (% vol.)	3,82
CO2 (% vol.)	11,9
HC (ppm)	342
O2 (% vol.)	22,00

a. KIA Soluto Xcite

Tabla 11. Medición KIA Gasolina

Medición a Gasolina	
Gases	Valor leído
CO (% vol.)	0,01
CO2 (% vol.)	15,5
HC (ppm)	11
O2 (% vol.)	22,00

Tabla 12. Medición KIA GLP

Medición a GLP	
Gases	Valor leído
CO (% vol.)	0,01
CO2 (% vol.)	13,3
HC (ppm)	5
O2 (% vol.)	22,00

4.2. Estimación y Proyección de emisiones

A continuación, se presentan las proyecciones con la expectativa de que el GLP se introduzca gradualmente en taxis de Quito, en un cierto periodo de tiempo. Se debe tener en cuenta que el modelo de taxi Aveo representa en la actualidad ser uno de los más utilizados según el sondeo hecho por los autores, de la mano para hacer una proyección se considera que el modelo Aveo ya no será el más utilizado en 2027 por lo que se ha escogido como ideal sustituto al KIA Soluto quien tendrá mayor presencia a dicho año. Las consideraciones establecen el tiempo y porcentaje de participación para cada modelo:

- I. En 2 años el 40% del parque automotor de taxis usará GLP, equivalente a 12000 taxis.
- II. En 4 años el 80% del parque de taxis usará GLP, equivalente a 24000 taxis.
- III. En 5 años todo el parque automotor usará GLP.

En las siguientes figuras se contraponen valores de kilogramos de CO₂ y CO tanto de uso de GLP y gasolina para los vehículos Chevrolet Aveo y KIA Soluto. En los resultados hallados en la investigación para Aveo se demuestra que para los valores de dióxido de carbono (CO₂) el GLP reduce en un 24.41% las emisiones de CO₂ en un periodo de 5 años, donde todo el parque automotor de Quito usaría GLP; sin embargo, en el caso del monóxido de carbono (CO) el GLP aumenta en un 20.99% los valores de emisiones de este. Esto demuestra que el uso de GLP en sustitución a la gasolina es bueno para reducir en gran cantidad emisiones que aportan al calentamiento global, este caso el CO₂.

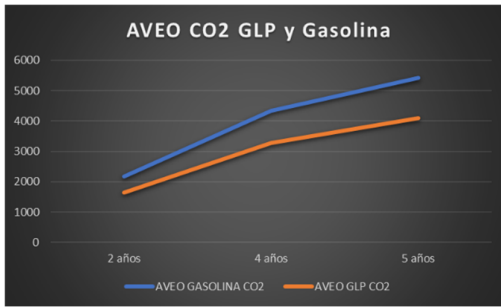


Figura 1. Kg CO2 Chevrolet Aveo; GLP y Gasolina

Fuente. Autores

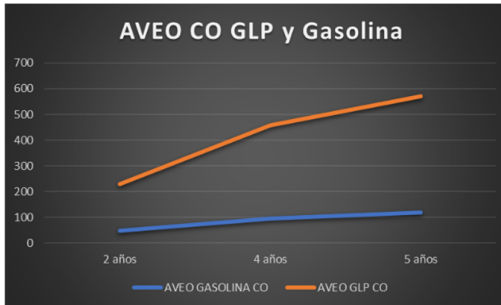


Figura 2. Kg CO Chevrolet Aveo; GLP y Gasolina

Fuente. Autores

Los resultados hallados, en el caso del vehículo KIA Soluto, demuestran una reducción del 3.42% de dióxido de carbono (CO₂) usando GLP al periodo de 5 años. Por otro lado, el monóxido de carbono (CO) es mayor en 41.60% usando GLP en comparación a la gasolina. Es importante añadir en este caso que el vehículo cuenta con catalizador y kit de GLP de quinta generación lo cual reducen radicalmente en 66% el CO en comparación al vehículo Chevrolet Aveo, lo que significa que el kit GLP de quinta generación al realizar mejores mezclas de aire combustible en conjunto al uso de catalizador es bueno para reducir significativamente las emisiones en comparación a un kit de 3ra generación y al no usar catalizador. A continuación, se presenta la tabla pertinente a los valores de proyección de CO₂ y CO en uso de GLP y Gasolina en periodos de 2, 4 y 5 años.

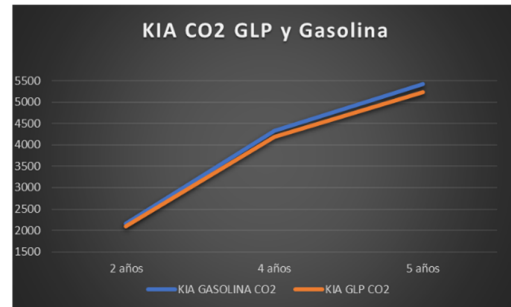


Figura 3. Kg CO2 KIA Soluto; GLP y Gasolina

Fuente. Autores

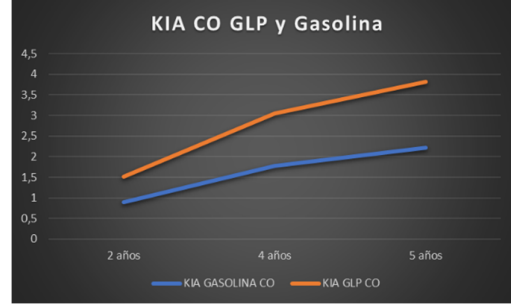


Figura 4. Kg CO KIA Soluto; GLP y Gasolina

Fuente. Autores

Por último, se presenta a continuación los cuadros referentes a la proyección global, poniendo en comparación las emisiones de CO₂ y CO en un periodo de cinco años, tanto para el uso de gasolina y el uso de GLP, esta proyección está dada por la media entre las comparaciones de los objetos de prueba. Como se aprecia en las figuras, en el caso del CO₂ se consigue reducir sus emisiones en un % lo que significa que el uso de GLP es bueno en este sentido, permitiendo a un vehículo reducir sus emisiones de CO₂; en contraparte, el CO aumenta un % usando GLP en comparación a la gasolina, esto se puede mermar con el uso de un catalizador en buen estado.

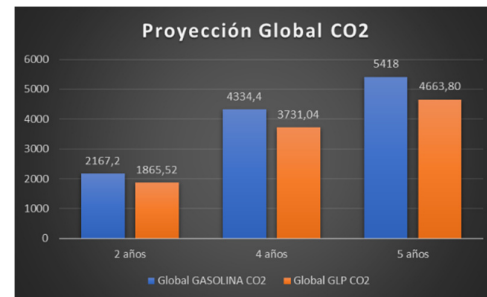


Figura 5. Proyección Media Global de CO2 de Gasolina y GLP

Fuente. Autores

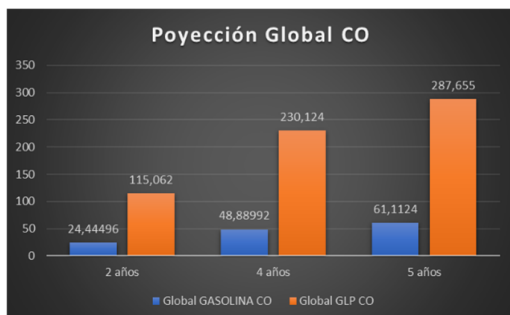


Figura 6. Proyección Global CO de Gasolina y GLP

Fuente. Autores

Como se consigue apreciar en estas dos figuras, el cambio progresivo al uso de GLP en vehículos de transporte público categoría M1 significa una reducción considerable en emisiones de dióxido de carbono (CO₂), contribuyente principal a la huella de carbono. Sin embargo, las emisiones de monóxido de carbono (CO) no demuestran una mejora en comparación a la gasolina. No obstante, las emisiones de CO pueden ser controladas con el uso de un kit de GLP de avanzada generación y el uso de un catalizador como fue el caso del KIA Soluto. Al momento de analizar las bondades del uso de GLP como combustible alternativo, a más de conseguir una reducción en emisiones de CO₂ se debe considerar que llenar un tanque de GLP por completo no sobrepasa los \$6 USD, por lo que se consigue un ahorro de aproximadamente 85% en el costo de combustible.

5. CONCLUSIONES

El parque automotor de transporte público de categoría M1 implica un aporte importante de dióxido de carbono (CO₂) y monóxido de carbono (CO) al medio ambiente, contribuyentes a la huella de carbono. Por ello este segmento de automotores ha sido objeto de estudio a una posibilidad de cambio del uso de gasolina por uso de GLP, como principal fuente de combustible.

El uso de GLP ha demostrado ser buena opción referente a un ahorro económico, este consigue reducir costos en aproximadamente 85% en comparación a la gasolina lo que permite recorrer semejantes distancias a un menor costo. Como adversidad del uso de GLP se encuentra su

baja autonomía, usando GLP se consiguen recorridos menores comprendidos entre 100km y 125km menos en comparación a un vehículo a gasolina. Esta adversidad se debe a que el GLP tiene menor densidad que la gasolina por lo que se requiere mayor masa para la combustión. La autonomía de un auto GLP dependerá de la capacidad del tanque.

En la proyección global referente a CO₂ se puede concluir que el uso de GLP es adecuado para reducir estas emisiones, porcentualmente las reduce en 13,92% en comparación a la gasolina lo que resulta en menor aporte a la huella de carbono, se considera por ello preciso el cambio de gasolina a GLP.

Por otro lado, el CO en la proyección global se ve aumentado en 78,75% para el GLP en comparación a la gasolina, debido a que los niveles de CO medidos para el Aveo son altos por no contar con catalizador haciendo que la media resultante varíe de esa manera, sin embargo, se comprobó que para un vehículo con catalizador estos niveles de CO se reducen en 66%. Si bien las emisiones de CO se pueden controlar con un catalizador se puede concluir que las emisiones de CO son mayores en uso de GLP frente a la gasolina.

En el estudio se corrobora también que el uso de un kit GLP de quinta generación es mejor para reducir emisiones de CO₂ y CO frente a uno de tercera generación ya que se cuentan con mayores controladores que permiten una mejor combustión.

Evaluando los pro y contras presentados en el estudio del uso de GLP se puede concluir que es un buen sustituto frente a la gasolina puesto que reduce considerablemente emisiones de CO₂ y maneja niveles considerados no peligrosos de emisiones de CO. Además contribuye a un ahorro económico en cada recarga de combustible.

6. REFERENCIAS

- [1] Diaz, C & Cortes, S. 2019. Beneficios Ambientales y Técnicos del GLP en la Generación de Energía eléctrica y la Automoción en Colombia. Universidad del Norte, Barranquilla Colombia.
- [2] El Universo, 15 enero 2020. [En línea]. Regulación de taxis en Quito. Disponible en: <https://www.eluniverso.com/noticias/2020/01/15/nota/7691679/regulacion-taxis-quito-termina-dos-meses>

- [3] El Universo, 22 septiembre 2007. [En línea]. Cuatro normas INEN regulan la implementación de sistema de GLP. Disponible en: <https://www.eluniverso.com/2007/09/22/0001/18/E1504D1A7FD847B285FDC541AD5E218E.html/>
- [4] INEN. 2008. NTE INEN 2 311:2008, Vehículos Automotores. Funcionamiento de Vehículos con GLP. Conversión de Motores de Combustión Interna con Sistema de Carburación de Gasolina por Carburación dual GLP/Gasolina o solo de GLP. Requisitos. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2311.pdf>
- [5] INEN. 2008. NTE INEN 2 310:2008. Vehículos Automotores. Funcionamiento de vehículos con GLP. Equipos para carburación dual GLP/Gasolina o solo de GLP en motores de combustión interna. Requisitos. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2310.pdf>
- [6] INEN. Agosto 2017. NTE INEN 675. Productos derivados de Petróleo. Gas Licuado de Petróleo (GLP). Requisitos. Disponible en: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_675-1.pdf
- [7] Autofact. 2021. Disponible en: <https://www.autofact.cl/blog/mi-auto/tecnologia/gas-vehicular>
- [8] Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero. Ecuador, Octubre 2020.
- [9] World LP Gas Association. 2009. LP Gas: Efficient Energy for a Modern World.
- [10] Fundación Instituto Tecnológico para la Seguridad del Automóvil FITSA. 2008. Nuevos Combustibles y Tecnologías de propulsión: Situación y perspectivas para automoción. Madrid, España. IDAE.
- [11] AEADE. Anuario 2020. Disponible en: www.aeade.net
- [12] Chevrolet. Ficha Técnica Chevrolet Aveo Family. Disponible en: <https://www.chevrolet.com.ec/content/dam/chevrolet/south-america/ecuador/espanol/index/taxis/aveo/02-pdf/taxi-ficha-tecnica-aveo-family.pdf>
- [13] KIA. 2019. Ficha Técnica KIA Soluto. Disponible en: <https://metrokia.co/wp-content/uploads/2019/09/ficha-tecnica-kia-soluto-2020.pdf>
- [14] MINAM. 19 octubre 2017. Resolución Ministerial N.º 306, Proyecto de Decreto Supremo Aprobatorio de Límites

Máximos Permisibles de Emisiones para Vehículos Automotores. Disponible en: https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/10/RM.306-2017-MINAM_.pdf

ANEXOS

1.- VEHÍCULOS DE PRUEBA.

1.1. Motor KIA Soluto



1.2. Motor Chevrolet Aveo

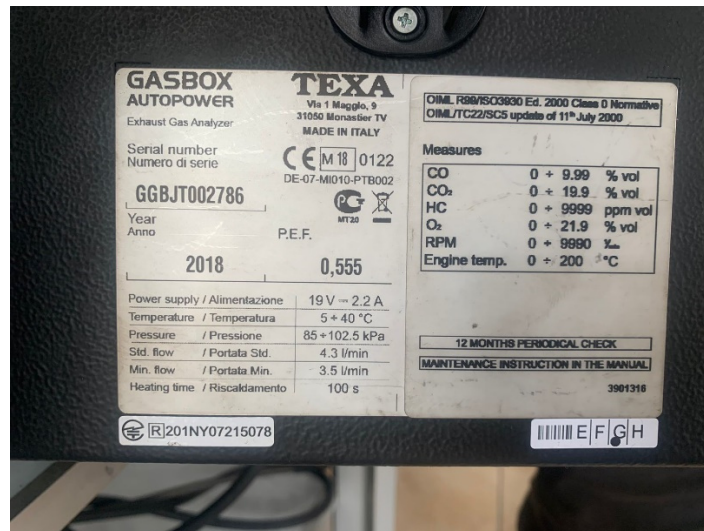


2.- IMPLEMENTOS KIT GLP

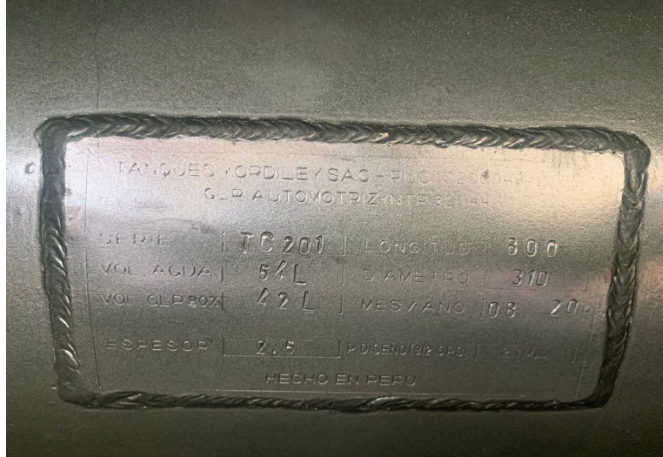
2.1. Mezclador de GLP



6.1. Equipo de medición



6.2. Tanque GLP



3.- MEDICIONES



4.- RESULTADOS DE MEDICIONES

4.1. GLP Chevrolet Aveo

Report test libre gases de escape					
Fecha del Test 07/03/2022					
Hora del test 12:10					
Centro de Test					
Número Stazione Test					
Detalles del vehículo					
Matricula					
VIN					
Fabricante					
Modelo	aveo				
Fecha matriculación					
Combustible					
Resultado medición					
	Valor leído	Unidad			
Régimen motor	---	l/min			
Temperatura motor	---	°C			
CO	3,82	% vol.			
CO2	11,9	% vol.			
HC	342	ppm vol.			
O2	22,00	% vol.			
NOx	0	ppm vol.			
COcorr	3,8	% vol.			
HCcorr	342	ppm vol.			
Lambda	---				
Fabricante	Modelo	Número de serie	Número homologación	Vencimiento control periódico	Notas
TEXA SPA	GASBOX Autopower	GGBJT002786	DE07M010PTB002	18/08/2022	
Testado por		Firma			

4.2. GLP KIA Soluto

Report test libre gases de escape					
					Fecha del Test 07/03/2022
					Hora del test 16:55
Centro de Test					
Número Stazione Test					
Detalles del vehículo					
Matricula					
VIN					
Fabricante					
Modelo kia					
Fecha matriculación					
Combustible					
Resultado medición					
			Valor leído	Unidad	
Régimen motor			---	l/min	
Temperatura motor			---	°C	
CO			0,0	% vol.	
CO2			13,3	% vol.	
HC			5	ppm vol.	
O2			22,00	% vol.	
NOx			0	ppm vol.	
COcorr			0,0	% vol.	
HCcorr			6	ppm vol.	
Lambda			---		
Fabricante	Modelo	Número de serie	Número homologación	Vencimiento control periódico	Notas
TEXA SPA	GASBOX Autopower	GGBJT002786	DE07M010PTB002	18/08/2022	
Testado por			Firma		

4.3. Chevrolet Aveo Gasolina

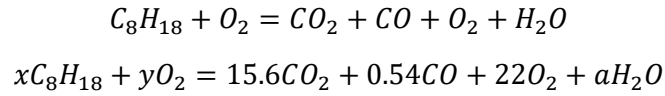
Report test libre gases de escape					
					Fecha del Test 07/03/2022
					Hora del test 12:10
Centro de Test					
Número Stazione Test					
Detalles del vehículo					
Matricula					
VIN					
Fabricante					
Modelo aveo					
Fecha matriculación					
Combustible Gasolina					
Resultado medición					
			Valor leído	Unidad	
Régimen motor			---	l/min	
Temperatura motor			---	°C	
CO			0,54	% vol.	
CO2			15,6	% vol.	
HC			214	ppm vol.	
O2			22,00	% vol.	
NOx			0	ppm vol.	
COcorr			0,5	% vol.	
HCcorr			214	ppm vol.	
Lambda			---		
Fabricante	Modelo	Número de serie	Número homologación	Vencimiento control periódico	Notas
TEXA SPA	GASBOX Autopower	GGBJT002786	DE07M010PTB002	18/08/2022	
Testado por			Firma		

4.4. KIA Gasolina

Report test libre gases de escape					
					Fecha del Test 07/03/2022
					Hora del test 16:28
Centro de Test					
Número Stazione Test					
Detalles del vehículo					
Matricula					
VIN					
Fabricante					
Modelo					
					kia
Fecha matriculación					
					Gasolina
Resultado medición					
				Valor leído	Unidad
Régimen motor				---	l/min
Temperatura motor				---	°C
CO				0,01	% vol.
CO2				15,5	% vol.
HC				11	ppm vol.
O2				22,00	% vol.
NOx				0	ppm vol.
COcorr				0,0	% vol.
HCcorr				11	ppm vol.
Lambda				---	
Fabricante	Modelo	Número de serie	Número homologación	Vencimiento control periódico	Notas
TEXA SPA	GASBOX Autopower	GGBJT002786	DE07M010PTB002	18/08/2022	
Testado por			Firma		

Ecuaciones calculos

1.1. Gasolina Aveo



Ec 7

Igualar carbonos

$$x = 2.0175$$

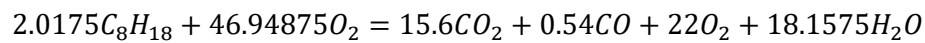
Igualar oxígenos

$$y = 37.87 + \frac{a}{2}$$

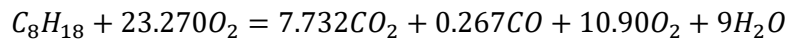
Igualar hidrógenos

$$a = 18.1575$$

$$y = 46.94875$$



Dejar la ecuación en función de una porción de combustible



Masa Molecular

$$C_8H_{18} \rightarrow 114kg/mol$$

$$CO_2 \rightarrow 44kg/mol$$

Huella de carbono

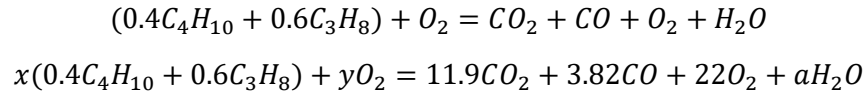
$$\frac{kgCO_2}{kgC_8H_{18}} = \frac{44kg/mol * 7.73234}{114kg/mol}$$
$$= 2.9844CO_2/kg$$

Ec 8

$$\frac{kgCO}{kgC_8H_{18}} = \frac{44kg/mol * 0.267}{114kg/mol}$$
$$= 0.10305CO/kg$$

Ec 9

1.2. Ecuación Estequiométrica GLP AVEO



Ec 10

Igualar carbonos

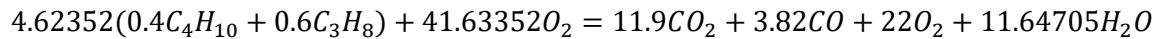
$$x = 4.62352$$

Igualar hidrógenos

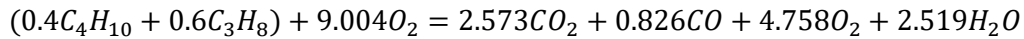
$$a = 11.64705$$

Igualar oxígenos

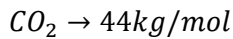
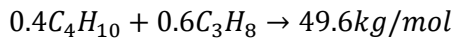
$$y = 41.63352$$



Dejar la ecuación en función de una porción de combustible



Masa Molecular



Huella de carbono

$$\frac{kgCO_2}{kgcomb.} = \frac{44kg/mol * 2.57379}{49.6kg/mol}$$

$$= 2.28320CO_2/kg$$

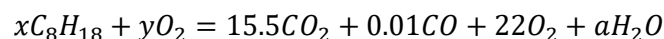
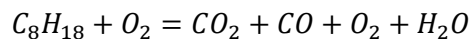
Ec 11

$$\frac{kgCO}{kgcomb.} = \frac{44kg/mol * 0.826}{49.6kg/mol}$$

$$= 0.31880CO/kg$$

Ec 12

1.3. Ecuación Estequiométrica Gasolina KIA



Igualar carbonos

$$x = 1.93875$$

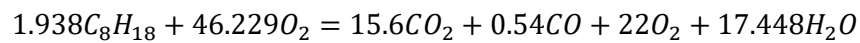
Igualar oxígenos

$$y = 37.505 + \frac{a}{2}$$

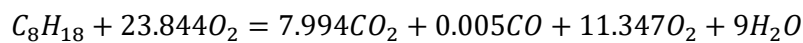
Igualar hidrógenos

$$a = 17.44875$$

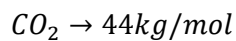
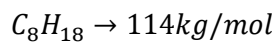
$$y = 46.229375$$



Dejar la ecuación en función de una porción de combustible



Masa Molecular



Huella de carbono

$$\frac{kgCO_2}{kgC_8H_{18}} = \frac{44kg/mol * 7.99484}{114kg/mol}$$

$$= 3.08572CO_2/kg$$

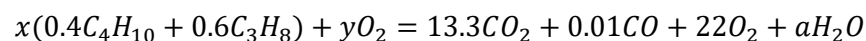
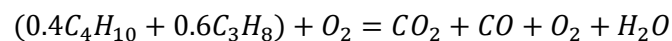
Ec 14

$$\frac{kgCO}{kgC_8H_{18}} = \frac{44kg/mol * 0.005}{114kg/mol}$$

$$= 0.00192CO/kg$$

Ec 15

1.4. Ecuación Estequiométrica GLP KIA Soluta



Ec 16

Igualar carbonos

$$x = 3.91470$$

Igualar hidrógenos

$$a = 10.2294116$$

Igualar oxígenos

$$y = 40.41970$$

$$3,914(0.4C_4H_{10} + 0.6C_3H_8) + 40.419O_2 = 13.3CO_2 + 0.01CO + 22O_2 + 10.229H_2O$$

Dejar la ecuación en función de una porción de combustible

$$(0.4C_4H_{10} + 0.6C_3H_8) + 10.325O_2 = 3.397CO_2 + 0.0025CO + 5.619O_2 + 2.613H_2O$$

Masa Molecular

$$0.4C_4H_{10} + 0.6C_3H_8 \rightarrow 49.6kg/mol$$

$$CO_2 \rightarrow 44kg/mol$$

Huella de carbono

$$\frac{kgCO_2}{kgcomb.} = \frac{44kg/mol * 3.397}{49.6kg/mol}$$
$$= 3.01386CO_2/kg$$

Ec 17

$$\frac{kgCO}{kgcomb.} = \frac{44kg/mol * 0.0025}{49.6kg/mol}$$
$$= 0.00221CO/kg$$

Ec 18

- a. Consumo Específico Chevrolet Aveo GLP

$$Con. esp = 0.05978 \frac{kgComb}{km}$$

- b. Consumo Específico KIA Soluto GLP

$$Con. esp = 0.05788 \frac{kgComb}{km}$$

- a. Cantidad de emisiones Chevrolet Aveo GLP

$$EmisionesCO_2 = 0.13648 \frac{kgCO_2}{km}$$

$$EmisionesCO = 0.01905 \frac{kgCO}{km}$$

- b. Cantidad de emisiones KIA Soluto GLP

$$EmisionesCO_2 = 0.17444 \frac{kgCO_2}{km}$$

$$EmisionesCO = 0.000127 \frac{kgCO}{km}$$

5. PROYECTO DE GRADO: “ANÁLISIS AMBIENTAL COMPARATIVO DEL USO DEL GLP”

Análisis Ambiental Comparativo del Uso del Gas Licuado del Petróleo (GLP) Como
Combustible Sustituto del Gas Natural Vehicular (GNV) en Colombia

Mayerly

Calderón Sierra

Elkin Yesid

Calderón Calderón

**Trabajo de grado para Optar el Título de Ingeniero de
Petróleos**

Director:

Jimena Lizeth

Gómez Delgado

Ingeniera de

petróleos

**Universidad Industrial de
Santander Facultad de
Ingenierías Físicoquímicas
Escuela de Ingeniería de
Petróleos Bucaramanga**

2018



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 SISTEMA DE TRABAJOS DE GRADO
 ADMINISTRACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO

Fecha Impresión:

21 febrero 2018

Pág 1 de 1

Codigo:	16887	Fecha Presentacion: 21-feb-2017	
Título: ANÁLISIS AMBIENTAL COMPARATIVO DEL USO DEL GAS LICUADO DEL PETRÓLEO (GLP) COMO COMBUSTIBLE SUSTITUTO DEL GAS NATURAL VEHICULAR (GNV) EN COLOMBIA.			
Nota Proyecto:	4.5	Fecha Registro Nota: 21-feb-2018	
Estado:	APROBADO		
Tipo Trabajo:	INVESTIGACION		
Estudiantes			
Código	Nombre	Programa Académico	
2135063	CALDERON CALDERON ELKIN YESID	32-INGENIERIA DE PETROLEOS	
2123294	CALDERON SIERRA MAYERLY	32-INGENIERIA DE PETROLEOS	
Directores			
Documento	Nombre	Clase	Firma
C-1098699812	JIMENA LIZETH GOMEZ DELGADO	DIRECTOR	
Calificadores			
Documento	Nombre	Firma	
C-91239948	JULIO CESAR PEREZ ANGULO		
C-91102232	NICOLAS SANTOS SANTOS		



ENTREGA DE TRABAJOS DE GRADO, TRABAJOS DE INVESTIGACION O TESIS Y AUTORIZACIÓN DE SU USO A FAVOR DE LA UIS

Yo, Mayerly Calderón Sierra, mayor de edad, vecino de Bucaramanga, identificado con la Cédula de Ciudadanía No. 1.098.703.494 de Bucaramanga, actuando en nombre propio, en mi calidad de autor del trabajo de grado, del trabajo de investigación, o de la tesis denominada(o):

Análisis Ambiental Comparativo del Uso del Gas Licuado del Petróleo (GLP) Como Combustible Sustituto del Gas Natural Vehicular (GNV) en Colombia, hago entrega del ejemplar respectivo y de sus anexos de ser el caso, en formato digital o electrónico (CD o DVD) y autorizo a LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, para que en los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia, utilice y use en todas sus formas, los derechos patrimoniales de reproducción, comunicación pública, transformación y distribución (alquiler, préstamo público e importación) que me corresponden como creador de la obra objeto del presente documento. PARÁGRAFO: La presente autorización se hace extensiva no sólo a las facultades y derechos de uso sobre la obra en formato o soporte material, sino también para formato virtual, electrónico, digital, óptico, uso en red, Internet, extranet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

EL AUTOR – ESTUDIANTE, manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y la realizó sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es de su exclusiva autoría y detenta la titularidad sobre la misma. PARÁGRAFO: En caso de presentarse cualquier reclamación o acción por parte de un tercero en cuanto a los derechos de autor sobre la obra en cuestión, EL AUTOR / ESTUDIANTE, asumirá toda la responsabilidad, y saldrá en defensa de los derechos aquí autorizados; para todos los efectos la Universidad actúa como un tercero de buena fe.

Para constancia se firma el presente documento en dos (02) ejemplares del mismo valor y tenor, en Bucaramanga, a los 27 días del mes de febrero de Dos Mil Dieciocho 2018.

EL AUTOR / ESTUDIANTE:

(Firma) *Mayerly Calderón S.*

Nombre: Mayerly Calderón Sierra



ENTREGA DE TRABAJOS DE GRADO, TRABAJOS DE INVESTIGACION O TESIS Y AUTORIZACIÓN DE SU USO A FAVOR DE LA UIS

Yo, Elkin Yesid Calderón Calderón, mayor de edad, vecino de Málaga (S), identificado con la Cédula de Ciudadanía No. 1.096.953.502 de Málaga (S), actuando en nombre propio, en mi calidad de autor del trabajo de grado, del trabajo de investigación, o de la tesis denominada(o):

Análisis Ambiental Comparativo del Uso del Gas Licuado del Petróleo (GLP) Como Combustible Sustituto del Gas Natural Vehicular (GNV) en Colombia, hago entrega del ejemplar respectivo y de sus anexos de ser el caso, en formato digital o electrónico (CD o DVD) y autorizo a LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, para que en los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia, utilice y use en todas sus formas, los derechos patrimoniales de reproducción, comunicación pública, transformación y distribución (alquiler, préstamo público e importación) que me corresponden como creador de la obra objeto del presente documento. PARÁGRAFO: La presente autorización se hace extensiva no sólo a las facultades y derechos de uso sobre la obra en formato o soporte material, sino también para formato virtual, electrónico, digital, óptico, uso en red, Internet, extranet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

EL AUTOR – ESTUDIANTE, manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y la realizó sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es de su exclusiva autoría y detenta la titularidad sobre la misma. PARÁGRAFO: En caso de presentarse cualquier reclamación o acción por parte de un tercero en cuanto a los derechos de autor sobre la obra en cuestión, EL AUTOR / ESTUDIANTE, asumirá toda la responsabilidad, y saldrá en defensa de los derechos aquí autorizados; para todos los efectos la Universidad actúa como un tercero de buena fe.

Para constancia se firma el presente documento en dos (02) ejemplares del mismo valor y tenor, en Bucaramanga, a los 27 días del mes de febrero de Dos Mil Dieciocho 2018.

EL AUTOR / ESTUDIANTE:

(Firma) *Elkin Yesid Calderón*

Nombre: Elkin Yesid Calderón Calderón

Dedicatoria

A Dios por darme la oportunidad de llegar hasta este momento de mi vida, por guiarme y no desampararme en cada paso que daba y por darme la fortaleza necesaria y perseverancia para cumplir mis metas.

A mi madre, por ser el motor de mi vida y por el cual pude llegar hasta esta etapa, el amor, la confianza y la comprensión que me brindaron son la clave que me permitieron salir adelante.

A mi hermana Bere por ser mi apoyo incondicional.

A mis sobrinos, de los cuales quiero ser un ejemplo de inspiración, inculcándoles una buena educación y ayudándolos a que cumplan siempre sus metas. A mi Yano por ser esa amiga leal, comprensiva y amorosa, por sus buenos consejos y por no

dejarme morir en los parciales

A todos mis amigos que me han acompañado en esta travesía y que de un modo u otro me han

apoyado en cada momento.

Mayerly Calderón

Agradecimientos

A la ingeniera Jimena Lizeth Gómez por su guía, colaboración y disposición en la dirección de este proyecto de investigación.

A todas las personas que, en algún momento de este proceso, aparecieron como enviados de Dios para tendernos una mano.

A la Universidad Industrial de Santander por la oportunidad que nos brindó.

Mayerly Caderón Sierra y Elkin Calderón

Contenido

Pág.

Introducción-----	16
1. Generalidades -----	17
1.1 Gas licuado del petróleo-----	17
1.1.1 Composición-----	18
1.1.2 Obtención -----	18
1.1.3 Propiedades -----	19
1.1.4 Características de aplicabilidad en motores de combustión interna -----	19
1.1.5 Usos del GLP-----	20
1.1.6 Demanda -----	22
1.1.7 Producción del GLP -----	23
1.1.8 Ventajas-----	24
1.1.9 Desventajas -----	25
1.1.10-----	Sistema de
conversión a GLP -----	25
1.1.10.1 Principio de funcionamiento del sistema -----	25
1.1.10.2 Equipos para vehículos a inyección.-----	27
1.1.10.3 La electrónica -----	27
1.1.10.4 Componentes principales. -----	30
1.1.10.5 Unidad de almacenamiento. -----	30
1.1.10.6 Multiválvula -----	32

1.1.10.7 Reductor – Vaporizador. -----	33
1.1.10.8 Inyectores. -----	34
1.1.10.9 Computadora -----	35
1.1.10.10 -----	Sensor de
presión. -----	36
1.1.10.11 -----	Conmutador.
-----	37
1.1.10.12 -----	Plug de
combustible -----	38
1.2 Gas natural-----	39
1.2.1 Composición. -----	39
1.2.2 Obtención. -----	41
1.2.3 Propiedades.-----	41
1.2.4 Características de aplicabilidad en motores de combustión interna -----	42
1.2.5 Usos del Gas Natural -----	42
1.2.6 Producción de Gas Natural-----	43
1.2.7 Ventajas-----	44
1.2.8 Desventajas -----	45
1.3 Motores de combustión interna-----	45
1.3.1 Parámetros de los motores de combustión interna -----	45
1.3.2 Ciclo diésel -----	47
1.3.3 Ciclo Otto. -----	47
1.3.4 Motor dedicado-----	47
1.3.5 Motor dual -----	48
1.3.6 Motor biocombustible -----	48
2. Normatividad nacional e internacional-----	49

2.1 Normatividad Nacional del GNV-----	49
2.2 Normatividad Nacional del GLP-----	53
2.3 Normatividad internacional-----	55
2.3.1 Normatividad aplicada al uso del GLP en motores de combustión interna-----	55
3. Efectos del uso del GLP y el gas natural en motores vehiculares -----	57
3.1 Para el gas natural-----	57
3.2 Para el GLP -----	58
4. Emisiones contaminantes del GLP y el gas natural -----	58
4.1 Emisiones contaminantes del GLP (Gas Licuado del Petróleo)-----	61
4.2 Emisiones contaminantes del gas natural-----	61
4.3 Emisiones Comparativas del Gas Natural y el GLP Vehicular -----	62
4.3.1 Análisis de resultados -----	63
5. Desarrollo mundial del GLP como combustible vehicular -----	64
6. Conclusiones -----	67
7. Recomendaciones -----	68
Referencias Bibliográficas-----	69

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Composición del gas licuado de petróleo	18
Tabla 2. Composición del gas natural.....	40
Tabla 3. Normatividad nacional del gnv.....	49
Tabla 4. Normatividad nacional del glp.....	53
Tabla 5. Normatividad internacional al uso del glp vehicular	55
Tabla 6. Límites máximos de emisión permisibles para vehículos pesados ciclo otto	59
Tabla 7. Límites máximos de emisión permisibles, evaluados durante el ciclo etc.....	59
Tabla 8. Límites máximos de emisión según año de modelo del vehículo.....	60
Tabla 9. Emisiones comparativas de combustibles vehiculares.	62
Tabla 10. Total de vehículos que hoy en día se movilizan con glp.	66

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Variación de las ventas del glp por sector de consumo.....	22
Figura 2. Producción total del glp disponible para la venta- bpd.	23
Figura 3. Principio de funcionamiento del glp.....	26
Figura 4. Diagrama de funcionamiento del sistema electrónico glp.....	29
Figura 5. Sistema glp.	30
Figura 6. Unidad de almacenamiento en el automóvil.	31
Figura 7. A) tanque toroidal- b)tanque cilíndrico.	31
Figura 8. Multiválvula en el automóvil.....	32
Figura 9. Multiválvula	33
Figura 10. Reductor en el automóvil.....	33
Figura 11. Reductor-vaporizador.	34
Figura 12. Inyectores en el automóvil.....	34
Figura 13. Inyectores.	35
Figura 14. Computadora en el automóvil.	35
Figura 15. Computadora	36
Figura 16. Sensor de presión en el automóvil.....	37
Figura 17. Sensor de presión.....	37
Figura 18. Conmutador en el vehículo.....	38

Figura 19. Plug del combustible en el automóvil..... 38

Figura 20. Plug de combustible. 39

Figura 21. Producción nacional. 44

Figura 22. Posición que alcanza el pistón al final de una carrera ascendente, escape o
compresión..... 46

Figura 23. Reducción de las emisiones contaminantes usando como combustible el glp y el gas
natural. 63

Figura 24. Variación porcentual de la cantidad de vehículos a glp en el año 2014..... 66

Resumen

TITULO: ANÁLISIS AMBIENTAL COMPARATIVO DEL USO DEL GAS LICUADO DEL PETRÓLEO (GLP) COMO COMBUSTIBLE SUSTITUTO DEL GAS NATURAL VEHICULAR (GNV) EN COLOMBIA*

AUTORES: ELKIN CALDERÓN CALDERÓN & MAYERLY CALDERÓN SIERRA**

PALABRAS CLAVES: Gas licuado del petróleo, gases contaminantes, motores de combustión interna, motor dedicado, gas natural vehicular.

DESCRIPCIÓN:

El GLP (gas licuado del petróleo) es una mezcla de propano y butano que se almacena en estado líquido a presiones relativamente bajas y a temperatura ambiente, ha tomado fuerza como combustible alternativo vehicular en diferentes países como Italia, Rusia, Polonia e Italia; Japón, Corea del Sur, Turquía y Tailandia, entre otros debido a sus características amigables con el medio ambiente. En Colombia, su uso se concentra más en el sector comercial y residencial, ya que como combustible está prohibido por la ausencia de reglamentos y lineamientos técnicos con los cuales deba cumplir el gas licuado del petróleo para ser utilizado como combustible en motores de combustión interna. El presente trabajo está enfocado en analizar los impactos que genera el gas licuado del petróleo como combustible frente al gas natural vehicular y determinar cuál de los dos emite menos contaminantes a la atmósfera, también se enfoca en las ventajas y desventajas que se presentan con cada combustible, los efectos que generan en los motores de combustión interna y la normatividad presente tanto nacional como internacional para si en base a esta información determinar la viabilidad del gas licuado del petróleo y los impactos que puedan presentarse si se llegara a utilizar como

combustible en motores de combustión interna.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director: Jimena Lizeth Gómez, Delgado. Ingeniera de petróleo.

Abstract

TITLE: COMPARATIVE ENVIRONMENTAL ANALYSIS OF THE USE OF LIQUEFIED PETROLEUM GAS (LPG) AS A SUBSTITUTE FUEL OF NATURAL VEHICULAR GAS (NGV) IN COLOMBIA*.

AUTHORS: ELKIN CALDERÓN CALDERÓN & MAYERLY CALDERÓN SIERRA**

KEYWORDS: Liquefied petroleum gas, polluting gases, internal combustion engines, dedicated engine, vehicular natural gas

DESCRIPTION:

LPG (liquefied petroleum gas) is a mixture of propane and butane that is stored in the liquid state at relatively low pressures and at room temperature, this has been improving as an alternative of the vehicular fuel in different countries such as Italy, Russia, Poland and Italy; Japan, South Korea, Turkey and Thailand, among others due to its environmentally friendly characteristics. In Colombia, since as a fuel it is prohibited due to the absence of regulations and guidelines to be used in internal combustion engines, its use is concentrated in the commercial and residential sector.

The present investigation is focused on analyzing the impacts generated by liquefied petroleum gas as a fuel against the vehicular natural gas and determining which of the two emits less pollutants to the atmosphere, also focuses on the advantages and disadvantages that arise with each fuel, the effects they generate in internal combustion engines and the current regulations both nationally and internationally. Based on this information determine the viability of liquefied petroleum gas and the impacts that may arise if it were to be used as fuel in engines internal combustion.

* Project of grade

** Faculty of Engineering Physical Chemical. School of Engineer Petroleum. Director: Jimena Lizeth Gómez, Delgado.
Ingeniera de petróleos

Introducción

La cantidad de gases contaminantes como el CO, CO₂, NOX, HCS y partículas entre otros, que se producen diariamente están ocasionando daños al medio ambiente como consecuencia a estos fenómenos se ven los cambios climáticos abruptos, desastres naturales y el calentamiento global; es por esto que se ha empezado a trabajar para reducir al máximo las emisiones de gases causantes del efecto invernadero generados por el uso de vehículos que cada día son más y que no llevan un control adecuado.

El estudio y la implementación de uso del GLP en países del continente europeo y países de Centroamérica como Chile y Argentina, demuestran que este combustible reduce de forma importante las emisiones de gases nocivos y de partículas en el ambiente que son perjudiciales para la salud además de reducir las emisiones de gases efecto invernadero causantes del calentamiento global.

En Colombia no se ha logrado implementar el uso del GLP como combustible sin embargo se ha venido incursionando de manera desordenada e irregular en este sector dado que a las empresas distribuidoras se les ha dado la autorización para usar el GLP como combustible automotor en los vehículos utilizados para su actividad distribuidora, a pesar que el país aún carece entre de los reglamentos técnicos y la acreditación de talleres certificados en hacer la conversión de manera correcta y segura. En contraste la resolución 40577 de 2016 autorizar la realización de pruebas piloto en el territorio colombiano con el fin de evaluar el comportamiento del GLP como

carburante en motores de combustión interna, así como en transporte automotor, entre otros usos alternativos.

En este trabajo de grado se pretende contribuir con esta investigación, analizando el comportamiento del GLP con el medio ambiente en base a estudios realizados por otros países e impulsar la puesta en marcha como combustible, siendo este una buena opción para ampliar el uso del energético, encaminado a mejorar la calidad del aire en las ciudades, comparándolo con el gas natural vehicular que ha sido aceptado de manera positiva en Colombia por ser un combustible limpio y amigable con el medio ambiente.

1. Generalidades

1.1 Gas licuado del petróleo

Este gas se conoce también como GLP o gas embotellado, se obtienen en las plantas que producen gas natural. Este gas en el interior de los tanques o recipientes que se almacena, transporta o distribuye, se encuentra en estado líquido; este es el único gas combustible que tiene las características que cuando se somete a presiones mayores que la atmosférica y a la temperatura ambiente promedio ordinaria se condensa y pasa al estado líquido.

1.1.1 Composición. Es un combustible que tiene una composición química donde predominan los hidrocarburos butano y propano o sus mezclas, la cual contiene impurezas principales, como son el propileno o butileno o una mezcla de estos.

“Los gases butano y propano, en estado puro, son hidrocarburos del tipo C_nH_{2n+2} . Como se observa en la tabla 1. La composición más habitual del GLP, es un 40% de butano y un 60% de propano” (Martin y Sala, 2004, p.51).

Tabla 1.

Composición del Gas licuado de petróleo

Componente	Fórmula química	Composición por volumen (%)
Propano	C_3H_8	60
Butano	C_4H_{10}	40

El gas licuado del petróleo en sí mismo no es venenoso, es incoloro e inodoro y en estado vapor es más pesado que el aire, para poder detectar su presencia en caso de fugas en uniones, pilotos apagados, etcétera se le agrega olor, que por lo general es un hidrocarburo obtenido del petróleo llamado mercaptano que se mezcla en una proporción de 1 litro por cada 10 mil de GLP.

1.1.2 Obtención. Se obtiene directamente de los mantos petrolíferos mezclado con el petróleo crudo, pero también se puede obtener en una segunda opción de la refinación de algunos derivados del petróleo. “Los valores representativos en la obtención son de refinerías (gasolina y de plantas de proceso de gas natural), las cuales aportan alrededor de un 25% y 75% respectivamente.” (Martin y Sala, 2004, p.52).

En refinería, el petróleo se somete a una operación denominada destilación, mediante la cual se van separando ordenadamente, de acuerdo con sus densidades y puntos de ebullición, los diversos componentes: gasolinas ligeras, kerosenos, butano, propano, y otros.

1.1.3 Propiedades. Algunas de sus propiedades más significativas son:

- No es tóxicos ni corrosivos, solo se desplaza el oxígeno, por lo que no es propio para respirarlo mucho tiempo.
- No contiene plomo ni ningún aditivo añadido.
- No contiene azufre en su composición.
- El GLP es un combustible económico, por su rendimiento en comparación con otros combustibles.
- Es excesivamente frío, porque cuando se ha licuado se ha sometido a muy bajas temperaturas de bajo 0°. Por lo tanto, el contacto con la piel produce quemaduras de la misma manera que lo hace el fuego.

1.1.4 Características de aplicabilidad en motores de combustión interna. GLP es un combustible apto para motores de Ciclo Otto, pero estos tienen que someterse a una serie de adaptaciones en el sistema de inyección. “También se puede usar en motores diésel transformados, aunque permite utilizar catalizadores de tres vías, con lo que se consigue reducir las emisiones de CO, NOX e hidrocarburos no quemados Asociación española de operadores de productos petroleros” (Martin y Sala, 2004).

“El uso del GLP a nivel de autobuses urbanos permite alcanzar, en la actualidad, niveles de emisiones mucho más reducidas que cualquier tecnología avanzada del diésel en los próximos años” (Martín y Sala, 2004).

La importancia de la no variabilidad en la calidad del gas suministrado reside en que, de esta manera, el fabricante puede poner a punto el vehículo para así alcanzar unos niveles óptimos de seguridad, prestaciones del vehículo y emisiones contaminantes, y que estos niveles se mantengan durante su uso.

Si se consideran los motores utilizados con GLP para vehículos destinados al transporte. Se encuentran una serie de ventajas técnicas frente a otros combustibles.

- Una mezcla homogénea, controlada y bien distribuida con el aire comburente en los cilindros, facilitando así una combustión más completa.
- La combustión del GLP, no genera el tipo de carbón en la cámara de admisión que hace que la vida de las bujías sea menor, por ello la vida útil se prolonga a más del doble de tiempo.
- Los aceites lubricantes del motor se mantienen limpios más tiempo debido a la ausencia de depósitos carbonosos.
- Mayor potencia y un par motor mayor a carga parcial (arranques, aceleraciones, deceleraciones y paradas).

1.1.5 Usos del GLP

- Sector industrial y petroquímico

El consumo de GLP en la industria petroquímica corresponde a su uso como insumo químico o materia prima para la producción de resinas y plásticos (polímeros, tales como polipropileno),

entre otros productos. El uso petroquímico del GLP en el país, se ha entendido o asumido más como una alternativa que afecta la oferta, que como un sector adicional de consumo

- Sector Termoeléctrico

Otro de los usos que se han venido analizando y estudiando para aprovechar al máximo este combustible es la generación de electricidad para zonas no interconectadas como la posibilidad de uso en plantas del Sistema Eléctrico Nacional donde a pesar de tener conexión eléctrica, por alguna razón presente inconvenientes en el suministro y calidad del servicio. Así mismo, Ecopetrol ha evaluado la posibilidad de usar GLP como combustible para sustituir diésel en la tarea de generar electricidad en sus campos de producción de petróleo y gas.

- Sector Doméstico y Comercial

En Colombia, el GLP se ha destinado básicamente para usos domésticos como cocinar, calentar, o ambientar. Pero ahora el panorama muestra que ante los previsibles incrementos de oferta se abre una gran oportunidad para el país en materia energética.

En los países más avanzados es utilizado como combustible en desarrollos agroindustriales e industriales y para automóviles, flotas comerciales y de taxis, motonaves y barcos medianos, entre otros usos.

- Sector Transporte:

Este ha sido un sector de muy rápido crecimiento sobretodo en Europa, debido a las fuertes restricciones ambientales derivadas de los altísimos niveles de contaminación alcanzados en algunos países. Sin embargo, en Colombia, el mercado colombiano de combustibles alternativos en el sector transporte se ha enfocado principalmente en fomentar el uso de gas natural vehicular (GNV) y los biocombustibles, con lo que el gas licuado de petróleo no ha sido muy usado en el país para esta tarea en específico.

1.1.6 Demanda. A pesar del alcance del cubrimiento del servicio de gas licuado del petróleo, la Unidad de planeación minero energética (UPME, 2017) estima que “la demanda de este combustible disminuyó a una tasa constante de consumo del 3.6% anual hasta el 2013, a partir del 2014 se presentó un incremento anual del 4.01% principalmente por el aumento de la demanda atendida a través de tanques estacionarios. Al respecto, las agremiaciones manifiestan que este incremento en la demanda se origina por la misma escases del producto, por cuanto los ilegales que venden de manera informal a través de tanques estacionarios no cuentan con el producto para continuar fomentando la informalidad y esos usuarios en vista de la necesidad del servicio están siendo atendidos por las empresas legalmente constituidas que reportan la información al Sistema único de información (SUI) e este sector energético.

La entrega del producto al usuario final se realiza a través de cilindros y/o tanques estacionarios, aunque en el sector residencial la modalidad de uso preferencial es el cilindro, siendo los sectores comercial e industrial los de mayor utilización de los tanques estacionarios. La figura 1, representa la variación porcentual por modalidad de ventas, se ha mantenido constante en su mayor participación las ventas a través de cilindros. (UPME, 2017).

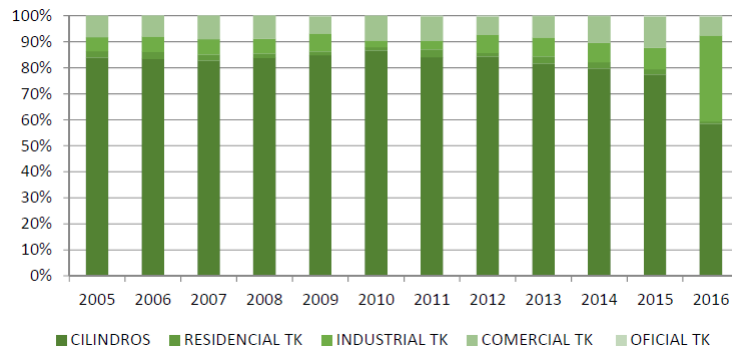


Figura 1. Variación de las ventas del GLP por sector de consumo-%. Adaptada: Unidad de Planeación Minero Energética UPME. Cadena del gas licuado del petróleo (GLP) 2017. Upme (2017)

1.1.7 Producción del GLP. El Ministerio de Minas mediante la Resolución 40694 de 2016 solicitó a los agentes productores y/o importadores de GLP las proyecciones de producción por fuente y por un horizonte de cinco años contados a partir del 2016. Con base en la información recibida, el Ministerio definió y publicó un horizonte de producción de GLP hasta el año 2021, aclarando que algunos productores privados no habían remitido la información solicitada. En la figura 2, se presenta la producción total disponible para la venta reportada por los productores en el horizonte definido hasta el año 2021. Así las cosas, en el 2017 la producción de GLP a nivel nacional estará alrededor de los 16,000 BPD, en el 2018 y 2019 estaría cercana a la producción promedio de los 19,000 BPD y del 2020 en adelante la producción estaría en promedio en 17,000 BPD (UPME, 2017).

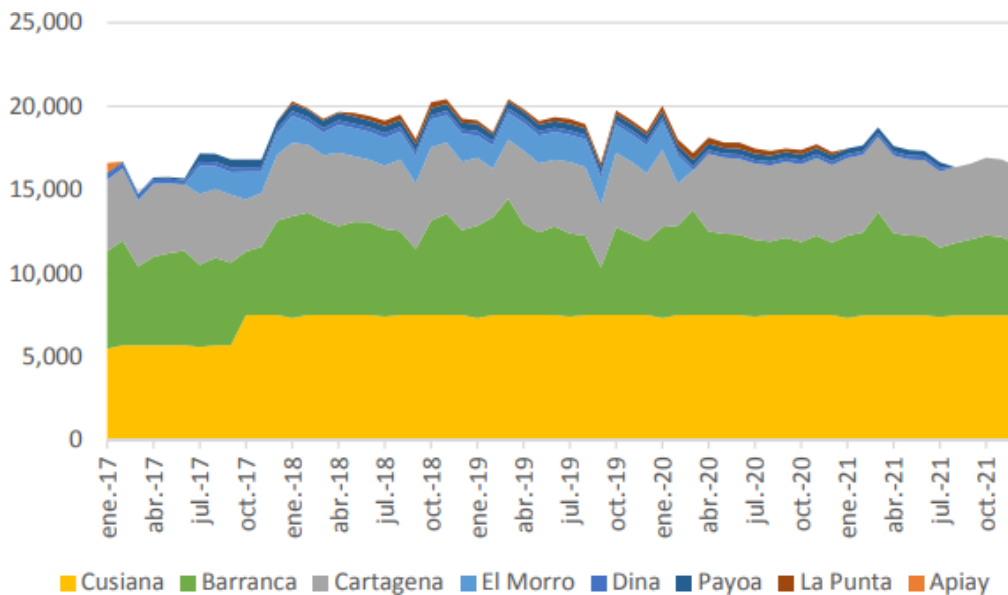


Figura 2. Producción total del GLP disponible para la venta- BPD. Adaptado de MME y Cálculos UPME.

1.1.8 Ventajas

- Ayuda a mejorar la calidad del aire interior y exterior.
- No es tóxico
- La emisión de material particulado es casi nula.
- El uso, del Gas Licuado de Petróleo en la automoción, reduce la presencia de una serie de gases contaminantes que causan efectos secundarios tanto en la capa de ozono, como en la salud humana, ya que emiten menos NOX (Óxido de Nitrógeno) que el diesel y que la gasolina.
 - Debido a su alta volatilidad, el Gas Licuado no supone un impacto dañino para el medio ambiente, además, a diferencia de otras fuentes energéticas, no genera residuos. No genera impactos sobre el suelo, agua o acuíferos subterráneos.
 - Durante la combustión, el GLP genera menores emisiones de CO₂ que el carbón, la gasolina y el diésel.
 - La huella de carbono que deja el GLP es 20% inferior a la del diésel y 50% menos que la del carbón.
 - Cuando se emplea en motores, los niveles de ruido se reducen.
 - No genera tanto desgaste en los cilindros
 - Menor cantidad de residuos en el sistema
 - No ensucia el aceite
 - Una mezcla homogénea, controlada y bien distribuida con el aire comburente en los cilindros, facilitando así una combustión más completa.
 - La combustión del GLP, no genera el tipo de carbón en la cámara de admisión que hace que la vida de las bujías sea menor, por ello la vida útil se prolonga a más del doble de tiempo.

- Los aceites lubricantes del motor se mantienen limpios más tiempo debido a la ausencia de depósitos carbonosos.
- Mayor potencia y un par motor mayor a carga parcial (arranques, aceleraciones, deceleraciones y paradas).
- El GLP es almacenado en tanques livianos, ya que solo requiere ocho atmósferas de presión.

1.1.9 Desventajas

- Dificulta la lubricación
- Puede deteriorar las válvulas a mayor velocidad
- Mayor consumo por su mayor poder calórico
- El GLP, pesa más que el aire y tiende a permanecer más tiempo en el ambiente
- Si el motor no se diseñó desde el principio para funcionar con GLP puede sufrir averías en el sistema de inyección a largo plazo por corrosión, aunque el ahorro a lo largo de su vida útil lo compensaría.

1.1.10 Sistema de conversión a GLP

1.1.10.1 Principio de funcionamiento del sistema. El GLP se carga a través de una toma de carga externa que puede ser visible o invisible, es una toma bastante pequeña que puede ser colocada en el vano de la tapa del tanque de gasolina y a la que se le encaja un acople cuando se requiere cargar gas. El tanque recibe el gas desde la toma de carga, (figura 3), y lo distribuye hacia el vaporizador a través de la multiválvula que contiene una serie de válvulas de control (de

seguridad, de sobrepresión y de corte) para evitar la explosión o falla por exceso de temperatura, presión, etc., los tanques pueden tener forma cilíndrica o tórica (en forma de llanta). Los tanques toroidales y cilíndricos que se utilizan para el GLP, soportarán presiones de alrededor de 7 bares; para ambos casos los hay en varios tamaños y dimensiones (Barrera, 2012).

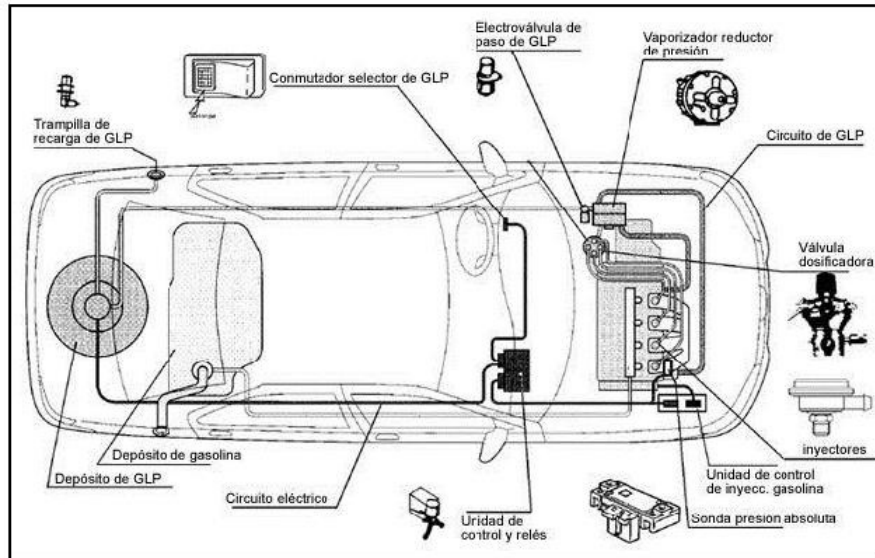


Figura 3. Principio de funcionamiento del GLP. Adaptada de Estudio del sistema GLP como combustible alternativo de uso en vehículos automotrices. (Barrera 2012).

Las electroválvulas son llaves de paso eléctricas que abren y cierran el paso de gas, al mismo tiempo que cierran y abren el paso de gasolina (una siempre está cerrada cuando la otra está abierta) para evitar el uso simultáneo de ambos combustibles. Son controladas por un conmutador que tiene las posiciones "Gasolina" y "Gas", en el caso de los automóviles carburados con una posición central que corta el paso de los dos combustibles para permitir que la gasolina se acabe en la cuba del carburador antes que empiece a entrar el gas (Barrera, 2012).

De manera genérica, en el caso de sistemas inyectados, a la posición central del conmutador se le llama "Automático" y hace el cambio de combustible a determinadas rpm (en algunos modelos

de conmutador se puede fijar un límite de trabajo en rpm para gas y gasolina). El tambor de metal que recibe el gas del tanque se conoce como vaporizador porque gasifica o vaporiza el GLP líquido del tanque (Barrera, 2012).

Para realizar este trabajo necesita el agua o refrigerante del sistema de refrigeración del motor. El agua al calentarse eleva la temperatura del GLP vaporizándolo y evita que el gas se congele al reducirse la presión. Adicional a ello el vaporizador/reductor debe brindar un flujo o caudal adecuado al motor en el que se está instalando (Barrera, 2012).

1.1.10.2 Equipos para vehículos a inyección. Los equipos de inyección secuencial no utilizan un mezclador, sino un sistema de punteras (otro tipo de electroválvulas) -mal llamadas "inyectores"- que se instalan perforando el múltiple de admisión del motor, una para cada cilindro. Estas electroválvulas son comandadas por un programa que intenta copiar el tiempo de inyección de la computadora del auto, pero tienen como límite la velocidad de apertura de las mismas electroválvulas, así como su duración y calidad. Estos programas típicamente no son auto adaptivos, por lo que es necesario regresar a ponerlos a punto según el desgaste de las electroválvulas y el manejo del auto, así como ante las respuestas de la ECU (la computadora del auto) que si es auto adaptiva al nuevo combustible (Barrera, 2012)

1.1.10.3 La electrónica. Los inyectores son dispositivos electromecánicos que permiten la gasificación de la gasolina en la cámara de combustión en autos "inyectados", (figura 4). El emulador de inyectores debe estar conectado de manera correcta para impedir que los inyectores trabajen cuando el motor del vehículo funcione a gas, pero al mismo tiempo generar una señal que la ECU interprete de forma correcta y no reporte como falla por mal funcionamiento. Existen dos

maneras en las cuales se emula, como los inyectores son actuadores, o se cortan del todo (lo que generará un error en la computadora o ECU porque no se cerró el circuito), o se baja la tensión en la línea a un nivel en la que el inyector no funciona (pero encuentra un circuito eléctrico que haga creer a la ECU que el sistema está operativo). La sonda lambda o sensor de oxígeno es uno o varios dispositivos incrustados en el tubo de escape que se encarga de evaluar la cantidad de oxígeno que quedó luego de la quema del combustible. Esta información le indica a la ECU qué cambios en el sistema a gasolina deberá realizar de manera automática para mejorar la combustión. Debido a que esta sonda brinda una señal de cierto tipo al funcionar en gasolina, se requiere emular la señal cuando funciona a gas para evitar confusiones en la ECU, para ello se utiliza un emulador de sonda lambda o emulador de sensor de oxígeno. Al mismo tiempo se puede aprovechar la información de la sonda junto con el TPS, RPM, MAP/MAF y otros sensores para el funcionamiento del sistema de Lazo Cerrado, cuando el auto está funcionando a gas (*Barrera, 2012*).

El emulador de sonda lambda enviará una señal que la ECU interpretará como correcta para que no modifique el sistema, cuando la electrónica del auto así lo requiera. Esto es probable que no sea necesario en autos anteriores a 1996, para los que ya utilizan OBD2 y superior, se hace imprescindible un emulador de sonda lambda y así evitar el testigo de "Check Engine" (*Barrera, 2012*).

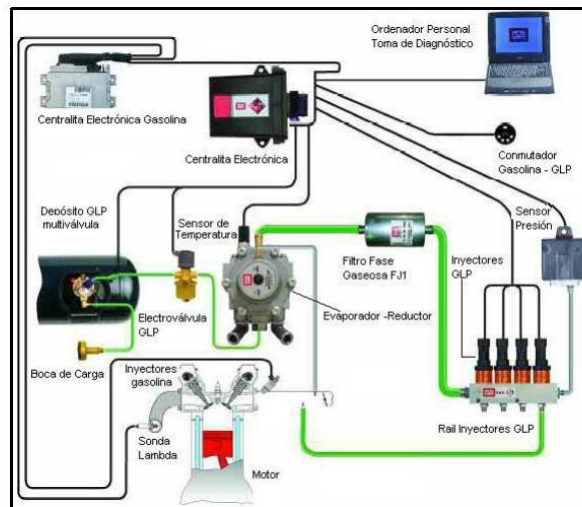


Figura 4. Diagrama de funcionamiento del sistema electrónico GLP. Adaptada de Estudio del sistema GLP como combustible alternativo de uso en vehículos automotrices. Barrera (2012).

En autos sin electrónica el colocar una sonda lambda y utilizar un voltímetro permite mejorar la regulación manual. Aquí es importante notar que hay varios tipos de señal, las más comunes son entre 0 y 1 voltios (normalmente los autos americanos y japoneses) y entre 0 y 5 voltios, también conocidos como de banda ancha (normalmente los autos europeos). El lazo cerrado es un motor de pasos colocado en lugar del registro de alta y que utiliza las lecturas de la sonda lambda, TPS, RPM, MAP/MAF, etc., para evaluar de manera dinámica si abre o cierra el registro de alta del sistema de gas, reduciendo al mínimo el exceso de gas. Dependiendo de la programación de la ECU, la electrónica utilizada, el conocimiento del instalador y su pericia, algunos de estos subsistemas podrían generar que el testigo de “Check Engine” se encienda. Esto es nocivo para el correcto funcionamiento del auto, ya que estos errores se "guardan" en la ECU y podrían provocar que el sistema accione procedimientos en caso de ciertos errores que podrían llevar al malfuncionamiento general del auto e incluso, en algunos modelos, a que la ECU se bloquee. (Barrera, 2012).

1.1.10.4 Componentes principales. El sistema GLP está conformado por varios componentes como se indica en la figura 5, a continuación, se describe cada uno de ellos:



Figura 5. Sistema GLP. Adaptada de Estudio del sistema GLP como combustible alternativo de uso en vehículos automotrices. Barrera (2012).

1.1.10.5 Unidad de almacenamiento. El gas o GLP puede ser almacenado en un tanque de acero, (figura 6), especialmente diseñado para vehículos, el cual tiene dos opciones. Una es el tanque toroidal o redondo, (figura 7 a), y el cilindro estándar o cilíndrico, (figura 7 b), ambos cumplen con todas las medidas de seguridad. Sus válvulas están fabricadas de acuerdo con la seguridad del depósito. La válvula de servicio del combustible al motor está asegurada contra roturas que produzcan un cambio brusco del caudal de GLP utilizado, cerrándose inmediatamente (Barrera, 2012).

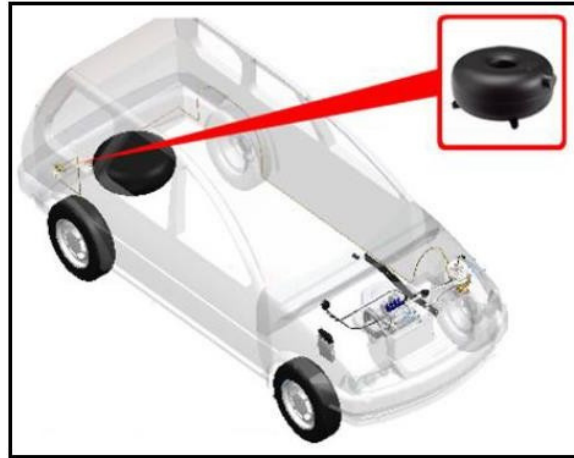


Figura 6. Unidad de almacenamiento en el automóvil. Adaptada de Estudio del sistema GLP como combustible alternativo de uso en vehículos automotrices. Barrera (2012).

Además, existe una válvula de seguridad auxiliar, que hace imposible que la presión suba dentro del depósito más allá de una cantidad prefijada. También está previsto que la válvula de llenado pare automáticamente al llegar a cierto nivel, lo que no permite un exceso de riesgo en cuanto a la posibilidad de llenado total del depósito (Barrera, 2012).



Figura 7. a) Tanque toroidal- b) Tanque cilíndrico. Adaptada de Estudio del sistema GLP como combustible alternativo de uso en vehículos automotrices. Barrera (2012).

1.1.10.6 Multiválvula. La multiválvula electrónica del tanque, (figura 8), proporciona la lectura del nivel del gas (GLP) y al mismo tiempo el control del flujo de gas hacia el motor, en caso de un accidente o ruptura de la línea, esta cierra electrónicamente el paso del gas (Barrera, 2012).

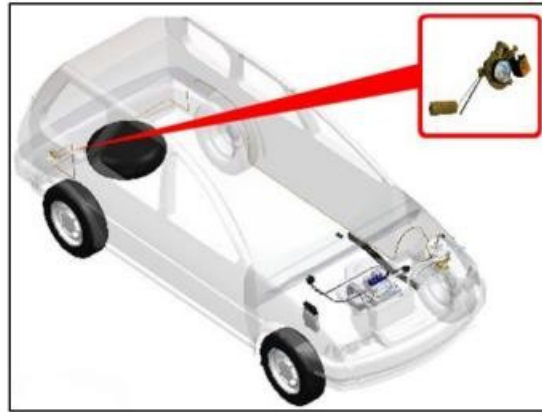


Figura 8. Multiválvula en el automóvil. Adaptada de Estudio del sistema GLP como combustible alternativo de uso en vehículos automotrices. Barrera (2012).

Esta válvula es utilizada para el llenado del depósito. A ella se conecta el surtidor de GLP por un sistema de acoplamiento rápido totalmente estanco y el resto del procedimiento es muy similar al que se utiliza para suministrar gasolina. Esta válvula, (figura 9), lleva incorporados dos sistemas de seguridad: doble válvula antirretorno, que evita la salida del GLP cuando se conecta el surtidor, y dispositivo de máximo llenado, que garantiza que no se sobrepase, en el llenado, el 80% de la capacidad del depósito, ya que al llegar a este porcentaje la válvula se cierra automáticamente (Barrera, 2012).



Figura 9. Multiválvula. Adaptada de Estudio del sistema GLP como combustible alternativo de uso en vehículos automotrices. Barrera (2012).

1.1.10.7 Reductor – Vaporizador. El vaporizador – reductor, (figura 10), para el GLP es del tipo mono fase de membrana y el vacío compensado por el colector de entrada. Es diseñado para asegurar una presión de suministro superior a la presión en las tuberías de admisión del motor (Barrera, 2012).



Figura 10. Reductor en el automóvil. Adaptada de Estudio del sistema GLP como combustible alternativo de uso en vehículos automotrices. Barrera (2012).

Las funciones más importantes del regulador, (figura 11), son:

- Reducir la presión.
- Pasar el GLP de estado líquido a gaseoso.

- Regular la cantidad de gas suministrado al motor.



Figura 11. Reductor-vaporizador. Adaptada de Estudio del sistema GLP como combustible alternativo de uso en vehículos automotrices. Barrera (2012).

1.1.10.8 Inyectores. Los inyectores, (figura 12), tienen la tarea de proporcionar de manera secuencial gas a cada cilindro del vehículo. Esta función se atribuye a los inyectores separados e independientes entre ellos que reciben la señal eléctrica del contador ECU (Barrera, 2012).

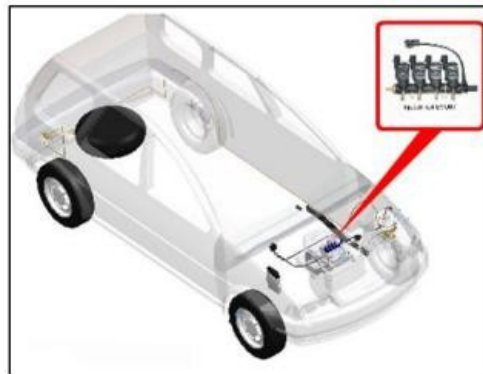


Figura 12. Inyectores en el automóvil. Adaptada de Estudio del sistema GLP como combustible alternativo de uso en vehículos automotrices. Barrera (2012).

El inyector, (figura 13), recibe el gas del reductor a una presión constante, y lo distribuye a cada uno de los colectores de aspiración de los cilindros del motor del vehículo en la cantidad adecuada.

Dependiendo del número de cilindros del motor del vehículo, existen bloques de 3, 4 y 5 electroválvulas que, combinadas, permiten la instalación del equipo en vehículos con motores de 3 cilindros, 4, 5, 6 (3+3) y 8 (4+4) (Barrera, 2012).



Figura 13. Inyectores. Adaptada de Estudio del sistema GLP como combustible alternativo de uso en vehículos automotrices. Barrera (2012).

1.1.10.9 Computadora. La computadora, (figura14), se encarga de preparar directamente los tiempos de inyección de los inyectores de combustible original de gasolina y convertirlos en el tiempo de inyección de gas. Esto garantiza las estrategias definidas por el fabricante del vehículo con respecto a la manipulación y las emisiones (Barrera, 2012).

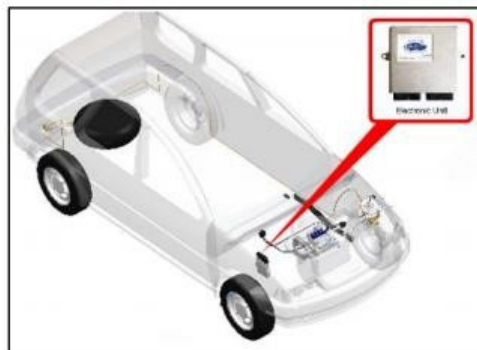


Figura 14. Computadora en el automóvil. Adaptada de Estudio del sistema GLP como combustible alternativo de uso en vehículos automotrices. Barrera (2012).

Está constituida por una caja hermética, no susceptible de manipulación, con una disposición interna similar a un ordenador como se indica en la figura 15 y es capaz de procesar una gran cantidad de información. Esta centralita o unidad de mando electrónica tiene la misión de mantener la relación estequiométrica aire/gas constante, durante el tiempo que el motor esté funcionando alimentado por el gas GLP (Barrera, 2012).



Figura 15. Computadora. Adaptada de Estudio del sistema GLP como combustible alternativo de uso en vehículos automotrices. Barrera (2012).

Una vez calculado el tiempo de inyección, la centralita envía la señal eléctrica, de una duración determinada (milisegundos) al bloque de inyectores para que éste deje pasar el gas hacia los colectores de aspiración. Está dotada de un software específico para la programación y puesta a punto del sistema, así como de una auto calibración para obtener una correcta alimentación a gas del vehículo (Barrera, 2012).

1.1.10.10 Sensor de presión. El sensor de presión, (figura 16), es el encargado de medir la presión del múltiple de admisión y el carril de inyectores (Barrera, 2012).

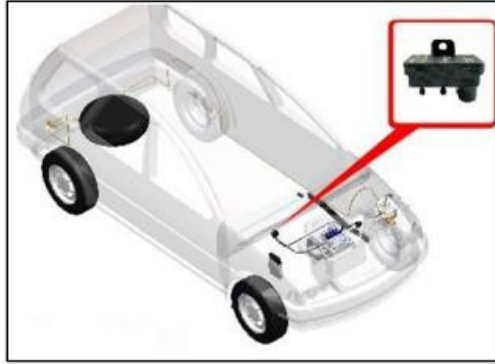


Figura 16. Sensor de presión en el automóvil. Adaptada de Estudio del sistema GLP como combustible alternativo de uso en vehículos automotrices. Barrera (2012).

El sensor de presión, (figura 17), toma datos de la depresión del colector de aspiración del vehículo y de la presión del gas en el reductor y los transmite a la centralita (Barrera, 2012).



Figura 17. Sensor de presión. Adaptada de Estudio del sistema GLP como combustible alternativo de uso en vehículos automotrices. Barrera (2012).

1.1.10.11 Conmutador. El conmutador, (figura 18), es un módulo electrónico muy pequeño situado en una posición cómoda y ergonómica para el usuario. Gracias a la reducción del tamaño se pueden insertar en lugar de un tablero de instrumento, con espacios disponibles (Barrera, 2012).

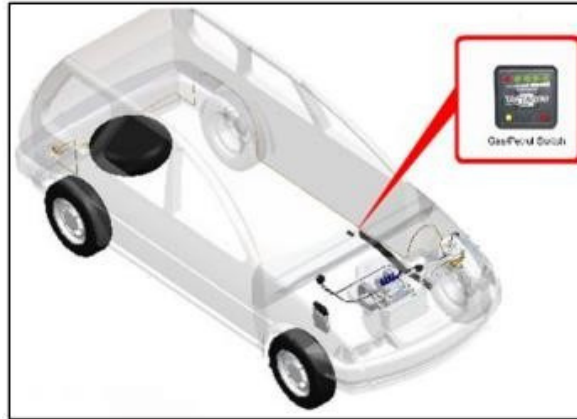


Figura 18. Conmutador en el vehículo. Adaptada de Estudio del sistema GLP como combustible alternativo de uso en vehículos automotrices. Barrera (2012).

1.1.10.12 Plug de combustible. EL plug de combustible, (figura 19), consiste en un dispositivo para el llenado de Gas o GLP para ser almacenado en un tanque de acero especialmente diseñado para vehículos (Barrera, 2012).



Figura 19. Plug del combustible en el automóvil. Adaptada de Estudio del sistema GLP como combustible alternativo de uso en vehículos automotrices. Barrera (2012).

Esta válvula, (figura 20), se fija en la carrocería del vehículo y se conecta mediante un tubo a la válvula de llenado del depósito. Esta válvula alojada en una caja está protegida con su tapa correspondiente (Barrera, 2012).



Figura 20. Plug de combustible. Adaptada de Estudio del sistema GLP como combustible alternativo de uso en vehículos automotrices. Barrera (2012).

1.2 Gas natural

El gas natural es la fuente de energía fósil que ha evolucionado más desde los años 70, la cual actualmente representa la quinta parte del consumo energético mundial.

Se conoce al término de gas natural a las mezclas de gases combustibles, hidrocarburos o no, que se encuentran en el subsuelo, aunque se puedan considerar como gases naturales todos aquellos que se encuentren de forma natural en la Tierra, desde los constituyentes del aire hasta las emanaciones gaseosas de los volcanes.

“El gas natural es la mezcla de hidrocarburos gaseosos en la que predomina fundamentalmente el metano (en proporción superior al 80%), que se encuentra en la naturaleza en yacimientos subterráneos, solo o compartiendo los mismos con petróleo”(Martin y Sala, 2004, p.55).

1.2.1 Composición. El gas natural es el primer miembro de la familia de los alcanos que en condiciones atmosféricas se presenta en forma gaseosa.

Su composición, que varía en función de la procedencia del yacimiento, nunca es constante. Así pues, los valores de la composición y las propiedades de este, serán una media de los gases naturales escogidos.

El gas natural puede ser “húmedo”, en caso de contener hidrocarburos líquidos en suspensión, o seco, si no los contiene.

Es una mezcla de hidrocarburos ligeros, compuesto principalmente de metano, etano, propano, butanos y pentanos. También se encuentran otros componentes como el CO₂, el helio, el sulfuro de hidrógeno y el nitrógeno.¹

Composición del Gas Natural.

Tabla 2.

Composición del Gas Natural

Componente	Fórmula química	Composición por volumen (%)
Metano	CH ₄	81.86
Etano	C ₂ H ₆	11.61
Propano	C ₃ H ₈	1.92
I-Butano	C ₄ H ₁₀	0.23
N-Butano	C ₄ H ₁₀	0.22
Nitrógeno	N ₂	0.90
Dióxido de carbono	CO ₂	3.18

Nota. Adaptado de Que es el gas natural. Gas natural Fenosa. Recuperado de <https://goo.gl/lo7d3d>

¹ Que es el gas natural. Gas natural Fenosa. Disponible en: <<https://goo.gl/lo7d3d>> [citado el 20 de noviembre de 2016]

La importancia del gas natural como carburante radica en la proporción de metano que contiene y en los demás hidrocarburos superiores, ya que le confieren su carácter combustible. Los demás componentes son elementos inertes porque no intervienen en la combustión, como el N_2 y el CO_2 , o son perjudiciales, como el SH_2 , y es necesario eliminarlos.

1.2.2 Obtención. El gas natural se encuentra en todo el mundo, ya sea en los depósitos situados en las profundidades de la superficie terrestre, o en los océanos. Se obtiene directamente de la tierra, sin necesidad de ningún tipo de fabricación. Se encuentra en las cavidades intersticiales, donde se pueden formar grandes cantidades de gas. Por lo general, se encuentra en yacimientos de petróleo o cerca de ellos, aunque también se puede encontrar solo. Se llama gas “asociado” cuando se encuentra en presencia de petróleo bruto y “no asociado” cuando se encuentra solo.

1.2.3 Propiedades. El gas natural no es ni corrosivo ni tóxico, tiene una temperatura de combustión elevada, además de tener un estrecho intervalo inflamabilidad, lo que hace del gas natural un combustible fósil seguro, en comparación con otras fuentes de energía.

El gas natural en su estado natural no tiene ni olor ni color, es insípido, sin ninguna forma particular y es más ligero que el aire. Se presenta en forma gaseosa a una temperatura superior a los $161^{\circ}C$. La densidad relativa del gas natural en promedio es de 0.60 (inferior a la del aire), por lo que hace que tenga tendencia a elevarse y pudiendo, consecuentemente, desaparecer fácilmente del sitio donde se encuentra por cualquier grieta. (Martín y Sala, 2004, p.55)

1.2.4 Características de aplicabilidad en motores de combustión interna. Los vehículos a gas natural utilizan un motor de combustión interna operado con ciclo Otto, pueden usar dos conceptos en relación con la mezcla gas / aire:

- Mezcla pobre. Considerada como cualquier relación de mezcla que tenga más aire del necesario. En este caso se utiliza un catalizador de oxidación.
- Mezcla estequiométrica. Este sistema consiste en introducir al motor la mezcla de gas y aire estrictamente necesaria para quemarla, de forma que no haya oxígeno residual en los gases de escape. Para ello se utiliza un catalizador de tres vías.

El funcionamiento del vehículo a gas natural es muy simple, cuando el motor requiere gas natural, sale de los cilindros de almacenamiento, pasa a través de una válvula de bloqueo manual y se traslada a través de un regulador de combustible. El gas natural se inyecta a presión atmosférica a través de un mezclador de gas natural donde se mezcla con aire, a partir de ahí fluye hacia la cámara de combustión siguiendo el procedimiento típico de un motor de ciclo Otto.

Actualmente existen en el mercado varias marcas que ofrecen Kits de conversión para motores de ciclo Otto de inyección electrónica, de esta forma los vehículos ligeros podrán circular tanto con gas natural como con gasolina. También hay empresas que fabrican los vehículos con motores de gas natural.

1.2.5 Usos del Gas Natural

- Sector industrial y petroquímico

Puede ser usado como combustible o materia prima para los procesos industriales. Como combustible se emplea en equipos tales como hornos, secadores y calderas. Así mismo el metano

principal componente del gas natural es usado ampliamente en la producción de subproductos como monóxido de carbono, hidrogeno, metanol, ácido, anhídrido acético entre otros.

- Sector Doméstico y Comercial:

El gas natural se usa como combustible en sistemas de calefacción de agua, calentadores de ambiente, secadoras de ropa y demás instrumentos. También es usado por empresas que distribuyen gas domiciliario para la cocción de alimentos.

- Sector Transporte:

En el país ha aumentado considerablemente el uso del gas natural como combustible vehicular caracterizándose por ser ecológico, económico, eficiente y seguro. Gracias a la combustión limpia del GNV y a las condiciones de operación del motor, las necesidades de mantenimiento y cambio de aceite se ven reducidas, razón por la cual muchos conductores y propietarios han decidido convertir su automotor a GNV. “El punto de ignición en el gas natural es alrededor de 650°C, 300°C” (ECOPETROL S.A, 2015, p.1). Por encima de la gasolina, lo que lo hace una alternativa conveniente y segura.

1.2.6 Producción de Gas Natural. En la figura 21 se observa la producción nacional y es notoria la disminución, es así como en el año 2013 el país mantuvo una producción promedio de 1.199 GTUD, siendo la mayor producción diaria realizada en los últimos 9 años, en el año 2014 se presentó una disminución en el promedio diario de 3,8% lo que significó niveles de 1.153 GTUD; en tanto en el 2015 la disminución fue del 6,5% significando una producción promedio de 1.078 GTUD; en el año 2016 la situación no fue diferente y la producción diaria disminuyó en un 4.7% a 1.207 GBTUD y en lo corrido de 2017, con valores hasta agosto de 2017, tenemos un promedio de 955 GBTUD El principal aporte está dado por los campos Cusiana, Cupiagua y

Guajira y un importante aumento, desde 2016, en la producción de los campos del Valle Inferior del Magdalena principalmente Nelson, Bonga y Mamey (UPME, 2017).

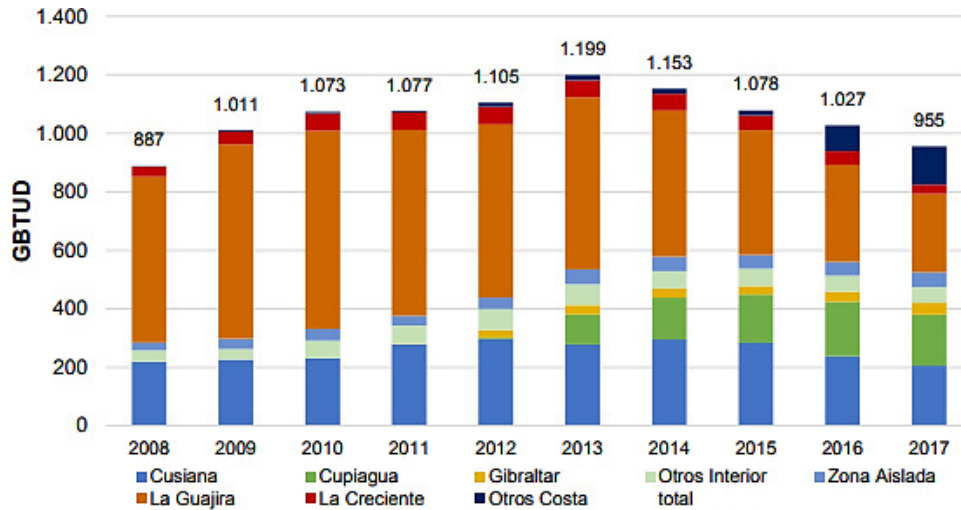


Figura 21. Producción Nacional. Adaptada de Unidad de planeación minero energética. (2017). Balance de gas natural 2017. Recuperado de <http://www1.upme.gov.co>

1.2.7 Ventajas

- El GNV es más liviano que el aire y en caso de producirse una fuga este se eleva más rápido, disminuyendo la posibilidad de sufrir un accidente. (Ingol Juan. 2012)
- Su precio es menor que el de los otros combustibles existentes en el mercado (llámese GLP, Gasolinas, Diesel) Sociedad Naciaonal de Minería, (2011).
- Al ser un combustible más limpio, permite que el período de afinamiento de los vehículos se alargue. Sociedad Naciaonal de Minería, (2011).

- Se calcula que el ahorro en el mediano plazo es sustancial, sobre todo para aquellos vehículos que realizan recorridos largos, a pesar del costo del Kit de Conversión necesario para el uso del GNV. Sociedad Nacional de Minería, (2011).

1.2.8 Desventajas

- Los tanques de almacenamiento son más pesados ya que necesita 200 atmósfera de presión.
- Disminuye la potencia del motor en aproximadamente 5% debido a que se genera un menor poder calorífico, aunque a pesar de ello, por su alto octanaje compensa su rendimiento en cierta medida. (Sociedad Nacional de Minería, 2011)
- La densidad del Gas Natural requiere un tanque de almacenamiento bastante grande, por lo que para trayectos largos de recorrido es necesario contar con estaciones de servicio disponibles en el camino, que permitan abastecer adecuadamente a los usuarios.

1.3 Motores de combustión interna

Un motor es una máquina que transforma cualquier tipo de energía que se le aplique en energía mecánica para obtener movimiento, en el caso del motor de combustión interna transforma la energía liberada por la combustión, en energía mecánica en un eje de salida.

1.3.1 Parámetros de los motores de combustión interna. Para el estudio y análisis de los motores de combustión interna es importante conocer algunas de sus características y parámetros como lo son:

- Punto Muerto Superior (PMS): es el punto en el que el pistón se encuentra más alejado del cigüeñal y el volumen de la cámara de combustión se hace mínimo.
- Punto Muerto Inferior (PMI): es el punto en el que el pistón se encuentra más próximo al cigüeñal y el volumen de la cámara de combustión se hace máximo.
- Volumen de desplazamiento: Es el volumen que desplazan los cilindros del motor expresada en centímetros cúbicos al desplazarse desde el punto muerto superior hasta el punto muerto inferior. Coloquialmente se denomina cilindraje.
- Volumen libre: es el volumen de la cámara de combustión cuando el pistón se encuentra en el punto muerto superior.
- Relación de compresión: es la relación entre el volumen de desplazamiento más el volumen libre dividido entre el volumen libre.

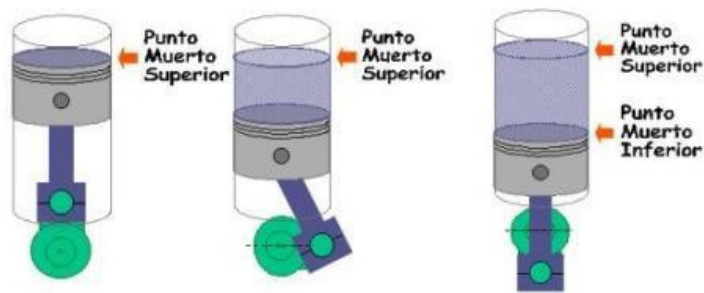


Figura 22. Posición que alcanza el pistón al final de una carrera ascendente, escape o compresión. Adaptada de mecánica de autos (s.f). <http://mecanicaautomotores.blogspot.com.co/2012/09/que-es-el-punto-muerto-superior-de-un.html>

Según la forma en que se libere u obtenga esta energía del combustible, un motor de combustión interna puede clasificarse como de ciclo Otto o ciclo diésel.

1.3.2 Ciclo diésel. Un motor se clasifica como de ciclo diésel cuando el proceso de combustión y liberación de la energía del combustible se realiza en un proceso termodinámico de la sustancia de trabajo aire-combustible aproximadamente a presión constante. El aire de admisión se comprime, produciendo un incremento de la presión y consecuentemente de la temperatura hasta una temperatura superior a la temperatura de autoencendido del combustible diésel, la combustión se presenta cuando el combustible es inyectado dentro del aire caliente y presurizado en la cámara de combustión.

1.3.3 Ciclo Otto. Un motor se clasifica como de ciclo Otto cuando el proceso de combustión y liberación de la energía del combustible se realiza en un proceso termodinámico de la sustancia de trabajo (mezcla aire-combustible y posteriormente productos de combustión) aproximadamente a volumen constante. Para lograr la combustión en los motores que funcionan bajo este ciclo, es necesario producir una chispa que cause la ignición.

Para el uso de GLP como combustible, lo recomendado es que el motor trabaje con este ciclo.

1.3.4 Motor dedicado. Un motor de combustión interna es dedicado cuando el diseño inicial por parte del fabricante está realizado para operar de forma exclusiva con un solo tipo de combustible como son gasolina, diésel, gas natural, propano, entre otros. Según el tipo de combustible aplicado al sector transporte, los motores dedicados se clasifican en:

- Motor dedicado a Gas Natural (GN)
- Motor dedicado a Gas Licuado de Petróleo (GLP)
- Motor dedicado a diésel
- Motor dedicado a gasolina

1.3.5 Motor dual. Un motor de combustión interna es dual cuando es posible hacer uso de dos combustibles diferentes de manera simultánea. En aplicaciones al sector transporte, se encuentran motores duales a partir de kits de conversión que permiten utilizar diésel y gas natural en un motor originalmente dedicado a diésel. Un motor dual puede operar con un suministro de 100% diésel o con suministro simultáneo diésel-gas, pero no puede operar en 100% gas. Hay dos formas de conversión según el tipo de inyección del segundo combustible: puede ser inyectado en la entrada del turbocargador a partir de un mezclador de aire gas o puede ser inyectado en el múltiple de admisión, a partir de un riel común de inyectores a gas.

- Motor dual diésel- Gas Natural (GN)

El suministro de gas natural puede hacerse en el múltiple de admisión o en la entrada del turbocargador.

- Motor dual diésel- Gas Licuado de Petróleo (GLP)

El suministro puede hacerse en el múltiple de admisión como gas licuado o como gas propano, o bien como gas propano en la entrada de admisión de aire del turbocargador.

1.3.6 Motor bicombustible. Se dice que un motor de combustión interna es bicombustible cuando es posible el uso de dos combustibles de forma no simultánea dentro del motor. Los combustibles se encuentran en diferentes depósitos y sus líneas de alimentación son independientes. A partir de un sistema de control, se conmutan las líneas para dar uso en una sola de las dos formas de suministro. En el mercado se encuentran sistemas de conversión a motores bicombustibles para gasolina-gas, pero no se encuentran para motores diésel.

- Motor Bi-Combustible Gasolina-Gas Natural
- Motor Bi-Combustible Gasolina-Gas Licuado de Petróleo

2. Normatividad nacional e internacional

En este capítulo se presenta un listado de la normatividad tanto internacional como nacional del GLP y el Gas Natural, debe saberse que en Colombia aún no hay una normatividad que rija el uso del GLP como combustible, pues su uso ha sido impulsando desde el 2015, dentro del marco del plan nacional de desarrollo 2014 – 2018 y solo “se ha autorizado para la realización de pruebas piloto en el territorio colombiano” (Resolución 40577 del 2016)

2.1 Normatividad Nacional del GNV

En Colombia se encuentra normatividad técnica y legislación correspondiente a gas natural comprimido, pero no existe normatividad técnica ni legislación alguna a nivel industrial o vehicular para el gas licuado del petróleo. Así mismo, la normatividad colombiana no incluye regulación sobre los sistemas de control electrónico que se incluyen en los kits de conversión a GNC, como tampoco normatividad sobre kits de conversión para vehículos con motores encendidos por compresión.

Tabla 3.

Normatividad Nacional del GNV.

Norma	Objeto de la norma
Resolución 0957 de 2012	Este reglamento es aplicable a los talleres y sus procesos de conversión a gas natural comprimido para uso vehicular, los mantenimientos y revisiones de tales vehículos, así como a los equipos a gas natural comprimido para uso vehicular, que

Norma	Objeto de la norma
<p>Resolución 40278 2017</p>	<p>se fabriquen, importen o comercialicen para ser usados con gas natural ya sean con funcionalidad de un motor dual o bi-combustible. La presente resolución ha sido Modificada por las resoluciones 6103 de diciembre de 2012, 4340 de septiembre de 2013, 003 de enero de 2014, 344 de enero del 2014 y 2881 de julio del 2014.</p> <p>En esta resolución se dictaminan los requisitos que deben cumplir los talleres de conversión incluyendo las herramientas o equipos necesarios para su funcionamiento. Los requisitos generales que deben cumplir los equipos de conversión a GNV los cuales se certifican con la ayuda de la NTC 4830 desglosada a continuación. Los procedimientos de evaluación de los vehículos convertidos a GNV, entre otros.</p> <p>Esta resolución entro en vigencia a partir del 4 de octubre del 2017, es aplicable a las estaciones de servicios a través de las cuales se suministre gas natural comprimido para uso vehicular GNV. En esta se encontrarán los requisitos que deben cumplir las estaciones para entrar en uso, como por ejemplo las distancias mínimas de seguridad que debe haber entre la batería de almacenamiento y demás equipos que se necesiten para la distribución del gas para uso vehicular, instrucciones para que las instalaciones eléctricas respeten lo propuesto en la norma NTC 2050 así como los dispositivos de seguridad y equipos contra incendios. Entre otras.</p>
<p>CREG Resolución 071 del 2009</p>	<p>La resolución 071 de 1999 es mediante la cual se establece el reglamento único de transporte de gas natural RUT. Ha sufrido modificaciones a través de los años. En el numeral 6,3 del capítulo 6 habla de la calidad del gas, este numeral ha sido modificado por la resolución 020 y 054 del 2007, siendo esta ultima la más reciente, en la misma se establece que “es responsabilidad del transportador verificar la calidad del gas que recibió. Una vez que el transportador recibe el gas en el sistema de transporte, está aceptando que este cumple con las especificaciones de calidad” (CREG, 2007).</p> <p>Es por esto que se debe medir la calidad del gas rigurosamente para así certificar que el gas que se está tratando en las líneas de transporte cumple con la calidad y no afectara la integridad del personal ni de los equipos.</p>

Norma	Objeto de la norma
NTC 3847	Especifica los requisitos mínimos que deben cumplir los cilindros de gas livianos, recargables, producidos en serie, previstos sólo para el almacenamiento de gas natural comprimido a alta presión en vehículos automotores. Esta norma contempla cilindros de acero, aluminio o material no metálico, de cualquier diseño o método de fabricación, adecuado para las condiciones de servicio específicas.
NTC 4820	Establece los requisitos mínimos de construcción, instalación, seguridad, operación y mantenimiento que deben cumplir las estaciones de compresión, almacenamiento y despacho de gas natural comprimido para vehículos, tanto en sistemas de llenado rápido como en sistemas de llenado lento.
NTC 4826	Esta norma establece los requisitos de calidad del gas natural que debe suministrar la estación de servicios a los vehículos para ser operados de forma segura.
NTC 4821	Establece los requisitos para el proceso de instalación de los componentes del equipo completo para vehículos con aplicación bicomcombustible y dedicado. Esta norma contempla la evaluación del vehículo antes de la instalación, la instalación de los componentes y la evaluación del vehículo después de la instalación.
NTC 4822	Dictamina los requisitos mínimos, tanto técnicos como de seguridad, que deben cumplir los talleres de servicio dedicados a labores de pre-conversión, conversión y post-conversión de vehículos a sistemas de gas natural comprimido, así como el mantenimiento y reparación de estos sistemas.
NTC 4823	Esta norma es aplicable a las características mecánicas y eléctricas de los sistemas nuevos para llenado de gas natural comprimido vehicular.
NTC 4824	Aplica para las boquillas y conectores de llenado para vehículos que funcionan con gas natural comprimido.
NTC 4825	Esta norma es aplicable a las mangueras ensambladas (mangueras y sus dispositivos de conexión) que se utilizan en estaciones de servicio de gas natural comprimido vehicular para conectar el surtidor con la boquilla de llenado que abastece a los vehículos.
NTC 4826	Tiene como objeto establecer los requisitos sobre la calidad del gas natural que debe suministrar la estación de servicio a los vehículos para ser operados con éxito.

Norma	Objeto de la norma
NTC 4827	Esta norma se aplica a los compresores para gas natural que han sido diseñados para estar disponibles como equipo de trabajo continuo a plena carga, que son movidos mecánica, eléctrica o hidráulicamente y que están previstos para ser utilizados en las operaciones de reabastecimiento de los cilindros de los vehículos a gas natural comprimido vehicular; forman parte del compresor sus sistemas de control y su equipo esencial de seguridad.
NTC 4828	El propósito de esta norma es establecer una guía para la inspección y ensayo e instalación de los cilindros fabricados bajo la norma NTC 3847 de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, además de establecer los criterios de aceptación y rechazo.
NTC 4829	Enuncia los requisitos mínimos que debe cumplir el sistema de información de los vehículos que operan con gas natural comprimido vehicular para garantizar la seguridad en el suministro de gas en las estaciones de servicio a dichos vehículos.
NTC 4830	Esta norma regula los componentes del sistema de combustible para vehículos que funcionan con gas natural comprimido está compuesta por 20 partes y se basó en la normatividad ISO 15500. Entre las partes del sistema que regula esta norma están la válvula manual de cheque y la del cilindro así como el inyector de gas, el indicador de presión, las líneas, el filtro entre otros accesorios.
NTC 5897	Esta norma establece los requisitos mínimos para el diseño, construcción, pruebas y puesta en servicio, de las instalaciones pertenecientes a las estaciones de carga y descarga de gas natural comprimido que se abastece por vía terrestre.

2.2 Normatividad Nacional del GLP

Tabla 4.

Normatividad Nacional del GLP

Norma	Objeto de la norma
Resolución 910 de 2008	Modificada mediante la resolución 1111 de 2013, establece los límites máximos de emisión permisibles para vehículos pesados con motor dedicado GNV o GLP en prueba dinámica que se ensamblen o se importen al país para transitar o circular en el territorio nacional.
Ley 1753 2015	El congreso de la república a partir de la ley 1753 de 2015, dentro del plan nacional de desarrollo 2014 – 2018 en artículo 210 autoriza el uso del GLP como carburante en motores de combustión interna, como carburante en transporte automotor (autogás) y demás usos alternativos del GLP en todo el territorio nacional.
Resolución 40577 2016	El ministerio de minas y energía autoriza el uso del gas licuado de petróleo, (GLP), como carburante en motores de combustión interna, carburante en transporte automotor (autogás) y demás usos del GLP, para la realización de pruebas piloto en el territorio colombiano.
NTC 2303	Esta norma establece los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales se deben someter los gases licuados de petróleo destinados, como combustible, al uso doméstico, comercial, industrial y automotor, es la norma técnica colombiana aplicada actualmente.
NTC 3768	Establece los requisitos mínimos de seguridad que deben cumplir los centros de servicio dedicados a realizar la conversión, mantenimiento y reparación de sistemas de motores dedicados gasolina por motores dedicados GLP o bi-combustible GLP/gasolina; así como también certifica las herramientas y equipos de trabajo que se emplean para realizar las conversiones.
NTC 3769	En esta norma se contemplan los requisitos mínimos que deben cumplir las estaciones comerciales o privadas, diseñadas y construidas para suministrar GLP como combustible. Contemplando parámetros como los tanques de

Norma	Objeto de la norma
	almacenamiento, procedimientos de llenado, sistemas de seguridad, de control de incendios y planes de prevención y contingencia.
NTC 3770	<p>Establece los requisitos mínimos que deben cumplir los sistemas y sus componentes para carburación a GLP, utilizados en motores de combustión interna o en la conversión de motores con carburación dedicada gasolina por carburación bicomcombustible GLP/gasolina o dedicada a GLP.</p> <p>Las disposiciones establecidas están referidas a los componentes del sistema desde la válvula de llenado remoto, hasta el múltiple de admisión de combustible, como lo son el tanque de almacenamiento, válvulas, tuberías, mangueras, mezclador, sistema eléctrico y de control de la admisión, no incluye componentes específicos cuando hay sistema de inyección de gas en motores con inyección electrónica</p>
NTC 3771	<p>Esta norma establece los requisitos mínimos que deben cumplir los centros de servicios dedicados a realizar la conversión, el mantenimiento, la revisión y reparación de equipos y accesorios usados en los sistemas de carburación dedicados a GLP o duales GLP/gasolina, instalados en vehículos de impulsión vehicular; así como las herramientas y equipos de trabajo que se emplean para tal fin.</p>
NTC 3853	<p>Contempla los requisitos que se deben cumplir al transportar GLP por carretera o si es necesario hacer un trasiego de GLP en estado líquido así mismo reglamenta los componentes individuales, los componentes armados, recipientes completos, equipos, accesorios usados en manejo y transporte de GL</p>
NTC 4786-3	<p>Especifica los requisitos para el diseño, construcción, reparación, alteración, marcado y rotulado, así como los ensayos a los cuales deben someterse los carrotanques que se destinan al transporte terrestre por carretera de gas licuado del petróleo GLP, incluyendo recipientes, accesorios y sus componentes operativos.</p>
NTC 5281	<p>Esta norma establece los requisitos mínimos y los métodos de ensayo que se deben cumplir en la fabricación de recipientes sometidos a presión para almacenamiento de Gas Licuado del Petróleo (GLP) utilizado como combustible vehicular.</p>

2.3 Normatividad internacional

2.3.1 Normatividad aplicada al uso del GLP en motores de combustión interna.

Tabla 5.

Normatividad internacional al uso del GLP vehicular

Código	Documento	Aplicación	Comentarios
US Standard ASTM D1835- 97	Especificaciones para gases licuados de petróleo	-Propano comercial -Butano comercial - Mezclas de propano y butano - Propano de carga especial	Establece los valores máximos permisibles en las propiedades de gases licuados de petróleo como propano, butano y la mezcla entre ellos, no especifica requerimientos especiales para aplicaciones vehiculares. La normatividad técnica colombiana en referencia a propiedades en GLP está basada en esta norma.
European Standard EN589	Requerimientos y métodos de ensayo para GLP vehicular	GLP	Establece los valores límites en las propiedades fisicoquímicas del gas licuado de petróleo para uso vehicular. Incluye: <ul style="list-style-type: none"> - Número de octano - Contenido de sulfuros - Contenido de residuos de evaporación - Contenido de agua - Odorización

Código	Documento	Aplicación	Comentarios
Japan Industrial Standards K2240-91	Ley concerniente a seguridad y optimización del gas licuado de petróleo		Los límites de componentes en el GLP están dados por la clase N° 2 para aplicaciones industriales y en automóviles, la clase N° 1 es para GLP en uso residencial y comercial.
BS EN 12806:2003	Componentes de sistemas de gas licuado de petróleo vehicular–Diferentes a contenedores	GLP	Muestra regulación sobre componentes a partir de parámetros de diseño y requerimientos a partir de ensayos.
BS EN 12979:2002	Requerimientos de instalación en sistemas de gas licuado del petróleo vehicular	GLP	Presenta requisitos para la instalación de componentes de sistemas de GLP vehicular, guiados a garantizar la seguridad de la operación de los componentes incluyendo componentes mecánicos

Nota. Adaptada de Estudio de tecnologías disponibles para incentivar el uso del gas combustible en el sector transporte. Informe Final-Tomo I

A partir de la ley 1753 de 2015, dentro del plan nacional de desarrollo artículo 210, se autoriza el uso del GLP como carburante en motores de combustión interna, como carburante en transporte automotor (autogás) y demás usos alternativos del GLP en todo el territorio nacional.

3. Efectos del uso del GLP y el gas natural en motores vehiculares

El uso de gases combustible para los motores vehiculares, en general no dejan partículas dentro de los filtros por lo que el material particulado es casi nula. Otros de los efectos producidos en la utilización del GLP y el gas natural en lo motores vehiculares se presentan a continuación.

3.1 Para el gas natural

- Disminuye la potencia del motor en aproximadamente 5% debido a que se genera un menor poder calorífico (Sociedad Nacional de Minería, 2011).
- El uso de GNV puede extender la vida del motor, básicamente porque es un combustible gaseoso. Como gas seco, no lava las paredes del cilindro que es lo que ocasiona la reducción de lubricación. También es menos probable que contamine el aceite del motor, siendo posible extender el tiempo entre cambios de aceite y aumentar la vida del motor por no debilitar la capacidad lubricante del aceite. Es menos propenso a ocasionar sedimentos de carbón en el motor (Compañía de entrenamiento técnico automotriz (CETA) Ltda, 2001)
- El hecho de ser un gas implica que no tiene capacidad lubricante de un combustible líquido como la gasolina, haciendo necesario el uso de asientos de válvulas más resistentes y aumentando la exigencia sobre el sistema de enfriamiento. (CETA, 2001).

3.2 Para el GLP

En los vehículos propulsados por autogas, el funcionamiento del motor es más silencioso, suave y sin vibraciones. Dado que el autogas no tiene azufre, su combustión no deja residuos, por lo que se producen menos averías y se alarga la vida útil del motor (Asociación española de operadores de gases licuados del petróleo (aoglp, 2015)

El coste de mantenimiento es bajo ya que los periodos de cambio de aceite son más largos por la ausencia de residuos y depósitos carbonosos, que ensucien el aceite. Además, el autogas produce un menor desgaste de los cilindros y segmentos del motor por ser una mezcla homogénea, controlada y bien distribuida en los cilindros con el aire, lo que también origina una combustión más limpia y completa (aoglp, 2015).

4. Emisiones contaminantes del GLP y el gas natural

La resolución 1111 de 2013 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial establecen los límites máximos de emisión permisibles para vehículos pesados con motor dedicado gas natural o GLP en prueba dinámica que se ensamblen o se importen al país para transitar o circular en el territorio nacional. En la tabla 6 se presentan los valores límites máximos permisibles para vehículos que funcionan con GLP o GNV evaluados durante el ciclo transitorio de servicio pesado.

Tabla 6.

Límites máximos de emisión permisibles para vehículos pesados ciclo otto

	CO	NO _x
	(g/bHP-h)	
LHDGE*	14,4	1,0
HHGDGE**	37,1	1,0

Nota. * LHDGE: Light Heavy-Duty Gasoline Engines. Cualquier motor a gasolina instalado en un HDV cuyo peso bruto vehicular sea superior a 3.856 y menor o igual a 6.350 Kg.

**HHGDGE: Heavy Heavy- Duty Gasoline Engines (Incluye Urban Bus). Cualquier motor a gasolina instalado en un HDV cuyo peso bruto vehicular sea superior a 6.350 Kg. Adaptada de Resolución 1111 de 2013.

Además, en la tabla 7 se muestran los límites de emisiones contaminantes máximas permisibles en vehículos pesados ciclo otto dedicados Gas Natural o GLP, estos límites máximos se evalúan durante el ciclo ETC (Ciclo europeo de transición)

Tabla 7.

Límites máximos de emisión permisibles, evaluados durante el ciclo ETC

	CO	NMHC	CH ₄	NO _x
Subcategoría	(g/kW-h)			
	ETC*	ETC	ETC	ETC
N2,N3,M2,M3	4	0,55	1,1	3,5

Nota. *ETC (Ciclo europeo de transición). Ciclo de prueba dinámico establecido por la Unión Europea con el fin de certificar emisiones de vehículos pesados.

Categoría M2: Vehículo diseñado y construido para transportar más de 8 pasajeros más el conductor y cuyo peso bruto vehicular no supere las 5 toneladas.

Categoría M3: Vehículo diseñado y construido para transportar más de 8 pasajeros más el conductor y cuyo peso bruto vehicular supere las 5 toneladas.

Categoría N2: Vehículo diseñado y construido para transportar carga, con un peso bruto vehicular superior a 3,5 toneladas y que no exceda 12 toneladas.

Categoría N3: Vehículo diseñado y construido para transportar carga, con un peso bruto vehicular superior a 12 toneladas.

HCNM. Hidrocarburos diferentes al metano. Adaptada de Resolución 1111 de 2013.

Por otra parte, se tiene la resolución 910 de 2008 la cual expide los límites máximos de emisión permisibles para fuentes móviles en prueba estática.

En la Tabla 8 se establecen los máximos niveles de emisión que podrá emitir toda fuente móvil clasificada como vehículo automotor convertido a gas natural vehicular o GLP, durante su funcionamiento en velocidad de crucero y en condición de marcha mínima, ralentí o prueba estática, a temperatura normal de operación, operando con gas natural vehicular o GLP, respectivamente.

Tabla 8.

Límites máximos de emisión según año de modelo del vehículo

Año modelo	CO%	HC (ppm)*
1970 y anterior	5,0	800
1971-1984	4,0	650
1985-1997	3,0	400
1998 y posterior	1,0	200

Nota. *Hidrocarburos como el Hexano Adaptada de Diario oficial 2008.

4.1 Emisiones contaminantes del GLP (Gas Licuado del Petróleo)

La utilización del GLP no genera emisiones de SO₂ (dióxido de azufre) culpable junto los NO_x de la lluvia ácida, elimina los olores y humos de aceleración característicos de los motores diésel y reduce a niveles mínimos las vibraciones del motor (Colfecar, s.f.).

En general, las emisiones emitidas por los vehículos (CO, NO_x, HC, partículas y CO₂) se ven disminuidas cuando utilizan GLP, la reducción de estas depende de la tecnología utilizada en el motor (carburación, inyección) (Colfecar, s.f.).

En adición, el propano y butano no son gases efecto invernadero por lo que no contribuyen al calentamiento global y responden a esta necesidad coyuntural actual de disminuir paulatinamente los efectos negativos del cambio climático (Colfecar, s.f.).

Además de ofrecer una reducción de diez veces en las emisiones de partículas finas nocivas, estos motores están virtualmente libres de humo y tienen niveles de ruido significativamente más bajos que los camiones y autobuses diésel (Colfecar, s.f.).

4.2 Emisiones contaminantes del gas natural

El gas natural vehicular reduce las cantidades descargadas al ambiente de CO₂ hasta en un 40 % según el IPCC (Panel intergubernamental de cambio climático), por lo tanto, es el combustible fósil más amigable con la calidad del aire y el cambio climático.

El gas natural vehicular es el único combustible que cuenta con programas de reducción de emisiones de CO₂ en el mercado internacional, estos bonos de carbono pueden ser invertidos en programas de calidad del aire y salud pública.

4.3 Emisiones Comparativas del Gas Natural y el GLP Vehicular

Como se vio anteriormente, el GLP y el GNV son dos combustibles con muy bajas emisiones contaminantes. Ahora compararemos la nocividad basándonos en estudios realizados a estos combustibles.

Es importante aclarar que estos valores pueden variar, dependiendo del mantenimiento que se le tenga al motor y para los casos en que sea convertido a GLP o A GNV, dependen de su adecuada instalación; es por esto que al momento de hacer la conversión de su vehículo lo haga en talleres acreditados y certificados para tal fin.

Como primera observación, se tiene en la tabla 13 las emisiones del GLP y el GNV donde las emisiones contaminantes de ambos combustibles son muy similares.

Tabla 9.

Emisiones Comparativas de Combustibles Vehiculares.

G/km/ton	GLP	GNV
Partículas (PM)	0.0005	0.0005
Monóxido de Carbono (CO)	0.3	0.25
Hidrocarburos (HC)	0.05	0.05
Óxido de Nitrógeno (NO_x)	0.04	0.04
Dióxido de Carbono (CO₂)	170	165

Nota. PM Partes por millón. Adaptada de: “Agremgas”.

Por otra parte, en la figura No. 23 se presenta el porcentaje de emisiones reducidas cuando se implementan el GLP y el GN como combustible vehicular donde se evidencia la menor nocividad del GNV frente al GLP.

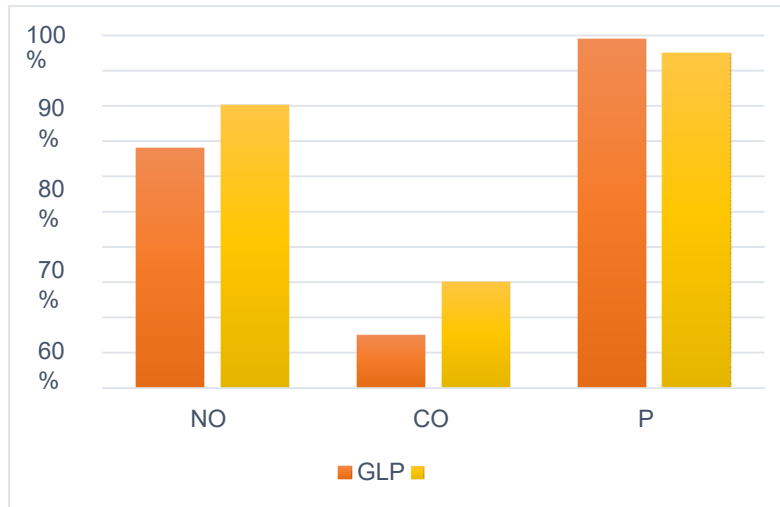


Figura 23. Reducción de las emisiones contaminantes usando como combustible el GLP y el gas natural. Adaptada de Asociación española de operadores de gases licuados del petróleo. Impacto de la contaminación atmosférica frente a otros combustibles. (aoglp, 2015).

4.3.1 Análisis de resultados Las emisiones contaminantes de ambos combustibles son muy similares, lo cual no remediaría nada la sustitución del gas natural por el GLP ya que juntos son amigables con el medio ambiente, sin embargo, la disposición del GLP como combustible vehicular en Colombia es una responsabilidad con el medio ambiente y se estaría cumpliendo con la ley 1083 de 2006 que plantea la incorporación de medios de transporte no contaminantes y combustibles limpios.

En su artículo primero establece:

“Con el fin de dar prelación a la movilización en modos alternativos de transporte, entendiendo por estos el desplazamiento peatonal, en bicicleta o en otros medios no contaminantes, así como los sistemas de transporte público que funcionen con combustibles limpios, los municipios y distritos que deben adoptar Planes de Ordenamiento Territorial en los términos del literal a) del artículo 9° de la Ley 388 de 1997, formularán y adoptarán Planes de Movilidad según los parámetros de que trata la presente ley”.

Luego en desarrollo de esta ley, mediante la resolución 180158 de 2017 del Ministerios de Minas y Energía, de la Protección Social y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial consideraron los combustibles limpios para transporte.

“Artículo 5. Combustibles limpios. Para efectos de lo previsto en la Ley 1083 de 2006, se consideran combustibles limpios los siguientes:

- a) Hidrogeno
- b) Gás natural (GN)
- c) Gas licuado de petróleo (GLP)
- d) Diésel hasta de 50 ppm de azufre
- e) Mezclas de diésel con biodiesel. La mezcla no debe superar 50 ppm de azufre
- f) Gasolina hasta de 50 ppm de azufre
- g) Mezclas de gasolina con alcohol carburante o etanol anhidro desnaturalizado. La mezcla no debe superar 50 ppm de azufre.”

5. Desarrollo mundial del GLP como combustible vehicular

La demanda cada vez creciente de este combustible para vehículos públicos, pesados y livianos. La región de Europa - Eurasia y Asia Pacífico se destacan como los de mayor consumo de GLP en el sector automotor. Italia, Rusia, Polonia e Italia; Japón, Corea del Sur, Turquía y Tailandia son los países abanderados en consumo automotor (Colfecar, s.f).

En América Latina México, Estados Unidos y República Dominicana, se destacan por sus consumos en autogas, sin que alcancen los niveles de las regiones antes mencionadas.

En el año 2014 utilizaron GLP como combustible 25.152.082 vehículos, y en 2013 fueron de 24.690.996 vehículos, con una variación incremental de 462.000 vehículos aproximadamente, y aún se mantiene esta tendencia. La Figura 24, permite observar de manera porcentual la variación en cantidad de vehículos que en el año 2014 consumieron GLP como combustible automotor por regiones en el mundo, siendo la región de Europa-Eurasia con un consumo superior al 50% del total (UPME, 2017).

La propuesta de GLP como combustible del transporte terrestre no es una propuesta reciente, desde el siglo pasado, se desarrollaron pruebas, se implementaron programas y se dio cabida a proyectos piloto (UPME, 2017).

El uso masificado de GLP en motores de combustión interna data del siglo XX, cuando Italia lo introdujo en la década de 1950, decisión política que fue adoptada posteriormente en Argelia (1990) y Turquía (1997), donde se estableció este recurso energético como combustible alternativo para flotas gubernamentales, empresariales y vehículos particulares. Esta transición energética se implantó también en Polonia (1986), China (1999), India (2000), Corea del Norte (2000), Bulgaria (2003), Australia (2004) y España (2009), entre otros (UPME, 2017).

Como se muestra en la Tabla 10, el total de vehículos que hoy en día se movilizan con GLP asciende aproximadamente a 10.000.000.

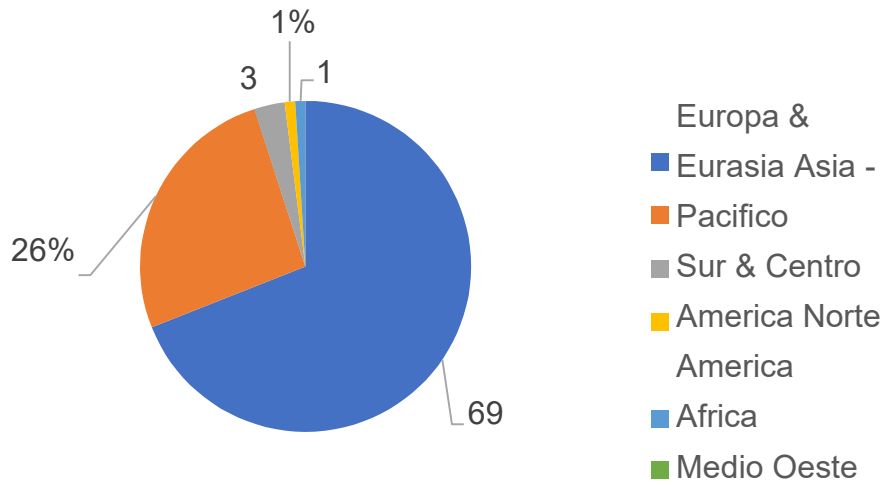


Figura 24. Variación porcentual de la cantidad de vehículos a GLP en el año 2014. Variación porcentual de la cantidad de vehículos a GLP en el año 2014. Adaptada de Cadena del gas licuado del petróleo. UPME.(2017)

Tabla 10.

Total de vehículos que hoy en día se movilizan con GLP.

País	Consumo límite de toneladas	Vehículos (miles)	Estaciones de servicio (autogas)
Corea	4450	2300	1611
Turquía	2490	2394	8700
Rusia	2300	1282	2000
Polonia	1660	2325	5900
Italia	1227	1700	2773
Japón	1202	288	1900
Australia	1147	655	3200
Tailandia	922	473	561
China	909	143	310
México	837	535	2100
Resto del mundo	5723	5379	28094

País	Consumo límite de toneladas	Vehículos (miles)	Estaciones de servicio (autogas)
Mundo	22866	17473	57150

Nota. Recuperado de (UPME, 2017)

6. Conclusiones

A pesar que en Colombia no se le ha dado el uso vehicular al gas licuado del petróleo en el ámbito internacional la demanda está creciendo para vehículos públicos, pesados y livianos sobre todo en regiones como Europa y Asia, que impulsan las políticas del uso de combustibles amigables con el medio ambiente. Camino que se debe tomar en Colombia para reducir los índices de contaminación que existen en las ciudades.

Las emisiones contaminantes de ambos combustibles son muy similares, lo cual no remediaria nada la sustitución del gas natural por el GLP ya que juntos son amigables con el medio ambiente, sin embargo, la disposición del GLP como combustible vehicular en Colombia es una responsabilidad con el medio ambiente y se estaría cumpliendo con la ley 1083 de 2006 que plantea la incorporación de medios de transporte no contaminantes y combustibles limpios.

En Colombia se encuentra normatividad técnica y legislación correspondiente a gas natural comprimido, pero no existe normatividad técnica ni legislación alguna a nivel industrial o vehicular para el gas licuado del petróleo. Así mismo, la normatividad colombiana no incluye regulación sobre los sistemas de control electrónico que se incluyen en los kits de conversión a

GNC, como tampoco normatividad sobre kits de conversión para vehículos con motores encendidos por compresión.

7. Recomendaciones

Reglamentar la aplicación del GLP en técnicas de conversión y acreditación de talleres certificados para la conversión, entre otros.

Realizar un estudio financiero para determinar los gastos que se generarían si se decide la implementación del GLP como combustible en cuanto a costos de conversión, las estaciones de servicio y el precio por tanquear.

Referencias Bibliográficas

- Acosta, J. (2009). Gas licuado del petróleo GLP o autogás. Motorpasion. Recuperado de <https://goo.gl/xGWjh7>
- Agremgas. (2017). Qué es el GLP. Recuperado de <https://goo.gl/CU6uYp>
- Asociación Española de Operadores de Gases Licuados del Petróleo.(s.f). Autogas la Alternativa Actual para el Ahorro y la Sostenibilidad. Recuperada de <https://goo.gl/u7hsq3>
- Barrera S. Enrique A. (2012). Estudio del sistema GLP como combustible alternativo de uso en vehículos automotores (tesis de pregrado). Universidad del Asuay, Cuenca, Ecuador.
- Colfecar. (2014). Informe gas licuado de petróleo. Informes especiales. Bogotá. Recuperado de <https://goo.gl/MECss7>
- Colombia, Resolución número 910, 2008.
- Colombia, resolución número 2604, 2009.
- Colombia, Resolución número 1111, 2013.
- Colombia, Resolución número 40577, 2016.
- Comisión de Regulación de Energía y Gas. CREG. Resolución 054 de 21 de junio del 2007, Artículo 2. Por la cual se modifica la Resolución 071 de 1999.

Díaz, Julio (2016). Conversión de un carro a gas: ¿GNV o GLP?. El popular. Recuperado de <https://goo.gl/58bGtN>

Díaz, Julio (2016). Conversión de un carro a gas: ¿GNV o GLP?. El popular. Recuperado de <https://goo.gl/58bGtN>

Google. Simplifica tu URL. Recuperado de <https://goo.gl/>

Ingol, J. (2012). Visible body: ¿Gas natural o GLP?. Perú. Neoauto. Recuperado de <https://goo.gl/nyaRBi>

Ministerio del medio ambiente (2001). Evaluación del programa de conversión a GNV de vehículos de la flota de empresas públicas de Medellín. Recuperado de <https://goo.gl/qsFyPx>

Ministerio de comercio, industria y turismo. Resolución número 0957. Reglamento técnico aplicable a talleres, equipos y procesos de conversión a gas natural comprimido para uso vehicular. 21 de marzo del 2012.

Sociedad nacional de minería petróleo y energía (2011). El gas natural vehicular-GNV (actualizado: octubre de 2011). Recuperado de <https://goo.gl/dXqRkW>

Unidad de Planeación Minero Energética UPME (2014). Estudio de tecnologías disponibles para incentivar el uso del gas combustible en el sector transporte. Tomo I. Recuperado de <https://goo.gl/WB1WiZ>

Unidad de Planeacion Minero Energetica UPME (2014). Estudio de tecnologías disponibles para incentivar el uso del gas combustible en el sector transporte. Tomo III. Recuperado de <https://goo.gl/zBJauZ>

Unidad de Planeacion Minero Energetica UPME (2014). Estudio de tecnologías disponibles para incentivar el uso del gas combustible en el sector transporte. Tomo V. Recuperado de <https://goo.gl/uHP7zB>

Unidad de Planeacion Minero Energetica UPME (2017). Balance del gas natural 2017. Recuperado de <https://goo.gl/YuQbMp>

Unidad de Planeación Minero Energética UPME (2017) . Cadena del gas licuado del petróleo (GLP) 2017. Recuperado de <https://goo.gl/NaTcsd>

RODES (2018). Motores que funcionan con combustibles GLP y GNC. Recuperado de <https://goo.gl/F3rnv4>

Widman, R. (2017). El mantenimiento de motores convertidos a GNC o GLP. Widman. Recuperado de <https://goo.gl/19UcUq>