

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE GLP EN CAMPOS DE
COLOMBIA PARA SU IMPLEMENTACIÓN COMO COMBUSTIBLE VEHICULAR

JUAN SEBASTIÁN SIMANCA ROJAS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA

2020

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE GLP EN CAMPOS DE
COLOMBIA PARA SU IMPLEMENTACIÓN COMO COMBUSTIBLE VEHICULAR

JUAN SEBASTIÁN SIMANCA ROJAS

Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero de Petróleos

DIRECTOR

JIMENA LIZETH GÓMEZ DELGADO

Ingeniera de Petróleos, M.Sc.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA

2020

DEDICATORIA

A la vida por proporcionarme la fortaleza para conseguir las metas más importantes que me he propuesto.

A mi mami, por su consistente e incondicional apoyo durante toda mi vida, el cual me da la motivación para continuar trabajando todos los días por mí.

A mi padre y mis hermanos por creer siempre en mí.

A mi gran amiga y cuasi compañera de tesis, Dannita, por su valioso y desinteresado apoyo siempre y por ayudarme a hacer este trabajo mejor de lo que esperaba.

A Carlos Lenim, amigo del alma, porque en este trabajo y en la vida siempre he podido contar con él.

A mis compañeros de carrera y de viaje Daniela, Laura, Nicolás y Carlos Fernando, por hacer mi experiencia universitario mucho mejor.

AGRADECIMIENTOS

A la UIS, por ser mi casa de estudios y por darme la oportunidad de crecer como individuo y como profesional.

A mi familia por ser el apoyo indispensable desde el inicio de mi carrera y contribuir para permitirme llegar a donde estoy.

A mi directora de tesis, Jimena Gómez, por su conocimiento, orientación y por brindar una atención siempre oportuna durante este trabajo.

A Danna, Carlos Lenim y Carlos Fer, por sus valiosas contribuciones que me ayudaron a la realización de este proyecto.

A los profesores y empleados de la Escuela de Ingeniería de Petróleos y de la Universidad Industrial de Santander que me permitieron crecer como estudiante y como persona.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	12
1. GENERALIDADES	14
1.1. GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP)	14
1.1.1. Composición.....	15
1.1.2. Características.....	16
1.1.3. Propiedades.....	16
1.2. MÉTODOS DE OBTENCIÓN DEL GLP	21
1.2.1. Rompimiento catalítico del petróleo (craqueo).....	21
1.2.2. Condensación de líquidos del gas natural.....	22
1.3. USOS DEL GLP	23
1.4. GLP COMO COMBUSTIBLE VEHICULAR.....	24
1.4.1. Implementación vehicular en el mundo.....	26
1.4.2. Implementación del GLP en vehículos.....	28
1.4.3. Desventajas.....	31
1.4.4. Ventajas técnicas.....	32
1.4.5. Ventajas medioambientales.....	33
2. MARCO NORMATIVO DEL GLP VEHICULAR.....	35
2.1. NORMAS INTERNACIONALES DEL GLP VEHICULAR.....	35
2.2. CONTEXTO LEGAL Y NORMATIVO NACIONAL	41
3. PRODUCCIÓN Y CALIDAD DEL GLP EN COLOMBIA.....	50
3.1. PRODUCCIÓN NACIONAL DE GLP	50
3.1.1. Panorama productivo actual del GLP en Colombia.....	55
3.2. CALIDAD DEL GLP EN COLOMBIA	56
3.2.1. Calidad del GLP en fuentes colombianas.....	58
3.2.2. Calidad del GLP vehicular en Colombia.....	67

4. EVALUACIÓN DE OFERTA Y DEMANDA DEL GLP EN COLOMBIA	74
4.1. DEMANDA NACIONAL DE GLP	74
4.2. ANÁLISIS DE OFERTA Y DEMANDA DE GLP	79
4.2.1. Relación histórica de oferta y demanda.	79
4.2.2. Oferta y demanda en la actualidad.	82
4.2.3. Proyección de la oferta y la demanda.	83
5. ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DEL GLP VEHICULAR EN COLOMBIA.....	87
5.1. IMPLEMENTACIÓN EN EL CASO COLOMBIANO	87
5.2. ANÁLISIS FINANCIERO DE CONVERSIÓN A GLP	95
6. CONCLUSIONES	101
7. RECOMENDACIONES	103
BIBLIOGRAFÍA	104

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Presiones de vapor del propano y butano comercial.....	17
Figura 2. Proceso de obtención de GLP a partir del rompimiento catalítico.	22
Figura 3: Proceso de obtención de GLP a partir del gas natural.....	23
Figura 4: Distribución de vehículos de GLP en el mundo en 2017 y 2018.....	26
Figura 5: Sistema de inyección en un vehículo a base de GLP.	29
Figura 6. Sistema de alimentación en automóvil de GLP y gasolina.....	31
Figura 7. Comparación de emisiones contaminantes entre el GLP y la gasolina. .	34
Figura 8. Oferta histórica de GLP en Colombia.....	51
Figura 9. Producción porcentual de GLP en Colombia por tipo de fuente a 2019.	52
Figura 10. Producción histórica de GLP por fuente.	54
Figura 11. Distribución actual de la producción nacional por fuente.	56
Figura 12. Calidad histórica del GLP producido en campo Cusiana	59
Figura 13. Calidad histórica del GLP producido en campo Apiay.	61
Figura 14. Calidad histórica del GLP producido en campo Toqui-Toqui.....	63
Figura 15. Calidad histórica del GLP producido en refinería de Barrancabermeja	65
Figura 16. Calidad histórica del GLP producido en la refinería de Cartagena.....	67
Figura 17. Composición del GLP por fuente de producción colombiana en 2016 .	71
Figura 18. Consumo Histórico de GLP en Colombia	75
Figura 19. Demanda histórica de GLP por fuentes en Colombia	76
Figura 20. Demanda histórica de GLP por usos en Colombia.....	77
Figura 21. Relación Producción-Demanda histórica de GLP en Colombia.....	79
Figura 22. Oferta histórica nacional e importada de GLP (BPD) en Colombia.	80
Figura 23. Participación de las importaciones de GLP en los últimos años.....	81
Figura 24. Relación Producción-Demanda de GLP en Colombia en 2019 y 2020	82

Figura 25. Proyección de la producción de GLP (BPD) en Colombia.	83
Figura 26. Proyección de la oferta y la demanda de GLP (BPD) en Colombia.....	85
Figura 27. Consumo de GLP por cada mil vehículos en países del mundo	88
Figura 29. Producción y demanda de GLP en países que utilizan GLP vehicular.	93
Figura 30. Relación reservas – producción en años de petróleo y gas en Colombia	95
Figura 31. Costo de implementación de combustibles en 100 km.	97
Figura 32. Ahorro del GLP versus gasolina y diésel por cada 100 km.....	98
Figura 33. Tiempo de recuperación de la inversión de convertir un vehículo a GNV y GLP.	100

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Composición de los GLP comerciales.....	15
Tabla 2. Poderes caloríficos típicos de gases combutibles	18
Tabla 3. Propiedades del Propano y Butano Comercial.	20
Tabla 4. Emisiones comparativas entre el GLP y el GNV.....	25
Tabla 5. Vehículos y consumo de GLP en países del mundo	27
Tabla 6. Comparación ecológica entre gasolina y GLP	33
Tabla 7. Normatividad internacional asociada al GLP vehicular.....	38
Tabla 8. Leyes y normas colombianas del GLP vehicular	44
Tabla 9. Producción histórica de GLP en campos y refinerías de Colombia.	53
Tabla 10. Requisitos de composición de GLP según NTC 2303.....	57
Tabla 11. Composición histórica del GLP producido en Cusiana.....	58
Tabla 12. Composición histórica del GLP producido en Apiay.	60
Tabla 13. Composición histórica del GLP producido en Toqui-Toqui.	62
Tabla 14. Composición histórica del GLP producido en Barrancabermeja.....	64
Tabla 15. Composición histórica del GLP producido en Cartagena.....	66
Tabla 16. Composición (%Vol.) del GLP vehicular en Europa.	68
Tabla 17. Propuesta de parámetros de Calidad del GLP para uso vehicular.	69
Tabla 18. Crecimiento de la demanda en Colombia desde el 2013.....	89
Tabla 19. Proyección de implementación 10,000 vehículos de GLP en Colombia	90
Tabla 20. Proyección de implementación 50,000 vehículos de GLP en Colombia	92
Tabla 21. Rendimiento de consumo de combustibles vehiculares.....	96
Tabla 22. Costos de uso de gasolina, GNV y GLP en un automóvil.	99

RESUMEN

TÍTULO: EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE GLP EN CAMPOS DE COLOMBIA PARA SU IMPLEMENTACIÓN COMO COMBUSTIBLE VEHICULAR.*

AUTORES: JUAN SEBASTIÁN SIMANCA ROJAS. **

PALABRAS CLAVE: GLP, COMBUSTIBLE VEHICULAR, PRODUCCIÓN DE GLP, CONSUMO DE GLP, CAMPOS PRODUCTORES DE GLP, NORMATIVIDAD VEHICULAR, EVALUACIÓN OFERTA Y DEMANDA.

DESCRIPCIÓN: El gas licuado de petróleo (GLP) es un combustible compuesto principalmente por los hidrocarburos propano y butano, que se utiliza en diversos sectores de consumo como el residencial, el industrial y posee características que lo hacen apto para su implementación vehicular.

En este trabajo de grado se realiza una evaluación de la capacidad de producción de GLP en Colombia para determinar la viabilidad en términos de abastecimiento de su implementación como combustible vehicular. Esta evaluación se lleva a cabo mediante un análisis de oferta y demanda del energético en el país. Para ello se efectúa una observación del comportamiento de la producción histórica y actual de GLP en campos y refinerías colombianas, así como sus valores de consumo en los distintos sectores de implementación actual, considerando además las propiedades de calidad del fluido, las cuales afectan su rendimiento en motores de combustión interna. Esto con el fin de establecer una noción del potencial de respuesta del país ante un escenario en el que se extienda el mercado de GLP al sector automovilístico. Lo anterior teniendo en cuenta los aspectos del contexto legal y normativo de GLP a nivel nacional que se refieren al uso del combustible para fines vehiculares y cómo estos se comparan con respecto al entorno internacional. De igual manera, se analiza la factibilidad considerando los factores financieros involucrados en la implementación.

* Trabajo de grado.

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Directora: M.Sc., Jimena Lizeth Gómez Delgado.

ABSTRACT

TITLE: EVALUATION OF LPG PRODUCTION CAPACITY IN COLOMBIAN FIELDS FOR ITS IMPLEMENTATION AS A VEHICULAR FUEL.*

AUTHORS: JUAN SEBASTIÁN SIMANCA ROJAS. **

KEYWORDS: LPG, MOTOR FUEL, LPG PRODUCTION, LPG CONSUMPTION, LPG-PRODUCING FIELDS, AUTOMOTIVE NORMATIVITY, SUPPLY AND DEMAND EVALUATION.

DESCRIPTION: Liquefied petroleum gas (LPG) is a fuel mixture, mainly composed of the hydrocarbons propane and butane, which is used in various consumption sectors such as the residential, the industry and has characteristics that make it suitable for vehicle implementation.

In this project, an evaluation of the LPG production capacity in Colombia is carried out to determine the viability for its implementation as a motor fuel. This assessment is carried out through a supply and demand analysis for the LPG market within the country. In order to do this, the historical and current behavior of LPG production in Colombian fields and refineries is observed, as well as its consumption rates in the current implementation markets, while also considering the quality properties of the fluid which affect its performance in internal combustion engines, in order to establish a notion about the country's response potential in a scenario in which the LPG market is extended to the automotive sector. All of the above, considering the aspects of the legal and regulatory LPG context at a national scope that refers to the use of this fuel for vehicle usage and how these local guidelines compare to the international environment. Pertaining this context, the financial aspects of the implementation are also considered in order to assess the feasibility of auto LPG.

* Bachelor Thesis.

** Faculty of Physicochemical Engineering. School of Petroleum Engineering. Director: M.Sc., Jimena Lizeth Gómez Delgado.

INTRODUCCIÓN

En la última década, reconociendo los beneficios evidentes en el panorama mundial, el Gobierno Nacional Colombiano ha identificado la posibilidad de la implementación vehicular del GLP como un avance para el país en materia de desarrollo sostenible. Mediante la introducción de leyes como la Resolución 40577 de 2016 se comenzó a incentivar la incursión vehicular del GLP a través de pruebas piloto, sentando un precedente para la implementación del combustible en este nuevo mercado. Considerando lo anterior, resulta necesario evaluar la capacidad de producción que tiene el país para responder ante un potencial consumo de GLP destinado a la utilización dentro del parque automotor colombiano. El presente trabajo de grado tiene como propósito realizar un análisis de la producción de GLP en los distintos campos con los que cuenta Colombia, para poder establecer un criterio en términos de balance entre oferta y demanda y por consiguiente, determinar la viabilidad que existe para que este combustible sea implementado en este sector a nivel nacional.

En el primer capítulo de este proyecto se muestran las generalidades del gas licuado de petróleo, tales como su composición, sus principales propiedades y características, su uso, obtención y su naturaleza y las ventajas técnicas y ventajas medio ambientales al implementarse como combustible vehicular.

En el segundo capítulo se expone el contexto del marco regulatorio internacional con respecto al GLP y su utilización como combustible vehicular, y se analiza cómo este contrasta con el panorama legal y normativo de este sector en Colombia, el cual engloba las resoluciones que incentivan el uso del GLP para este fin y los estándares establecidos por la Norma Técnica Colombiana.

En el tercer capítulo se analiza la producción histórica y actual de GLP en los principales campos y refinerías de Colombia y además se presentan las características de calidad del combustible en cada una de estas fuentes para su posible aplicación vehicular. Un análisis similar se lleva a cabo en el cuarto capítulo

con respecto a la historia, distribución y contexto actual del consumo de GLP en el país con el fin de establecer el balance de oferta y demanda de GLP, así como de la proyección de esta relación a futuro.

A partir del análisis previo, en el quinto y último capítulo se estudia la viabilidad de la implementación vehicular del GLP, observando con base en la implementación que existe internacionalmente cómo este sector daría a lugar en Colombia y cómo impactaría en el balance oferta-demanda nacional proyectado. Además, se evalúan las variables financieras asociadas al GLP como combustible vehicular, en comparación con otros combustibles como el GNV, la gasolina y el diésel.

Con base en lo anterior, se consigue finalmente determinar las conclusiones y recomendaciones finales del trabajo. En estas se enuncia la viabilidad de la implementación vehicular del GLP, partiendo de sus características y propiedades como energético versus otros combustibles, la normatividad colombiana y cómo esta se refleja con el panorama internacional, el balance de oferta-demanda y de calidad en los campos colombianos y desde un punto de vista financiero con respecto a otros combustibles. En este orden de ideas, se presentan recomendaciones para trabajos futuros que permitan analizar la posibilidad de establecer estaciones de servicio y un marco normativo del GLP vehicular.

1. GENERALIDADES

La industria del GLP en el mundo empezó alrededor del año 1904, cuatro décadas tras iniciar la producción de petróleo y gas en 1860. El gas natural era ampliamente utilizado a principios del siglo XX, pero su transporte suponía retos por su limitada portabilidad. El GLP es ideal para aplicaciones remotas y móviles de gas; posee un alto poder calorífico a temperatura ambiente y condiciones moderadas de presión, lo que resulta muy práctico para su almacenamiento y transporte. El GLP fue uno de los primeros bienes transportados en contenedores presurizados.

1.1. GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP)

El gas licuado de petróleo es un término genérico empleado para describir las mezclas de hidrocarburos que se conforman por propano y butano. En la actualidad, existen combustibles convencionales como el gas natural líquido (GNL) compuesto por metano, el cual debe refrigerarse a temperaturas menores a -259°F para ser condensado. El pentano e hidrocarburos más pesados que conforman la gasolina, son líquidos a presión y temperatura ambiente y se emplean para fabricar gasolinas, nafta y solventes. Por otra parte, el propano y butano son gases a condiciones estándar, pero pueden ser licuados por compresión y condensación del vapor a temperatura ambiente.

El propano y butano junto con sus mezclas, poseen características que los hacen ideales como combustibles y es por esta razón que su utilización está ampliamente extendida en el mundo. Los combustibles provenientes de estos compuestos son estables, de alto contenido energético, bajo nivel de azufre y contaminantes y económicamente transportables como líquidos. Esto hace al GLP adecuado para una gran variedad de aplicaciones¹.

¹ TOTTEN, George., WESTBROOK, Steven & SHAH, Rajesh. Fuels and Lubricants Handbook: Technology, Properties, Performance and Testing, ASTM, 2003. p.31.

1.1.1. Composición. El GLP se compone principalmente de la mezcla entre propano y butano junto con otros compuestos en menores proporciones. Se habla de butano comercial cuando el producto consiste predominantemente de una mezcla de butanos y/o butilenos y de propano comercial cuando en la mezcla predominan los propanos y/o propileos. La Tabla 1 presenta los principales componentes del GLP cuando la mezcla es propano y butano comercial.

Tabla 1. Composición de los GLP comerciales.

GLP	Hidrocarburos C3	Hidrocarburos C4
Propano Comercial	80%	20%
Butano Comercial	20%	80%

Fuente: PROPANOGAS. Gas Licuado de Petróleo. Tomado de: <https://propanogas.com/faq/gas-licuado>.

La composición del GLP se ve afectada por el método mediante el cual este haya sido obtenido, ya sea por rompimiento catalítico del petróleo o por condensación de líquidos del gas natural. Los principales constituyentes del GLP son los siguientes:

- Propano saturado (C₃H₈)
- Butano saturado (C₄H₁₀)
- Iso-butano saturado (C₄H₁₀)
- Propeno insaturado (C₃H₆)
- Buteno insaturado (C₄H₈)

El gas licuado de petróleo es incoloro e inodoro por naturaleza. Normalmente para su manejo adecuado en términos de seguridad, a su composición se le adiciona un

componente hidrocarburo obtenido del petróleo denominado mercaptano, con el fin de identificarse en caso de ocurrir fugas².

1.1.2. Características. Algunas características del GLP son³:

- No produce ningún olor ni color naturalmente, por esto para su detección se le aplica un componente odorante en caso de fugas.
- No es corrosivo para materiales como el acero, cobre ni sus aleaciones y no disuelve cauchos sintéticos.
- No es tóxico. No obstante, sí desplaza el oxígeno, luego no es recomendable permanecer en áreas donde su concentración sea alta por prolongados periodos de tiempo.
- El propano y butano líquidos se vaporizan a gran velocidad una vez son liberados al aire libre.
- Puede generar quemaduras al contacto con la piel puesto que es sometido a condiciones muy bajas de temperatura (por debajo de 0°C) para su proceso de condensación.

1.1.3. Propiedades. Algunas propiedades del GLP son:

- Presión de vapor

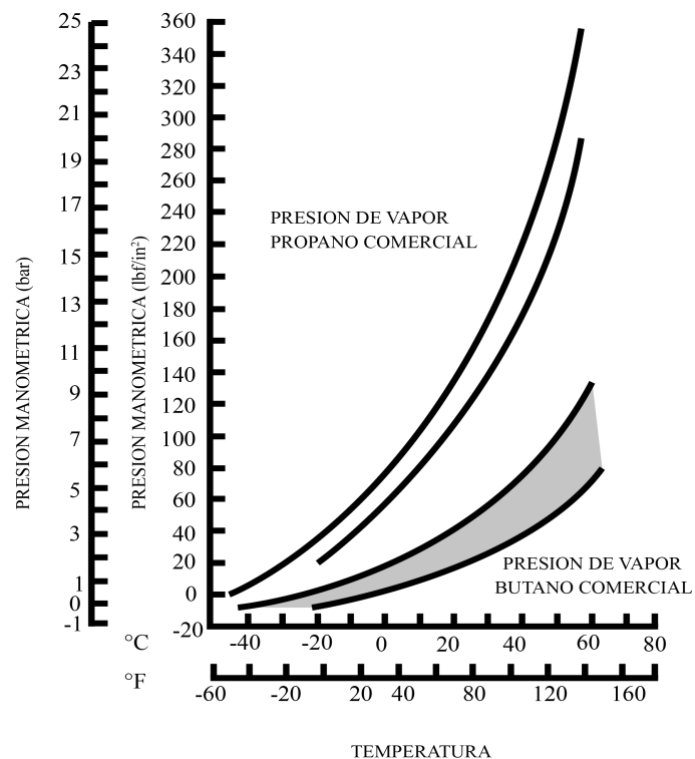
La presión de vapor es la presión ejercida cuando el líquido y el gas se encuentran en equilibrio a una temperatura específica. Esta es una de las propiedades más importantes del GLP. Esta propiedad indica la presión que será ejercida por el gas a temperatura ambiente y por ende influye en el manejo y diseño de los contenedores que lo almacenan. Representa la principal característica que físicamente diferencia al butano comercial del propano comercial. Cuando se habla de una mezcla de sustancias, como es el caso del Gas Licuado de Petróleo, la

² PROPANOGAS. Gas Licuado de Petróleo. Tomado de: <https://propanogas.com/faq/gas-licuado>.

³ DENNIS, Snow. Plant Engineer's Reference Book, Second edition. MPG Books Ltd, 2002. p11.

presión de vapor dependerá tanto de la temperatura como de la composición de la mezcla. De esta manera el valor de esta propiedad dependerá de la proporción en la que se encuentren sus dos componentes principales. Como se puede observar en la Figura 1, esta magnitud es mayor entre más ligeras sean las sustancias, por lo tanto, aquellas mezclas de GLP en donde predomine el propano como componente principal tendrán una presión de vapor mayor que aquellas en donde predomine el butano.

Figura 1. Presiones de vapor del propano y butano comercial.



Fuente: DENNIS, Snow. Plant Engineer's Reference Book, Second edition. MPG Books Ltd, 2002. p6.

- Poder calorífico

Se define el poder calorífico como la cantidad de calor liberada por una determinada cantidad de sustancia (kilogramo, litro, etc) cuando es sometida a un proceso de combustión completa a una temperatura y presión estándar. La principal ventaja del

GLP en términos de dicha propiedad es que se almacena en fase líquida, pero se emplea como gas. Una unidad de volumen de propano liberada a condiciones estándar supone 274 unidades de volumen de gas combustible de alto poder calorífico. La Tabla 2 muestra el poder calorífico en BTU por pie cúbico estándar del propano y butano comercial junto con otros combustibles gaseosos.

Tabla 2. Poderes caloríficos típicos de gases combustibles

Gas	<i>Btu/sft³</i>
Propano Comercial	2500
Butano Comercial	3270
Gas producido (frío)	125-165
Gas doméstico	375-550
Gas natural	850-1250
Acetileno	1500

Fuente: DENNIS, Snow. Plant Engineer's Reference Book, Second edition. MPG Books Ltd, 2002. p6.

- Gravedad específica

La gravedad específica de una sustancia es la relación entre su densidad y la densidad de otra sustancia de referencia, estando ambas bajo las mismas condiciones de presión y temperatura. Esta es una propiedad muy importante para establecer los parámetros de transporte y utilización del combustible desde la refinería.

La densidad del propano y butano líquido es aproximadamente la mitad de la del agua y por ende es considerablemente menor que la de otros combustibles líquidos. En cuanto a la densidad relativa en estado de vapor se refiere, es en esta propiedad donde se encuentra una diferencia significativa entre vapor de GLP y el gas natural. Mientras que el gas natural es más ligero que el aire; el propano y butano son 1.5 y

2 veces más pesados que el aire respectivamente. Esto implica que cuando ocurre una fuga de vapor de GLP, este se acumulará al nivel del suelo o en sótanos de no llevarse a cabo las precauciones adecuadas, lo cual supone una consideración de seguridad importante al momento de diseñar e instalar sistemas de GLP.

- Límites de inflamabilidad

Una vez el GLP se expone al aire, se puede formar una mezcla inflamable. El rango de inflamabilidad a condiciones de presión y temperatura ambiente se extiende aproximadamente desde un 2% de volumen de vapor en el aire en el límite inferior hasta un 10% de vapor en aire en el límite superior. Fuera de este rango la mezcla se hace muy débil o muy enriquecida para propagar la llama. No obstante, las mezclas sobre enriquecidas que se ocasionan por fugas accidentales pueden ser peligrosas al diluirse en aire. El límite superior se incrementa a presiones mayores a la atmosférica pero el rango en que se extienden los límites para el propano y el butano es más estrecho que en el caso de otros combustibles gaseosos, lo que hace al GLP más seguro.

- Contenido de olefinas y azufre

Las olefinas son sustancias reactivas que se encuentran presentes en pequeña proporción en el petróleo y el gas natural⁴. Su contenido en el GLP está asociado con la limpieza, estabilidad y emisiones en la tubería de escape de una manera similar a la gasolina, no obstante, existen ciertas diferencias. Debido a que los tanques de GLP no son ventilados atmosféricamente, no existen preocupaciones respecto a la estabilidad oxidativa, que por el contrario sí ocurre con la gasolina y otros combustibles. El propano proveniente del aceite crudo y del gas natural en términos esenciales, no contiene nada de olefinas. El GLP que se genera por medio de procesos de rompimiento catalítico en refinería puede contener olefinas que son posibles de procesar más adelante mediante alquilación, separación para venta de

⁴ WEISSERMEL, K & ARPE, H, J. Química Orgánica Industrial: Productos de Partida e Intermedios más Importantes, REVERTÉ S.A, 1981. p60.

propileno o mezclado con propano para alcanzar los límites de parámetros especificados. En cuanto al azufre se refiere, comparado con otros combustibles convencionales ampliamente disponibles, el GLP tiene un muy bajo contenido de este, ligeramente mayor al del gas natural. Esto convierte al GLP en una muy buena opción como combustible en condiciones donde los productos de la combustión son liberados en residencias habitables.

En la Tabla 3 se muestran las principales propiedades del propano y butano comercial.

Tabla 3. Propiedades del Propano y Butano Comercial.

Propiedad	Propano	Butano
Densidad relativa líquido a 60°F	0.5 - 0.51	0.57 - 0.58
Litros/tonelada a 60°F	1965 – 2019	1723 - 1760
Densidad relativa gas a 60°F y 1016mbar	1.40 - 1.55	1.90 – 2.10
Volumen de gas (litro) por kg de líquido a 60°F y 1016 mbar	537 – 543	406 – 431
Radio de volumen de gas a volumen de líquido a 60°F y 1016 mbar	274	233
Punto de ebullición a presión atmosférica (°F)	-49	28
Calor latente de vaporización (Btu/lb) a 60°F	154	160
Calor específico de líquido (Btu/lb°F) a 60°F	0.60	0.57
Contenido de azufre (% peso)	Omisible - 0.02	Omisible - 0.02
Límites de inflamabilidad (porcentaje volumétrico de gas en mezcla aire-gas)	Superior 10.0 Inferior 2.2	Superior: 9.0 Inferior: 1.8
Poder calorífico bruto (Btu/s ft ³)	2500	3270
Poder calorífico neto (Btu/s ft ³)	2310	3030
Aire requerido para combustión (ft ³ para quemar 1 ft ³ de gas a condiciones estándar)	24	30

Fuente: TOTTEN, George., WESTBROOK, Steven & SHAH, Rajesh. Fuels and Lubricants Handbook: Technology, Properties, Performance and Testing. p34.

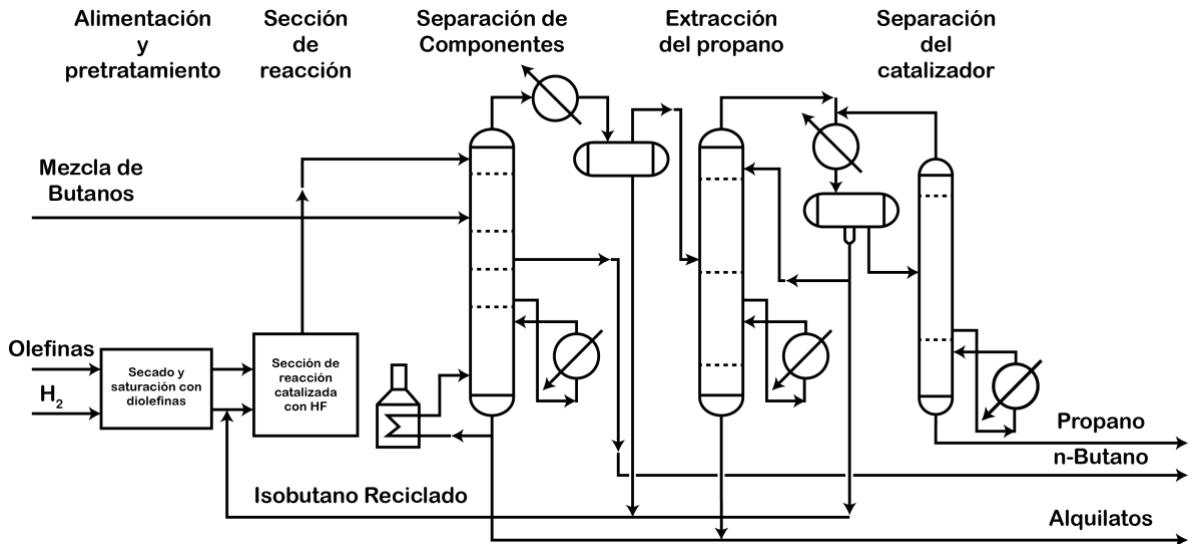
1.2. MÉTODOS DE OBTENCIÓN DEL GLP

En sus inicios el GLP se derivaba de la producción de gas y aceite. El refinamiento y los procesos de conversión petrolífera se convirtieron en fuentes adicionales después. En términos generales, estos son los dos métodos que existen para obtener GLP en la actualidad: en refinería se obtiene del petróleo a través de un proceso de rompimiento catalítico y en los campos productores por medio del procesamiento del gas natural.

1.2.1. Rompimiento catalítico del petróleo (craqueo). Para la obtención del GLP en refinerías se somete el petróleo a un proceso de destilación a través del cual se separan sus componentes de acuerdo a sus densidades y puntos de ebullición como se puede observar en la Figura 2. Para esto, el petróleo es sometido inicialmente a temperaturas desde -160°C hasta 410°C y se separan aproximadamente la mitad de sus componentes. Tras haber separado los compuestos más livianos, los componentes pesados se procesan a condiciones de presión bajas y temperaturas entre 375 y 600°C para separar productos adicionales⁵. Después de este proceso el petróleo aún posee casi un 20% de hidrocarburos pesados y es en esta parte donde a través del craqueo catalítico se rompen las moléculas pesadas para generar gasolina, gas natural y GLP junto con otros productos. A través del craqueo catalítico los gasóleos de punto de ebullición alto junto con residuos se transforman en compuestos de menor punto de ebullición.

⁵ WANG, Xiuli & ECONOMIDES, Michael. Advanced Natural Gas Engineering, Gulf Publishing Company, 2009. p78.

Figura 2. Proceso de obtención de GLP a partir del rompimiento catalítico.



Fuente: TOTTEN, George., WESTBROOK, Steven y SHAH, Rajesh. Fuels and Lubricants Handbook: Technology, Properties, Performance and Testing.

1.2.2. Condensación de líquidos del gas natural. La composición del gas producido en un yacimiento varía en gran magnitud. Es por esta razón que el gas debe ser procesado con el fin de satisfacer determinados estándares que garantizan su calidad en cuanto a aspectos como:

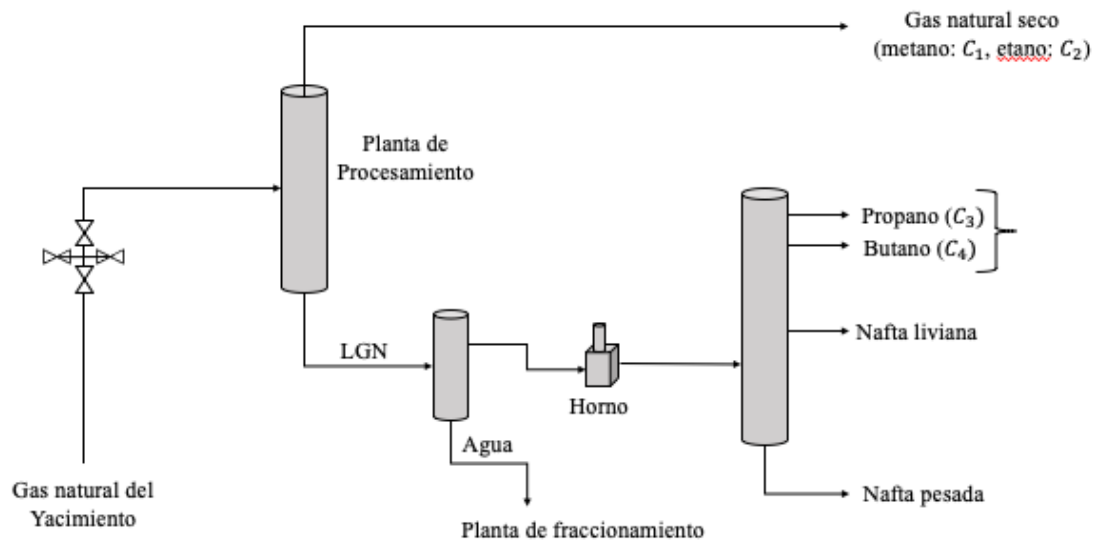
- Capacidad calorífica
- Punto de rocío
- Contenido de azufre, dióxido de carbono, agua, nitrógeno, etc.
- Formación de hidratos

La obtención del GLP a partir del gas natural supone uno de los pasos más importantes a llevar a cabo en este procesamiento del gas natural y dicha extracción se realiza en diferentes etapas⁶.

⁶ NEW ZEALAND INSTITUTE OF CHEMISTRY. The Processing of Natural Gas at Kapuni. Kapuni Natural Gas, Nueva Zelanda. 2008. p37.

Como se puede observar en la Figura 3, inicialmente, el gas pasa por un proceso de remoción de componentes no combustibles como el dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno mediante torres absorbentes. Se lleva a cabo la remoción de agua para finalmente remover los hidrocarburos pesados y obtener el GLP. En esta parte el gas fluye a través de un sistema de intercambiadores de calor con el fin de conseguir condensar que estos componentes pesados (propano y butano) en forma líquida. El líquido pasa por una columna extractora de etano y posteriormente es fraccionado para producir propano y butano comercial junto con gasolina.

Figura 3. Proceso de obtención de GLP a partir del gas natural.



Fuente: ORGANISMO SUPERVISOR DE LA INVERSIÓN EN ENERGÍA Y MINERÍA. El Gas Licuado de Petróleo, 2019. Tomado de: <https://www.osinergmin.gob.pe>

1.3. USOS DEL GLP

El propano y butano y sus mezclas poseen propiedades excepcionales como combustibles y son ampliamente utilizados en el mundo en distintas aplicaciones. Millones de personas en el mundo utilizan el GLP en la industria, el transporte,

agricultura o generación de energía. Alguno de los sectores y aplicaciones en las que se emplea el GLP son:

- Agricultura: Se emplea para la desecación térmica, secado de granos, combustible de vehículos agrícolas y como repelente pesticida.
- Sector doméstico: en muchas regiones, el GLP es el combustible con más eficiencia disponible para cocinar. Ya que proporciona energía viable y apta para múltiples propósitos se utiliza de manera extensa en hoteles y restaurantes. Esto debido también a su combustión limpia, libre de humo negro. También se utiliza como calefactor para climatización de agua y aire acondicionado en recintos.
- Generación de energía: El GLP facilita la generación de energía descentralizada a un nivel muy eficiente, a través de generadores autónomos.
- Como combustible para actividades de recreación: debido a su fácil transporte y reducido impacto ambiental, el GLP es un combustible ideal para aplicaciones recreativas. Se emplea comúnmente para cocinar en actividades exteriores como caravanas o lugares de acampado. Es una opción muy viable como combustible de embarcaciones náuticas recreativas y para impulsar globos aerostáticos.
- Automotriz: su utilización como combustible vehicular se extiende a más de 25 millones de vehículos en todo el mundo. Para este fin se le conoce internacionalmente como Autogas. Es una alternativa que promete desarrollarse próximamente en Colombia.

1.4. GLP COMO COMBUSTIBLE VEHICULAR

El GLP es el combustible vehicular más utilizado en el mundo en la actualidad después de la gasolina y el diésel y se ha convertido en el carburante más económico gracias a sus ventajas. Ha sido ampliamente incentivado para este fin

por los gobiernos en los que se busca reducir los niveles de contaminación en ciudades y zonas industriales⁷. Así mismo se reconoce por sus ventajas económicas. En términos generales el GLP ofrece muchas ventajas comparado con el gas natural vehicular (GNV) al emplearse como carburante. Si bien las emisiones contaminantes entre el GLP y el gas natural son muy similares, las condiciones de impacto ambiental generadas por este último son ligeramente más favorecedoras como es posible apreciar en la Tabla 4.

Tabla 4. Emisiones comparativas entre el GLP y el GNV.

g/km/ton	GLP	GNV
Material particulado	0.0005	0.0005
Monóxido de carbono (CO)	0.30	0.25
Hidrocarburos (HC)	0.05	0.05
Óxido nitroso (NO _x)	0.04	0.04
Dióxido de carbono (CO ₂)	170	165

Fuente: AGREMGAS. Qué es el GLP. 2013. Tomado de: <https://bit.ly/3fTJFZo>

Otro aspecto en el cual el gas natural aventaja al gas licuado es en la seguridad cuando existen fugas; debido a que el GNV es menos denso que el aire, le resulta más difícil acumularse en altas concentraciones, de modo que tanto las intoxicaciones como las posibles deflagraciones son menos probables. Por otra parte, en lo que se refiere a ventajas técnicas, destaca que el GLP ofrece un mejor rendimiento dado que cuando se adapta un motor de gasolina a funcionar con gas licuado, la pérdida de potencia es menor que cuando la conversión se realiza a GNV⁸. Esto añadido al factor adicional de que el GLP es más fácil de transportar

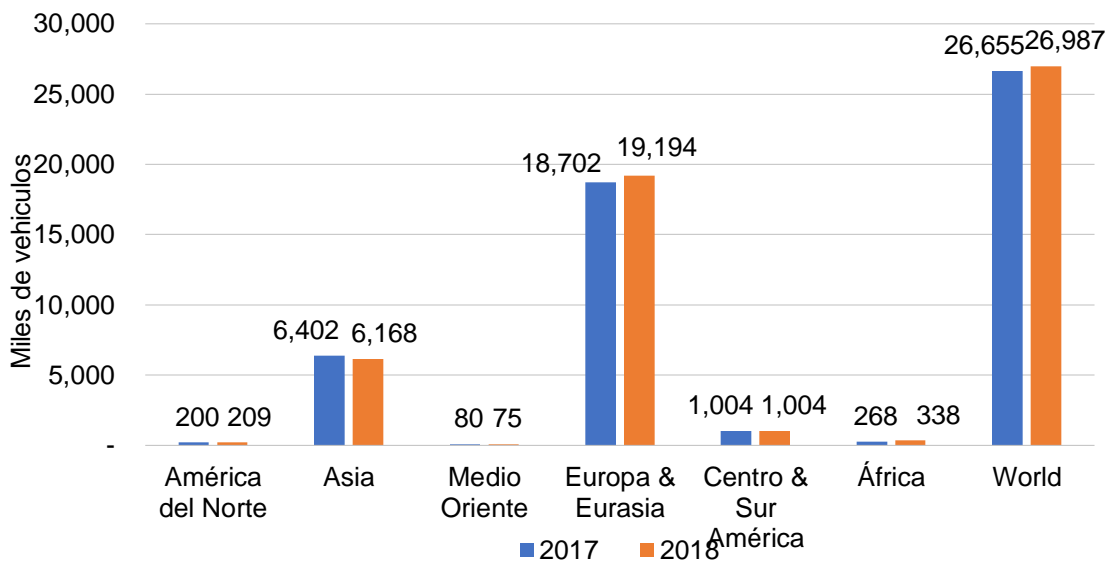
⁷ INDIAN AUTO LPG COALITION. Booklet on Safe Practices / Checklist for LPG Operated Vehicles, India, 2008. p3.

⁸ ESLAVA, Andrés. Generación eléctrica a partir de la operación de un motor de combustión interna en modo dual con gas licuado de petróleo e hidrógeno. Universidad Nacional de Colombia, 2014. p32.

dado que ocupa menos espacio que el gas natural y se puede licuar a presiones relativamente bajas. En un depósito de 40 litros de volumen de GLP se tiene aproximadamente la misma cantidad de energía almacenada en 200 litros de GNV⁹.

1.4.1. Implementación vehicular en el mundo. Por su parte, el crecimiento del mercado del GLP vehicular a nivel global es una muestra de cómo la adaptación hacia el autogas es una iniciativa a la que muchos países le han apostado y han decidido continuar incentivando en la actualidad. En la actualidad, países extendidos por todo el globo como Australia, Canadá, Japón, Corea del Sur, Estados Unidos, Tailandia, España y Argentina entre otros utilizan el GLP para potenciar vehículos. En la Figura 4 se muestra la distribución de los vehículos que funcionan con GLP en los continentes del mundo.

Figura 4: Distribución de vehículos de GLP en el mundo en 2017 y 2018



Fuente: ASOCIACIÓN COLOMBIANA DEL GLP, GASNOVA. Informe estadístico de Gas Licuado De Petróleo (GLP), 2019.

⁹ AUTOCASION. Diferencias existentes entre el gas natural y el GLP. 2018. Tomado de: <https://bit.ly/3eLJ62A>

Para el año 2018, alrededor de 27 millones de vehículos eran impulsados por GLP, lo cual representa un crecimiento del 1.2% con respecto al año anterior. Esto, considerando que en distintos países el GLP está implementado a gran escala mientras que en otros se está aún incursionando y abarca un sector pequeño de los automotores. En la Tabla 5 se muestran algunos países en distintos hemisferios, en donde se utiliza GLP en vehículos y se muestra las escalas de consumo en cada uno de estos.

Tabla 5. Vehículos y consumo de GLP en países del mundo

PAÍS	VEHÍCULOS (MILES)	CONSUMO (BPD)
Alemania	421	12,582
Australia	300	13,431
Corea del Sur	2122	108,301
España	65	1,667
Francia	198	2,092
Grecia	300	8,758
India	2320	13,039
Italia	2309	54,739
México	420	35,980
Países Bajos	133	4,837
Polonia	3082	62,582
Reino Unido	120	2,222
Rusia	3000	101,307
Tailandia	1065	43,137
Turquía	4617	101,830

Fuente: ASOCIACIÓN MUNDIAL DEL GLP. Un Mapa Global Para el Autogas: Cosechando los Beneficios Ambientales y Económicos de Utilizar GLP En Transporte de Carreteras, WLPGA, 2019. p12.

Según la Asociación Mundial del GLP, se destinan alrededor de 880,000 BPD de gas licuado de petróleo para el consumo vehicular. Algunos países como es el caso de Corea del Sur y Turquía donde el autogas es ampliamente utilizado en millones

de automóviles, representan una gran parte de la demanda mundial destinada a este sector, llevándose alrededor de un 13% de la participación cada uno. Por otra parte, también están los países donde el consumo en el mercado del autogas es más moderado y este supone una pequeña porción del parque automotor, como sucede con España que mueve 65,000 vehículos con GLP y Reino Unido con alrededor de 120,000, teniendo cada uno de estos territorios cerca de 28 y 35 millones de vehículos respectivamente, que se encuentran en circulación.

La implementación del GLP en un vehículo supone un ahorro de aproximadamente un 40% en comparación con la gasolina y el diésel. Los vehículos que funcionan con GLP pueden ser encontrados en los concesionarios de varias marcas automovilísticas (Fiat, Citroën, Ford, etc) cuyas variantes ya están adaptadas para funcionar a base de este combustible. No obstante, también es posible adaptar el sistema de inyección de un automóvil a base de combustible convencional para ser convertido en uno que funcione con GLP¹⁰.

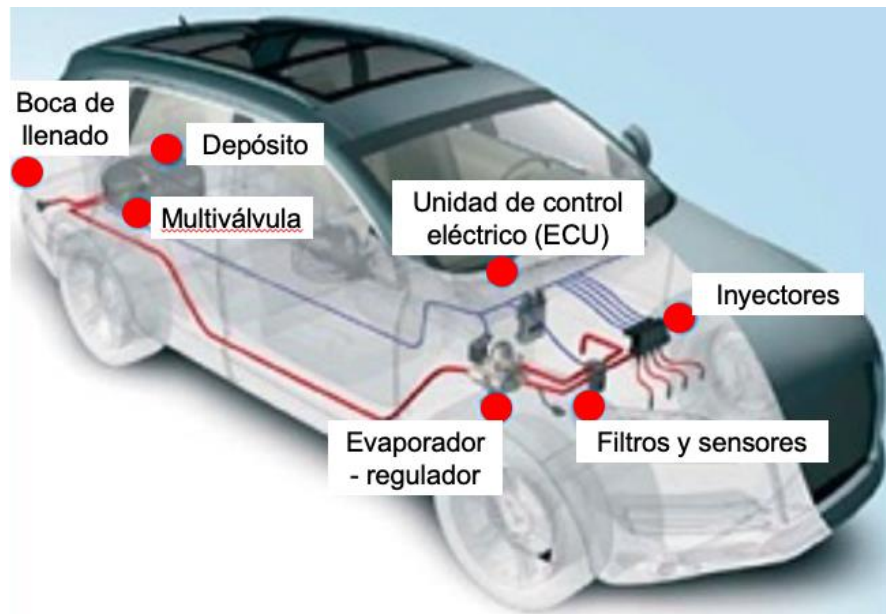
1.4.2. Implementación del GLP en vehículos. En motores de combustión interna, una propiedad del propano es que puede generar un bajo consumo específico de combustible, desde el punto de vista de su relación combustible – aire. Al tener un mayor octanaje, el GLP podría proveer un mayor índice de compresión en el motor dando vía a que la eficiencia térmica y la potencia de este mejoren.

La Figura 5 muestra un esquema del sistema de inyección de GLP en un vehículo. El sistema consta principalmente de una boca de llenado para recarga de GLP hacia el depósito, el cual lleva un conjunto multiválvulas que cumple funciones como indicar el nivel, limitar el volumen de combustible y garantizar la seguridad del depósito. El GLP fluye de forma líquida hasta llegar al evaporador que se encarga de transformarlo a fase gaseosa y es además responsable de dosificar la mezcla aire/gas hacia el motor en las proporciones correctas. Posteriormente el gas pasa

¹⁰ ASOCIACIÓN MUNDIAL DEL GLP. Un Mapa Global Para el Autogas: Cosechando los Beneficios Ambientales y Económicos de Utilizar GLP En Transporte de Carreteras, WLPGA, 2019. p12.

por un filtro que garantiza un flujo sin impurezas ni residuos aceitosos. Dado que es un elemento que se ensucia, el filtro necesita de un mantenimiento periódico, normalmente cada 30,000 km. La corriente es entonces llevada a una unidad de mezcla de inyectores de GLP constituida principalmente por un difusor y un soporte para el difusor, y cuya función principal es realizar la dosificación de la cantidad de gas y la cantidad de aire que se deben mezclar para una correcta combustión del motor. Esto se controla desde la centralita electrónica de inyección del sistema (ECU), consiguiendo inyectar la cantidad de gas correcta en cada uno de los cilindros para el perfecto funcionamiento del motor¹¹.

Figura 5: Sistema de inyección en un vehículo a base de GLP.



Fuente: CARSMAROBE. Sistema de alimentación de combustible GLP, Fondo Social Europeo, 2015. Tomado de: <https://bit.ly/32N87rM>

El funcionamiento del GLP en un vehículo depende del sistema de suministro de combustible ya sea líquido o gaseoso, de la fabricación del vehículo (si posee o no

¹¹ BARRERA, Enrique. Estudio del sistema de GLP como combustible alternativo de uso en vehículos automotores, Universidad del Asuay, 2012. p17.

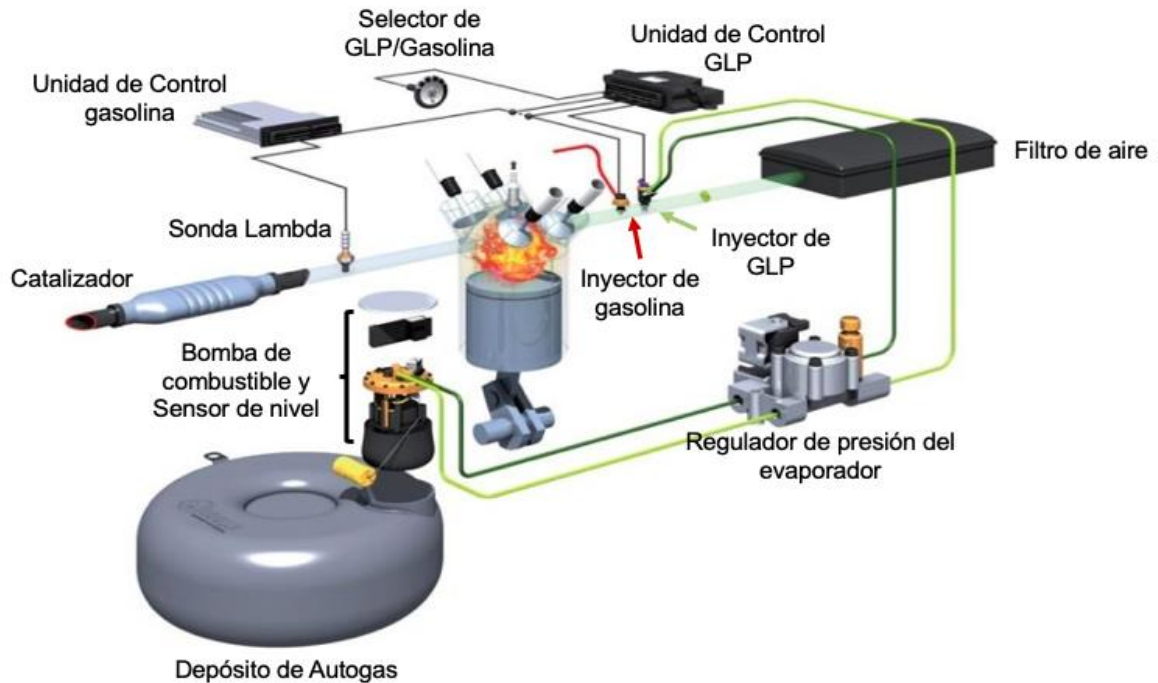
carburador) y la tecnología que se tenga en este. Estos sistemas han poseído diferentes características con el paso del tiempo organizadas en cuatro diferentes generaciones. En la generación I, el sistema de GLP aplicado en un vehículo no cuenta con un control de oxígeno en el tubo de escape en el vehículo. La generación II cuenta con sistemas de inyección que convierten el GLP en gas usando un vaporizador regulador y tienen un control de retroalimentación electrónica para controlar la presión del combustible. Con la generación III el GLP es suministrado por válvulas e inyectores y los sistemas emplean puertos que permiten la inyección del combustible en gas o líquido. Finalmente, la generación IV permite la inyección directa en la cámara de combustión del motor en líquido o gas. El sistema permite una alta personalización en los motores de inyección por chispa.

Casi todos los vehículos que en la actualidad operan con GLP son modificaciones de vehículos de gasolina existentes, mayoritariamente utilizando sistemas de conversión mecánicos en lugar de electrónicos. El costo que representa convertir un automóvil de un sistema a base de gasolina a uno de GLP es considerablemente menor que el costo de conversión a gas natural, debido principalmente al costo reducido en los tanques de combustible.

El mecanismo de funcionamiento de un sistema de GLP es similar en gran medida al de gasolina en los vehículos. Para convertir un vehículo de gasolina estándar a un sistema GLP de I a III generación, es necesario adicionar un tanque de almacenamiento, un sistema de suministro y un controlador de flujo hacia el motor. El GLP permanece en estado líquido en el tanque de suministro a una presión relativamente baja de alrededor de 150 psig. A través de un diferencial de presión en los conductos, el combustible llega a un dispositivo de vaporización-regulación que convierte el combustible a fase gaseosa para mezclarlo con aire en el

mezclador Venturi¹². La Figura 6 presenta los componentes del sistema de alimentación de GLP en un automóvil.

Figura 6. Sistema de alimentación en automóvil de GLP y gasolina



Fuente: REVISTA CESVIMAP. Vehículos a Gas, Una Alternativa Real, 2018.

Tomado de: <https://bit.ly/2YUsekd>

La mezcla entra a la cámara de combustión del motor con flujo y presión controlada por un sistema de dispositivo emulador, acelerador de motor y un sistema controlador. El motor de cuatro tiempos sigue funcionando mientras los sistemas de control almacenan y monitorean la información del rendimiento del vehículo.

1.4.3. Desventajas. Algunas de las desventajas que implican el uso de GLP en vehículos incluyen lo siguiente¹³:

¹² INDIAN AUTO LPG COALITION. Booklet on Safe Practices: Checklist for LPG Operated Vehicles, 2008.

¹³ ACOSTA, Juan. Gas licuado de petróleo – GLP o Autogas, Motorpasion. 2019. Tomado de: <https://bit.ly/3eSPMM8>

- A pesar de que el costo del GLP es menor, el consumo es mayor que el de la gasolina
- La conversión de gasolina a GLP supone una pérdida de potencia para el motor y problemas mecánicos como deterioro más rápido de las válvulas.
- No se pueden adaptar a cualquier motor, ya que los motores potentes no son capaces de funcionar con normalidad con gas licuado.
- Para la adaptación, la instalación de tanques de almacenamiento de GLP requiere de un espacio especial, lo que implica una pérdida de espacio y un aumento en el peso del vehículo.

1.4.4. Ventajas técnicas. Un factor muy importante a considerar acerca del GLP es que ofrece una combustión limpia, lo cual implica directamente efectos tales como prolongar la vida de aceites lubricantes o del motor del automóvil como conjunto¹⁴. Algunas de las ventajas técnicas que ofrece el GLP implementado como combustible son:

- Proporciona beneficios como buen funcionamiento, limpieza y mejor rendimiento económico al ser empleado como carburante.
- Garantiza un mantenimiento más económico en comparación con combustibles convencionales y debido al reducido desgaste, mayor duración del motor.
- Debido a que la combustión del GLP no deja residuos sólidos, la duración tanto del motor como del lubricante es considerablemente más prolongada.
- La calidad del combustible es controlada y la mezcla es homogénea, lo que permite que la combustión sea más completa.
- Posee una eficiencia térmica mayor que la gasolina conteniendo mejores números de octano y mejores relaciones de compresión.

¹⁴ WOLFF, G. Automotive LPG Development. SPE, 2001. p2.

1.4.5. Ventajas medioambientales. La utilización del GLP proporciona condiciones de emisión de componentes contaminantes más favorables para el medio ambiente que las de combustibles convencionales como el diésel o la gasolina. Como se muestra en la Tabla 6, este menor impacto se ve en su mayor parte reflejado específicamente en la reducida emisión de tres compuestos: Monóxido de Carbono (CO), óxidos nitrosos (NO_x) e hidrocarburos no quemados (HC). En motores de encendido por chispa, la combustión del GLP produce emisiones de material particulado casi despreciable.

Tabla 6. Comparación ecológica entre gasolina y GLP

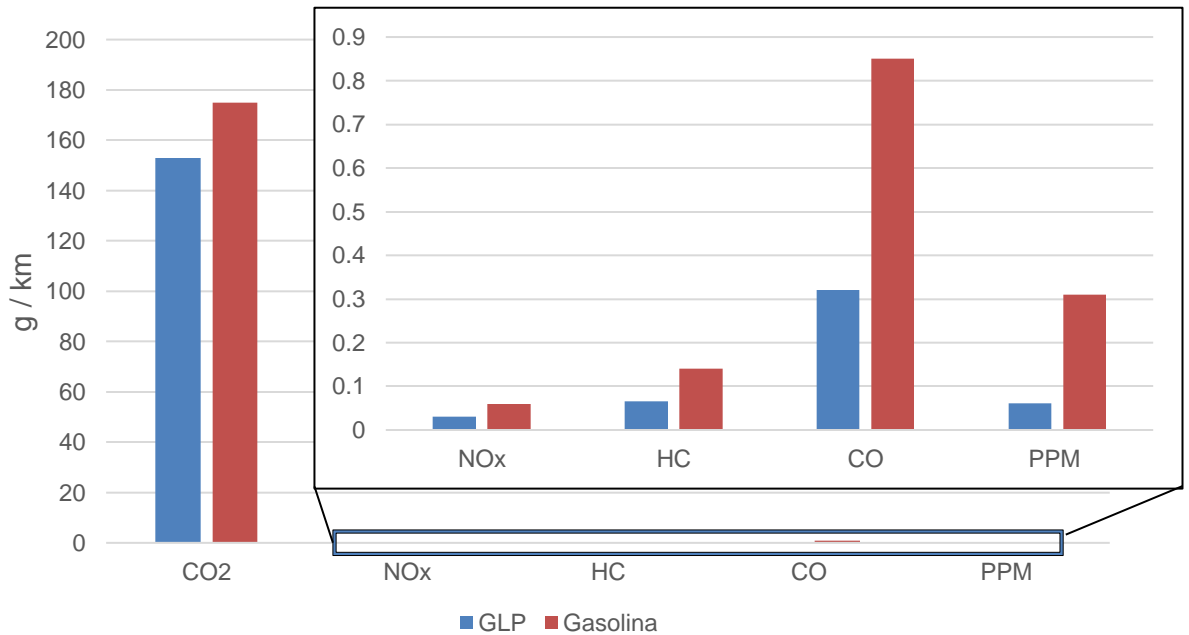
Contaminante	GLP	Gasolina
HC	53 PPM	700 PPM
CO	1.35 %	6.0 %
NO _x	292 PPM	1200 PPM

Fuente: GRUPO PROPAGAS. Ventajas Medio Ambientales del GLP, 2019. Tomado de: <https://bit.ly/2ME3VBo>

La Figura 20 ilustra una comparación entre las emisiones contaminantes del GLP y la gasolina con base en un estudio elaborado por la SPE (2001), observando las emisiones de estos combustibles en distintos modelos de vehículo. Como se puede observar, en cuanto a emisión para todos los componentes contaminantes, el GLP demuestra un menor impacto ambiental que la Gasolina. La principal diferencia, resulta evidente en el caso en particular del monóxido de carbono y el material particulado emitido; por cada kilómetro recorrido en el caso de estudio, se observa que la contaminación proveniente del gas licuado representa respectivamente un 80% y 62% menos que el impacto correspondiente al de la gasolina. En menor pero considerable proporción se observa que esta es la misma circunstancia para los componentes NO_x y HC, con una reducción del 50% y 54%, respectivamente y la

menor diferencia se ve en el caso del CO₂, dando condiciones en un 13% más favorable para el GLP.

Figura 7. Comparación de emisiones contaminantes entre el GLP y la gasolina.



Fuente: WOLFF, G. Automotive LPG Development. SPE, 2001.

Adicionalmente, el GLP tiene una baja tendencia a formar ozono troposférico a niveles casi iguales a la mitad que los de la gasolina y presenta emisiones de poliaromáticos y aldehídos despreciables. La contaminación acústica que genera se ve reducida en un 50%, en comparación con el diésel y genera emisiones de dióxido de azufre (SO₂) casi despreciables, que es junto con el óxido nitroso uno de los contaminantes responsables de la lluvia ácida¹⁵.

¹⁵ FAIZ, Asif; WEAVER, Christopher; WALSH, Michael. Air Pollution from Motor Vehicles: Standards and Technologies for Controlling Emissions, The World Bank, 1996. p4.

2. MARCO NORMATIVO DEL GLP VEHICULAR

En este capítulo se presenta una comparación entre la normativa técnica internacional y nacional con respecto a la utilización del GLP como combustible. En el contexto global, existen estándares mínimos que se deben seguir para el usufructo del GLP como combustible, así como el diseño, construcción, pruebas, operación y mantenimiento de las estaciones de servicio del carburante, las cuales deben estar avaladas por métodos de prueba establecidos por estándares internacionales como lo son las normas ANSI, ASME, NFPA, API, entre otros. En el caso de Colombia, actualmente no existe una normatividad que regente la utilización del GLP como combustible, sin embargo, se han tomado medidas por parte del gobierno con el fin de promover su uso para este fin.

2.1. NORMAS INTERNACIONALES DEL GLP VEHICULAR

La utilización del GLP como combustible vehicular es una práctica cuyo incentivo ha venido incrementándose a lo largo de los últimos años en el marco legal de varios países extendidos en todos los continentes del mundo. En el caso de los Estados Unidos en particular, el GLP es considerado un combustible alternativo desde hace más de dos décadas gracias a la puesta en marcha de la Ley de Política Energética de 1992 que apunta a reducir la dependencia al petróleo en el país y mejorar la calidad del aire mediante la implementación de distintas fuentes de energía disponibles en el mercado energético, incluyendo combustibles alternativos como el GLP. A partir de entonces, el uso del GLP como combustible vehicular alternativo se ha visto favorecido progresivamente a través de créditos económicos e incentivos tributarios establecidos por distintas resoluciones emitidas en años posteriores. Actualmente existen más de 200.000 automóviles a base de propano en carreteras

americanas y muchos son empleados como vehículos de flota como autobuses escolares y patrullas policiales¹⁶.

En países donde ya se ha incursionado en el uso de autogas, existen normas emitidas por entidades reguladoras nacionales que establecen estándares en cuanto a las prácticas necesarias para llevar a cabo la utilización del GLP en motores de combustión interna. En la India, país que posee uno de los mercados líderes de autogas en el mundo, rige el AIS – 026 emitido por el Estándar Industrial Automovilístico, el cual es un código de prácticas para el uso del GLP combustible en vehículos de cuatro ruedas y vehículos motorizados pesados. La norma incluye estándares para el diseño, construcción, instalación, mantenimiento, inspección y abastecimiento de sistemas de GLP en vehículos motorizados¹⁷. En el subcontinente indio, el uso del GLP como combustible automotor fue permitido por los cambios hechos a la Ley de Vehículos Motorizados en el año 2000 y a partir del 2001 comenzó el desarrollo de la infraestructura de abastecimiento del GLP combustible. Actualmente existen estaciones de servicio en 519 ciudades del subcontinente.

Las normas internacionales obedecen no solamente a los estándares mínimos que debe cumplir la operación industrial del gas licuado del petróleo para su implementación adecuada y segura tanto en vehículos automotores como en estaciones de abastecimiento de este, sino que también considera factores como la seguridad y salud de los trabajadores, el medioambiente y el impacto que conlleva toda la operación del carburante.

En el panorama mundial, la norma D 1835 – 97 de la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales se ubica como una de las más importantes en términos de calidad del GLP. Esta norma especifica y abarca el uso doméstico, comercial,

¹⁶ DEPARTAMENTO DE ENERGÍA DE LOS ESTADOS UNIDOS. Vehículos de Propano, 2019. Tomado de: <https://afdc.energy.gov/vehicles/propane.html>

¹⁷ ESTÁNDAR INDUSTRIAL AUTOMOVILÍSTICO. Código de Prácticas Para el Uso del Glp Combustible en Vehículos de Cuatro Ruedas Y Vehículos Motorizados Pesados. InterRegs Ltd. 2002. p12.

industrial y como combustible de productos normalmente conocidos como Gases Licuados del Petróleo. Así mismo detalla las propiedades que éste debe cumplir al momento de entrega. De acuerdo con esta norma existen cuatro tipos de gases licuados del petróleo, los cuales poseen características diferentes que les proporciona un desempeño más eficiente en distintas actividades industriales:

- Propano comercial: Es usado donde se requieren hidrocarburos con alta volatilidad, adecuado para ciertos motores de combustión interna de baja gravedad y como combustible doméstico e industrial, principalmente para zonas donde se presentes temperaturas ambiente bajas.
- Butano comercial: Es un combustible de baja volatilidad por lo que su uso se encuentra reducido al de combustible doméstico en zona de climas cálido, donde no se presenten problemas con la vaporización del mismo.
- Mezclas comerciales de Propano y Butano: Al ser una mezcla cubre un amplio rango de aplicación, ya que se adapta a necesidades específicas. Puede ser usado como combustible doméstico, comercial e industrial en áreas donde son requeridos productos con volatilidad media y donde las temperaturas ambientes bajas son poco frecuentes.
- Propano de carga especial: Es un producto de alta calidad, el cual está compuesto principalmente de propano, exhibiendo características antidetonantes cuando se usa como combustible en motores de combustión interna; presenta características de combustión y composición más estables que otros gases denominados como GLP.

En términos de seguridad se incluyen los parámetros establecidos por normas como la NFPA 58, emitida por la Asociación Nacional de Protección Contra el Fuego, la cual proporciona requisitos mínimos de seguridad para todas las instalaciones de gas licuado del petróleo, desde pequeños cilindros residenciales hasta las grandes instalaciones a granel. El estándar se extiende a cualquier operación que involucre GLP tales como transporte, almacenamiento o incluso partes y materiales utilizados

en las operaciones. De forma similar se aplican las normas ANSI y ASME estableciendo estándares para equipos y prácticas asociadas al almacenamiento y transporte del carburante.

En cuanto a instalaciones de producción de GLP se refiere, resalta la relevancia de la norma API 2510 en este contexto. Este estándar aplica para el diseño, construcción y localización de las instalaciones marinas y terrestres de plantas de procesamiento, refinerías, plantas petroquímicas o tanques de almacenamiento del gas licuado del petróleo. Especifica parámetros desde el tamaño y tipo de facilidades de superficie teniendo en cuenta la demanda de GLP en función de la actividad industrial, comercial y residencial hasta determinar el tipo de gas licuado del petróleo que mejor se adapta las necesidades industriales que se presentan. La seguridad de las instalaciones y el personal humano son regidos por esta norma. La normatividad técnica internacional actual del GLP vehicular abarca los estándares expuestos en la Tabla 7:

Tabla 7. Normatividad internacional asociada al GLP vehicular

Nombre de la norma	Detalles de la norma
Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM)	
D1835 – 97: Especificación estándar para gases licuados de petróleo	Formulación de especificaciones de propiedades requeridas en el GLP para entrega y uso industrial, comercial, doméstico y carburante.
D2158 - 16: Método de prueba estándar para residuos de GLP	Determinación de materiales externos que se descomponen a una temperatura superior a los 38°C y que están presentes en los gases licuados del petróleo.

<p>D2598 - 16: Práctica estándar para el cálculo de ciertas propiedades físicas del GLP a partir del análisis composicional</p>	<p>Descripción de propiedades físicas del propano comercial, propano especial, mezcla comercial de propano/butano y butano comercial.</p>
<p>D5305 – 18: Método de prueba estándar para determinación de Etil mercaptano en vapor de GLP</p>	<p>Procedimiento rápido y simple usando para la medición de campo del etil-mercaptano en sistemas de GLP en fase vapor. Aplica para sistemas con 5ppm o más de Etil mercaptano.</p>
<p>D2784 – 11: Método de Prueba Estándar para Azufre en GLP (Lámpara o Quemador Oxi-Hidrógeno)</p>	<p>Determinación de azufre total en el gas licuado del petróleo con más de 1µg/g y menos de 100 µg/g de halógenos.</p>
<p>D6849 – 02: Práctica estándar para almacenamiento y uso del Gas Licuado de Petróleo en cilindros de prueba para métodos de prueba del GLP.</p>	<p>Información acerca del almacenamiento y uso de muestras de GLP en cilindros estándar empleados en los métodos para muestreo y pruebas de laboratorio; principalmente en cromatografía de gases o presión de vapor.</p>
<p>D6897 – 09: Método de medición de la presión de vapor del Gas Licuado del Petróleo (Método de expansión)</p>	<p>Uso de instrumentos automáticos de presión de vapor para determinar la presión de vapor del Gas Licuado del Petróleo a una temperatura de 37.8°C, una relación de vapor líquido de 0,5:1 y presiones de 200 a 1550 kPa en una muestra de 3,33ml.</p>

Institu Nacional Americano de Estándares (ANSI) – Asociación Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME)	
Código ASME sección VIII. Diseño, construcción e inspección de tanques y recipientes de presión.	Lineamientos para la fabricación de recipientes a presión, considerando el diseño, análisis de tensiones, discontinuidades y los requerimientos que deben cumplir los materiales que se utilizaran para esto.
ASME B16:5: Tubería y uniones.	Características exactas de la gama de bridas forjadas en acero inoxidable o aleado al carbono, para diversas aplicaciones y para su unión con la gama de juntas bridadas correspondiente. También especifica los lineamientos para la fabricación de estas piezas aplicadas a estaciones de GLP.
Instituto Americano del Petróleo (API)	
607: 2016: Prueba de incendio para válvulas tres cuartos y válvulas equipadas con asentamientos no metálicos.	Descripción de los requisitos y métodos de los tipos de pruebas de incendio para confirmar la capacidad de presión de una válvula de presión durante y después de la prueba de incendio. Aplicado a estaciones de GLP.
2510-A: Consideraciones de protección en caso de incendio en el diseño y operación de la facilidades de almacenamiento del GLP.	Reglamentación del diseño, operación y mantenimiento de las facilidades de almacenamiento del GLP desde los puntos de prevención y control, diseño contra incendios y las medidas de control ante los mismos.

2510: Diseño y construcción de instalaciones de GLP	Abarca el diseño, construcción y localización de las instalaciones marinas y terrestres de plantas de procesamiento, refinerías, plantas petroquímicas o tanques de almacenamiento del GLP. Especifica el tamaño y tipo de las instalaciones en cuanto a las facilidades de superficie teniendo en cuenta la demanda de GLP basado en la actividad industrial, comercial y residencial de la zona.
Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (NFPA)	
NFPA 30: Código de líquidos inflamables y combustibles.	Lineamientos fundamentales para el almacenamiento, manejo y uso de líquidos inflamables y combustibles
NFPA 58: Código del Gas Licuado del Petróleo.	Requisitos de seguridad mínimos para todas las instalaciones de Gas Licuado del Petróleo, desde pequeños cilindros instalados en residencias hasta las grandes instalaciones a granel. Es aplicable en operaciones que involucren sistemas de GLP como son: uso del gas como combustible doméstico, construcción e instalación de puertos de distribución marinos o terrestres para entrega a distribuidores, transportadores y usuarios.

2.2. CONTEXTO LEGAL Y NORMATIVO NACIONAL

El mercado del GLP surgió a principios del siglo XX en Colombia y es uno de los más antiguos en el país. Desde entonces su uso se ha destinado principalmente al sector doméstico para la cocina y la calefacción residencial. El GLP se ha

caracterizado por sufrir continuos cambios en su regulación operativa debido a la carencia de control y vigilancia que se ha dado desde los orígenes de la industria. A partir de 1994 con la ley 142, el GLP comenzó a regularse como servicio público domiciliario regulado por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) bajo vigilancia y control de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD)¹⁸.

A través del artículo 210 del Plan de Desarrollo 2014 – 2018 establecido para Colombia a través de la ley 1753 de 2015, se autoriza la utilización del GLP como carburante en transporte automotor (autogas) en motores de combustión interna, así como para otras aplicaciones alternativas. A través de esta disposición el gobierno nacional busca introducirse en la creación de un marco normativo por intermedio del Ministerio de Minas y Energía, consistente con las medidas necesarias para implementar el gas licuado de petróleo para este fin. Así mismo, busca asegurar de manera confiable, continua y eficiente el suministro del energético con producto nacional e importado.

La implementación del GLP para fines de consumo automotor, se vio posteriormente incentivada por la resolución 40577 de 2016 que autorizó la realización de pruebas piloto para evaluar la utilización del energético como combustible vehicular en territorio nacional. Por medio de la resolución, se buscó definir la reglamentación y lineamientos técnicos con los cuales debe cumplir el GLP para ser empleado como carburante en motores de combustión interna, para usos alternativos aplicables en Colombia y las especificaciones y requisitos técnicos que deberán cumplir las estaciones de servicio para la prestación del servicio de comercialización del GLP como combustible vehicular. Luego, el dictamen se ve parcialmente modificado mediante la resolución 41197, la cual modificó algunos parámetros económicos y

¹⁸ UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA, UPME. Plan Indicativo de Abastecimiento de Gas Licuado de Petróleo (GLP), Oliver Diaz Iglesias, 2018. p2.

de seguridad concernientes a la puesta en marcha de las pruebas piloto en los vehículos aplicados a estas.

En el contexto nacional, la norma de mayor importancia en lo que se refiere al uso industrial del GLP es la Norma Técnica Colombiana. Este estándar, reglamenta aspectos del gas licuado de petróleo como son los requisitos y las pruebas que son necesarios aplicar en el compuesto, así como los requerimientos básicos que deben cumplir los componentes individuales, armados o manufacturados en sistemas completos de GLP. Además, define los requisitos sobre las instalaciones, el personal y la normatividad que se debe cumplir al transportar GLP por carretera o en actividades de trasiego en estado líquido, así como algunas disposiciones para uso vehicular.

Al igual que la normatividad internacional, los parámetros existentes son presentados por el Ministerio de Minas y Energía como lineamientos que deben seguirse cuando se quiere implementar el uso del gas licuado del petróleo en el país de manera industrial y comercial, y de esta manera garantizar la seguridad y confiabilidad del mismo.

En términos generales, actualmente en el país existen carencias en cuanto a reglamentos técnicos de conversión, de acreditación de talleres destinados a la adaptación de vehículos al GLP y en aspectos de control que deben ser estipulados por entidades gubernamentales. Por esta razón la incursión en el consumo vehicular para el GLP ha sido irregular y desordenada. La regulación que rige actualmente en el marco de este consumo en el país incluye lo expuesto en la Tabla 8:

Tabla 8. Leyes y normas colombianas del GLP vehicular

Nombre de la norma	Detalles de la norma
Resoluciones	
Resolución 910 de 2010	Por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deben cumplir las fuentes móviles terrestres, en su artículo 6 establece los máximos niveles de emisión de vehículos convertidos para uso de GLP como combustible.
Ley 1753 de 2015	El Congreso de la República bajo el marco del plan nacional de desarrollo, establece el “Sistema de Información de Combustibles”; la autorización del uso de GLP como carburante en motores de combustión interna, como carburante en transporte automotor (autogas) y demás usos alternativos del GLP en Colombia, facultando al Ministerio de Minas y Energía para expedir los reglamentos necesarios para tal fin.
Resolución 40577 de 2016	Autoriza la realización de pruebas piloto en el territorio nacional con el fin de evaluar el comportamiento del GLP como carburante en motores de combustión interna, en transporte automotor y otros usos alternativos. El Ministerio de Minas y Energía se exime de cualquier tipo de responsabilidad en cuanto al resultado de pruebas pilotos asociadas al GLP, establece parámetros de seguridad a través de póliza de riesgos en las pruebas, su aplicación y cobertura y la implementación de avisos de identificación para los vehículos dispuestos a este fin.

Resolución 41197 de 2017	Modifica parcialmente dos veces el artículo 1° de la resolución 40577 de 2016. En cuanto a la normatividad referente a la seguridad económica del proyecto; se exige, en esta actualización, la adquisición de una póliza de responsabilidad civil extracontractual que ampare los riesgos potenciales de la realización de las pruebas. Modifica también el texto de los avisos en los vehículos.
Resolución 40694 de 2016	Establece las disposiciones a las que se deben sujetar los agentes participantes en la cadena del GLP, a efectos de declarar los valores históricos y esperados de su producción, importación, exportación, ventas y consumos propios de GLP.
Resolución 41248 de 2018	Modifica la resolución 40694, agregando siglas para mayor facilidad, define los tipos de GLP, modifica también el termino de reporte de producción a “cantidades promedio (toneladas)”, entre otras.
Norma Técnica Colombiana	
2303: Especificaciones para Gases Licuados del Petróleo	Establece los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales se deben someter los gases licuados del petróleo destinados, como combustibles, al uso doméstico, industrial y automotor.

<p>2515: Método para determinar la corrosión de la lámina de cobre debida a Gases Licuados del Petróleo.</p>	<p>Determina la presencia de componentes en el GLP que pueden ser corrosivos para el cobre.</p>
<p>2517: Método de ensayo para determinar residuos en los Gases Licuados del Petróleo.</p>	<p>Cubre la determinación de las sustancias extrañas presentes en los gases licuados del petróleo, que se evaporan a temperaturas superiores a 38°C. Este método indica la cantidad y naturaleza de las sustancias presentes en el producto, que son significativamente menos volátiles que los hidrocarburos del GLP.</p>
<p>2518: Métodos de ensayo para el análisis de GLP y polipropileno concentrado por cromatografía de gases.</p>	<p>Cubre la determinación de la composición de los Gases Licuados del Petróleo. Es aplicable al análisis de propano, propileno y butano en todos los rangos de concentración.</p>
<p>2562: Método para determinar manométricamente la presión de vapor de los Gases Licuados del Petróleo.</p>	<p>Comprende los lineamientos para la determinación manométrica de la presión de vapor del Gas Licuado del Petróleo a temperaturas de 37,8°C hasta la temperatura de ensayo de 70°C.</p>
<p>2563: Método de ensayo para determinar la volatilidad de los Gases Licuados del Petróleo.</p>	<p>Brinda la medida de la pureza relativa de varios tipos de gases licuados del petróleo y ayuda a asegurar que el comportamiento de la volatilidad es adecuado para una aplicación específica.</p>

<p>3768: Funcionamiento de vehículos con GLP, centro de servicio especializado para conversión y mantenimiento de sistemas de carburación en motores con funcionamiento dedicado gasolina por dedicado GLP o dual GLP/Gasolina.</p>	<p>Establece los requisitos mínimos de seguridad que deben cumplir los centros de servicio dedicados a realizar la conversión del sistema de carburación de motores dedicados gasolina por motores dedicados GLP o duales, también rige el mantenimiento, revisión y reparación del conjunto de equipos y accesorios utilizados, por ultimo especifica los requisitos que deben cumplir las herramientas y equipos de trabajo que se emplean.</p>
<p>3769: Funcionamiento de vehículos automotores con GLP, estaciones de servicio para suministro de GLP</p>	<p>Determina los requisitos mínimos que deben cumplir las estaciones fijas, comerciales o privadas, diseñadas y construidas para suministrar GLP como combustible automotor.</p>
<p>3770: Sistema biocombustible GLP/Gasolina o dedicados a GLP.</p>	<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 biocombustible GLP/gasolina.</p>
<p>3771: Conversión de vehículos con GLP. Conversión de motores de combustión interna con sistema de carburación dedicada gasolina por carburación biocombustible GLP o gasolina- o dedicada GLP.</p>	<p>Establece los requisitos minimos que se deben cumplir al realizar las conversiones de motores de combustión interna con carburación dedicada gasolina por carburación biocombustible (GLP o gasolina) o dedicada GLP.</p>

<p>3853: Equipo, accesorios, manejo y transporte de GLP.</p>	<p>Contempla los requisitos básicos que deben cumplir los componentes individuales, los componentes armados o manufacturados en subconjuntos, recipientes completos o sistemas completos de estos; el trasiego de GLP en estado líquido y el transporte por carretera de GLP.</p>
<p>4786-3: Transporte de mercancías peligrosas. Carrotaques para transporte terrestre. Parte 2. Gas Licuado del Petróleo.</p>	<p>Especifica los requisitos para el diseño, construcción, reparación, modificación, marcado, rotulado y operación, así como los ensayos a los cuales deben someterse los Carrotaques que se destinan al transporte de GLP.</p>
<p>5281: Recipientes para almacenamiento de GLP utilizado como combustible vehicular.</p>	<p>Establece los requisitos mínimos y los métodos de ensayo que se deben cumplir en la fabricación de recipientes sometidos a presión para almacenamiento de GLP, utilizado como combustible vehicular.</p>
<p>5469: Determinación de la presencia de agua disuelta en el Gas Licuado del Petróleo. Método de congelamiento de válvula.</p>	<p>Determina la presencia de agua disuelta en los productos tipo propano, tales como el propano comercial y otras mezclas de gases licuados del petróleo.</p>
<p>5470: Determinación del sulfuro de hidrógeno en Gases Licuados del Petróleo. Método de acetato del plomo.</p>	<p>Informa acerca de la detección de sulfuro de hidrogeno en Gases Licuados del Petróleo (GLP). La sensibilidad del ensayo.</p>

En el plano contemporáneo, durante el transcurso del 2019, el gobierno nacional emitió la Ley 1955 por medio de la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo

2018 – 2022. En conformidad con lo estipulado por el dictamen, el mismo año el congreso de la república presentó el proyecto de ley número 213 que tiene como objetivo incentivar la utilización y el abastecimiento de gas combustible en el país, con el propósito de mejorar parámetros como la calidad de vida, la salud, el acceso al servicio público y el impacto medio ambiental. Entre los aspectos presentados por este proyecto, destaca la necesidad de migrar a tecnologías vehiculares limpias capaces de sostener bajas emisiones de contaminantes como los gases de efecto invernadero y el material particulado. Ante esta urgencia, se hace evidente la importancia de introducir alternativas más limpias en el sector transporte, mediante la puesta en marcha del GLP autogás en todas las categorías vehiculares y del nautigás (GLP implementado en motores de uso náutico) en el transporte fluvial y marítimo. En este contexto, el proyecto de ley propone ciertas estrategias en aras de incentivar, extender y establecer un control sobre la implementación vehicular del GLP en el país¹⁹.

El Gobierno Nacional aún tiene la tarea de establecer un marco normativo para que el GLP sea puesto en marcha dentro del parque automotor. No obstante, con el fin de que esto sea posible es necesario que sea nivelado el terreno con otros combustibles, incluyendo los alternativos como el gas natural vehicular (GNV), el cual aventaja al GLP puesto que cuenta con incentivos de los cuales carece este último. El contraste se hace evidente por ejemplo, cuando se observa que el subsidio presupuestado para el consumo de gas natural fue de \$721,865 millones para 2018, mientras que para el de GLP fue tan sólo de \$55,576 millones apropiados durante el mismo año, beneficiando a sólo el 1,1% de la población²⁰.

¹⁹ CABAL, María; BALLESTEROS, Edwin, Congreso de la República de Colombia. Proyecto de Ley Número 213 de 2019, Imprenta Nacional de Colombia, 2019. p14.

²⁰ GUIA DEL GAS, La Actualidad de la Transición Energética. Realidad y perspectivas del GLP en Colombia, 2019. Tomado de: <https://bit.ly/2BpqJ5N>

3. PRODUCCIÓN Y CALIDAD DEL GLP EN COLOMBIA

El GLP comenzó a producirse en pequeñas cantidades en Colombia, alrededor de los años 30. El mercado estaba completamente dominado por la empresa estatal colombiana Ecopetrol. Con el paso de los años hasta entrada la década de los sesenta, el reforzamiento de la infraestructura a través de la construcción de poliductos junto con la entrada de empresas distribuidoras ocasionó un estallido comercial del GLP en el país. La oferta y la demanda aumentaron. Es en el año 1994 cuando se implementa la ley 142, en la cual se cambia el sistema de cupos mediante el cual el ministerio de minas y energía regulaba la comercialización del GLP hasta ese entonces, por un mercado nacional mayorista para satisfacer tanto la demanda doméstica como industrial²¹.

3.1. PRODUCCIÓN NACIONAL DE GLP

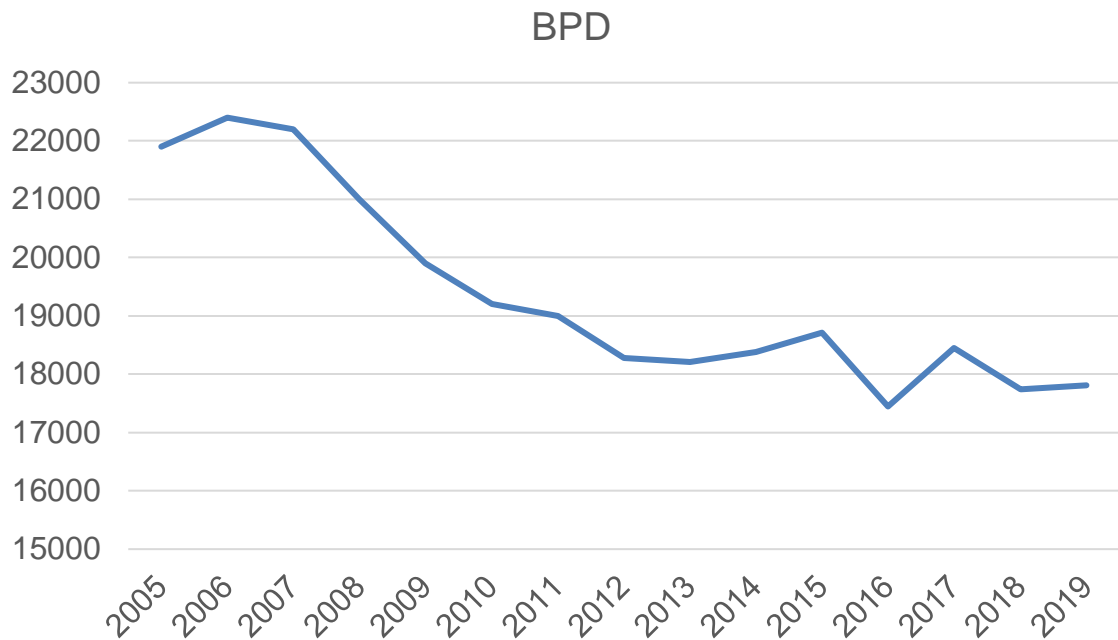
En Colombia se comercializa GLP como mezcla de Propano y Butano. Históricamente, las fuentes de producción nacionales, de las cuales ha provenido principalmente el combustible son las refinadoras de crudo en Cartagena y Barrancabermeja y las plantas de secado que se encuentran en campos productores de gas natural en su mayor parte operados por Ecopetrol. En la actualidad alrededor del 7% del GLP comercializado en Colombia proviene de campos operados por productores privados diferentes a Ecopetrol.

La Figura 8 permite observar cómo la producción de GLP en el país decreció en general en una magnitud de casi un 20% por más de una década entre los años 2006 y 2019. No obstante, el desarrollo operacional de la planta de secado en el campo Cusiana en el 2011 y la entrada de Termoyopal GAS S.A ESP en el campo Floreña en el 2013, supusieron un aumento en la tasa de producción que se dio hasta el 2015. La disminución ocurrida a partir de este año se debió a la anomalía

²¹ UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA, UPME. Cadena del Gas Licuado de Petróleo (GLP), Oliver Díaz Iglesias, 2017. p30.

productiva causada durante ese año en el campo Floreña, en donde ocurrió un incidente que se prolongó hasta diciembre del mismo año. Poco después, la vuelta a la normalidad del campo y el aumento en la producción en Cartagena, significaron un repunte en la oferta total del país para el año 2017, el cual se dio en contraste con el decrecimiento que se ha venido presentando durante los últimos dos años.

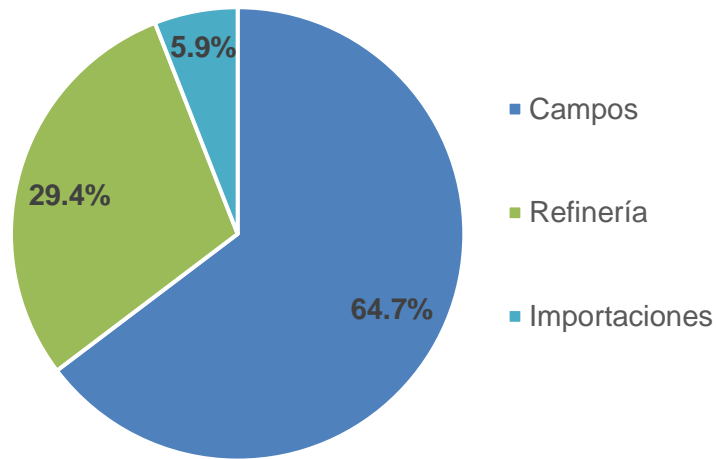
Figura 8. Oferta histórica de GLP en Colombia.



Fuente: UNIDAD DE PLEANCIÓN MINERO ENERGÉTICA. Plan Indicativo De Abastecimiento De Gas Licuado De Petróleo (GLP), Oliver Díaz Iglesias, 2019.

La composición de la oferta nacional ha tenido un cambio significativo en los últimos años; mientras que, en el 2006 la mayor parte del suministro de GLP a nivel nacional se componía principalmente por el de las refinerías con una pequeña participación de las plantas de secado (95% y 5% respectivamente), a finales del 2019, como se ve en la Figura 9, el porcentaje proveniente de refinerías suponía un 29% contra casi un 65% del aportado por los campos y un 6% de importaciones.

Figura 9. Producción porcentual de GLP en Colombia por tipo de fuente a 2019



Fuente: Asociación Colombiana del GLP, GASNOVA. Informe estadístico de Gas Licuado De Petróleo (GLP), 2019.

Hasta comienzos de la década de los 2000, la producción de GLP en Colombia estaba caracterizada completamente por tener una sola fuente de suministro compuesta en un 100% por el aporte proveniente de las refinerías de Barrancabermeja, Cartagena y Apiay. Cuando los campos empezaron a desarrollarse independientemente produciendo gas asociado, el proceso de secado de este, fortaleció la oferta total del país.

Cuando se observan los datos en la Tabla 9, puede notarse que para el 2005, la producción nacional diaria de GLP era de 21.923 BPD que, en contraste con la producción evidenciada en el 2018 de 17,747 BPD, refleja un decrecimiento de aproximadamente un 19%. Esta contracción productiva se debe principalmente a la reducción en el aporte de la refinería de Barrancabermeja que durante este periodo de tiempo exhibió un decrecimiento del 73%.

Tabla 9. Producción histórica de GLP en campos y refinerías de Colombia.

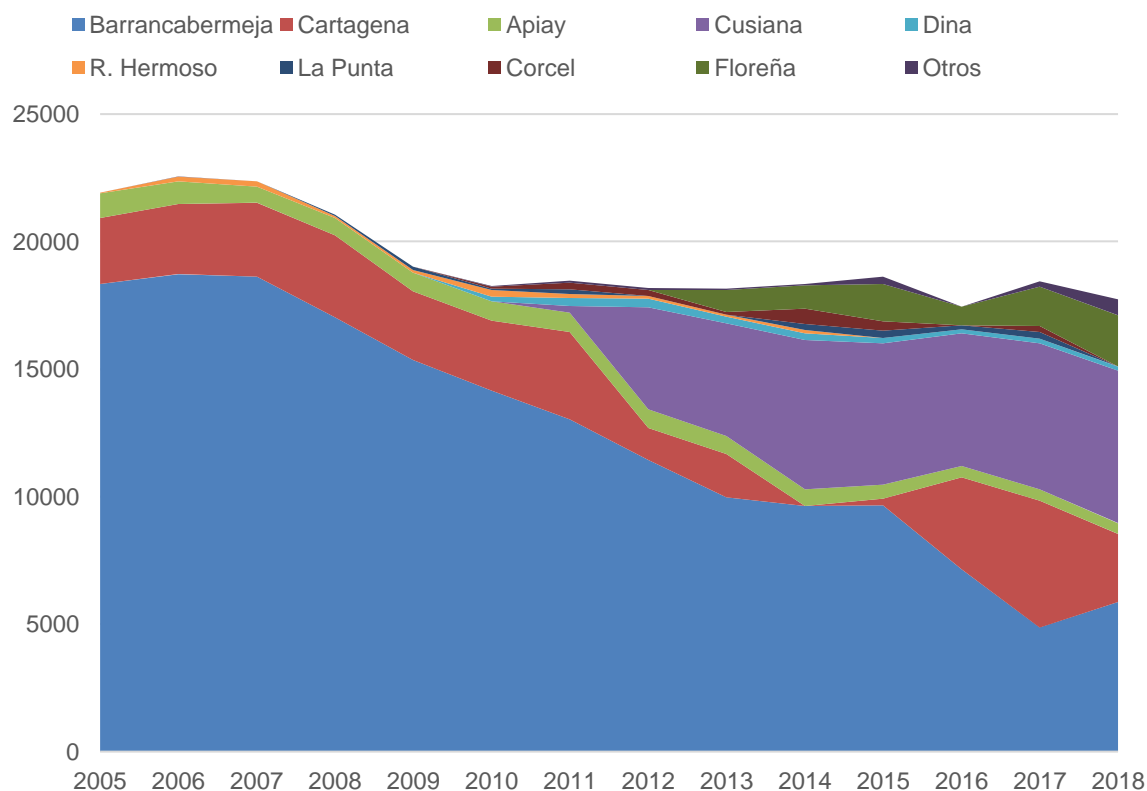
Producción por fuente en BPD											
	BARRANCA	CARTAGENA	APIAY	CUSIANA 1	DINA	RANCHO HERMOSO	LA PUNTA	CORCEL	FLOREÑA	OTROS	Total
2005	18329	2586	969	0	0	39	0	0	0	0	21923
2006	18718	2750	893	0	0	184	0	0	0	12	22558
2007	18623	2898	628	0	0	207	4	0	0	14	22374
2008	17043	3209	667	0	0	91	36	0	0	11	21057
2009	15363	2697	724	0	0	110	116	0	0	5	19015
2010	14154	2734	760	0	190	253	62	81	0	25	18259
2011	13031	3437	755	264	305	161	168	279	0	65	18465
2012	11438	1250	723	4008	340	100	8	245	0	81	18274
2013	9983	1680	705	4420	264	75	18	83	881	106	18215
2014	9628	0	647	5873	257	120	242	593	930	86	18374
2015	9659	266	539	5546	203	0	303	347	1468	288	18710
2016	7140	3624	434	5210	154	0	151	0	734	0	16713
2017	4862	4972	442	5746	176	0	265	221	1540	228	18452
2018	5856	2682	426	5975	163	0	0	0	2009	635	17747

Fuente: UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA, UPME. Plan Indicativo de Abastecimiento de GLP, Oliver Díaz Iglesias. 2019. p5.

Si bien el suministro total se ha visto disminuido en general, en los campos colombianos en particular se ha evidenciado un aumento de este entre el periodo comprendido entre los años 2005 y 2018. Nuevos campos empezaron a incursionar

en la producción de GLP, fortaleciendo en consecuencia, la participación de estos en la oferta nacional del combustible. Durante el 2005 las refinerías de Barrancabermeja y Cartagena aportaban un 95.4 % del total del GLP nacional, lo cual es significativamente mayor al aporte del 2018 de alrededor de un 46%, siendo las plantas de secado de los campos la principal fuente del combustible en la actualidad. En la Figura 10 se presenta la progresión histórica de la producción nacional de GLP en las distintas fuentes.

Figura 10. Producción histórica de GLP por fuente.



Fuente: UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA, UPME. Plan Indicativo de Abastecimiento de GLP, Oliver Díaz Iglesias. 2019. p5.

Uno de los factores que permitieron este cambio en Colombia, fue la entrada operativa en cuanto a producción de GLP del campo Cusiana en el 2011. Este pasó de producir 264 BPD durante esta fecha a 5975 BPD en el 2018, lo cual convirtió al

campo en la principal fuente de abastecimiento de GLP en el país, por encima de la refinería de Cartagena o la refinería de Barrancabermeja. En general, a partir del 2010 con la incursión de los campos Cusiana y Dina en el sector se observó un cambio en cuanto a la tendencia productiva con respecto a años anteriores. En promedio, la producción nacional del combustible se ha mantenido entre 18000 y 20000 BPD durante la última década²².

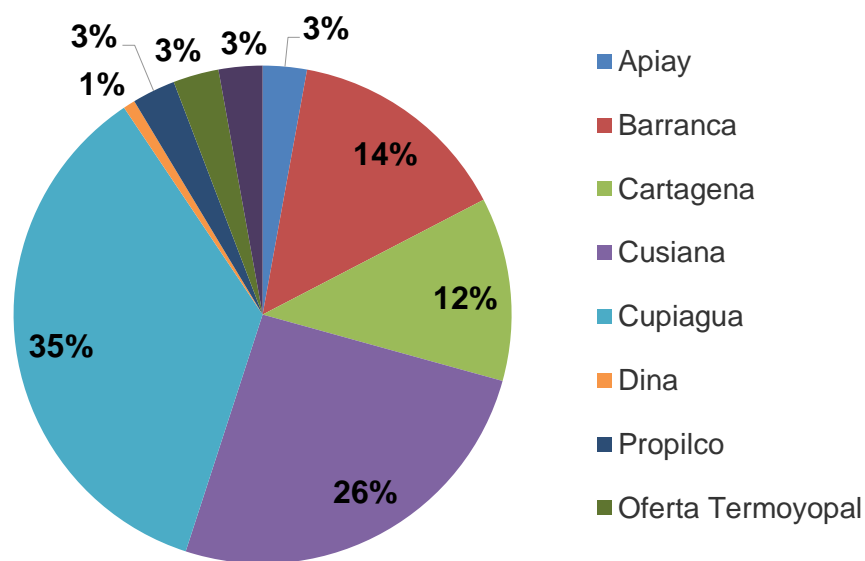
3.1.1. Panorama productivo actual del GLP en Colombia. Para el primer periodo trimestral del 2020, la producción en campos y refinerías colombianas suponía un 100% del suministro nacional. Esto se dio como consecuencia a la entrada operativa del campo Cupiagua a partir de septiembre del 2019. A un mes de su apertura, la planta de producción de GLP de este complejo petrolero ubicado en Casanare contribuía con alrededor de 7000 BPD del combustible; una producción que respondía para entonces a más del 30% del suministro nacional. En la actualidad se producen en promedio 22,000 barriles de GLP al día en Colombia, estos como se puede ver en la Figura 11, son provenientes de siete fuentes principales: las refinerías de Barrancabermeja y Cartagena, los campos Apiay, Cusiana, Cupiagua, Dina y el suministro de la empresa Termoyopal que opera el campo Floreña en Casanare. La producción del campo Cusiana junto con la del campo Cupiagua abarca más del 60% de la oferta nacional, siendo la del último la más significativa en el país con un 35%. Continuando con la tendencia exhibida durante la última década, para principios del año 2020 el aporte de las refinerías comprendía un 25% del total en el país. Los campos menores, representan alrededor del 10% del GLP producido en el país.

A fines de garantizar el abastecimiento de GLP en cuanto a escala nacional se refiere, el Gobierno Nacional ha puesto especial atención a los campos Cusiana y Cupiagua que son los de mayor impacto productivo en el país, disponiendo estas

²² Fuente: UNIDAD DE PLEANCIÓN MINERO ENERGÉTICA. Plan Indicativo De Abastecimiento De Gas Licuado De Petróleo (GLP), Oliver Díaz Iglesias, 2019. p 4-8.

fuentes de suministro en plena capacidad de producción. Si bien, con el aporte de estos dos campos, se garantiza la autosuficiencia del combustible en el contexto actual, se ha asegurado que los puertos de importación ubicados en el sector industrial del Mamonal en Cartagena se encuentren disponibles operativamente para atender la demanda en hasta un 40%, en caso de que se presente un déficit de suministro en el país²³.

Figura 11. Distribución actual de la producción nacional por fuente.



Fuente: Asociación Colombiana del GLP, GASNOVA. Informe estadístico de Gas Licuado De Petróleo (GLP), 2019. p30.

3.2. CALIDAD DEL GLP EN COLOMBIA

La calidad del GLP es un factor que ha estado presente en la comercialización del combustible dado que este establece parámetros como su aplicabilidad a determinados sectores de consumo, el impacto medio ambiental y las medidas

²³ Asociación Colombiana del GLP, GASNOVA. Informe estadístico de Gas Licuado De Petróleo (GLP), 2019. p30.

necesarias a tener en cuenta para su transporte y manejo. En el Sistema Único de Información de Servicios Públicos la información disponible se limita a la calidad declarada por las distintas fuentes de producción desde los puntos de producción. Esto no resulta suficientemente representativo con respecto al GLP que es finalmente utilizado por los consumidores puesto que la calidad sufre considerables cambios a medida que se somete a actividades de transporte, comercialización y distribución que en últimas instancias conllevan a una mezcla de combustible proveniente de diversas fuentes.

Actualmente los requerimientos de calidad que se aplican al GLP colombiano están estandarizados por lo dictaminado en la Norma Técnica Colombiana 2303, la cual se basa en las especificaciones mostradas en la Tabla 10, basadas en la norma internacional ASTM 1835. Entre otras cosas, la norma establece los requisitos de composición del GLP limitando los rangos en cuanto a contenido de componentes como etano, propano, propileno, butano, pentanos, olefinas y azufre.

Tabla 10. Requisitos de composición de GLP según NTC 2303.

COMPONENTES		PROPANO COMERCIAL	BUTANO COMERCIAL	MEZCLAS C3- C4	PROPANO AP.ESPECIALES
Etanos y más livianos	máx,vol%	-	-	-	-
Propano	máx,vol%	-	-	-	-
Propileno	máx,vol%	-	-	-	5
Butanos y más pesados	máx,vol%	2.5	-	-	2.5
Pentanos y más pesados	máx,vol%	-	2	2	-
Olefinas	máx,vol%	-	-	-	-
Diclefinas y acetilenos	máx,vol%	-	-	-	-
Azufre	máx,vol%	185	140	140	123

Fuente: UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA, UPME. Determinación De Potencialidades de Uso de las Acciones Necesarias para Activar Subsector del GLP en Colombia, COSENIT S.A, 2013. p72.

Dado que en Colombia no está implementado el GLP como Autogas, aún no existen especificaciones de calidad en el contexto de este consumo. Cada país posee un

mercado propio de GLP dependiente de la disponibilidad de las corrientes de propano y butano y del origen de este. Por esta razón es frecuente que cada uno defina el tipo de producto que debe usar para fines como combustible vehicular. El Autogas es muy flexible en cuanto a la participación de propano y butano, pero es restrictivo en lo que se refiere al contenido de olefinas y pentanos y componentes más pesados²⁴.

3.2.1. Calidad del GLP en fuentes colombianas. En el país se produce GLP en diversas composiciones químicas dependiendo de su fuente de procedencia, esto significa que la calidad del combustible varía en función del campo o refinería en el cual es producido. A continuación, se analizará la calidad del GLP suministrado por algunas de las distintas fuentes de producción en el país en términos de composición y propiedades como densidad relativa, poder calorífico y presión de vapor. Los datos de calidad del campo Cusiana se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11. Composición histórica del GLP producido en Cusiana.

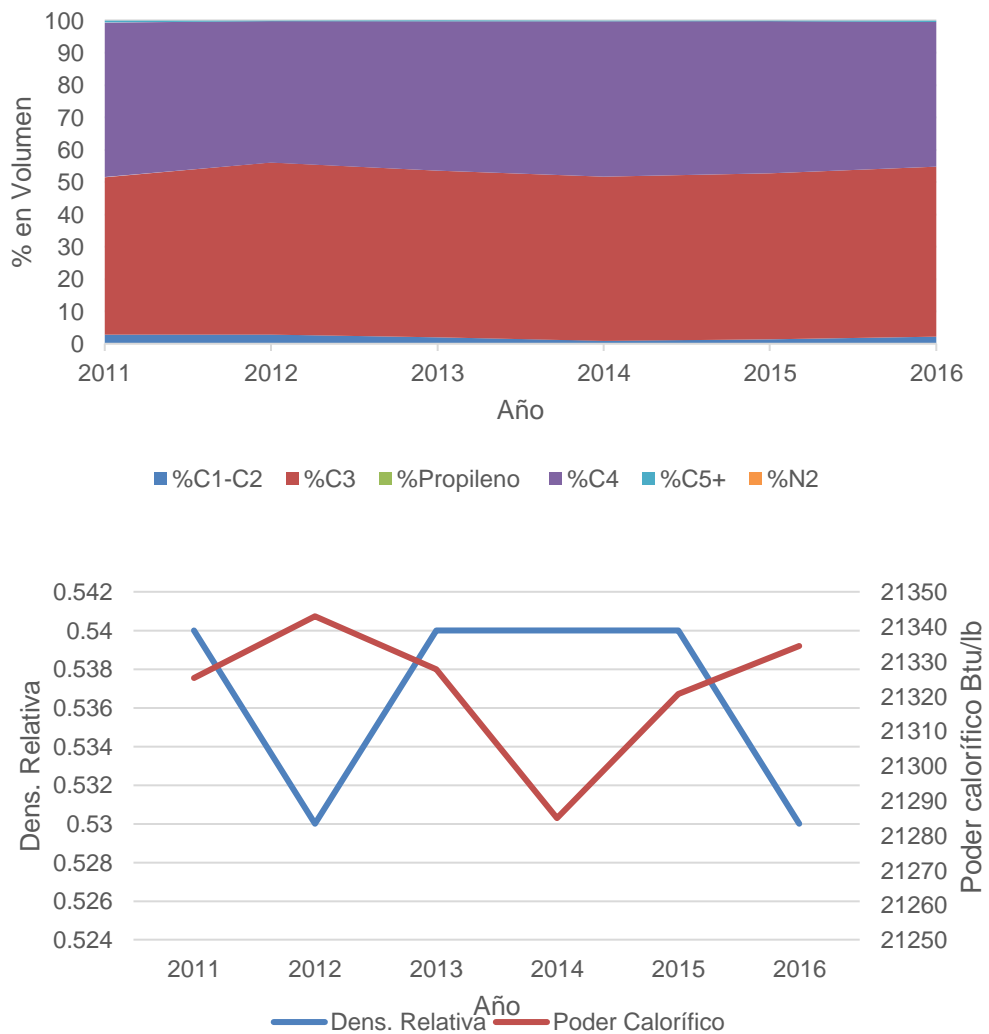
CUSIANA									
AÑO	% C1-C2	%C3	% Propileno	%C4	%C5+	%N2	Dens. Relativa	Poder Calorífico (BTU/lb)	P Vapor (psig)
2011	2.76	48.8	0	47.83	0.61	0	0.54	21325.26	128.8
2012	2.84	53.21	0	43.73	0.22	0	0.53	21342.97	135.7
2013	2	51.45	0	46.24	0.32	0	0.54	21327.75	126.7
2014	0.87	50.85	0	48.02	0.19	0	0.54	21284.94	119.8
2015	1.31	51.41	0	47.06	0.21	0	0.54	21320.58	121.5
2016	2.24	52.53	0	44.82	0.41	0	0.53	21334.41	129.7

Fuente: Sistema Único de Información de Servicios Públicos Domiciliarios, SUI.

²⁴ Fuente: UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA, UPME. Determinación De Potencialidades de Uso de las Acciones Necesarias para Activar Subsector del GLP en Colombia, COSENIT S.A, 2013. p88.

El complejo del campo Cusiana se encuentra en el yacimiento homónimo de petróleo volátil en el departamento de Casanare y es operado por Ecopetrol. Como se evidencia en la Figura 12, en los últimos años, se ha caracterizado por tener una producción de propano significativa de alrededor de un 50% de la composición volumétrica. Aproximadamente la mitad restante del volumen del hidrocarburo se compone de butano con un promedio histórico de alrededor de un 47%. Posee una cantidad mínima de compuestos pesados C5+.

Figura 12. Calidad histórica del GLP producido en campo Cusiana



Fuente: Sistema Único de Información de Servicios Públicos Domiciliarios, SUI.

El GLP de Cusiana proviene de plantas de tratamiento de gas se considera de buena calidad. En términos generales su composición se ha mantenido consistente a través de los años con ligeras trazas de etano que se mantienen controladas permanentemente. La presencia de hidrocarburo C2 junto con el aumento espontáneo en la cantidad de contenido de propano exhiben una reducción en la gravedad específica de este GLP especialmente evidente en los años 2012 y 2016. Al mismo tiempo en un sentido inverso, esta caída en cuanto al peso del combustible genera un aumento en los valores de poder calorífico. Su alto contenido de propano convierte al GLP del campo Cusiana en un buen candidato para ser utilizado como autogas.

Tabla 12. Composición histórica del GLP producido en Apiay.

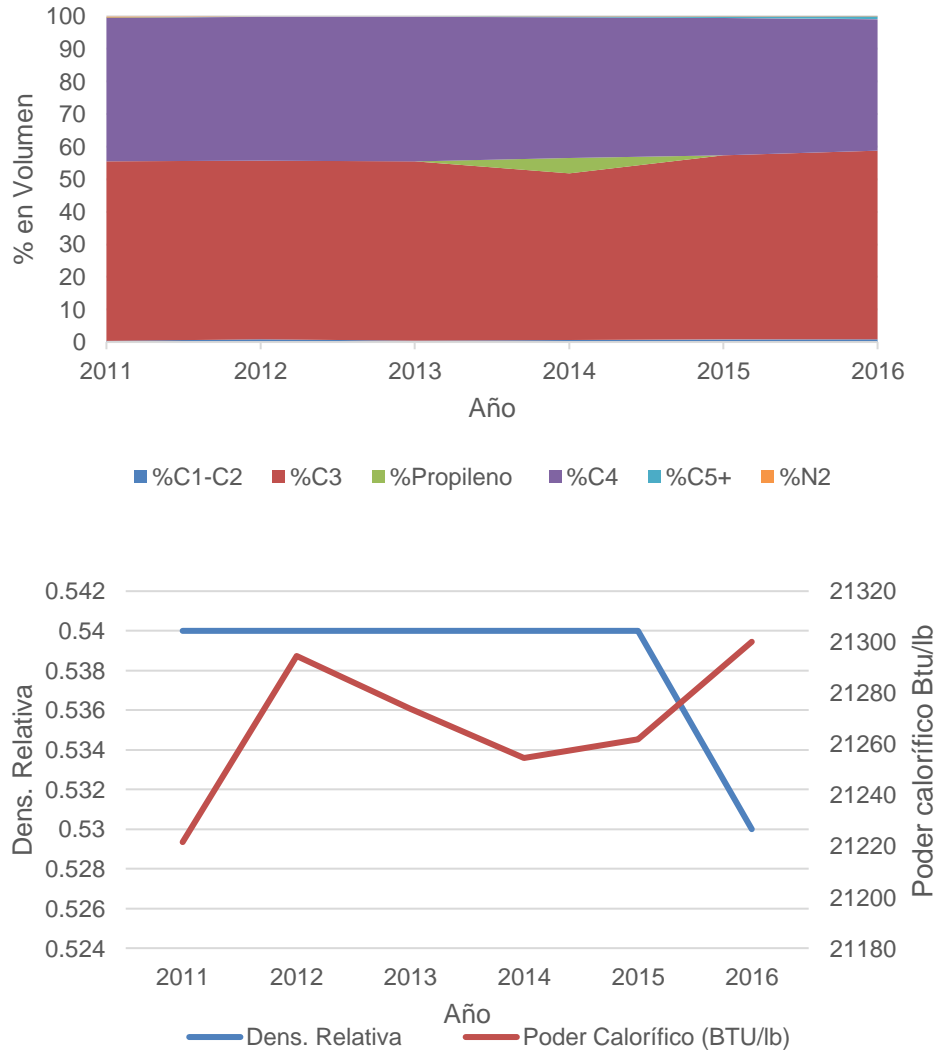
APIAY									
AÑO	% C1-C2	%C3	% Propileno	%C4	%C5+	%N2	Dens. Relativa	Poder Calorífico (BTU/lb)	P Vapor (psig)
2011	0.36	55.12	0	44.03	0.1	0.38	0.54	21221.59	121.3
2012	0.73	54.89	0	44.24	0.09	0.04	0.54	21294.52	126.0
2013	0.37	55.08	0	44.41	0.08	0.05	0.54	21273.93	126.6
2014	0.65	51.13	4.68	43.25	0.13	0.16	0.54	21254.61	127.3
2015	0.77	56.57	0	42.17	0.44	0.05	0.54	21261.80	135.6
2016	0.73	58.04	0	40.41	0.78	0.04	0.53	21300.15	128.8

Fuente: Sistema Único de Información de Servicios Públicos Domiciliarios, SUI.

El GLP de Apiay es de igual manera proveniente del tratamiento del gas producido de yacimiento a través de plantas de secado. A partir de los datos de calidad de la Tabla 12, se observa que el fluido de Apiay es de muy buena calidad por tener contenidos de propano y butano consistentes que se mantienen en un rango de 50-58% y 40-44% respectivamente. Esporádicamente presenta producciones moderadas de etano que son controladas en la planta. Adicionalmente, contiene

ligeras trazas de nitrógeno. La Figura 13 muestra el comportamiento de calidad histórico para el campo Apiay.

Figura 13. Calidad histórica del GLP producido en campo Apiay.



Fuente: Sistema Único de Información de Servicios Públicos Domiciliarios, SUI.

Apiay es uno de los campos operados por Ecopetrol en el país y se encuentra localizado en el departamento del Meta. En términos generales su calidad tiene un comportamiento estable a lo largo del tiempo, resultado de mantener valores composición de hidrocarburos C3 y C4 poco variables. Los valores más bajos de

poder calorífico se producen al reducir el contenido de etano en su volumen.

Tabla 13. Composición histórica del GLP producido en Toqui-Toqui.

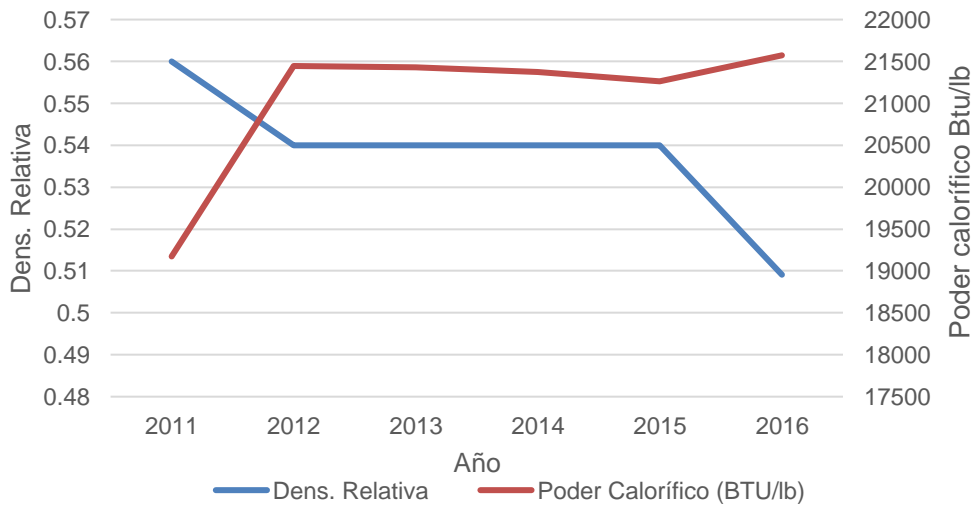
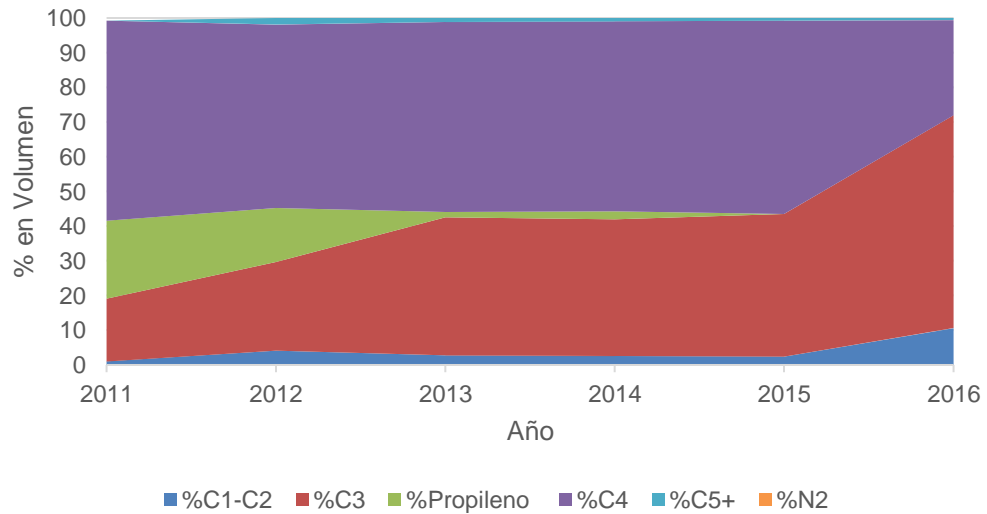
TOQUI - TOQUI									
AÑO	% C1-C2	%C3	% Propileno	%C4	%C5+	%N2	Dens. Relativa	Poder Calorífico (BTU/lb)	P Vapor (psig)
2011	0.99	18.11	22.47	57.6	0.82	0	0.56	19173.02	97.0
2012	4.19	25.54	15.58	52.81	1.86	0	0.54	21443.33	138.6
2013	2.75	39.82	1.45	54.76	1.22	0	0.54	21428.18	132.7
2014	2.54	39.45	2.28	54.82	0.91	0	0.54	21374.8	113.7
2015	2.4	41.17	0	55.71	0.72	0	0.54	21264.4	111.8
2016	10.59	61.4	0	27.37	0.64	0	0.5091	21573.28	135.0

Fuente: Sistema Único de Información de Servicios Públicos Domiciliarios, SUI.

En la Tabla 13 se observa que, a gran escala, el campo Toqui – Toqui tiene la particularidad de tener una producción de GLP con una mayor tendencia a contener componentes más pesados comparado con los campos Cusiana y Apiay. En este campo la producción porcentual de propano es menor que la de butano, lo cual, sumado al hecho de tener una mayor proporción de componentes C5+, ocasiona que el combustible sea más pesado.

Toqui – Toqui no tiene contenido de trazas de N2. A lo largo de los últimos años redujo su producción de propileno hasta alcanzar un valor de 0 a partir del 2015. Su densidad relativa se ve reducida en la medida que aumentaba el contenido de componentes más ligeros en su composición a través de los años, lo cual se hizo notablemente evidente en el 2016 cuando el propano reemplazó al butano como el principal componente. Como se aprecia en la Figura 14, se denota una buena estabilidad en cuanto a poder calorífico se refiere y este exhibe magnitudes más pequeñas en proporción directa al contenido de componentes ligeros.

Figura 14. Calidad histórica del GLP producido en campo Toqui-Toqui.



Fuente: Sistema Único de Información de Servicios Públicos Domiciliarios, SUI.

Alrededor del 25% del GLP producido en el país proviene de procesos de rompimiento catalítico y posterior alquilación de olefinas que se llevan a cabo en las refinerías de Barrancabermeja y Cartagena. A continuación se presenta la composición y calidad del GLP producido en ambas refinerías en los años previos al 2016. La Tabla 14 contiene los datos de calidad históricos de la refinería de Barrancabermeja.

Tabla 14. Composición histórica del GLP producido en Barrancabermeja.

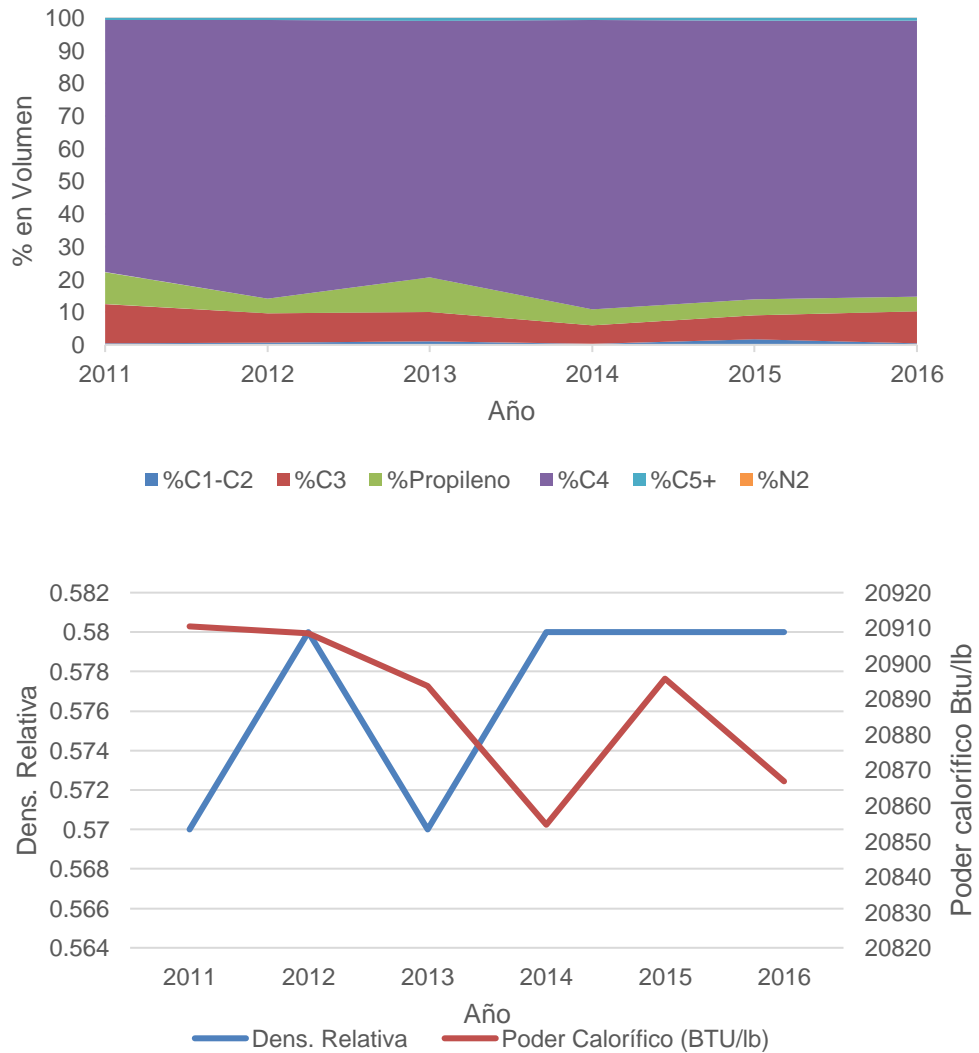
BARRANCABERMEJA									
AÑO	% C1-C2	%C3	% Propileno	%C4	%C5+	%N2	Dens. Relativa	Poder Calorífico (BTU/lb)	P Vapor (psig)
2011	0.51	11.93	9.77	77.2	0.6	0	0.57	20910.5	80.1
2012	0.69	8.87	4.64	85.19	0.61	0	0.58	20908.62	69.2
2013	1.08	9	10.61	78.43	0.88	0	0.57	20893.7	82.5
2014	0.31	5.65	4.89	88.54	0.61	0	0.58	20854.65	62.4
2015	1.72	7.39	4.75	85.35	0.79	0	0.58	20895.85	74.3
2016	0.44	9.81	4.41	84.61	0.73	0	0.58	20866.9	67.0

Fuente: Sistema Único de Información de Servicios Públicos Domiciliarios, SUI.

Debido a su origen por ruptura catalítica, el GLP producido en Barrancabermeja se caracteriza por tener un mayor contenido de olefinas. En periodos esporádicos de tiempo se muestra una reducción progresiva de contenido de propano y propileno, lo cual se debe principalmente a la entrega de estos productos a Propilco. La principal característica del GLP proveniente de esta refinería es que está compuesto en su mayor parte por butano, con un porcentaje volumétrico promedio de más de un 80% (ver Figura 15). No presenta producción de N2 y su contenido de etano es poco significativo.

El poder calorífico y la presión de vapor del GLP suministrado en Barrancabermeja muestran valores considerablemente menores a los percibidos en el combustible producido por medio de las plantas de secado en los campos previamente expuestos. Esto sucede como resultado de la predominancia del butano sobre componentes más livianos como el propano, el cual generalmente compone menos del 10% de la corriente de GLP, situación que también se ve reflejada en un incremento en la magnitud de la densidad relativa del energético proveniente de esta fuente.

Figura 15. Calidad histórica del GLP producido en refinería de Barrancabermeja



Fuente: Sistema Único de Información de Servicios Públicos Domiciliarios, SUI.

EL GLP proveniente de la refinería de Barrancabermeja no se consideraría ideal para ser utilizado como combustible vehicular dado al alto contenido de olefinas que entrega y su reducido poder calorífico. Por otra parte, el combustible presenta una gran dificultad de vaporización en altos pisos térmicos, condición que se necesitaría revertir mediante la adición de productos con mayor contenido de propano, lo cual significaría costos adicionales.

La información contenida en la Tabla 15, exhibe que el GLP producido en Cartagena también presenta contenido significativo de olefinas, aunque en una proporción menor que el de Barranca. Respecto a la composición del gas licuado del petróleo producido en esta refinería, se percibe que ha mantenido una composición relativamente estable en cuanto al contenido de propano y menor cantidad de butanos a lo que se le atribuye una mejor combustión (ver Figura16). El año 2015 muestra una condición particular de operación para la refinería de Cartagena dado que el contenido de olefinas apenas alcanzó a ser 3%, cerca del 50% inferior a los años anteriores producto del mejoramiento y modernización de los procesos de refinación en la planta²⁵.

Tabla 16. Composición histórica del GLP producido en Cartagena.

CARTAGENA									
AÑO	% C1-C2	%C3	% Propileno	%C4	%C5+	%N2	Dens. Relativa	Poder Calorífico (BTU/lb)	P Vapor (psig)
2011	0.04	36.83	1.18	61.4	0.54	0	0.55	21209.27	98.3
2012	0	52.32	1.04	46.54	0.1	0	0.54	21281.76	117.4
2013	0	49.5	1.13	49.17	0.2	0	0.54	21258.3	113.5
2014	0.02	93.91	2.65	3.39	0.04	0	0.51	21458.51	170.6
2015	0.14	52.8	6.7	40.22	0.14	0	0.54	21202.61	126.4
2016	0.04	36.83	1.18	61.4	0.54	0	0.55	21209.27	98.3

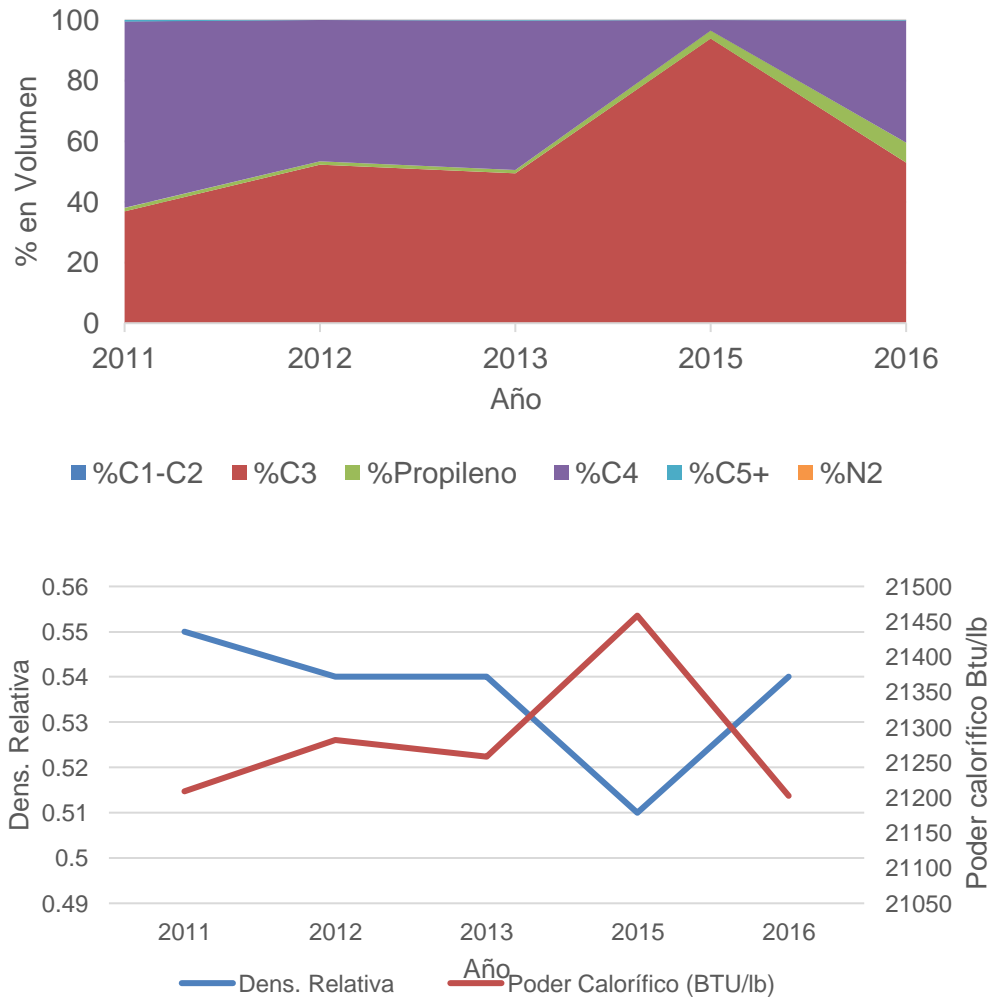
Fuente: Sistema Único de Información de Servicios Públicos Domiciliarios, SUI.

El GLP de Cartagena se caracteriza por ser más ligero que el de Barrancabermeja dado al aumento significativo en el porcentaje de propano, aspecto que a su vez garantiza un combustible de mayor poder calorífico. Por otra parte, se puede observar una gran variabilidad del energético a lo largo de los años reflejada en un

²⁵ UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA, UPME. Cadena del Gas Licuado de Petróleo (GLP), Oliver Díaz Iglesias, 2017. p30.

cambio continuo en la composición y consecuentemente en la calidad del producto. Esta inestabilidad en adición al hecho de ser un combustible altamente volátil, hacen que el GLP de Cartagena no sea un buen candidato para autogas²⁶.

Figura 16. Calidad histórica del GLP producido en la refinería de Cartagena



Fuente: Sistema Único de Información de Servicios Públicos Domiciliarios, SUI.

3.2.2. Calidad del GLP vehicular en Colombia. Como se mencionó previamente, a nivel nacional no existe un estándar consolidado que especifique los parámetros

²⁶ Sistema Único de Información de Servicios Públicos Domiciliarios, SUI.

de calidad necesarios para implementar el GLP como combustible vehicular. En países donde ya se utiliza GLP como autogas, las normas de calidad se ajustan a requerimientos que corresponden principalmente a factores climáticos y medio ambientales y las características del GLP que se encuentra disponible.

Tabla 16. Composición (%Vol.) del GLP vehicular en Europa.

PAÍS	PROPANO	BUTANO
Austria	50	50
Bélgica	50	50
Dinamarca	50	50
Francia	35	65
Grecia	20	80
Irlanda	100	0
Italia	25	75
Holanda	50	50
España	30	70
Suecia	95	5
Reino Unido	100	0
Alemania	90	10

Fuente: UPME. Determinación De Potencialidades de Uso de las Acciones Necesarias para Activar Subsector del GLP en Colombia, COSENIT S.A, 2013. p88.

En este orden de ideas, como se aprecia en la Tabla 16, es posible decir que la calidad del GLP como autogas varía en gran medida entre los distintos países donde es implementado. En Colombia se podría entonces adoptar un marco de calidad basado en la composición de los campos. Una vez determinado un estándar, sobresale como un aspecto de suma importancia el ajustarse a este, manteniendo los valores de composición estables y sin variaciones en el producto dado que estas pueden ser perjudiciales para el buen funcionamiento de los motores en los vehículos. A principios del año 2019 en contexto con la calidad del GLP como combustible vehicular, en el marco del proyecto de ley 213, se presentó la propuesta de resolución por parte del Ministerio de Minas y Energía por medio de la cual se busca establecer los parámetros de calidad del GLP, para su consumo como

autogas y nautigas y demás usos alternativos. Los parámetros planteados por el código se pueden ver en la Tabla 17.

Tabla 17. Propuesta de parámetros de Calidad del GLP para uso vehicular.

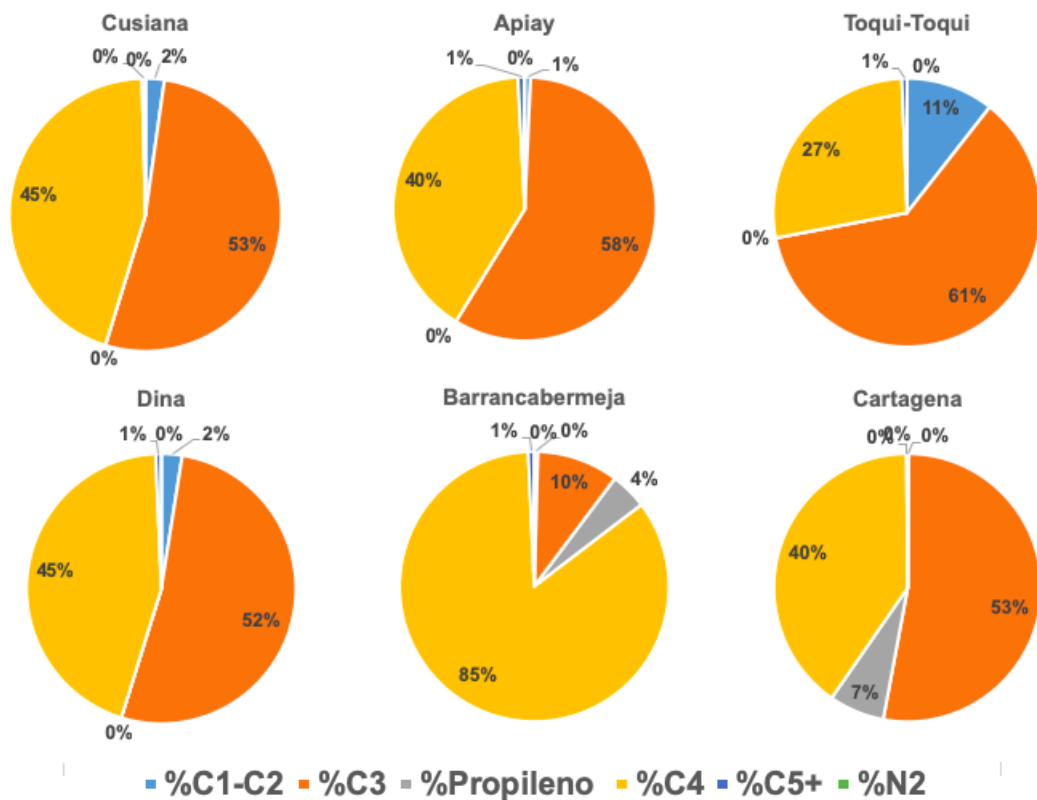
Parámetro			Calidad para uso vehicular	Métodos de Ensayo	
Presión de vapor a 37.8°C (100°F)	Máx	kPa	1434	NTC 2562 NTC 2598	ASTM D2598 ASTM D6897
		Psi	208		
Residuo Volátil: temperatura de evaporación del 95%	Máx	°C	2.0	NTC 2563	ASTM D1837
		°F	35.6		
C4+	Máx	%Vol	No aplica	NTC 2518	
C5+	Máx	%Vol	1.5		
Propileno	Máx	%Vol	5.0		
Butenos	Máx	%Vol	2		
Dienos	Máx	%Vol	0.5		
Material Residual	Máx	MI	0.05	NTC 2517	ASTM D2158
Observación mancha de gas licuado	Pasa				
Densidad relativa a 15.6°C/16.6°C (60°F)	Reportar				ASTM 2598
Corrosión lámina de cobre	No. 1			NTC 2515	
Azufre	Máx	Ppmw	50	NTC 5445	ASTM 2598
Sulfuro de hidrógeno	Pasa			NTC 5470	
Contenido de humedad	Pasa			NTC 5469	
Contenido de agua libre	Ninguno				Visual
MON	Min		90.5		EN 589 B
Olor	20% de límite inferior de inflamabilidad en el aire				ASTM 5305

Fuente: MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Proyecto de Ley por el cual se establecen parámetros de calidad del GLP para uso vehicular, 2019. p4.

La norma se basa en estándares de calidad y métodos de ensayo establecidos por la Norma Técnica Colombiana y la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales. Se consideran factores como composición, presión de vapor, densidad y contenido de componentes como agua y azufre, entre otros. Cabe destacar que el contenido de propano y butano no se encuentra especificado dentro de la norma de calidad. Existe entonces, un amplio margen en cuanto a la proporción en la cual el propano y butano componen el GLP, y este se puede determinar en función de factores locales y de la composición del fluido proveniente de las distintas fuentes de suministro disponibles en el país. En la Figura 17 la composición del GLP por cada fuente de producción para el año 2016.

Los parámetros de calidad conllevan ciertas implicaciones que corresponden a requerimientos de seguridad, rendimiento del motor y medio ambientales aplicables en el territorio colombiano que afectarían la implementación vehicular del GLP. La presión de vapor por ejemplo, se encuentra relacionada con las condiciones de cambio climático, debido a la necesidad de encontrar una relación de C3:C4 apropiada para vehículos. La normatividad colombiana presenta un máximo de 1430 kPa a aproximadamente 38°C mientras que la normatividad europea presenta una presión mínima de vapor de 150 kPa a distintas temperaturas bajas. Si bien existen diferencias entre la normativa europea y americana (similar a la colombiana), ambas adoptan un control en el contenido de C4, restringiendo sistemáticamente la presión de vapor en contenedores. La norma americana establece una composición máxima de 5% en volumen mientras que la europea adjudica una composición de butanos entre 20 y 100%.

Figura 17. Composición del GLP por fuente de producción colombiana en 2016



Fuente: Sistema único de información SUI. Boletín Balance de GLP, 2016.

En términos de impacto en el rendimiento del motor, el límite de presión de vapor es especificado para controlar la capacidad de arranque y variación de la presión; la cual en ciertos casos puede conducir a problemas para el suministro del combustible durante el cambio de combustibles con altas presiones de vapor con respecto a uno de baja presión. En regiones calientes del país por ejemplo, si se tiene una mezcla de GLP en un contenedor a 50°C y se desea realizar un llenado con combustible de menor presión de vapor a una temperatura de 30°C, sería necesario desarrollar un exceso de presión para poder dispensar la mezcla de GLP. Esta situación podría conllevar a operaciones de suministro energéticamente

costosas para el proveedor y que resultan poco rentables a la larga²⁷. En este sentido la composición del GLP juega un papel muy importante, dado que está relacionada con la presión de vapor. De lo anterior, varios proveedores del combustible concluyen que una relación C3:C4 de 50:50 en peso contribuye a un buen índice de emisiones, puesto que la reducción de CO₂ es un 16% menor a otras mezclas y presión de vapor más favorable comparado con combustibles convencionales e incluso podría garantizar un mejor aprovechamiento económico dado que equilibraría la proporción de los hidrocarburos y el agotamiento de uno de los componentes con respecto al otro no se daría de forma tan drástica en el mercado²⁸.

En cuanto a demás componentes se refiere, el control de los límites residuales es importante dado que estos pueden ocasionar problemas serios en los reguladores y vaporizadores del kit de conversión de GLP, pudiendo ocasionar apagado del vehículo y en casos extremos pequeños incendios en los materiales. La evaporación de estos residuos no influye en las emisiones y la norma colombiana contempla límites en la evaporación de 100 ml de combustible permitiendo que se obtengan 0.05 ml o menos de residuo. Por otra parte, la norma contempla la composición total de dienos como la normativa europea EN 589:2000. De igual manera la norma colombiana se ajusta perfectamente a la problemática de los residuos volátiles con un límite de 2.0% molar máximo. Este aspecto es importante de controlar dado que controla la cantidad de hidrocarburos hacia los inyectores y por ende, la capacidad de arranque de los vehículos en condiciones frías.

El código colombiano de igual manera se ajusta a las especificaciones europeas de la norma EN 589 en lo que se refiere a contenido de azufre y de agua. En el caso del primero, el límite es interpuesto para minimizar las emisiones y la corrosión de

²⁷ SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS, SAE INTERNATIONAL. Butane/propane mixtures as fleet fuels. En: SAE Technical Paper, 1999. p8.

²⁸ AUSTRALIAN LIQUEFIED PETROLEUM GAS ASSOCIATION, ALPGA. Wide Fuel Range Trial – A report on the impact of autogas composition on emissions and other performance of vehicles manufactured in Australia, 2000. p7.

gases en el tubo de escape y de acuerdo al parámetro europeo el máximo permisible es de 50 ppm en peso. En cuanto al agua, la normativa colombiana al igual que la europea de acuerdo a la EN 589, especifica un GLP libre de contenido de agua bajo inspección visual a 0°C. El propósito de controlar la cantidad de agua es para asegurar que los reguladores o equipos similares operen sin problemas de congelamiento por agua.

Se ha encontrado que un 5% en volumen de propileno máximo en el GLP puede llevar a un aumento entre 2 y 3 puntos en el índice de octanaje y cuando el combustible tiene un alto contenido de olefinas de más del 30% en volumen se consigue un rendimiento ligeramente menor que en el caso de la gasolina. No obstante, las olefinas deben ser limitadas para evitar complicaciones de funcionamiento y emisiones ambientales vehiculares. El mínimo valor de MON establecido en la norma colombiana se hace de 90.5 permitiendo una buena flexibilidad en el contenido de hidrocarburos sin repercutir en el rendimiento y bienestar del motor, calculando el octanaje de la mezcla con una correlación que propone la norma EN 589²⁹.

²⁹ TRUJILLO, Erick. Estudio de factibilidad técnica y financiera del uso del GLP como combustible para el sector de transporte, UIS, 2017. p70.

4. EVALUACIÓN DE OFERTA Y DEMANDA DEL GLP EN COLOMBIA

En Colombia, el consumo de GLP históricamente se ha visto limitado por la oferta del combustible. Por otra parte, la incursión en producción de GLP por parte de algunos campos, la reducción en el consumo derivada del mayor uso de gas natural domiciliario en las principales ciudades del país y el desplazamiento de éste combustible a poblaciones lejanas han generado una transformación total del sector³⁰.

En la última década los cambios en la demanda de GLP han sido notorios. En términos generales el consumo a nivel nacional ha exhibido un crecimiento prolongado destinado principalmente al sector residencial, satisfaciendo las necesidades básicas de alrededor de 4.3 millones de hogares colombianos en el año 2019. Actualmente en el marco de la búsqueda del desarrollo sostenible, parte de los objetivos que se quieren conseguir incluyen extender la utilización de GLP a futuro en país. Se busca abrir cabida en sectores como el residencial; permitiendo la implementación del combustible en zonas rurales con el fin de reemplazar la leña que es empleada en millones de hogares colombianos y la entrada en operación del autogas y nautigas. Con lo cual se esperaría una extensión y apertura en los mercados de consumo del GLP a mediano plazo en Colombia.

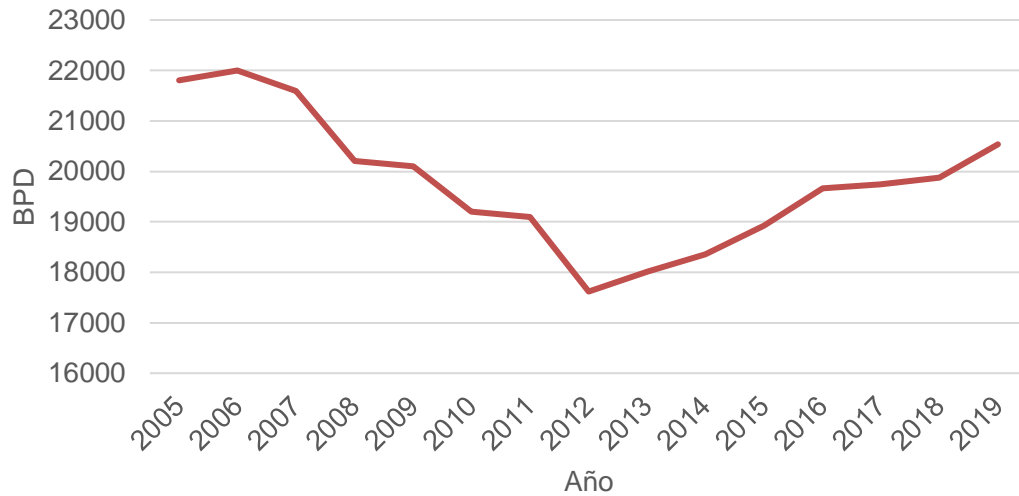
4.1. DEMANDA NACIONAL DE GLP

Como se puede observar en la Figura 18, desde el año 2006 hasta mediados del 2013 el consumo de gas licuado del petróleo disminuyó pasando de alrededor de 22,000 BPD hasta 17,500 BPD respectivamente, presentándose un repunte después del 2013 consistente hasta el 2019 donde se alcanzó un máximo en diez años de 20,500 BPD consumidos. Este repunte se dio como consecuencia al

³⁰ UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA, UPME. Cadena del Gas Licuado de Petróleo (GLP), 2017. P37.

aumento en las ventas a granel provenientes de distribuidores a través de tanques estacionarios y puntos de venta a partir del 2014.

Figura 18. Consumo Histórico de GLP en Colombia



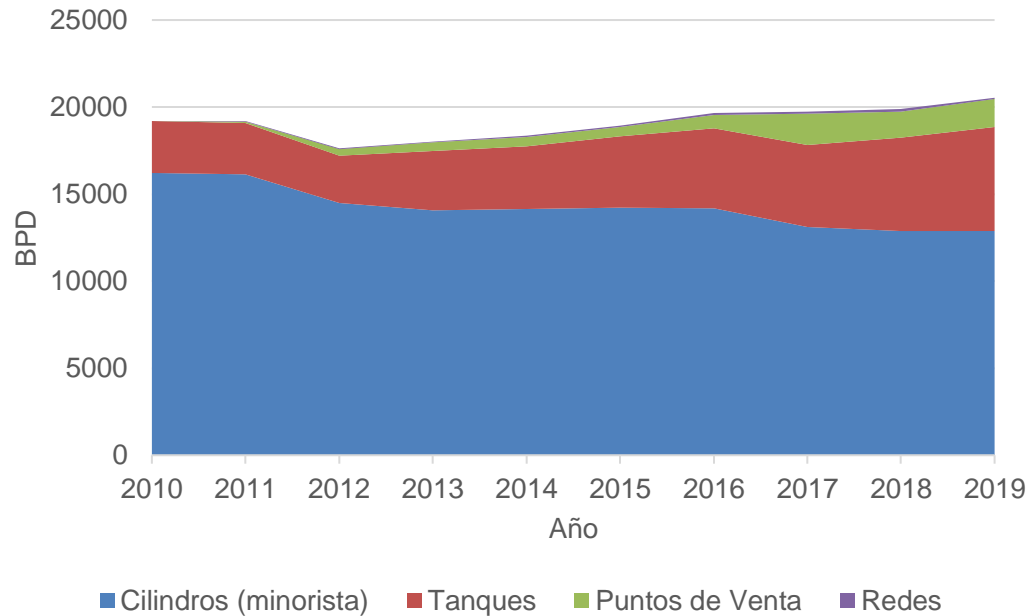
Fuente: UNIDAD DE PLEANCION MINERO ENERGÉTICA. Plan Indicativo De Abastecimiento De Gas Licuado De Petróleo (GLP), Oliver Díaz Iglesias, 2019.

A nivel nacional, la demanda de GLP se puede cuantificar a través de cuatro submercados: la venta de cilindros principalmente en el sector residencial por parte de minoristas, la venta a través de tanques estacionarios que se realizan en todos los sectores (residencial, comercial, industrial), la venta de cilindros en los denominados puntos de venta los cuales son propiedad de los distribuidores desde el año 2011, realizada a través de establecimientos comerciales y abarcando la mayor parte del mercado, y por último en la venta a través de redes de GLP³¹. El comportamiento de la demanda distribuido en cada uno de estos submercados se puede observar en la Figura 19. La entrega del producto al usuario final se realiza a través de cilindros y/o tanques estacionarios, en el sector residencial normalmente

³¹ UNIDAD DE PLANEACION MINERO ENERGÉTICA, UPME. Plan de Abastecimiento de GLP, Oliver Díaz Iglesias. 2019. p14.

el GLP se consume en forma de cilindro, siendo los sectores comercial e industrial los de mayor utilización de los tanques estacionarios.

Figura 19. Demanda histórica de GLP por fuentes en Colombia



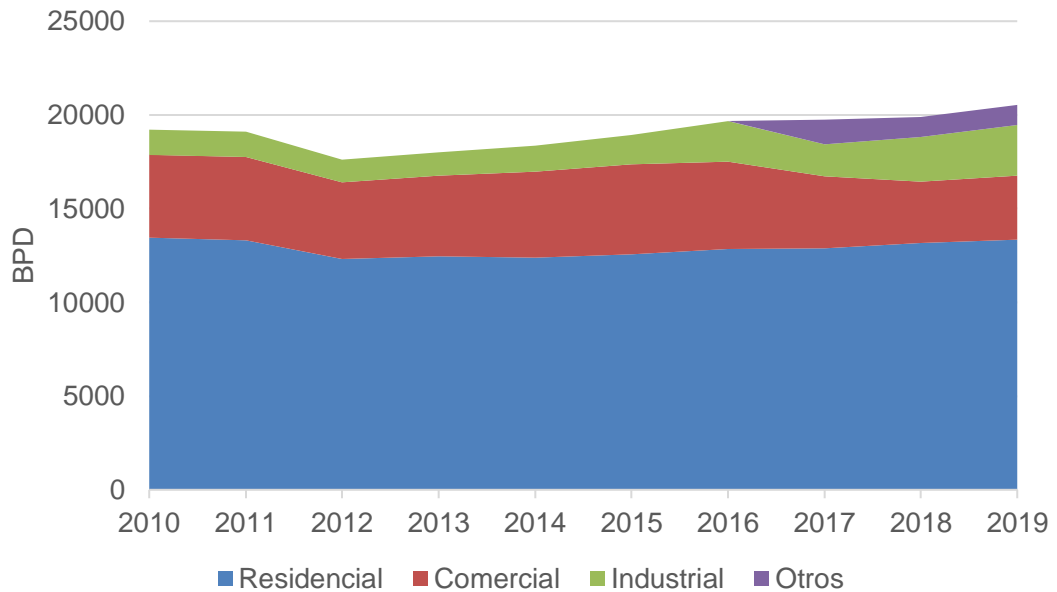
Fuente: Sistema Único de Información de Servicios Públicos Domiciliarios, SUI.

El consumo de gas licuado del petróleo en Colombia, se divide por departamentos en tres zonas principales: rural, urbana e industrial. A rasgos generales la zona urbana es la de mayor peso en el consumo nacional con un 78% del total, siendo los departamentos de Antioquia y Valle del Cauca los principales consumidores. La zona industrial representa el 17% del consumo total, con los departamentos de Santander y Cundinamarca encabezando. Por último, la demanda rural de GLP de un 5% se concentra en Cundinamarca y Nariño, con el caso de Amazonas donde el 100% del consumo de GLP es rural.

Como es posible evidenciar en la Figura 20, tradicionalmente, el sector residencial ha venido siendo el principal consumidor de GLP en Colombia representando al día de hoy alrededor del 65% del consumo, en actividades como la cocción y la

calefacción. Otros sectores como el comercial y el industrial, los cuales representan el 18% y el 12% del consumo respectivamente se encuentran al alza en la demanda. Dentro del sector industrial El GLP es principalmente empleado en procesos de coquización y refinerías, otros usos como producción de alimentos y en maderas representan un porcentaje importante. Actualmente se hacen esfuerzos por parte del gobierno y los gremios de gas para la implementación de Autogas en el país como medida para aumentar el uso de GLP y sacar provecho de sus características como combustible³².

Figura 20. Demanda histórica de GLP por usos en Colombia



Fuente: Sistema Único de Información de Servicios Públicos Domiciliarios, SUI.

El 2019 cerró con un crecimiento del 2.26 por ciento en el consumo de gas licuado del petróleo en Colombia, lo cual representa el doble del crecimiento del año anterior. Las ventas al mes de octubre de dicho año fueron de 20310 BPD promedio, mientras que al mismo mes de 2018 el consumo fue de 19860 BPD promedio. El

³² GUIA DEL GAS, La Actualidad de la Transición Energética. Colombia Repuntó el Consumo de GLP en el 2019, 2019. Tomado de: <https://bit.ly/3e4MWUU>

aumento en las ventas del combustible se dio como resultado a la mayor oferta nacional por la entrada en operación de la planta de Cupiagua, por parte de Ecopetrol y a los bajos precios durante el segundo semestre de 2019.

En concordancia con el compromiso adquirido en el país con los Objetivos del Desarrollo Sostenible y con la meta de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero para el 2030, el GLP resulta como un aliado ya que contribuye a la reducción de las emisiones de contaminantes, además de su versatilidad, portabilidad y asequibilidad. El 80% de la energía que se consume industrialmente en el país proviene de combustibles fósiles y solo un 17% del consumo energético es eléctrico. Es posible afirmar entonces que tanto en generación eléctrica como en la industria hay nichos de mercado importantes para el GLP.

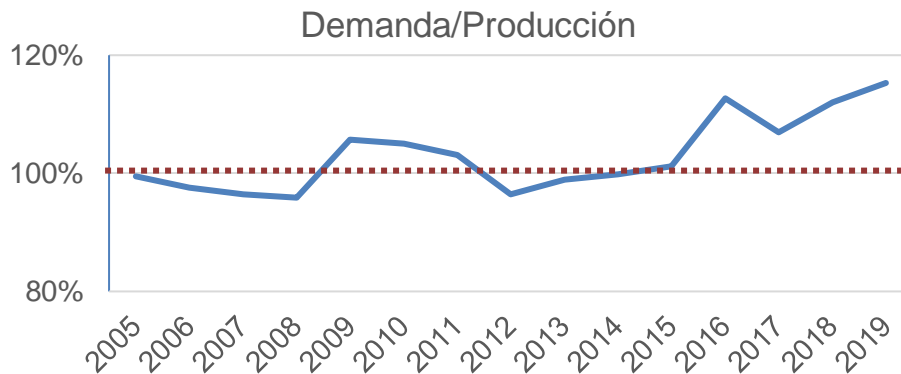
Más de 1.5 millones de hogares en Colombia usan leña o carbón vegetal que son de muy poca eficiencia energética para la cocción de sus alimentos. Mientras que su utilización contribuye en gran medida con la deforestación. Por otra parte, el Autogas se ha venido consolidando como otro mercado prometedor para el GLP en el panorama energético en años recientes a través de la iniciativa por parte del Gobierno Nacional de establecer un marco normativo para implementar el GLP en vehículos automotores. Es por esto que en materia energética, se ha convertido en una prioridad en el contexto actual el extender la utilización de gas licuado de petróleo a nuevos sectores de consumo en el territorio nacional y de igual manera, garantizar que la oferta del combustible se consolide y sea ampliada en función de las necesidades actuales y que se puedan presentar a futuro³³.

³³ ASOCIACIÓN COLOMBIANA DEL GLP, GASNOVA. Informe del sector GLP, Patricia Pinzón Ardila, 2019. p29.

4.2. ANÁLISIS DE OFERTA Y DEMANDA DE GLP

4.2.1. Relación histórica de oferta y demanda. Como se evidencia en la Figura 21, a partir del 2005 destacan principalmente dos periodos entre los cuales no hubo déficit en comparación con la producción de GLP y la demanda consiguió ser un 5% menor a la producción nacional. El primero hasta el 2008 cuando la producción en refinerías, la cual suponía más del 90% de la oferta nacional hasta entonces, sufrió una reducción drástica irrumpiendo con el comportamiento estable que había exhibido hasta entonces y el segundo que se prolongó por los tres años siguientes al 2012, año en el cual entró en operación la planta de secado del campo Cusiana con más de 4000 BPD de GLP³⁴.

Figura 21. Relación Producción-Demanda histórica de GLP en Colombia



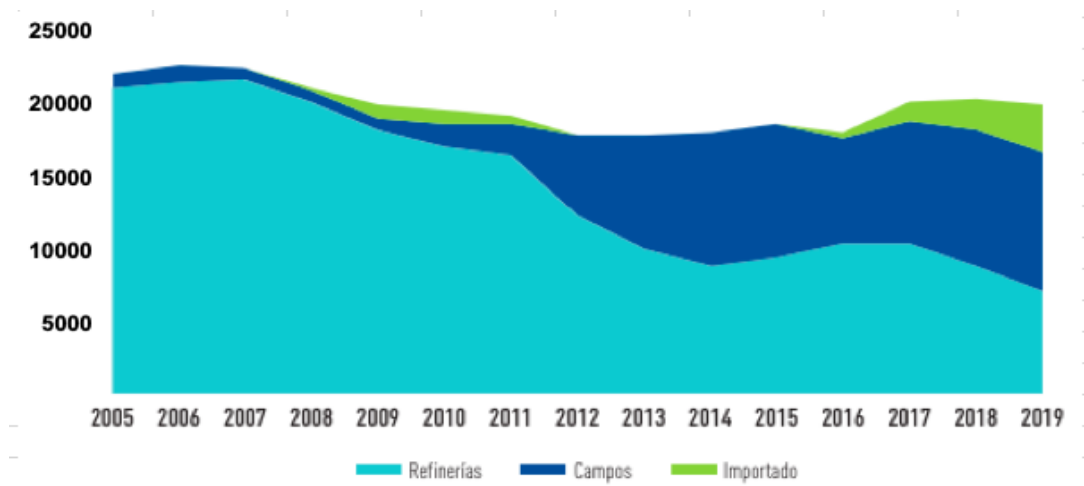
Fuente: Sistema Único de Información de Servicios Públicos Domiciliarios, SUI.

Al comparar con lo ilustrado en la Figura 22, se denota que el fin de la autosuficiencia de GLP en los intervalos posteriores a los años 2008 y 2015 coincidieron con el inicio de las operaciones de importación que se llevaron a cabo esporádicamente durante los últimos 15 años. En el año 2008 el producto comenzó

³⁴ASOCIACIÓN COLOMBIANA DEL GLP, GASNOVA. Informe del sector GLP, Patricia Pinzón Ardila, 2019. p35.

a importarse para satisfacer la creciente demanda interna. La importación fue ocasional y sucedió debido al desabastecimiento ocasionado por contingencias y limitaciones operativas que surgieron en refinerías o en campos. Desde el 2015 Ecopetrol se encargó de retomar las actividades de importación para suplir el déficit de demanda en el país a través de un grupo de inversionistas privados (Consortio G5) y estas se realizaron de forma consistente hasta el segundo semestre de 2019. Las principales fuentes de suministro de GLP importado son Estados Unidos, Trinidad y Tobago, República Dominicana y Panamá, con una mayor y más consistente participación en años recientes de Trinidad y Tobago y Estados Unidos, país que actualmente tiene excedentes del combustible³⁵. Junto con el aporte del puerto de Ecopetrol, el energético se recibe en el país principalmente a través de dos puertos ubicados en el sector industrial del Mamonal en Cartagena: Okianus, donde opera el consorcio G5 y Plexaport, donde se realizan importaciones por parte de la empresa PLEXA.

Figura 22. Oferta histórica nacional e importada de GLP (BPD) en Colombia.

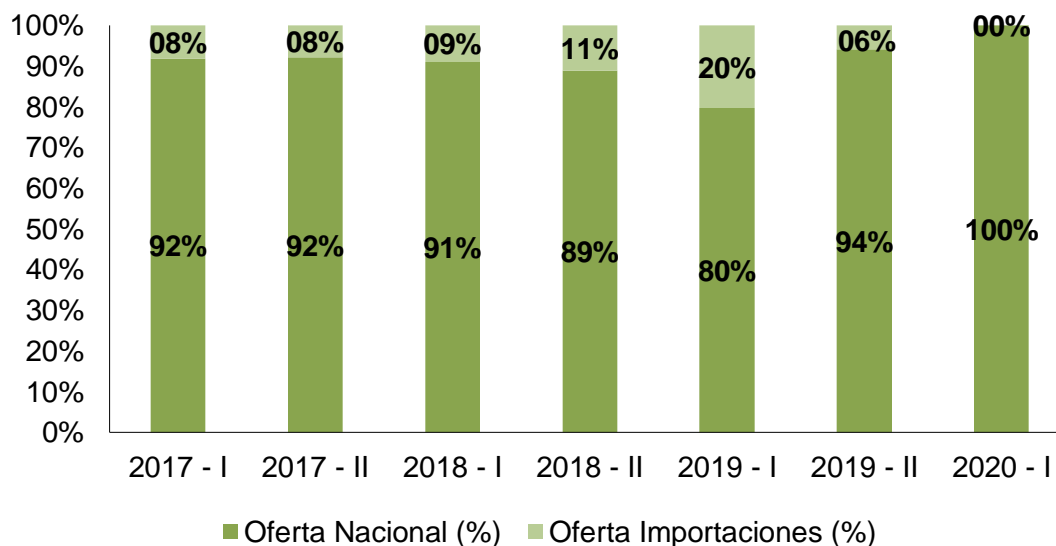


Fuente: ASOCIACIÓN COLOMBIANA DEL GLP, GASNOVA. Informe del Sector del GLP 2019, Patricia Pinzón Ardila, 2019.

³⁵ UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA, UPME. Cadena del Gas Licuado de Petróleo (GLP), 2017. p28.

En general, la importación ha resultado indispensable en la última década con el fin de garantizar un abastecimiento completo en Colombia e incluso exhibió un crecimiento durante este periodo de tiempo, alcanzando un máximo en el 2019. Como se ve en la Figura 23, para el primer semestre del 2019 las importaciones de GLP llegaron a participar hasta en un 20% sobre la oferta nacional, aportando hasta más de 3.000 BPD. Esto se dio como consecuencia del prolongado decrecimiento que sufría la producción nacional, reflejado principalmente en la reducción de la producción en las refinerías de Cartagena y Barrancabermeja. Sin embargo, esta tendencia de crecimiento en volúmenes de GLP importado llegó a su fin en los últimos meses del 2019, cuando la oferta nacional consiguió un repunte en la producción interna, dejando el porcentaje de importaciones por debajo de un 6%, alcanzando un valor mínimo que no se presentaba desde antes del 2017³⁶.

Figura 23. Participación de las importaciones de GLP en los últimos años.

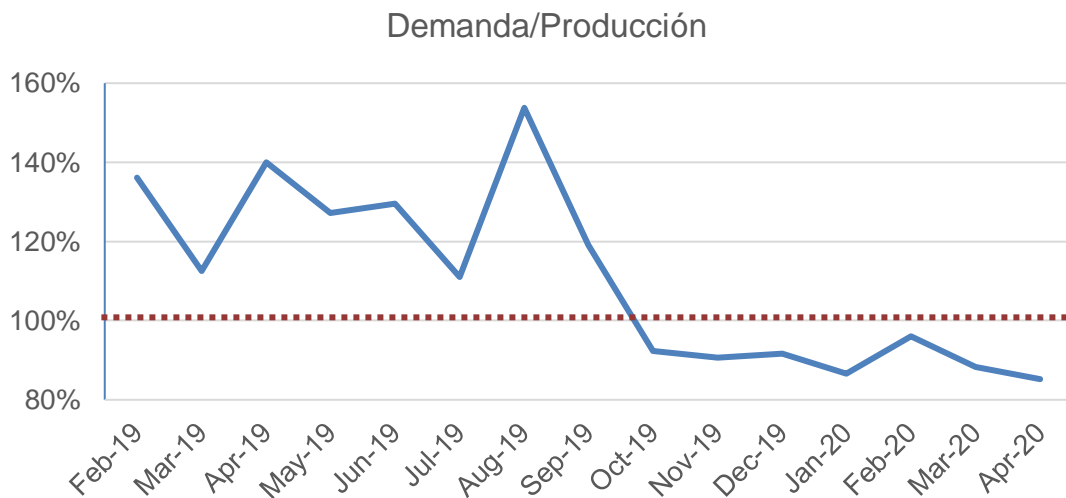


Fuente: Asociación Colombiana del GLP, GASNOVA. Informe estadístico de Gas Licuado De Petróleo (GLP), 2019.

³⁶ Asociación Colombiana del GLP, GASNOVA. Informe estadístico de Gas Licuado De Petróleo (GLP), 2019.

4.2.2. Oferta y demanda en la actualidad. El comportamiento de la relación mostrada en la Figura 24 pone en evidencia que con la entrada del campo Cupiagua en la escena productiva del GLP colombiano, se consiguió satisfacer la demanda nacional en su totalidad consiguiendo condiciones de autosuficiencia destacables a nivel histórico. Se destinaron alrededor de 150 millones de dólares para el montaje de infraestructura de la unidad de condensados y a través de este proyecto, se logró proporcionar un alivio atendiendo a la demanda en el país que en ese momento estaba en cerca de 20.000 BPD de GLP.

Figura 24. Relación Producción-Demanda de GLP en Colombia en 2019 y 2020



Fuente: Sistema Único de Información de Servicios Públicos Domiciliarios, SUI.

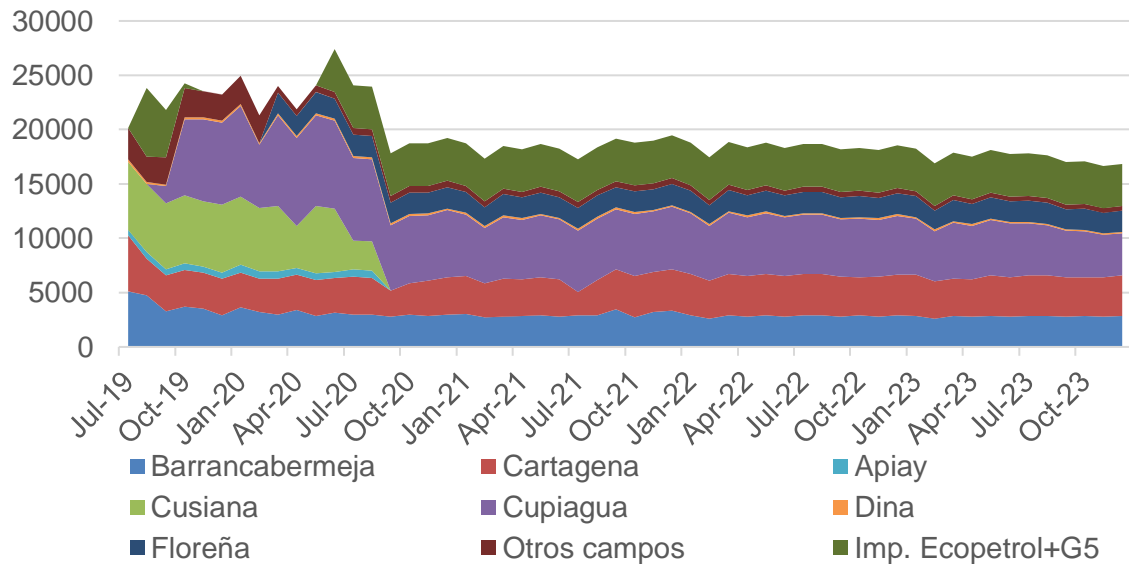
Con estos volúmenes adicionales disponibles, se buscó la entrada a nuevos sectores de consumo para el combustible además del residencial y comercial como son la generación eléctrica y su implementación como autogas³⁷. Para el 2020 la demanda del GLP es en promedio un 12% menor a la producción nacional, lo que resulta ampliamente favorecedor para el mercado del energético en cuanto brinda

³⁷ ASOCIACIÓN COLOMBIANA DEL GLP, GASNOVA. Comunicado de Prensa octubre 29 de 2019. Tomado de: <https://bit.ly/3cl8VQ2>.

una oportunidad excepcional para la extensión y apertura del combustible a nuevos sectores de consumo haciendo uso de la producción nacional. No obstante, a mediano plazo, se pronostican cambios importantes en la estructura de la oferta nacional de gas licuado de petróleo que podrían conllevar a una interrupción del superávit del combustible que se logró conseguir en el país desde finales del 2019.

4.2.3. Proyección de la oferta y la demanda. Como se observa en la Figura 25, se espera que para el 2020 Ecopetrol destine la producción de los campos Cusiana y Apiay a la actividad de codilución para el transporte de crudos pesados. Con esta situación presentándose en el panorama productivo, se prevé un déficit nacional de GLP de hasta 3,000 BPD, lo cual conduciría a un contexto bastante similar al presentado durante el primer semestre de 2019.

Figura 25. Proyección de la producción de GLP (BPD) en Colombia.



Fuente: MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Declaración de Producción de Gas Licuado de Petróleo 2019 – 2023. 2019.

Ante este escenario potencial, se pronostica que las actividades de importación sean reanudadas y en este orden de ideas, a nivel nacional se han venido tomando

las medidas necesarias para garantizar un abastecimiento eficiente de GLP a futuro. La disposición del campo Cupiagua para el reemplazo de la producción de los campos Cusiana y Apiay a finales del 2019 es un ejemplo de esto y por otra parte, en Cartagena ya se cuenta con un puerto operado por Ecopetrol con capacidad de importar cerca de 1,000 barriles de GLP al día y otro operado por el consorcio G5 con capacidad de 2300 BPD.

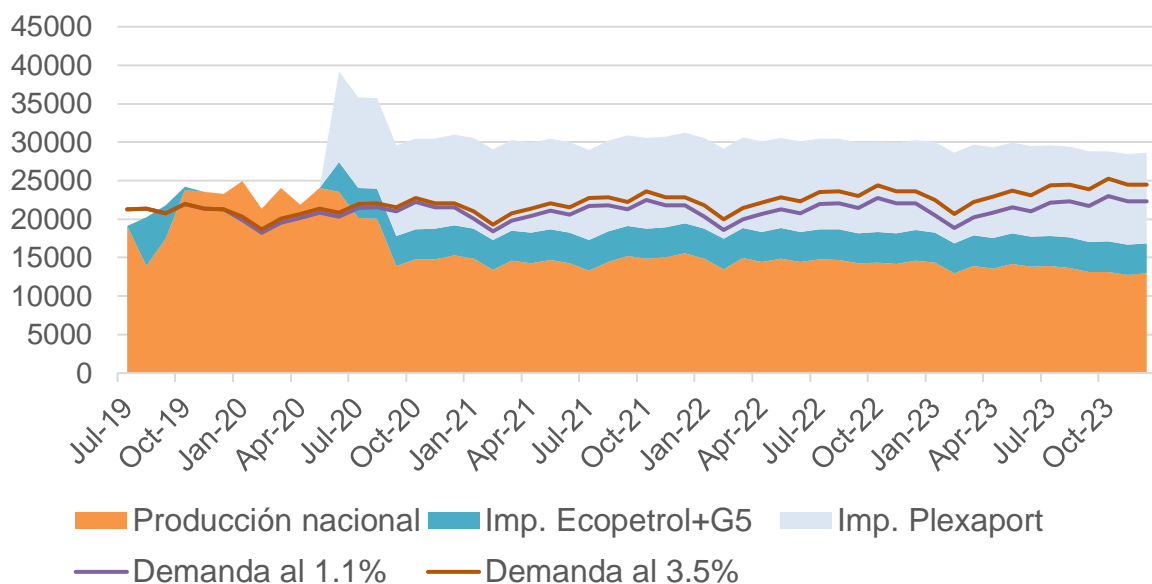
De acuerdo a la Declaración de Producción de GLP 2019 – 2023 publicada por el Ministerio de Minas y Energía, se espera que la producción nacional de GLP en el país reduzca en un 11% desde finales de 2020 hasta diciembre de 2023, pronosticándose una oferta interna de unos 13,000 BPD para este último periodo. Considerando, adicionalmente el aporte máximo de las importaciones hechas por Ecopetrol y el consorcio G5 se alcanzaría una oferta nacional de 23,000 BPD para finales del 2023³⁸. Teniendo en cuenta las metas establecidas con respecto a la ampliación del consumo de GLP tanto a nivel de uso doméstico como a través de la incursión en el mercado automovilístico, resulta necesario analizar la expectativa a futuro de la demanda con respecto a la oferta nacional.

En la Figura 26 se muestran las proyecciones a tres años de la oferta y demanda de GLP de acuerdo a lo estipulado en la Declaración de Producción del 2019. La demanda se presenta mediante dos curvas que muestran cómo se comportaría el consumo en el país considerando un incremento del 1.1% y 3.5% anual desde el 2019. Como se puede observar, presentándose un escenario en que el periodo de autosuficiencia culmine para el segundo semestre del 2020, se acudiría entonces a las importaciones por parte de Plexaport para suplir el abastecimiento de GLP nacional. Este terminal marítimo ubicado en el sector de Mamonal en Cartagena consta de dos fases y una capacidad total de almacenamiento de GLP de 25,000 barriles con una capacidad de despacho de 12,000 barriles diarios, lo cual sería suficiente para abastecer más del 50% de la demanda. Considerando esto,

³⁸ MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Declaración de Producción de Gas Licuado de Petróleo 2019 – 2023. 2019.

mediante la importación adicional por parte de Ecopetrol y el consorcio G5 e incluyendo la producción nacional, se garantizaría un suministro de gas licuado en el país de hasta 28,000 BPD para el 2023. Teniendo en cuenta que las importaciones son una medida a esperarse de acuerdo a lo establecido en las proyecciones de producción y demanda elaboradas por el Ministerio de Minas y Energía, no se puede afirmar que exista una certeza en cuanto a la expectativa futura del abastecimiento de GLP para el país.

Figura 26. Proyección de la oferta y la demanda de GLP (BPD) en Colombia.



Fuente: MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Declaración de Producción de Gas Licuado de Petróleo 2019 – 2023. 2019.

En proyecciones similares expuestas en declaraciones de producción en años anteriores, por ejemplo, las cifras analizadas a mediano plazo no consideraban factores como la entrada operativa de nuevas fuentes de producción, como es el caso de la planta de Cupiagua, la cual no fue tomada en cuenta en los pronósticos hechos en el año 2017, poniendo en evidencia un contraste en cuanto la producción

para principios del 2020 se presentó en magnitudes mayores a las esperadas³⁹. Puede entenderse entonces que estas estimaciones sirven para determinar un margen a partir del cual se basa el comportamiento de la producción y la demanda a futuro. En este orden de ideas, el análisis sirve igualmente para proporcionar un parámetro en cuanto a la viabilidad de disposiciones para el consumo de GLP como por ejemplo la entrada a nuevos mercados como es el vehicular.

³⁹ UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA, UPME. Cadena del Gas Licuado de Petróleo (GLP), Oliver Díaz Iglesias, 2017. p25.

5. ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DEL GLP VEHICULAR EN COLOMBIA

La utilización vehicular del GLP es una medida cuya puesta en marcha se vislumbra a consolidarse en cuestión de pocos años dentro del panorama energético colombiano. En el marco de los lineamientos en los que el Ministerio de Minas y Energía ha venido trabajando por más de un año para el uso de gas licuado de petróleo como carburante automotor, en el Congreso de Gasnova conducido en el año 2019, el Gobierno Nacional anunció que su objetivo es conseguir que 10,000 vehículos en el país logren ser movidos con GLP dentro de los próximos cuatro años⁴⁰. La forma en la que esta implementación se extendería, por supuesto dependería de variables económicas, de infraestructura y de las condiciones de abastecimiento, el cual debe ser garantizado en el país para conseguir el fortalecimiento y la ampliación del sector vehicular a largo plazo. La situación de déficit para atender la demanda, en la cual se ha visto inmerso el mercado durante la mayor parte de la última década, pone en evidencia que esta alternativa de consumo adicional se evalúe en función de la importación de GLP, presentándose como una fuente de suministro importante dentro de las proyecciones de abastecimiento del combustible.

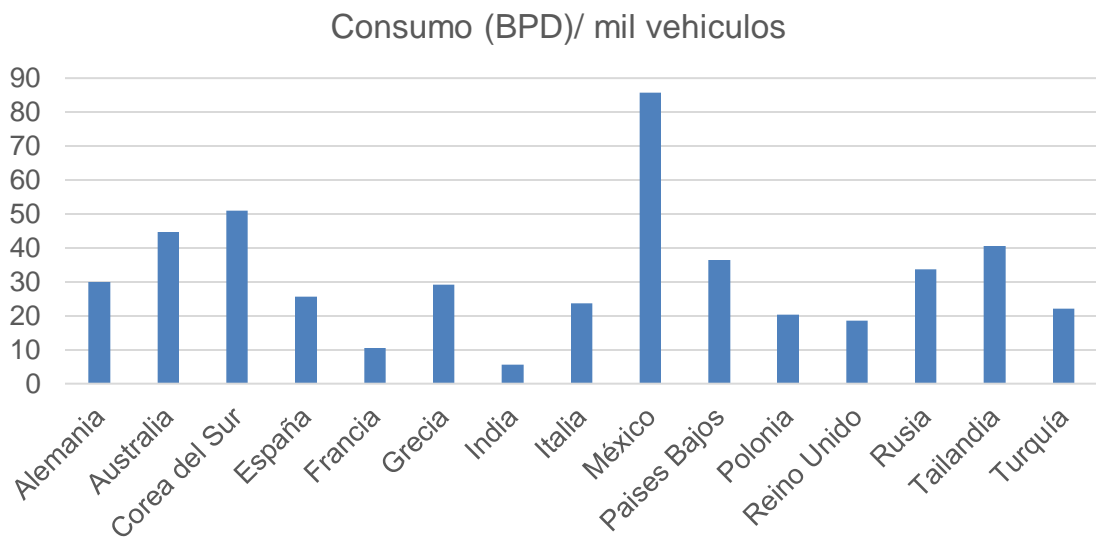
5.1. IMPLEMENTACIÓN EN EL CASO COLOMBIANO

Cuando se analiza el consumo en algunos países en función de la cantidad de vehículos a la cual este corresponde, se puede observar que existe una ligera falta de uniformidad en cuanto a la proporción en la que estas variables se relacionan. En la Figura 27 se ilustra la proporción entre consumo y cantidad de vehículos a base de GLP en varios países del mundo. En algunas regiones se destina una cantidad relativamente grande de GLP considerando que la proporción de vehículos

⁴⁰ GUIA DEL GAS, La Actualidad de la Transición Energética. Autogas y Nautigas ¿Por fin una realidad en Colombia?, 2019. Tomado de: <https://bit.ly/2Yo1TMx>

impulsados por el combustible no es tan significativa cuando se compara con países de implementación automovilística similar. Se puede observar esto en el caso de México, que por su parte destina entre 80 y 90 BPD de GLP por cada mil vehículos, lo cual resulta drásticamente superior al consumo en países como India donde se destinan menos de 10 BPD y que resulta aún significativo si se compara con Alemania donde el parque automotor impulsado con GLP es similar en proporción, pero consume un 65% menos del combustible. Esta diferencia de condiciones se da por factores locales que dependen principalmente del rendimiento y del tipo de vehículos implementados, puesto que es de esperarse que en países donde el GLP se destine mayormente a vehículos de carga pesada como autobuses, carro tanques y camiones de carga, exista un consumo mayor de combustible por vehículo con respecto a aquellos donde predomina el uso en automóviles particulares de carga ligera⁴¹.

Figura 27. Consumo de GLP por cada mil vehículos en países del mundo



Fuente: ASOCIACIÓN MUNDIAL DEL GLP. Un Mapa Global Para el Autogas:

⁴¹ ASOCIACIÓN MUNDIAL DEL GLP. Un Mapa Global Para el Autogas: Cosechando los Beneficios Ambientales y Económicos de Utilizar GLP En Transporte de Carreteras, WLPGA, 2019.

Cosechando los Beneficios Ambientales y Económicos de Utilizar GLP En Transporte de Carreteras, WLPGA, 2019.

Si se extrapolan estas condiciones de consumo al contexto colombiano, se podría entonces conseguir una noción de la demanda que se puede presentar en el país en caso de llevarse a cabo la implementación de autogas. Teniendo en cuenta un escenario en el que se extienda la utilización de GLP a 10,000 vehículos colombianos, como es lo propuesto por el Gobierno Nacional en el año 2019, a partir de los datos observados a nivel global, es posible estimar un rango de consumo para esta cantidad de automóviles ubicado entre 200 y 800 BPD de GLP en el país. Si se tiene en cuenta que la magnitud de consumo promedio global es de 35 BPD por cada mil vehículos, la cifra a nivel regional se posicionaría entonces en 350 BPD de combustible. En el escenario actual, un incremento en la demanda de esta magnitud representaría un crecimiento de 1.9% con respecto al consumo promedio del año 2019 de 20,500 BPD⁴². Esta cifra no resulta alarmante cuando al observar los datos de la Tabla 18, se infiere que el aumento en la demanda durante los últimos siete años oscila en un promedio de 2.1%.

Tabla 18. Crecimiento de la demanda en Colombia desde el 2013.

AÑO	CRECIMIENTO
2013	2.20%
2014	1.83%
2015	3.06%
2016	3.76%
2017	0.35%
2018	0.69%
2019	3.21%

Fuente: ASOCIACIÓN COLOMBIANA DEL GLP, GASNOVA. Informe estadístico de Gas Licuado De Petróleo (GLP), 2019.

⁴² ASOCIACIÓN COLOMBIANA DEL GLP, GASNOVA. Informe estadístico de Gas Licuado De Petróleo (GLP), 2019.

Por otra parte, si se tiene que la adición de estos 10,000 vehículos es un plan a llevar a cabo en un periodo de cuatro años, al distribuir el consumo de los 350 BPD anualmente de forma que se distribuya la implementación en la misma proporción anual, el incremento con respecto al 2019 sería de 2.4%, considerando un incremento general en la demanda acorde con la media de 2.1%. La Tabla 19 muestra la progresión anual hasta el 2023 para el escenario de implementación de 10,00 vehículos de esta manera.

Tabla 19. Proyección de implementación 10,000 vehículos de GLP en Colombia

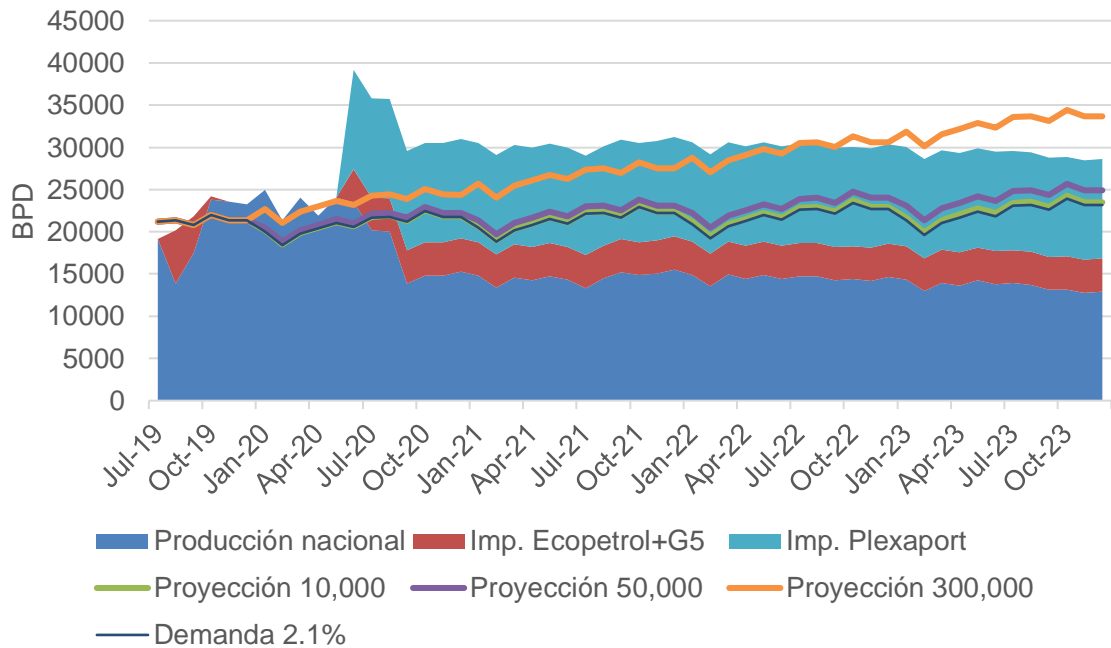
Escenario 10,000 vehículos de GLP			
Año	Cantidad de vehículos	Demanda proyectada con 2.1% inc.	Consumo vehicular
2020	2,500	20,997 BPD	88 BPD
2021	5,000	21,524 BPD	175 BPD
2022	7,500	22,059 BPD	263 BPD
2023	10,000	22,605 BPD	350 BPD

Fuente: Ministerio de Minas y Energía, 2019.

En concordancia con estos datos, y si se contempla un caso hipotético en el que la implementación del GLP se dé a una escala mayor a los 10,000 vehículos en Colombia, sería pertinente entonces analizar dentro de las proyecciones, cómo esta medida podría impactar en el panorama nacional y si es factible que suceda teniendo en cuenta la capacidad del país de importar el combustible en las proporciones hipotéticas. La Figura 28 representa la proyección de la demanda de tres escenarios donde la implementación vehicular del GLP se da de forma progresiva en un periodo de 4 años (2020 – 2023) para una cantidad de 10,000, 50,000 y 300,000 vehículos en Colombia. La serie de datos en cada uno de los casos se calculó tomando la tasa de consumo promedio mundial de 35 BPD de GLP por cada mil vehículos y los valores se acoplan a una proyección de demanda base

que considera un incremento del 2.1% anual, el cual coincide con el promedio de incremento en el consumo de GLP en el país entre los años 2013 y 2019. La cantidad de vehículos adaptados a GLP en el país en los escenarios se distribuye equitativamente en un periodo de cuatro años de modo que la cantidad de vehículos adaptados incrementa de forma gradual durante este intervalo de tiempo aumentando en la misma proporción cada año.

Figura 28. Proyección oferta – demanda de escenarios de implementación vehicular del GLP en Colombia.



Fuente: Ministerio de Minas y Energía. 2019.

Como se puede observar, la diferencia se hace menos drástica entre la demanda proyectada al 2.1% y la estimación cuando se considera un escenario de implementación a una escala de 10,000 vehículos para el 2023. En el caso de la adaptación extendida a 300,000 vehículos se puede observar a simple vista que a medida que se avanza en el tiempo, la curva se excede por encima de los límites de capacidad de importación en Colombia para el mes de julio del 2022.

Considerando esto, no sería posible garantizar el suministro para una incursión de tal magnitud en el mercado vehicular, teniendo en cuenta las condiciones proyectadas a mediano plazo. Este no es el caso cuando se observa el comportamiento de la serie de datos para la proyección de 50,000 vehículos, en la cual se puede inferir que en el periodo que comprende hasta diciembre de 2023, se podrían abastecer los requerimientos de GLP, acudiendo a la importación. No obstante, considerando la tasa de crecimiento del 2.1%, el consumo de GLP estimado necesario para ejecutar esta implementación durante el primer año (2020) sería de alrededor de 21,350 BPD. Si se compara esta cifra con el consumo del año 2019 de 20,500 BPD, se deduciría un incremento de más del 4% en la demanda, algo que podría considerarse no muy favorable, puesto que sería un incremento mayor al de los últimos 7 años (Tabla 18), sobretodo considerando el contexto actual, en donde se prevé una situación de déficit de GLP a corto plazo. En la Tabla 20 se puede ver cómo sería la progresión anual hasta el 2023 para el escenario de implementación de 50,000 vehículos. Como se observa en los datos, el consumo de GLP destinado al uso vehicular aumentaría anualmente hasta llegar a los 1,750 BPD en 2023 consecuentes con una tasa de consumo de 35 BPD/mil vehículos.

Tabla 20. Proyección de implementación 50,000 vehículos de GLP en Colombia

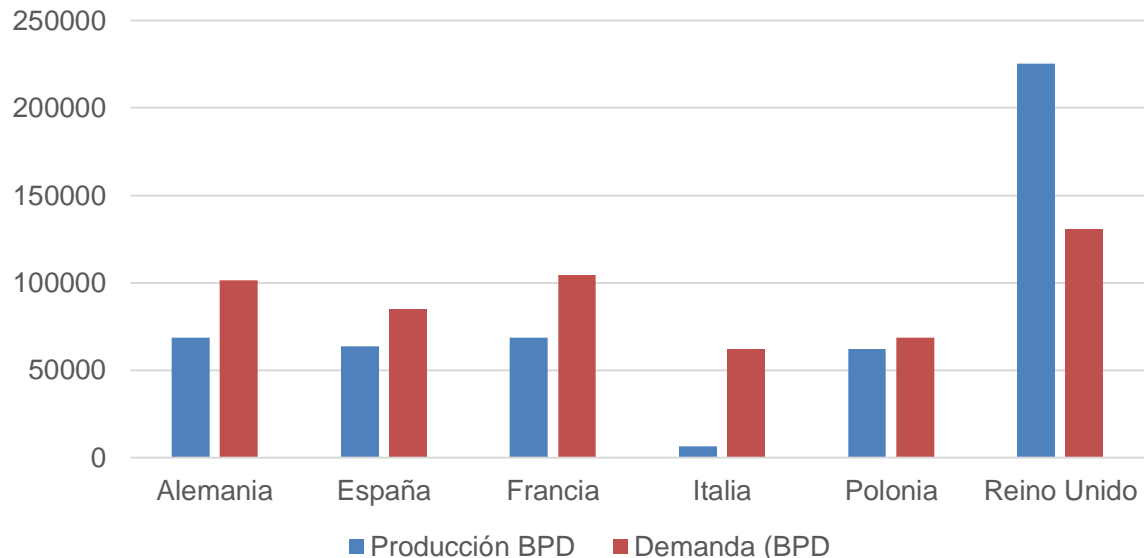
Escenario 50,000 vehículos de GLP			
Año	Cantidad de vehículos	Demanda proyectada con 2.1% inc.	Consumo vehicular
2020	12,500	21,347 BPD	438 BPD
2021	25,000	22,224 BPD	875 BPD
2022	37,500	23,109 BPD	1,313 BPD
2023	50,000	24,005 BPD	1,750 BPD

Fuente: Ministerio de Minas y Energía. 2019.

Es importante reparar en ver que, incluso en un panorama en el que no se

implemente GLP vehicular en el país, la proyección a mediano plazo prevé que la demanda sea mayor a la oferta nacional y por ende sea necesario acudir a las importaciones. En este contexto, cuando se analiza el hecho de que en algunos países la circunstancia de importación de GLP no es una limitante para la implementación vehicular del GLP, ya sea a pequeña o a gran escala, como puede observarse en la Figura 29, es posible entender que a nivel Colombia es factible la puesta en marcha del autogas bajo un panorama de suministro dependiente de la importación.

Figura 29. Producción y demanda de GLP en países que utilizan GLP vehicular.



Fuente: ROZO, Carlos; ÁLVAREZ, Lindsay; GÓMEZ, Ernesto; LIZCANO, Imelda. Análisis sectorial de gas licuado de petróleo. Universidad Distrital Francisco José De Caldas. 2019. p5.

Resalta el caso de los países europeos, en donde los territorios que utilizan GLP para impulsar sus vehículos en su mayoría importan el energético. La lista incluye potencias europeas como Alemania, Francia e Italia, siendo este último el país con la diferencia más notoria entre oferta y demanda, y abarcando economías más moderadas como es el caso de Polonia, un país con una población comparable a la

colombiana, con cerca de 40 millones de habitantes y con una producción de petróleo significativamente menor, de alrededor de 20,000 BPD⁴³.

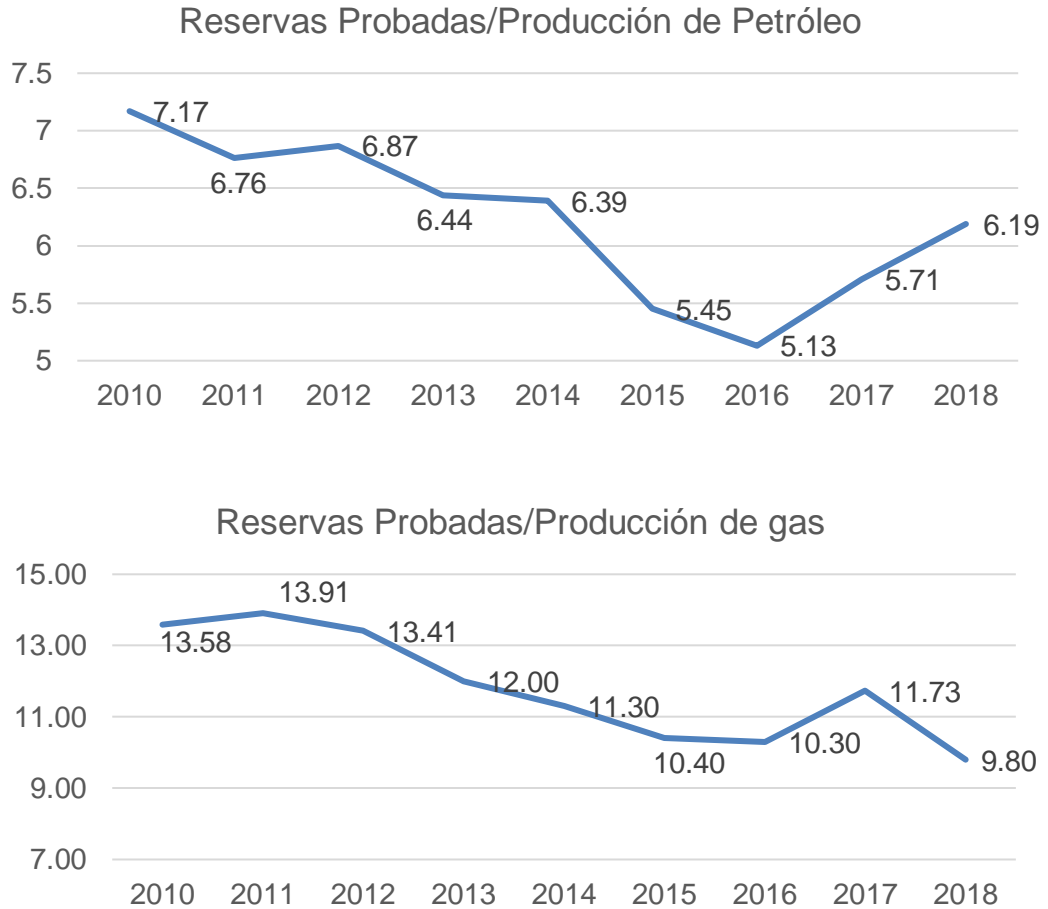
En el marco de los hidrocarburos, en estos países previamente expuestos, es de resaltar que, a excepción del Reino Unido, la utilización de GLP vehicular se incentiva en zonas que no destacan por tener una producción de petróleo considerable y en el mismo orden, se encuentran lejos de suplir las necesidades de consumo internas de combustible tanto convencional como alternativo. En regiones del mundo donde este es el panorama, resulta interesante observar que ciertos factores como la competitividad técnica y financiera en comparación con combustibles convencionales como el diésel y la gasolina, junto con las ventajas ambientales que ofrece el gas licuado de petróleo son suficiente soporte para permitir no solo que la iniciativa del autogas sea puesta en marcha sino que en algunas regiones se recurra a la importación de este combustible para ser llevado al consumo final vehicular. La Figura 30 muestra la gráfica de relación en años entre las reservas y la producción de gas y petróleo en Colombia:

Si bien, como se observa en las condiciones mostradas, Colombia es un país autosuficiente en cuanto a hidrocarburos se refiere, no se es ajeno al hecho de que existe la posibilidad de que esta realidad cambie dentro de las próximas décadas. Ocho años previos al 2018 se ha visto que la relación entre las reservas probadas y la producción de petróleo y gas ha exhibido una reducción, ubicando la expectativa de garantía productiva en un promedio de 6.23 y 11.83 años para el petróleo y gas respectivamente. En este contexto, resulta entonces importante evaluar cómo en el caso colombiano se podrían conseguir los beneficios económicos, técnicos y medio ambientales que se presentan a nivel mundial, al momento de implementar un combustible alternativo como el gas licuado de petróleo que responda y sea consecuente con las circunstancias energéticas que se puedan dar a largo plazo en

⁴³ ASOCIACIÓN MUNDIAL DEL GLP. Un Mapa Global Para el Autogas: Cosechando los Beneficios Ambientales y Económicos de Utilizar GLP En Transporte de Carreteras, WLPGA, 2019.

el país. Esto al mismo tiempo que se repara en observar que las condiciones actuales y proyectadas de oferta y demanda afirman la factibilidad del proyecto.

Figura 30. Relación reservas – producción en años de petróleo y gas en Colombia



Fuente: Ministerio de Minas y Energía.

5.2. ANÁLISIS FINANCIERO DE CONVERSIÓN A GLP

El precio de los combustibles tradicionales, gasóleos y gasolinas fluctúa a diario, aunque el precio del GLP Autogas suele hacerlo normalmente de forma mensual dependiendo del operador. Este se suele situar en aproximadamente un 50% del precio de la Gasolina y un poco menos que el precio del Diésel. Normalmente, el

GLP tiene un consumo mayor que otros combustibles convencionales como la gasolina y el diésel, sin embargo, para poder realizar una comparación objetiva, es necesario también evaluar los aspectos involucrados en la implementación vehicular del gas licuado versus otros combustibles desde un criterio financiero.

Si se desea analizar el consumo de combustible en función de la distancia recorrida, es necesario tener en cuenta que este parámetro depende del tipo de vehículo que se utilice, de los límites de velocidad con los que se conduzca y factores de manejo como la frecuencia de frenado y aceleración y la forma de revolucionar y por otra parte aspectos como el mantenimiento del vehículo y buen estado de las llantas. Se puede entonces considerar un rango de rendimiento de diversos combustibles convencionales como gasolina y diésel, así como de GLP como se puede observar en la tabla 21⁴⁴:

Tabla 21. Rendimiento de consumo de combustibles vehiculares.

Categorías	Rendimiento			
	Diésel (gal/100 km)	Gasolina (gal/100 km)	GLP (gal/100 km)	GNV (m ³ /100 km)
Automóviles	2.8 – 3.1	2.0 – 2.2	2.3 – 2.5	4.3 – 5.5
Taxis	1.8 – 2.0	1.9 – 2.1	2.2 – 2.4	3.3 – 4.5
Camionetas	3.3 – 3.6	2.3 – 2.5	2.7 – 2.9	4.0 – 5.0

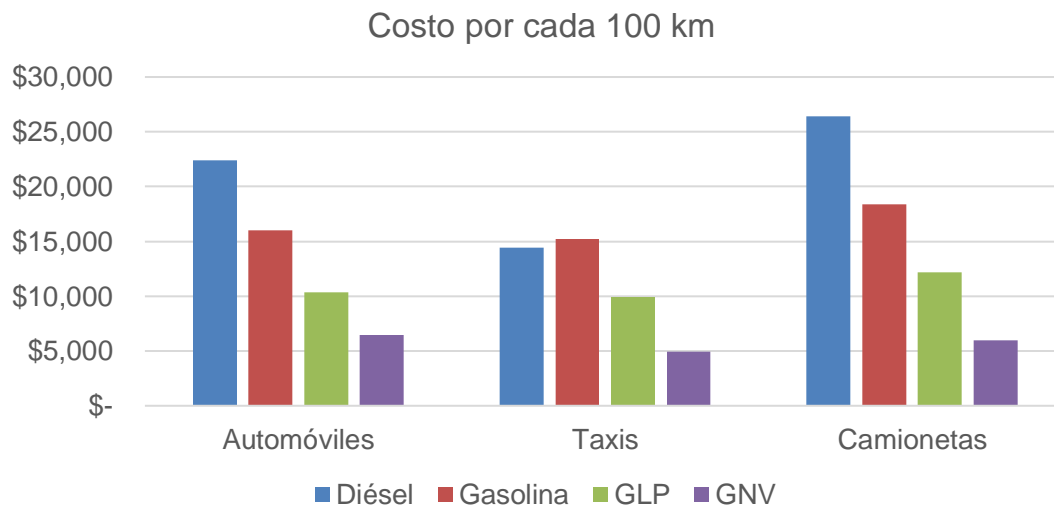
Fuente: PEÑA, Catalina. Evaluación de la penetración del gas licuado de petróleo como combustible en el sector transporte en Colombia, Universidad de los Andes, 2012.

A partir de estos datos de consumo por cada 100 km y teniendo los precios de los combustibles podría entonces establecerse un análisis de costos en función de la

⁴⁴ PEÑA, Catalina. Evaluación de la penetración del gas licuado de petróleo como combustible en el sector transporte en Colombia, Universidad de los Andes, 2012. p77.

distancia recorrida para cada uno de los productos. Para efectos de comparación se toman los valores inferiores del rango de rendimiento de los combustibles en cada una de las categorías, por ejemplo en el caso de los automóviles se tomarían los valores de 2.8, 2.0 y 2.3 gal/100 km para el diésel, gasolina y GLP respectivamente y 4.3 m³/100 km en el caso del GNV. En cuanto a precios, por practicidad el valor del diésel y la gasolina se toma en \$8,000 por galón en ambos, puesto que el precio vigente para el 2020 de acuerdo al Ministerio de Minas y Energía (2020) es de \$7,998/gal y \$8,035/gal para cada combustible respectivamente. Para el gas natural se toma el valor mínimo de alrededor de \$1,500/m³ y para el GLP un precio de \$4,500/gal como es lo estimado por GASNOVA para este mercado⁴⁵. Con base en esta información de precios y de rendimiento se puede llevar a cabo la comparación del costo de recorrer 100 km en los distintas categorías vehiculares utilizando cada uno de los combustibles como es posible observar en la Figura 31.

Figura 31. Costo de implementación de combustibles en 100 km.

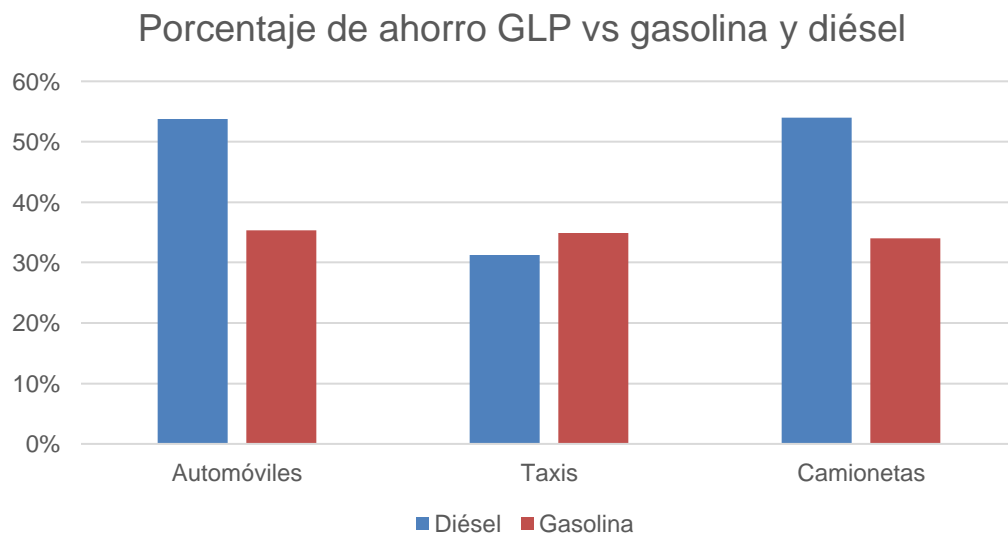


Fuente: Ministerio de Minas y Energía, 2020.

⁴⁵ ASOCIACIÓN COLOMBIANA DEL GLP, GASNOVA. Informe del sector GLP, Patricia Pinzón Ardila, 2019. p54.

De acuerdo a la información mostrada, es posible notar que a excepción de los taxis, en la mayor parte, el combustible que representa un mayor gasto económico es el diésel. Respecto al GLP, en las tres categorías vehiculares se observa que conlleva un costo mayor que el del gas natural, sin embargo, cuando se compara con el diésel y la gasolina, su ventaja es evidente. La Figura 32 presenta el porcentaje de ahorro del GLP versus la gasolina y el diésel en distintas categorías vehiculares por cada 100 km. Cuando se detalla el caso de los automóviles y camionetas, por ejemplo, si bien el diésel tiene un mejor rendimiento que el GLP en cuanto a galones por cada 100 km, cuando se trata de costos, este último es más económico puesto que ofrece un ahorro de más de un 54% en ambas categorías. En cuanto a la gasolina, en general la relación entre consumo y distancia recorrida es más favorable que la del GLP, sin embargo esto contrasta con el aspecto financiero, ya que en todas las categorías observadas el autogas resultó más económico que la gasolina con un ahorro de alrededor del 35%.

Figura 32. Ahorro del GLP versus gasolina y diésel por cada 100 km



Fuente: Ministerio de Minas y Energía, 2020.

Para estudiar el caso particular de consumo de un automóvil en un intervalo de un día, se podría establecer una distancia de recorrido promedio al día y a partir de esto comparar el gasto económico entre los combustibles opción. Esto serviría para evaluar el beneficio a largo plazo de la conversión de un vehículo a un combustible alternativo como el GLP o el gas natural. La gran diferencia entre el GLP y su principal competidor como combustible alternativo, el GNV, es que el costo de convertir el vehículo a este último es mayor. De acuerdo a la Asociación Colombiana del GLP, el costo de conversión a GLP para un vehículo está en alrededor de 2 millones de pesos, lo cual resulta un 37% más económico que en el caso del GNV, donde la inversión es de \$3,200,000. El rendimiento del combustible y la potencia que confiere son también argumentos a favor del autogas. Por su elevado poder calorífico, los motores no pierden fuerza y los tanques de almacenamiento adaptados en los baúles de los carros ocupan un menor espacio y son de menor peso que los del GNV⁴⁶.

Si se toma el caso de un automóvil que recorre en promedio 100 km diarios en la Tabla 22 se presentan los principales costos vehiculares de la gasolina, el GNV y el GLP asociados a este escenario.

Tabla 22. Costos de uso de gasolina, GNV y GLP en un automóvil.

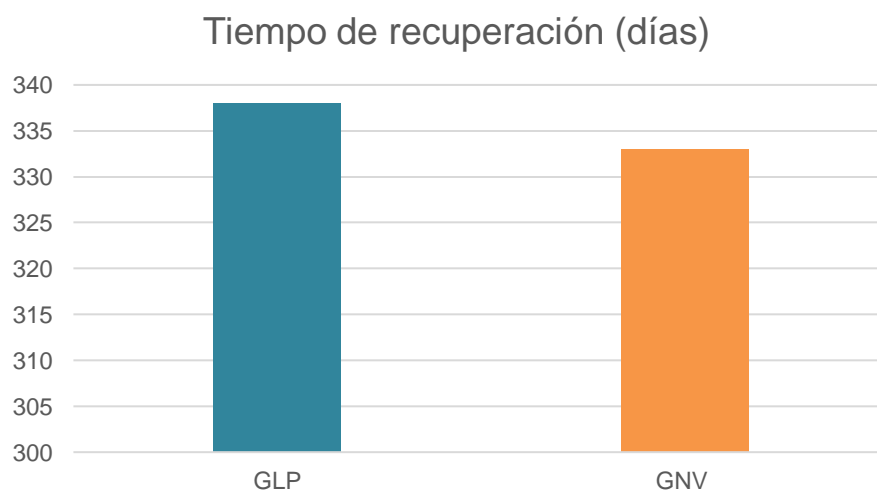
Costos	Gasolina	GNV	GLP
Consumo diario	2.1 gal	4.9 m ³	2.4 gal
Precio al consumidor	\$8,000 /gal	\$1,500 /m ³	\$4500 /gal
Costo diario	\$16,800	\$7,350	\$10,800
Ahorro diario		\$9,450	\$6,000
Inversión		\$3,200,000	\$2,000,000

Fuente: Ministerio de Minas y Energía, 2020.

⁴⁶ ASOCIACIÓN COLOMBIANA DEL GLP, GASNOVA. Informe del sector GLP, Patricia Pinzón Ardila, 2019. p54.

Siendo así las proporciones, es relevante comparar la recuperación de la inversión cuando se convierte un vehículo a base de gasolina a GLP con la recuperación de uno convertido a GNV. Partiendo del punto de vista de costo de consumo con respecto al de gasolina, en el caso del gas natural, el ahorro representa una cantidad de \$9,450 diarios. Considerando que el costo de conversión a este combustible es de \$3,200,000, contrastando con el valor ahorrado diario se obtiene que el tiempo de recuperación es de aproximadamente 338 días. Para un vehículo particular que se utiliza 6 días a la semana, teniendo en cuenta el día de pico y placa, la recuperación de la inversión se ubicaría en alrededor de 11 meses. Cuando se hace el mismo análisis para el caso del GLP con una inversión inicial de \$2,000,000 y un ahorro diario de \$6,000 versus la gasolina, se calcula un tiempo de recuperación de 333 días, es decir 11 meses bajo las mismas condiciones de uso para un carro particular. Con esto, si bien el GLP es un producto más caro en comparación con el GNV, el capital invertido es considerablemente menor, conllevando a una recuperación aproximadamente en el mismo periodo de tiempo para el usuario final de autogas como se puede detallar en la Figura 33.

Figura 33. Tiempo de recuperación de la inversión de convertir un vehículo a GNV y GLP.



Fuente: Ministerio de Minas y Energía, 2020.

6. CONCLUSIONES

- En comparación con el GNV, como combustible vehicular el GLP tiene ventajas tales como una menor pérdida de potencia tras la conversión al producto gracias a que tiene un mayor poder calorífico y un transporte y almacenamiento más fácil, debido a su fácil licuefacción. Con respecto a la gasolina, destaca el apremiante ambiental de que el GLP supone una emisión de contaminantes entre un 13% y 80% menor, hecho que se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible para Colombia. Estos factores evidencian que las características asociadas al uso del GLP como combustible vehicular desde un parámetro técnico-ambiental, dan luz verde a la incursión del combustible en este mercado.
- Si bien la implementación automovilística del GLP en Colombia es viable de acuerdo a la Ley 1753 de 2015, aún es necesario que la normatividad nacional consolide lineamientos técnico-operativos de calidad, reglamentos de adaptación vehicular y demás requerimientos del GLP en este sector de consumo, con base en parámetros internacionales como la norma europea EN 589:2000, los cuales establecen estándares claros para el GLP vehicular, también denominado como autogas. De igual manera es necesario equilibrar el mercado del carburante mediante leyes que incentiven la implementación, como es el precedente en la Ley de Política Energética de 1992 de Estados Unidos.
- La producción actual colombiana de alrededor de 22,000 BPD de GLP con un aporte de un 60% de los campos en contraste con la producción de igual magnitud de hace 15 años, compuesta en un 95% por la oferta de las refinerías, es una realidad que favorece la implementación vehicular del GLP en la actualidad; dado que por sus mejores características de calidad, el fluido recomendable para este sector de consumo es el de los campos, como es el caso particular de Cusiana y Apiay que producen un GLP de bajo contenido de

olefinas, composición estable en el tiempo y una proporción simétrica (cercana al 50:50) de propano y butano.

- Aunque la producción nacional de GLP es un 12% mayor a la demanda y esto favorezca la apertura al mercado vehicular del combustible en la actualidad, el déficit de hasta 3,000 BPD pronosticado para finales del 2020 proyecta que la oferta dependerá de las importaciones para garantizar el abastecimiento a futuro. No obstante, el déficit histórico y el precedente mundial demuestra que, incluso requiriendo de las importaciones, la incursión vehicular del GLP es factible.
- Al comparar con dos escenarios de adaptación a GLP de 50,000 y 300,000 vehículos y considerando un crecimiento anual en la demanda del 2.1%, la opción más viable es que la implementación vehicular de GLP se de a pequeña escala en el país como es la propuesta del Gobierno Nacional de implementar 10,000 vehículos en un periodo de 4 años. Con una capacidad de importación de más de 15,000 BPD, el país puede garantizar el suministro ante este escenario por lo menos hasta el 2023, sin incrementar considerablemente la demanda anual.
- En términos financieros es viable implementar el GLP como combustible vehicular en Colombia. A pesar de que el consumo vehicular es mayor comparado con el diésel y la gasolina, en cuanto a costos por cada 100 km recorridos, el GLP es hasta un 54% y 35% más económico que estos carburantes respectivamente. Al comparar con el gas natural, si bien este último es más económico que el gas licuado en cuanto a distancia recorrida, el costo de convertir un vehículo de gasolina a GLP es alrededor de un 37% menos que el de la adaptación a GNV, razón por la cual la inversión de la conversión en ambos combustibles se recupera en el mismo periodo de tiempo (11 meses), favoreciendo la competitividad financiera del GLP.

7. RECOMENDACIONES

- Se propone la realización de un estudio técnico-financiero acerca de la viabilidad de la construcción de estaciones de servicio de GLP para uso vehicular en Colombia.
- Enfocar un trabajo en la realización de un análisis para establecer un marco normativo que especifique parámetros técnico-operativos de la calidad, talleres de conversión y estaciones de servicio de GLP para su implementación vehicular en Colombia.

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA, Juan. Gas licuado de petróleo – GLP o Autogas, Motorpasion. 2019. Tomado de: <https://bit.ly/3eSPMM8>

AGREMGAS. Qué es el GLP. 2013. Tomado de: <https://bit.ly/3fTJFZo>.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DEL GLP, GASNOVA. Comunicado de Prensa octubre 29 de 2019. Tomado de: <https://bit.ly/3cl8VQ2>.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DEL GLP, GASNOVA. Informe estadístico de Gas Licuado De Petróleo (GLP), 2019.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DEL GLP, GASNOVA. Informe del sector GLP, Patricia Pinzón Ardila, 2019.

ASOCIACIÓN MUNDIAL DEL GLP. Un Mapa Global Para el Autogas: Cosechando los Beneficios Ambientales y Económicos de Utilizar GLP En Transporte de Carreteras, WLPGA, 2019.

AUSTRALIAN LIQUEFIED PETROLEUM GAS ASSOCIATION, ALPGA. Wide Fuel Range Trial – A report on the impact of autogas composition on emissions and other performance of vehicles manufactured in Australia, 2000. P

AUTOCASION. Diferencias existentes entre el gas natural y el GLP. 2018. Tomado de: <https://bit.ly/3eLJ62A>

BARRERA, Enrique. Estudio del sistema de GLP como combustible alternativo de uso en vehículos automotores, Universidad del Asuay, 2012.

CABAL, María & BALLESTEROS, Edwin, Congreso de la República de Colombia. Proyecto de Ley Número 213 de 2019, Imprenta Nacional de Colombia, 2019.

CARSMAROBE. Sistema de alimentación de combustible GLP, Fondo Social Europeo, 2015. Tomado de: <https://bit.ly/32N87rM>

DENNIS, Snow. Plant Engineer's Reference Book, Second edition. MPG Books Ltd, 2002.

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA DE LOS ESTADOS UNIDOS. Vehículos de Propano, 2019. Tomado de: <https://afdc.energy.gov/vehicles/propane.html>

ESLAVA, Andrés. Generación eléctrica a partir de la operación de un motor de combustión interna en modo dual con gas licuado de petróleo e hidrógeno. Tesis de magister en ingeniería mecánica, Universidad Nacional de Colombia, 2014.

ESTÁNDAR INDUSTRIAL AUTOMOVILÍSTICO. Código de Prácticas Para el Uso del Glp Combustible en Vehículos de Cuatro Ruedas Y Vehículos Motorizados Pesados. InterRegs Ltd. 2002.

FAIZ, Asif., WEAVER, Christopher & WALSH, Michael. Air Pollution from Motor Vehicles: Standards and Technologies for Controlling Emissions, The World Bank, 1996.

GUIA DEL GAS, La Actualidad de la Transición Energética. Autogas y Nautigas ¿Por fin una realidad en Colombia?, 2019. Tomado de: <https://bit.ly/2Yo1TMx>

GUIA DEL GAS, La Actualidad de la Transición Energética. Colombia Repuntó el Consumo de GLP en el 2019, 2019. Tomado de: <https://bit.ly/3e4MWUU>

GUIA DEL GAS, La Actualidad de la Transición Energética. Realidad y perspectivas del GLP en Colombia, 2019. Tomado de: <https://bit.ly/2BpqJ5N>

GRUPO PROPAGAS. Ventajas Medio Ambientales del GLP, 2019. Tomado de: <https://bit.ly/2ME3VBo>

INDIAN AUTO LPG COALITION. Booklet on Safe Practices / Checklist for LPG Operated Vehicles, 2008.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Declaración de Producción de Gas Licuado de Petróleo 2019 – 2023, 2019.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Proyecto de Ley por el cual se establecen parámetros de calidad del GLP para uso vehicular, 2019.

NEW ZEALAND INSTITUTE OF CHEMISTRY. The processing of natural gas at kapuni. Kapuni Natural Gas, Nueva Zelanda. 2008.

ORGANISMO SUPERVISOR DE LA INVERSIÓN EN ENERGÍA Y MINERÍA. El Gas Licuado de Petróleo, 2019. Tomado de: <https://www.osinergmin.gob.pe>

PEÑA, Catalina. Evaluación de la penetración del gas licuado de petróleo como combustible en el sector transporte en Colombia, Universidad de los Andes, 2012.

PROPANOGAS. Gas Licuado de Petróleo, 2019. Tomado de: <https://propanogas.com/faq/gas-licuado>

REVISTA CESVIMAP. Vehículos a Gas, Una Alternativa Real, 2018. Tomado de: <https://bit.ly/2YUsekD>

ROZO, Carlos, et al. Análisis sectorial de gas licuado de petróleo. Universidad Distrital Francisco José De Caldas. 2019.

Sistema Único de Información de Servicios Públicos Domiciliarios, SUI.

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS, SAE INTERNATIONAL. Butane/propane mixtures as fleet fuels. En: SAE Technical Paper, 1999.

TOTTEN, George., WESTBROOK, Steven & SHAH, Rajesh. Fuels and Lubricants Handbook: Technology, Properties, Performance and Testing, ASTM, 2003.

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA, UPME. Cadena del Gas Licuado de Petróleo (GLP), Oliver Diaz Iglesias, 2017.

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA, UPME. Determinación De Potencialidades de Uso de las Acciones Necesarias para Activar Subsector del GLP en Colombia, COSENIT S.A, 2013.

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA, UPME. Plan Indicativo de Abastecimiento de Gas Licuado de Petróleo (GLP), Oliver Diaz Iglesias, 2018.

WANG, Xiuli & ECONOMIDES, Michael. Advanced Natural Gas Engineering, Gulf Publishing Company, 2009.

WEISSERMEL, K & ARPE, H, J. Química Orgánica Industrial: Productos de Partida e Intermedios más Importantes, REVERTÉ S.A, 1981.

WOLFF, G. Automotive LPG Development. SPE, 2001.