

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS DIFERENTES COMBUSTIBLES
GASEOSOS PARA USO VEHICULAR**

JOSE HILARIO MANRIQUE ALVAREZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA DE PETROLEOS
BUCARAMANGA

2008

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS DIFERENTES COMBUSTIBLES
GASEOSOS PARA USO VEHICULAR**

JOSE HILARIO MANRIQUE ALVAREZ

Monografía para optar al título de
Especialista en Ingeniería de Gas

Director
GUSTAVO ADOLFO DELVASTO JAIMES
Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA DE PETROLEOS
BUCARAMANGA
2008

A mis padres, mis hermanas y a mi adorable esposa, quienes siempre me han brindado su apoyo y colaboración.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresan sus agradecimientos a:

Paola Andrea Parra Castañeda, mi esposa, por su constante apoyo y dedicación antes, durante y después de esta especialización.

Gustavo Adolfo Delvasto Jaimes, Ingeniero Mecánico y Director de la investigación, por sus valiosas orientaciones.

La Familia Galviz, quienes me brindaron apoyo y colaboración durante mi estadía en la ciudad de Bucaramanga.

La Universidad industrial de Santander.

Y a todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron en la realización del presente trabajo.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. SITUACIÓN ENERGÉTICA ACTUAL	2
2. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL	3
3. COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS PARA VEHICULOS	5
3.1 GAS NATURAL COMPRIMIDO (GNC)	5
3.2 GAS LICUADO DEL PETROLEO (GLP)	5
3.3 GAS NATURAL LICUADO (GNL)	6
3.4 HIDROGENO	8
4. LA MEZCLA EN LA COMBUSTION DE LOS MOTORES	9
4.1 CICLO OTTO	10
5. RESERVAS ACTUALES DEL GNC	16
5.1 RESERVAS MUNDIALES DE GAS NATURAL	16
5.2 RESERVAS EN COLOMBIA DE GAS NATURAL	18
6. CARACTERISTICAS DEL GNC, GLP, GNL E HIDROGENO	21
6.1 CARACTERISTICAS DEL GNC	21
6.2 CARACTERISTICAS DEL GLP	24
6.3 CARACTERISTICAS DEL GNL	25
6.4 CARACTERISTICAS DEL HIDROGENO	27
7. ESTADO ACTUAL DE LA TECNOLOGIA AUTOMOTOR	28

7.1 TECNOLOGIA A GASOLINA	28
7.2 TECNOLOGIA DIESEL	29
7.3 TECNOLOGIA DE CONVERSION GAS NATURAL VEHICULAR	32
7.4 TECNOLOGIA DE UTILIZACION DE HIDROGENO AUTOMOTOR	33
8. SISTEMA DE CONVERSION VEHICULAR Y ESTACIÓN DE COMPRESIÓN	36
8.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONVERSIÓN GNC	36
8.2 DESCRIPCION DE LA ESTACIÓN DE COMPRESIÓN	41
8.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONVERSIÓN GLP	44
8.4 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONVERSIÓN GNL	46
8.4.1 CARACTERISTICAS DE SEGURIDAD PARA EL TANQUE	47
8.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DEL GNC EN AUTOMOTORES	48
8.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DEL GLP EN AUTOMOTORES	50
8.7 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DEL HIDROGENO EN AUTOMOTORES	55
8.8 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DEL GNL EN AUTOMOTORES	56
8.9 LA SEGURIDAD DEL SISTEMA CON GNC	59
8.10 TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE GNC	60
8.11 COMPONENTES DEL KIT DE CONVERSIÓN	62
8.12 SEGURIDAD EN LA UTILIZACIÓN DE VEHÍCULOS PROPULSADOS POR GNC	62
8.13 CONDICIONES DE SEGURIDAD EN LA INSTALACIÓN DE ESTACIONES DE SUMINISTRO DE GNC	63
9. ESTACIONES DE SUMINISTRO	64
9.1 ESTACIONES DE GNC	64

9.1.1 Equipos	64
9.1.2 Obra Civil	66
9.2 ESTACIONES DE GLP	67
9.3 ESTACIONES DE GNL	67
9.4 COMO TRABAJAN LAS ESTACIONES DE SERVICIO DE GNLC	69
9.5 TIEMPOS DE LLENADO DE GNL	74
9.6 ESTACIONES DE HIDROGENO	76
9.7 REQUERIMIENTOS DE INFRAESTRUCTURA PARA HIDROGENO	78
10. COMPORTAMIENTO DE UN VEHICULO CONVERTIDO	80
10.1 REDUCCION DE EMISIONES	80
10.2 UNIFORMIDAD DE LA MEZCLA	81
10.3 ENCENDIDO EN FRIO	81
10.4 REDUCCION DE EMISIONES EVAPORATIVAS	82
10.5 NÚMERO DE OCTANO	82
10.6 NÚMERO DE CETANO	83
10.7 SEGURIDAD	84
10.8 COMPOSICION DEL GAS Y RELACION ESTEQUIOMETRICA AIRE-GAS⁸⁴	
10.9 TORQUE DEL MOTOR	84
10.10 RATA DE COMBUSTIÓN	85
10.11 CONFORT	85
10.12 AUTONOMIA	86
10.13 TIEMPO DE LLENADO	86

10.14 SOBREPESO	86
10.15 PERDIDA DE POTENCIA	87
10.16 MANTENIMIENTO	88
11. NORMATIVIDAD TÉCNICA	89
11.1 NORMATIVIDAD TÉCNICA A NIVEL MUNDIAL DEL GNC	89
11.2 NORMATIVIDAD TÉCNICA EN COLOMBIA DEL GNC	93
12. BENEFICIOS AMBIENTALES DEL USO DE GNC, GLP, GNL E HIDROGENO AUTOMOTOR	99
12.1 EMISIONES DE MONOXIDO DE CARBONO	99
12.2 EMISIONES DE OXIDO DE AZUFRE	100
12.3 EMISIONES DE OXIDOS DE NITROGENO	100
12.4 HIDROCARBUROS	101
12.5 PARTICULAS	102
12.6 REDUCCIÓN DE ENFERMEDADES	102
13. PERSPECTIVAS EN EL USO DEL GNC, GLP, GNL E HIDROGENO AUTOMOTOR	103
13.1 MERCADO OBJETO	104
13.2 DISPONIBILIDAD DE COMBUSTIBLE	104
13.3 REGIMEN TARIFARIO	105
13.4 POLITICAS E INCENTIVOS GUBERNAMENTALES	105
13.4.1 Ministerio de Minas y Energía	105
13.4.2 Ministerio de Transporte	105
13.4.3 Ministerio del Medio Ambiente	106

13.4.4 Ministerio de Hacienda	106
13.4.5 Ecopetrol	106
13.4.6 Sena y Universidades	106
13.4.7 Alcaldías	106
13.4.8 Icontec	106
14. CONCLUSIONES	107
15. RECOMENDACIONES	112
BIBLIOGRAFIA	114
CONSULTAS ELECTRÓNICAS	117
ANEXOS. ANALISIS DE COSTOS	119

TABLA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Emisiones mundiales de carbono 1990 – 2015	3
Figura 2. Extracción de CO ₂	6
Figura 3. Deshidratación y filtrado	7
Figura 4. Licuefacción y almacenamiento.	8
Figura 5. Curva de Mon (Motor Octane Number)	14
Figura 6. Reservas Mundiales de Gas	17
Figura 7. Reservas Remanentes de Gas Natural en Colombia	19
Figura 8. Producción Gas Natural por Cuencas.	20
Figura 9. Producción Gas Natural por Compañías.	20
Figura 10. Red Nacional de Gasoductos, Infraestructura Proyectada	23
Figura 11: Cadena del valor del GNL	25
Figura 12. Comparación de los diagramas de presión de un motor Diesel y de un motor de gasolina.	32
Figura 13. Sistema de montaje de GNC en vehículo	36
Figura 14. Motor convencional	39
Figura 15. Tanque de almacenamiento de un vehiculo convertido	39
Figura 16. Vehiculo convertido a gas natural	40
Figura 17. Estación de compresión	41
Figura 18. Sistema de montaje de GLP en vehículo	44
Figura 19. Sistema, evaporizador, unidad de control, Depósito Tórico y Carro Cargando Gas	45
Figura 20. Funcionamiento tanqueo de GNL	46

Figura 21. Seguridad de Llenado	47
Figura 22. Emisiones de contaminación por tipo de vehículo	50
Figura 23. Reducción de emisiones del GLP comparado con la gasolina	52
Figura 24. Reducción de emisiones del GLP por km comparado con el diesel	53
Figura 25. Ventajas del HIDROGENO frente a los combustibles fósiles	55
Figura 26. Comparación del ACPM Vs GNL	56
Figura 27. Camión ciclo Otto a gas	58
Figura 28. Mantenimiento Fácil del motor con GNL	59
Figura 29. Vehículos a GLP	67
Figura 30. Funcionamiento de una EDS con GNL	67
Figura 31. Funcionamiento de una EDS de GNL a GNL	69
Figura 32. El flow sheet explicativo del proceso	70
Figura 33. Inyector Dual de Wesport	72
Figura 34. Colectivo interurbano cargando GNL en California	
Figura 35. Camión con tanque doble GNL-Diesel	73
Figura 36. Camión con tanque doble GNL-Diesel	73
Figura 37. Llenado del Tanque	74
Figura 38. Generación de Hidrogeno a partir de la energía solar y sus uso como combustible vehicular	76

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Producción de Gas Natural por Cuencas y Compañías.	19
Tabla 2. Funcionamiento comparado de los motores Diesel y Gasolina	31
Tabla 3. Requerimientos de Hidrogeno y consumo de agua para vehículos	34
Tabla 4. Densidad de energía	51
Tabla 5. Evaluación de Octanaje	51
Tabla 6. Comparación de los gases efecto invernadero emitidos	53
Tabla 7. Eficiencia energética	53
Tabla 8. GLP Vs GNC	54
Tabla 9. Normatividad técnica a nivel mundial sobre GNC	90
Tabla 10. Normas legales colombianas relacionadas con GNC	96
Tabla 11. Propiedades relativas a la seguridad del GNL comparado con otros combustibles	109
Tabla 12. Costos de Producción antes de su venta Final	111

RESUMEN

TITULO: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS DIFERENTES COMBUSTIBLES GASEOSOS PARA USO VEHICULAR*

AUTOR: JOSE HILARIO MANRIQUE ALVAREZ**

PALABRAS CLAVES: GNC, GNL, GLP e HIDROGENO.

DESCRIPCION:

Los elevados precios internacionales del petróleo sumados a las bajas proyecciones de reservas internacionales, están impulsando el desarrollo de nuevas opciones que aseguren el suministro de energía que demandará en el futuro venidero la siempre creciente población mundial. Estudios realizados por ECOPETROL, estiman una disponibilidad de gas natural más allá de los 20 años, a las tasas de consumo actual, distribuido por una red de gasoductos repartida por todo el territorio nacional de una manera eficiente y segura, lo que respalda cualquier programa de GNC que se lleve a cabo.

Cuando se usa GNC (Gas Natural Comprimido), GNL (Gas Natural Licuado), HIDROGENO o GLP (Gas Licuado de Petróleo), el combustible siempre se encuentra bajo presión en un sistema cerrado. Esto hace que se reduzcan ostensiblemente las emisiones evaporativas que normalmente tienen lugar en los sistemas a gasolina y elimina la necesidad de utilizar bombas de combustible.

La reducción del consumo y sus resultantes emisiones de carbono serán el reto fundamental de las terminales. En el futuro estaremos conduciendo autos más livianos, más económicos y equipados con revolucionarios motores de escasa combustión. Todos los accesorios, caja de cambios, aire acondicionado y tracción estarán diseñados para requerir esfuerzos de consumo mínimos. Esto quiere decir que dentro de diez años los automóviles consumirán y contaminarán un treinta por ciento menos de lo que lo hacen hoy en día. Existen múltiples alternativas, solo hay que tener la capacidad intelectual para elegir la más adecuada para cada escenario, teniendo en cuenta: El impacto Ambiental, la generación de mano de obra, y la disponibilidad de materias primas locales.

* Monografía

** Facultad de Petróleos, Especialización en Ingeniería del Gas, Gustavo Adolfo Delvasto Jaimes.

ABSTRACT

TITLE: COMPARATIVE ANALYSIS OF DIFFERENT GASEOUS FUELS FOR VEHICULAR*

**AUTHOR: JOSE HILARIO MANRIQUE ALVAREZ

KEY WORDS: CNG, LNG, LPG and HYDROGEN

DESCRIPTION:

The high international oil prices coupled with low international reservoirs projections are driving the development of new options that will ensure the supply of energy demand in the coming future to the ever-increasing world population. Surveys performed by ECOPETROL estimate an availability of natural gas beyond 20 years, at current consumption rates, distributed by a network of pipelines spread throughout the national territory in an efficient and safe manner, which supports any GNC program to be carried out.

When using CNG (Compressed Natural Gas), LNG (Liquefied Natural Gas), HYDROGEN or LPG (Liquefied Petroleum Gas), the fuel is always under pressure in a closed system. This fact significantly reduces the evaporative emissions that normally occur in gasoline systems and eliminates the need for fuel pumps.

The reduction in consumption and its resulting carbon emissions will be the key challenge of the stations. In the future we will be driving lighter and cheaper cars, equipped with revolutionary low combustion engines. All accessories, gearbox, air conditioning and traction will be designed to require minimal consumption efforts. This means that in ten years cars will consume and pollute thirty percent less than they do today. There are multiple alternatives; we only need to have the intellectual capacity to choose the most suitable for each scenario, taking into account the environmental impact, labor, and the availability of local raw materials.

* Monography

** School of petroleum, Gas Engineering specialization, Gustavo Adolfo Delvasto Jaimes.

INTRODUCCIÓN

Los elevados precios internacionales del petróleo sumados a las bajas proyecciones de reservas internacionales, están impulsando el desarrollo de nuevas opciones que aseguren el suministro de energía que demandará en el futuro venidero la siempre creciente población mundial. Colombia también comparte la progresiva preocupación por la escasez de recursos energéticos y por eso se está dando a la tarea de encontrar nuevas formas de energía que le garanticen un suministro independiente y le den la capacidad para responder a sus necesidades industriales futuras.

Además, gran parte de la contaminación ambiental existente, especialmente en los grandes centros poblados, es causada por los vehículos automotores que queman combustibles líquidos de origen fósil como el diesel y la gasolina, generando problemas severos de tipo broncopulmonar, cardiovascular, neurológico y visual en los habitantes. Esta situación ha alertado a la población en general, la cual se ha empeñado en buscar nuevas alternativas energéticas más benignas con nuestro entorno, y es así como han surgido estudios sobre la utilización de combustibles alternativos como hidrógeno, energía eléctrica, energía solar, alcoholes, etc., que han venido evolucionando experimentalmente, pero aún no cuentan con la suficiente tecnología para ser implementados en nuestro país.

Luego de analizar diferentes opciones, se ha encontrado que el Gas Natural Comprimido (GNC), el Gas Licuado del Petróleo (GLP), el Gas Natural Licuado (GNL) y el Hidrogeno, son alternativas viables de sustitución en Colombia, situación que plantea la necesidad de un estudio detallado a nivel técnico y económico del comportamiento de estos combustibles, para conocer así las ventajas y desventajas de cada uno de ellos dentro de este campo, de manera que sirva de ayuda para el aprovechamiento de los recursos energéticos con que cuenta el país.

1. SITUACIÓN ENERGÉTICA ACTUAL

Las tendencias de la evolución energética a nivel mundial muestran un marcado aumento en el consumo de gas, continuidad en la contribución del petróleo y carbón, baja contribución de la energía nuclear y un uso mayor de fuentes renovables. En general, el sistema energético mundial continúa basado en combustibles fósiles y dependiendo de la evolución del mercado del petróleo, aunque de otra parte se estima un aumento de los niveles de emisiones contaminantes asociadas con la actividad energética mundial.

Colombia no se encuentra muy alejada de este panorama, ya que la producción de petróleo se ha convertido en la principal fuente de crecimiento del PIB, que junto con el gas y el carbón proporciona considerables recursos fiscales y de divisas para la economía nacional.

Sin embargo, los niveles per capita de consumo de energía en Colombia en relación con los estándares internacionales es bajo, incluso inferior al promedio de América Latina, razón por la cual, para Colombia el sector energético es un punto estratégico, tanto desde el punto de vista de las expectativas de crecimiento económico como del abastecimiento de la demanda requerida para mejorar los niveles de bienestar de toda la población.

Esta situación plantea la necesidad de llevar a cabo programas y proyectos que permitan un uso eficiente y racional de todos los recursos energéticos con que cuenta la nación.

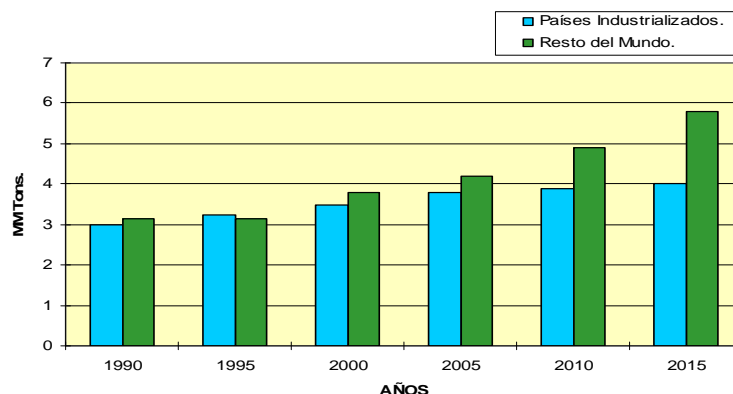
2. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL

La posibilidad de un cambio climático global ocasionado por emisiones de CO₂ y el potencial incremento de emisiones de gases de efecto invernadero han provocado una gran preocupación a nivel mundial sobre los impactos ambientales que conlleva el consumo de energía. Proyecciones hechas, estiman que las emisiones de carbono aumentarán en 3500 millones de toneladas y en el 2015 excederán en un 61% los niveles alcanzados en 2000.

La Energy Information Administration (EIA) de Estados Unidos presentó una proyección sobre emisiones de carbono en el mundo entero, que muestra la tendencia creciente de contaminación en el mundo. Todo indica que año tras año las condiciones ambientales serán peores, lo que ha hecho que se suscriban diferentes acuerdos internacionales que comprometen su gestión en el corto, mediano y largo plazo hacia objetivos de sostenibilidad ambiental, económica y social necesaria para el buen desarrollo humanitario.

Colombia no ha sido ajena a esta problemática y dentro de la nueva Constitución Política se involucró el derecho de las personas a gozar de un ambiente sano y se otorgó al Estado la responsabilidad de planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, conservación, restauración o sustitución.

Figura 1. Emisiones mundiales de carbono 1990 – 2015



Fuente. Tomada de Energy Information Administration - EIA -, International Energy Outlook, Washington

A través de la Ley 99 del 22 de diciembre de 1993, se creó el Ministerio del Medio Ambiente como organismo rector de la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, encargado de impulsar una relación de respeto y armonía del hombre con la naturaleza.

La contaminación atmosférica proviene básicamente de las emisiones de la industria (fuentes fijas) y del parque automotor (fuentes móviles). De acuerdo con el estudio elaborado por el JICA, confirmado por el Departamento Nacional de Planeación, las partes móviles contribuyen en un 60% a la contaminación total de la capital del país.

El parque automotor se convierte entonces en el principal foco de emisión al aire de monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC), debido principalmente a la combustión incompleta presente en motores a gasolina y diesel, generando también óxidos de nitrógeno (NO_x), de azufre (SO_x) y otras partículas contaminantes.

Por lo anterior es importante pensar en la utilización de otras alternativas energéticas que sean beneficiosas para el medio ambiente en el sector automotor. Para tal efecto, los combustibles gaseosos emergen como una opción muy interesante a tratar.

3. COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS PARA VEHICULOS

El combustible más próximo a reemplazar a la gasolina convencional ya es una realidad en Colombia. Desde éste año todos los vehículos deberán mezclar un 10% de alcohol carburante con gasolina convencional, alcohol que provendrá de algunos ingenios y otras industrias nacionales. Es una excelente solución de corto plazo para reducir el consumo de hidrocarburos y explorar nuevas alternativas energéticas. El biodiesel tiene un reto fundamental, lograr un costo de producción que lo haga competitivo en el mercado internacional. De esta forma Colombia podría convertirse en un exportador de biodiesel a mercados tan atractivos como el brasilero. Para lograr esta meta, científicos de la Universidad de la Sabana están explorando nuevas enzimas que mejoren el proceso de conversión de biomasa en alcohol carburante y que reduzca considerablemente los costos de producción. El biodiesel es una realidad y dependerá de los colombianos que se convierta en una industria mundialmente competitiva que genere recursos y empleo sostenible para el país.

3.1 GAS NATURAL COMPRIMIDO (GNC)

El Gas Natural es un combustible fósil compuesto básicamente por metano, con pequeñas cantidades de otros hidrocarburos como el etano, propano, butano, y gases inertes, como el nitrógeno. Se caracteriza por ser ideal desde el punto de vista de contaminación, y porque además requiere de poca transformación y elaboración previa a su consumo. Se comprime a presiones del orden de los 3000 psi con el fin de aumentar su capacidad de almacenamiento. Es uno de los combustibles alternativos de mayor desarrollo y crecimiento en la actualidad.

3.2 GAS LICUADO DEL PETROLEO (GLP)

Obtenido a partir del procesamiento y refinación del petróleo y del tratamiento del gas natural, siendo su principal componente el propano y compuestos más pesados como el butano, se recoge durante el proceso de destilación, razón por la cual es considerado un subproducto del petróleo. Su composición y propiedades varían ampliamente dependiendo del sitio de origen. Existe en estado líquido a temperatura ambiente y a presiones moderadas (alrededor de los 120 psi.), y es uno de los combustibles alternativos utilizados a nivel mundial en el sector automotor.

3.3 GAS NATURAL LICUADO (GNL)

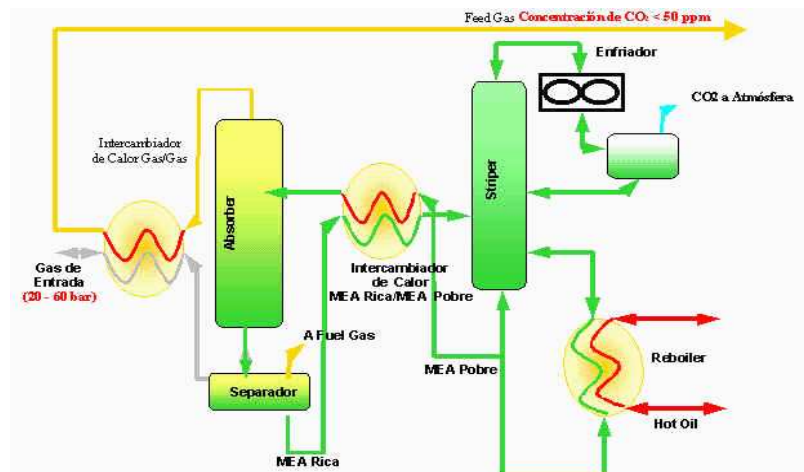
El Gas Natural esta compuesto básicamente por metano, etano, propano, butano, y gases inertes, como el nitrógeno. Para licuar el Gas Natural, es necesario que las impurezas tales como el agua, dióxido de carbono, azufre y algunos de los componentes más pesados sean removidas. El gas es luego enfriado a una temperatura alrededor de $-259\text{ }^{\circ}\text{F}$ ($-162\text{ }^{\circ}\text{C}$) a presión atmosférica para condensar el metano y tener así el gas en forma líquida. Presenta bajos niveles de contaminación, y además, al estar en forma líquida, mayor cantidad de combustible puede ser almacenada.

Es necesario eliminar componentes susceptibles de congelarse durante el proceso de enfriamiento (agua, CO_2 , gases ácidos e hidrocarburos pesados), así como compuestos dañinos para las instalaciones (azufre y mercurio).

El proceso de Licuefacción está formado de las siguientes etapas:

(i) Extracción de CO_2 .

Figura 2. Extracción de CO_2

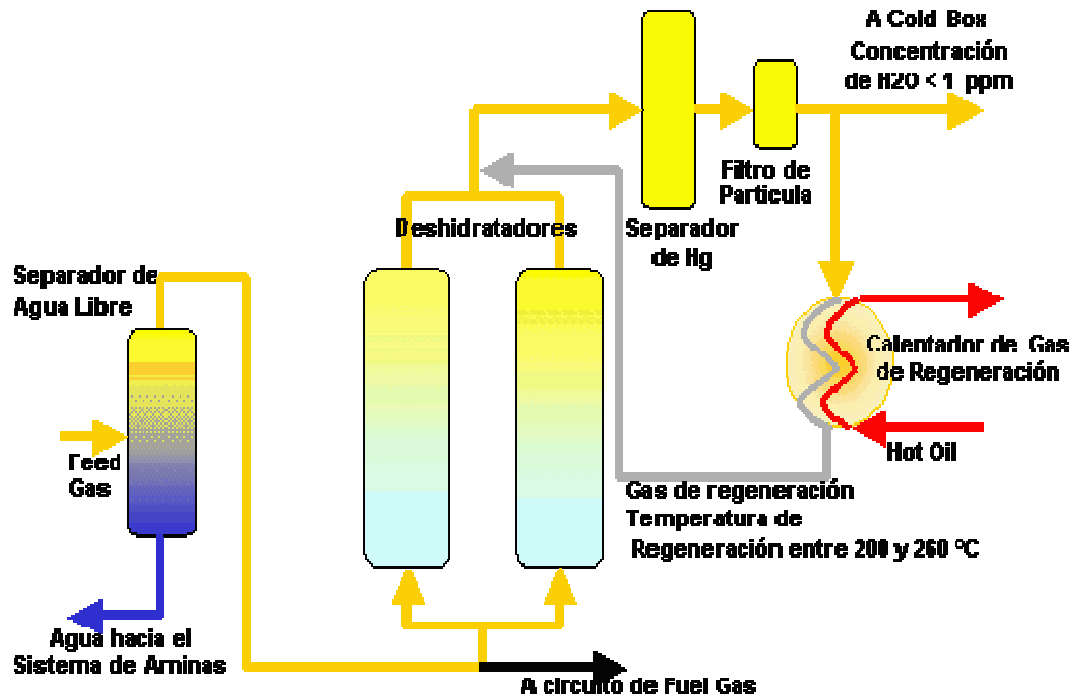


Fuente: INEEL Natural Gas Research Methane Liquefaction Plant

MEA: Proceso de purificación del gas por absorción del dióxido de carbono (CO_2) y el agua existente en el mismo, por medio de la aplicación de una corriente inversa de solución de mono-etanol-amina (MEA).

(ii) Deshidratación y filtrado.

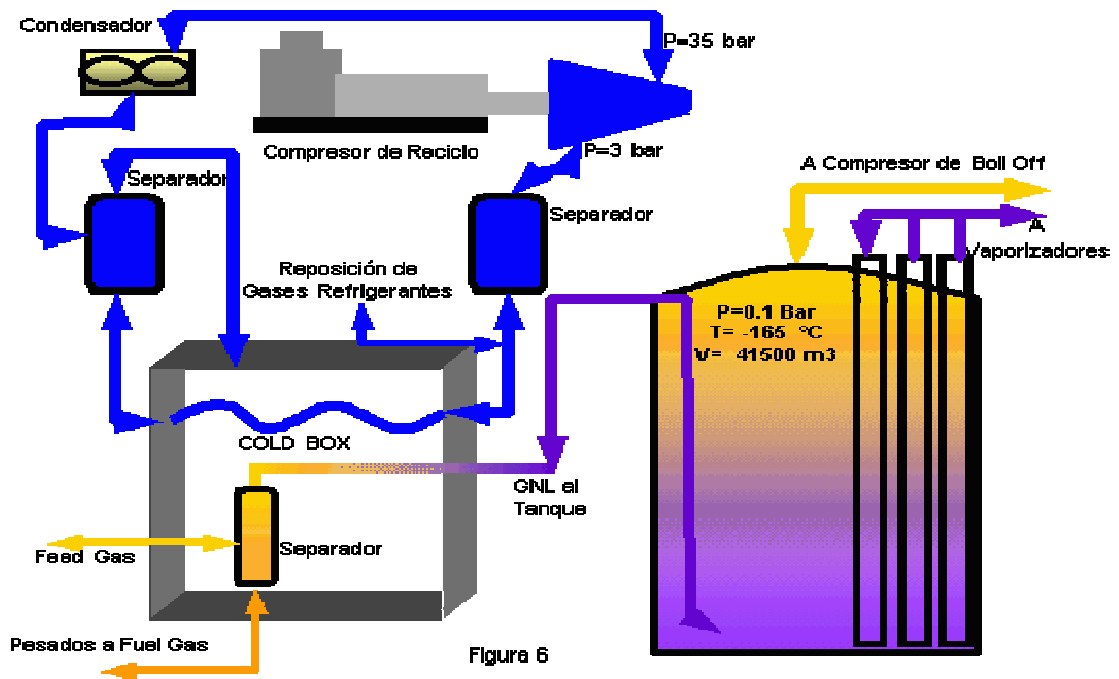
Figura 3. Deshidratación y filtrado



Fuente: INEEL Natural Gas Research Methane Liquefaction Plant

(iii) Licuefacción y almacenamiento.

Figura 4. Licuefacción y almacenamiento.



Fuente: INEEL Natural Gas Research Methane Liquefaction Plant

3.4 HIDROGENO

Las celdas combustibles de hidrógeno se basan en la elemental combinación del hidrógeno con el oxígeno del aire que al reaccionar crean una corriente eléctrica y agua pura. Su uso elimina las emisiones de CO, CO₂ y SO₂, pero aumenta las emisiones de NO_x, debido a las altas temperaturas que requiere para su combustión, lo que genera problemas en la resistencia estructural del motor.

4. LA MEZCLA EN LA COMBUSTION DE LOS MOTORES

Para motores de encendido por chispa que utilicen combustibles gaseosos, se usan dos conceptos principales para la elección del tipo de mezcla gas/aire con que va a trabajar el motor.

- Mezcla pobre (Lean burn)
- Mezcla estequiométrica.

Las ventajas e inconvenientes para cada uno de estos sistemas son las siguientes:

MEZCLA POBRE (LEAN BURN). Partiendo de la definición de mezcla estequiométrica, que es aquella en que el combustible dispone exactamente de la cantidad de aire necesaria para su combustión completa (en el caso de metano es de 17.2 Kg. de aire por cada Kg. de gas), la mezcla pobre es cualquier relación de mezcla que tenga más aire del necesario.

Las ventajas del sistema de mezcla pobre que se podrán alcanzar son:

- Regulación de la mezcla muy sencilla, pues alrededor de la relación 1,4 la regulación es estable por sí misma.
- Rendimiento energético del combustible elevado, pues la gran cantidad de aire hace que la combustión sea completa. Esto conlleva un consumo de gas algo inferior al sistema de mezcla estequiométrica.

Como inconveniente a citar hay que considerar que para cualquier cilindrada de motor, al usar mezcla pobre y por tanto introducir más aire en el motor, entra menos combustible, y en igualdad de condiciones, la potencia se verá reducida.

Para compensar éste efecto, si se usan motores de aspiración natural deberá usarse un motor de mayor cilindrada para obtener la potencia deseada. Si se usa un motor turbo, puede elegirse entre el aumento de cilindrada o aumentar el grado

de sobrealimentación de forma que llegue más mezcla al motor y por tanto más combustible.

MEZCLA ESTEQUIOMÉTRICA. Este sistema, consiste en introducir al motor una mezcla de gas y del aire estrictamente necesario para quemarlo, de forma que no haya oxígeno residual en los gases de escape. Dado que esta exigencia de no presencia de oxígeno es muy estricta para el correcto funcionamiento del catalizador de tres vías en la reducción de los óxidos de nitrógeno, la regulación debe ser muy precisa en lo que se conoce como “ventana estequiométrica” (relación entre 0.97 y 1.02).

Para verificar y controlar esta regulación se utiliza una sonda de detección de oxígeno, la cual controla un sofisticado sistema electrónico de regulación.

Como inconvenientes cabe citar, aparte del catalizador de tres vías (más caro) y de la regulación sofisticada, el que tiene un consumo de combustible ligeramente superior al de mezcla pobre, y unas temperaturas de escape elevadas, las cuales por otra parte, son necesarias para favorecer una correcta actuación del catalizador.

4.1 CICLO OTTO

Los gases provenientes de la madera que se “gasifican” por combustión con cantidades reducidas de aire, constituidos por CO, CO₂, N₂, algo de H₂, etc., se pueden generar en “productores de gas” un poco voluminosos e incómodos, pero que en situaciones de emergencia han servido para movilizar los vehículos automotores. Durante la Guerra Civil Española y la Segunda Guerra Mundial, los vehículos desde taxis y automóviles particulares hasta camiones de carga, se adaptaron en Europa con los equipos necesarios para utilizar como combustible a la leña y al carbón vegetal. El gas producido se alimenta al carburador y constituye un combustible adecuado, aunque de bajo poder calorífico. Hoy, en algunas regiones madereras, resulta más económico utilizar este combustible en los camiones de carga.

Medida de la Tendencia Antidetonante de los Combustibles para el Motor Ciclo Otto. Número de Octano.

Se utiliza un motor estándar de un cilindro, llamado “máquina CFR” (Cooperative Fuel Research”), cuya relación de compresión se puede variar mecánicamente y la intensidad de detonación se mide por medio de un sensor electrónico.

Cuando se determina la característica antidetonante de un combustible, éste se compara en la máquina CFR contra mezclas estándar bajo condiciones perfectamente especificadas y normalizadas.

Las mezclas estándar se preparan con base en los siguientes patrones:

- a) n-heptano, $\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_5 - \text{CH}_3$, hidrocarburo que detona muy fácilmente, pues tiene un período muy corto de demora de auto ignición, al cual se le asigna un número de octano de cero.
- b) Isooctano 6 2.2.4 trimetil pentano, hidrocarburo ramificado con muy buenas características antidetonantes (largo período de demora de auto ignición), al cual se le asigna un número de Octano de 100.

El combustible que se desea probar se alimenta a la máquina cuya relación de compresión se ajusta hasta tener una intensidad de detonación de magnitud determinada. A continuación, se alimentan mezclas estándar de iso-octano y de n-heptano hasta que una de ellas provoca la misma intensidad de detonación que el combustible bajo prueba, a la misma relación de compresión. Se denomina el número de octano del combustible bajo prueba, al porcentaje por volumen de iso-octano de la mezcla patrón, que dio la misma intensidad de detonación, a la misma relación de compresión que dicho combustible. Ejemplo: una gasolina desconocida da una intensidad de detonación de 55 unidades a una relación de compresión de 9 a 1. Una mezcla de 86 vol % de iso-octano y 14% de n-heptano, da la misma intensidad de detonación a la misma relación de compresión. La gasolina bajo prueba tiene un número de octano de 86.

La máquina CFR se maneja, para las determinaciones, bajo dos conjuntos de condiciones estándar diferentes, con las cuales se obtienen números de octano distintos para la misma muestra bajo ensayo, de acuerdo con los dos métodos de prueba.

- a) Método “Research”: da el número de octano “Research”, RON: Las principales condiciones estándar de marcha son:

- Velocidad de la máquina CFR: 600 R.P.M.
- Avance de chispa: constante e igual a 13° antes del punto muerto superior.
- Temperatura de admisión de aire: 125° F
- Temperatura de la mezcla carburada en el múltiple de admisión: no se controla; es alrededor de 100° F.

b) El Método “Motor”: da el número de octano “Motor”, MON:
Las principales condiciones estándar de este método son:

- Velocidad de la máquina: 900 R.P.M.
- Avance de chispa: automático entre 14° y 26° antes del punto muerto superior.
- Temperatura de admisión de aire: 75 – 125°F
- Temperatura de la mezcla carburada en el múltiple de admisión: 300°F.

Las demás características de marcha son iguales para los dos métodos. Las condiciones de marcha de la máquina CFR son tales que el método “Motor” es más severo que el “Research”, por lo cual el número de octano “Research” es mayor que el “Motor”: RON > MON

La diferencia, RON – MON, indica la sensibilidad de un combustible determinado al cambio en las condiciones de operación de un motor.

El anterior procedimiento sirve para gasolinas o combustibles con números de octano menor o igual a 100. Para gasolinas con número de octano mayor, por ejemplo las gasolinas de aviación, las normas a ASTM especifican procedimientos basados en la preparación de mezclas estándar añadiendo plomo tetraetilo al iso-octano. Si una mezcla de iso-octano más T ml/gal de plomo tetraetilo da la misma intensidad de detonación, a la misma relación de compresión que la gasolina bajo prueba, el número de octano de ésta se expresa por fórmulas de tipo: Oct. = 100 – f(T), en donde f (T) es mayor que cero. El procedimiento está descrito en la referencia (60).

Considerando las características antidetonantes de una gasolina en un motor real, el número de octano "Research" , RON, puede predecir mejor las propiedades antidetonantes en condiciones de manejo dentro de una ciudad, a bajas R.P.M. y con adelanto moderado de la chispa, mientras que el número de octano motor, MON, se acerca más a la calidad antidetonante en condiciones de manejo en carretera, a mayores R.P.M., con adelantos de chispa más pronunciados y el motor más caliente. En general, las condiciones antidetonantes de un combustible en un motor se pueden representar por el promedio de los dos números $\frac{RON + MON}{2}$.

2

Para medidas más exactas sobre la tendencia detonante de un combustible en un motor real de varios cilindros, de determinado diseño, se utiliza el número de octano en carretera". "Road O.N.", que se obtiene de acuerdo con el procedimiento establecido en la referencia (61), el cual se describe, de una manera aproximada, a continuación:

El vehículo con el motor a probar, está equipado con un ajuste manual del avance de chispa y medidor de los grados de avance antes del punto muerto superior, así como de un medidor de la intensidad de detonación. Las velocidades del motor, RPM, se miden con un tacómetro calibrado. Los mecanismos para el avance automático de chispa deben estar desconectados: la chispa sólo puede avanzar por ajuste manual.

Se escoge el intervalo de velocidades del motor entre los cuales se harán las determinaciones: a título de ejemplo, entre 2000 y 4000 RPM.

Con el motor a la temperatura normal de marcha, en la relación más alta de velocidad (tercera o cuarta) y con aceleración total (mariposa del carburador completamente abierta), se acelera el automóvil entre 2000 y 4000 RPM (o cualquier otro rango de velocidades escogido), adelantando la chispa progresivamente para mantener el mismo nivel de detonación.

A intervalos regulares se anota la velocidad del motor en RPM, y el avance de chispa necesario para mantener el nivel de detonación constante.

Se dibuja una curva de avance de chispa, en grados antes del punto muerto superior, y las RPM del motor.

Primero se hace una calibración como la de la figura 5, utilizando para cada curva una gasolina patrón de número de octano Motor, MON; ó “Research”, RON, determinado. Finalmente se utiliza la gasolina bajo prueba y se obtiene su curva como la que se ha dibujado en trazos discontinuos en la figura 5. En este ejemplo, la gasolina demuestra tener un “Road. O.N.” de 98 a 2000 RPM y de 96.21 a 4000 RPM: la curva muestra los valores intermedios.

Figura 5. Curva de Mon (Motor Octane Number)

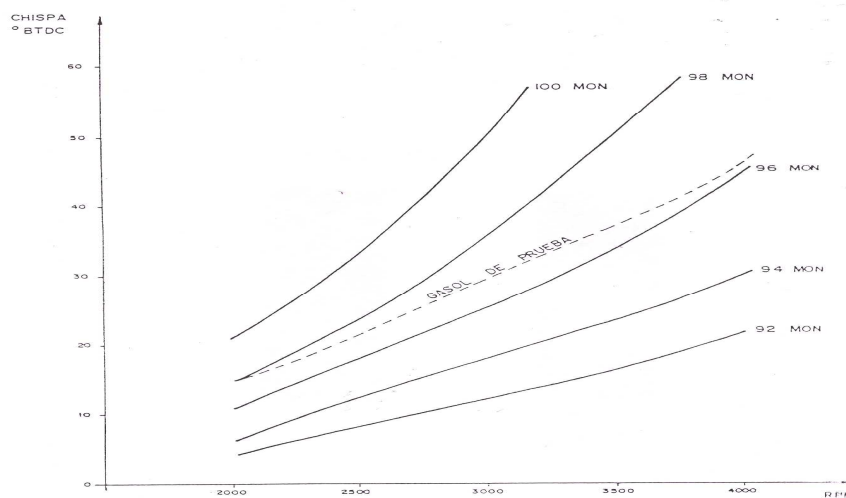


FIG. 11.12

" ROAD OCTANE No. "

FUENTE. Notas del curso de Maquinas Térmicas, Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad de los Andes 1.994.

Un resultado muy importante de esta prueba, es que no solo da las características anti-detonantes de una gasolina en el motor real, sino que expresa avance de chispa y otras variables de la marcha en estudio. Se puede consultar una descripción más exacta del procedimiento en la referencia (61).

La determinación del “Road O.N.” es larga, costosa, y por esta razón sólo se realiza en las factorías productoras de motores al probar nuevos modelos o prototipos en los demás casos, una aproximación, como ya se dijo anteriormente, es “Road” O.N. = $\frac{RON + MON}{2}$

A título de ejemplo se dan a continuación los números de octano aproximados de varios combustibles y productos).

	<u>RON</u>	<u>MON</u>
Gasolina motor extra	98.0	90.0
Gasolina motor corriente	89.0	82.0
Metano, CH ₄		110.0
Etano, C ₂ H ₆		104.0
Propano, C ₃ H ₈		100.0
n-butano, C ₄ H ₁₀	93.6	92.9
i-butano		100.0
n-hexano	26.0	25.6
2, 3 –dimetil-butano		96.0
n-heptano	0.0	0.0
2, 2, 3 trimetil-pentano	100.0	100.0
1-buteno, C ₄ H ₈	81.7	80.0
2-metil-propeno	88.1	87.0
Benceno		110.0
Tolueno		104.0
O-Xileno		104.0
Ciclo-pentano		90.0
Alcohol etílico, C ₂ H ₅ OH	106.0	95.0
Alcohol metílico, CH ₃ OH		95.0

5. RESERVAS ACTUALES DEL GNC

En la actualidad se destacan dentro de la variedad de combustibles alternativos el GNC, el GNL, el GLP y el Hidrogeno, como excelentes sustitutos de la habitual gasolina utilizada para vehículos, siendo innumerables las conversiones realizadas alrededor del mundo con muy buenos resultados.

5.1 RESERVAS MUNDIALES DE GAS NATURAL

En los últimos años, el gas natural ha pasado a tener un lugar notorio en el abastecimiento energético mundial ocupando espacios en el mercado que en el pasado cercano eran atendidos por derivados del petróleo. Para el año de 1970 la relación de reservas probadas entre el gas natural y el petróleo era del 50%. En 1990 esta relación subió al 85%.

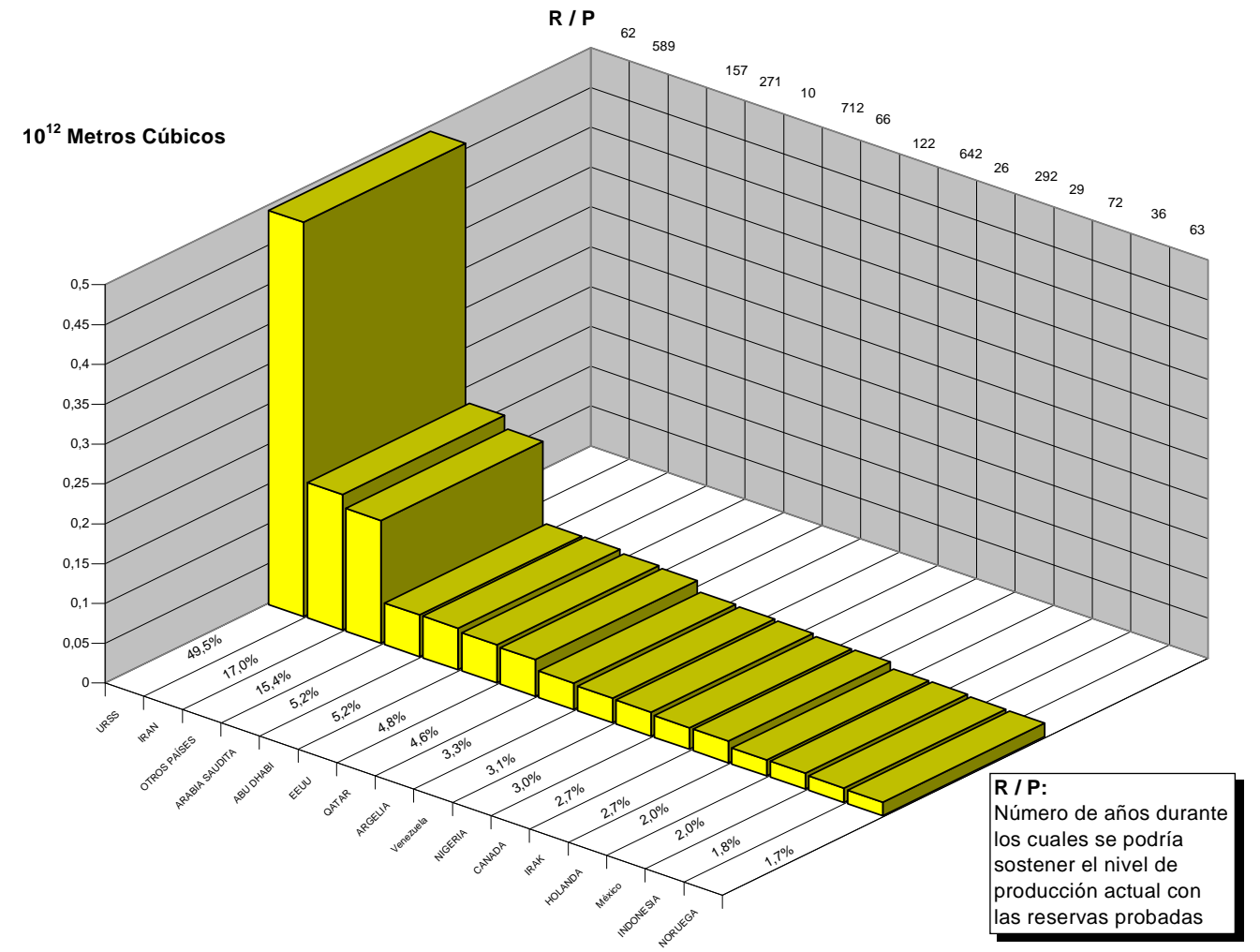
Las reservas de gas natural aumentan continuamente. Periódicamente se descubren nuevos yacimientos y las técnicas de extracción permiten perforar cada vez más a mayores profundidades. Este aumento de las reservas convierte al gas natural en una de las energías más utilizadas en la actualidad y que mayor demanda tendrá en el siglo XXI.

Es interesante anotar que las reservas han venido aumentando sistemáticamente a medida que ha venido creciendo el consumo. Mientras que en los últimos veinticinco años el consumo ha aumentado a una tasa anual cercana al 4%, las reservas han aumentado a una tasa anual del 5.9%. En el mismo período la relación de reservas a producción ha pasado de 40 a 60 años aproximadamente.

Las principales reservas de gas natural están localizadas en Rusia y en Oriente Medio. También existen importantes reservas en Asia, Oceanía, África, América del Norte, América del Sur y Europa Occidental.

En Europa occidental las principales reservas se concentran en Noruega, Holanda y Reino Unido, países que poseen más del 85% de las reservas totales en esta zona. Una cuarta parte del gas consumido en Europa occidental se importa fundamentalmente de Rusia y también de Argelia y Libia.

Figura 6. Reservas Mundiales de Gas



Fuente. Tomada de Minminas – UPME

5.2 RESERVAS EN COLOMBIA DE GAS NATURAL

Colombia es uno de los países que cuenta con el privilegio de tener grandes reservas naturales de energía representadas en yacimientos de carbón, petróleo y gas. Se dio un paso decisivo hacia la utilización masiva de fuentes de energía más limpias con la puesta en marcha del plan nacional de gas. Aunque todavía no se puede considerar como maduro el mercado del gas natural en Colombia, ya disponemos de una infraestructura que nos permite contar con suministro de gas natural en una amplia área de nuestro país.

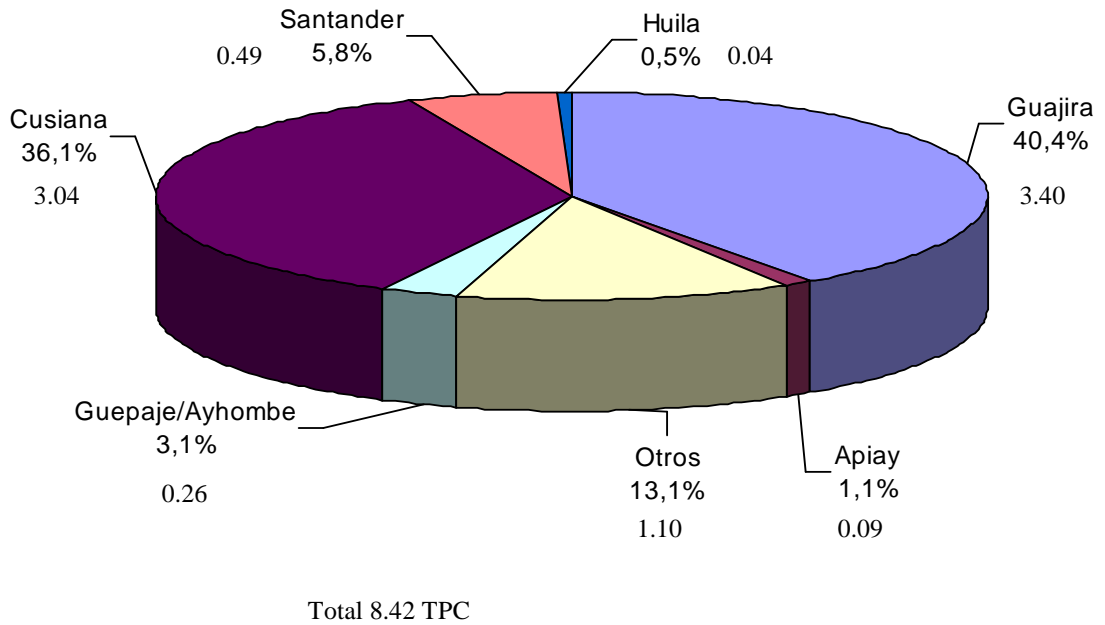
La demanda de gas para la generación térmica que necesita el país está siendo satisfecha; el sector industrial y petroquímico está utilizando el gas eficientemente y la mayoría de las ciudades principales así como numerosos municipios a lo largo y ancho de nuestra geografía, ya disfrutan de los beneficios del gas natural domiciliario.

En Colombia las reservas ascienden a ocho trillones de pies cúbicos con una relación de Reservas / Producción de 27 años aproximadamente.

Las reservas se encuentran distribuidas en los siguientes yacimientos, figura 7:

1. Chuchupa y Ballenas (Guajira), con un 40.4%
2. Cusiana, con un 36.1%
3. Guepaje/ayhombe, con 3.1%
4. Payoa y Provincia, con el 5.9%
5. Apiay, con el 1.1%
6. Tello y Dina, con el 0.5%
7. Otros, con el 13.1%

Figura 7. Reservas Remanentes de Gas Natural en Colombia



Fuente. Tomada de la UPME

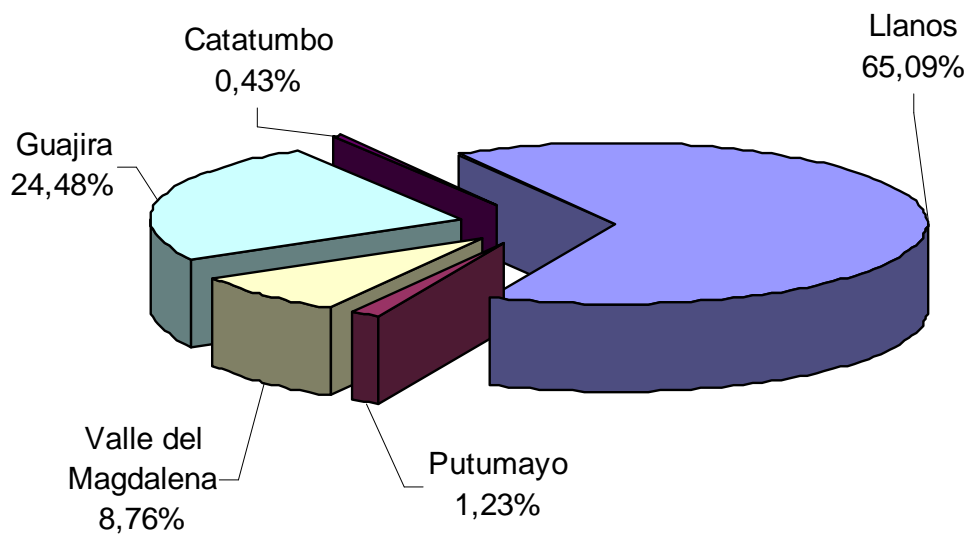
La producción de gas natural por cuencas sedimentarias y compañías en millones de metros cúbicos es:

Tabla 1. Producción de Gas Natural por Cuencas y Compañías.

Cuencas	MPC		Compañías	MPC	
Llanos	11782.2	65.09%	Lasmo	323.24	1.78%
Putumayo	4	1.23%	Ecopetrol	1022.58	5.64%
Valle Sup.	222.68	1.30%	BP	11483.56	63.44%
Magdalena	235.74	5.62%	Petrosantander	207.35	1.15%
Valle Med.	1019.03	1.83%	Amoco	332.12	1.84%
Magdalena	331.51	24.48%	Texas	4431.19	24.49%
Valle Inf.	4431.19	0.43%	Perenco	81.32	0.44%
Magdalena	78.34		Hocol	78.42	0.43%
Guajira			Otras	140.95	0.78%
Catatumbo					
Total País	18.100,73	100%	Total	18.100,73	100%

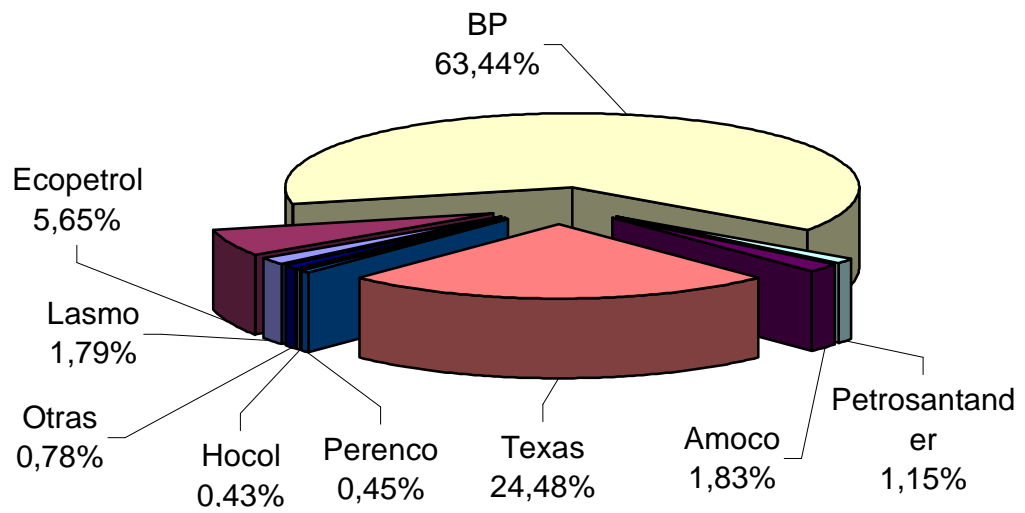
Fuente. Tomada de la UPME

Figura 8. Producción Gas Natural por Cuencas.



Fuente. Tomada de la UPME

Figura 9. Producción Gas Natural por Compañías. Fuente ACOGAS



Fuente. Tomada de la UPME

6. CARACTERISTICAS DEL GNC, GLP, GNL E HIDROGENO

La situación actual del país en materia de hidrocarburos lo coloca en una posición ventajosa para implementar el uso de combustibles gaseosos en el sector automotor. Para aprovechar al máximo estos recursos debemos tener un conocimiento claro de las características del mercado con que cuenta la nación.

6.1 CARACTERISTICAS DEL GNC

Desde que el gobierno nacional emprendió el Plan de Masificación de Gas, se ha venido incrementando anualmente la producción de gas natural, principalmente en la Guajira y en la cuenca de los Llanos Orientales.

En cuanto a las reservas probadas de gas natural, se cuenta con una disponibilidad más allá de los 20 años, a las tasas de consumo actual y del crecimiento esperado. No obstante, el país esta empeñado en la búsqueda de hidrocarburos, incluyéndose cláusulas especiales que incorporan incentivos para la explotación de yacimientos de gas natural.

Actualmente se cuenta con una muy importante red de gasoductos que distribuyen el gas a una gran porción del territorio nacional de una manera eficiente y segura, bajo unas condiciones de calidad que han sido reguladas por la CREG (Comisión de Regulación de Energía y Gas).

Los gasoductos citados sirven a las áreas de servicio exclusivo que han sido adjudicadas mediante licitaciones públicas y corresponden a las zonas del Valle del Cauca, Caldas, Quindío, Risaralda y Tolima, para las cuales se suscribió un contrato de concesión entre cada adjudicatario y la Nación – Ministerio de Minas y Energía.

Así mismo, el Ministerio de Minas celebró contrato de concesión pero sin exclusividad para otras zonas del país como Bogotá, Cali, Bucaramanga, el Cesar, entre otros. En estas regiones igualmente los gasoductos atienden el suministro de gas natural.

Dentro de los objetivos principales que contempla el plan de masificación se tiene al uso eficiente de los energéticos en el país y a sustituir aquellos que son más costosos en diferentes sectores de consumo, ampliando la cobertura en los

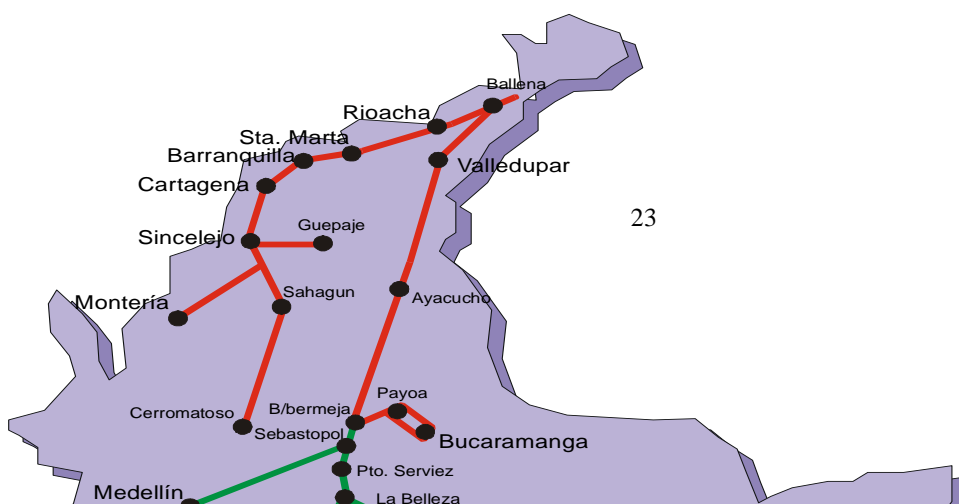
mercados existentes y abasteciendo nuevos centros de consumo. Para lograr este propósito se pretende optimizar el uso de las reservas disponibles de gas con la facilitación a los consumidores de una oferta de energéticos suficiente y diversificada.

Estos objetivos se relacionan con la política de diversificación energética que busca balancear la canasta de consumo en los diferentes sectores, mediante una adecuada oferta y unas señales de precios que reflejen el costo económico de cada recurso.

La disponibilidad, calidad y gran infraestructura con que cuenta el país en materia de gas natural, permite pensar que un proyecto de GNC en vehículos es viable y altamente rentable para el país.

En la Figura 10 se puede observar la longitud, el diámetro y la capacidad de transporte de cada gasoducto.

Figura 10. Red Nacional de Gasoductos, Infraestructura Proyectada



Fuente. Tomada de ECOPETROL

6.2 CARACTERISTICAS DEL GLP

El GLP que se ofrece en el mercado colombiano proviene de las refinerías de petróleo y de los campos de producción de crudo y gas asociado.

Las refinerías del país han tenido como prioridad la producción de gasolina, y han estado sujetas a una carga establecida por la disponibilidad de crudos, la cual no

siempre ha sido uniforme ni de la mejor calidad. Esto ha hecho que el GLP de refinería no sea un producto adecuado para impulsar un programa de conversión de vehículos.

En los campos de Provincia, Payoa, El Centro y Opón se obtiene GLP a partir del secado del gas natural asociado con el crudo, con una calidad relativamente uniforme del 87% de propano y sin olefinas que podría ser óptimo para el uso en vehículos, pero apenas se llega a una producción de 3600 barriles por día y con tendencia a declinar. Actualmente este GLP es utilizado por algunas industrias y el resto se mezcla con el GLP de refinería.

Mundialmente el GLP es el combustible alternativo de mayor uso y reconocimiento.

El consumo de este combustible es de cerca de M18.000 ton/año.

A la fecha hay más de 50 países, repartidos en los 5 continentes, que emplean el GLP como combustible alternativo para automotores.

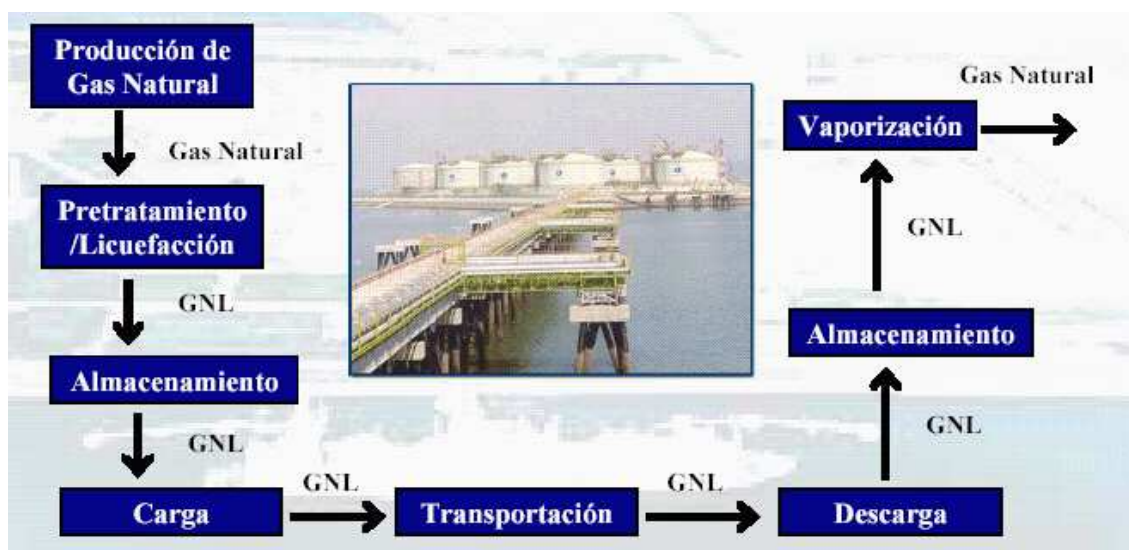
Algunos fabricantes de vehículos dedicados con GLP son: Ford, Citroën, Chrysler, Daewoo, Mazda, General Motors, Hyundai, Mitsubishi, Nissan, Peugeot, Renault, Toyota, Fiat y Volvo.

6.3 CARACTERISTICAS DEL GNL

La creciente demanda interna y las posibilidades de exportar este energético a Centroamérica y Estados Unidos la obligan a plantear alternativas que permitan dinamizar el mercado y explotar el potencial de gas que hay por descubrir.

Para poder usar el GNL localmente, es necesario producirlo a costo muy bajo respecto del combustible tradicional del transporte pesado, el gas oil. Con el downsizing de las tecnologías convencionales de producción por cascada de sistemas de enfriamiento, no han podido obtenerse tecnologías competitivas en costo del producto final, por lo cual la única fuerza impulsora para el reemplazo fue la fuerte disminución de contaminación ambiental, y la disminución del particulado, demostradamente cancerígeno.

Figura 11: Cadena del valor del GNL



Fuente. Tecnologías Competitivas, ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION.

Han aparecido en los últimos años, varias tecnologías competitivas que permiten obtener GNL en pequeña escala costos muy inferiores a los de las tecnologías convencionales. Basadas en el efecto Joule Thomson, se aplican de diferente manera dependiendo de las condiciones de temperatura, presión, composición, caudal del gas.

Puede obtenerse una fracción de GNL, sin costo alguno de compresión y con pequeña inversión, en las estaciones reductoras de presión a la entrada de centros importantes de consumo, como usinas o ciudades. También se lo puede obtener en boca de pozo, para pozos aislados de la red, o efectuando una compresión previa del gas de baja o media presión.

Estas tecnologías permiten producir el GNL a costos extremadamente competitivos con el Diesel y otros combustibles convencionales.

Una interesante ventaja de estas tecnologías es que es muy posible la producción local de los equipos, por ser de construcción física no demasiado compleja una vez dominada la ingeniería básica del proceso.

Hay que tener claro que el GNL y el GNC son el mismo combustible, almacenado de forma diferente. Las emisiones son igualmente bajas, el comportamiento en los motores es igual, con una sola salvedad: el GNL tiene una composición más constante, porque durante el proceso de obtención perdió el CO₂ que pudiera haber tenido el gas original y dependiendo del proceso de licuefacción parte del etano y propano presentes en el gas original.

Esta ventaja, que es relativa en un país como Colombia, caracterizado por la estabilidad en las especificaciones del gas a pesar de tener diferentes cuencas de origen, se convierte en desventaja en el sentido que necesita odorización posterior al proceso de licuefacción, porque durante el mismo el odorizante se separaría.

El uso de GNL aplicado a un parque automotor se podría realizar; el primer problema (y más grave) de los combustibles Diesel es la emisión de particulados por el escape de los vehículos, el problema de los particulados es que son cancerígenos.

El único proyecto de GNL en funcionamiento en el área es Atlantic GNL en Trinidad y Tobago con una capacidad de 10 millones de tn/año, en tres plantas de producción. Varios proyectos de GNL han sido anunciados en esta parte del mundo tanto como plantas productoras en Chile o Perú de gas de Bolivia, Venezuela, Colombia y Perú, hasta varios terminales de recibo de GNL en Puerto Rico, México, República Dominicana, Brasil y otras partes del Caribe. Cuántos de estos proyectos van a ser realidad en un futuro cercano es incierto, pero la demanda de combustibles limpios y económicos van a causar que muchos de estos se instalen.

6.4 CARACTERISTICAS DEL HIDROGENO

Catalogado por General Motors como el combustible del futuro, el hidrógeno podría reemplazar en menos de 30 años a todos los demás combustibles vehiculares. La tecnología, que tiene la impresionante capacidad de generar cero emisiones de CO₂, ha hecho que empresas como GM y Toyota hayan invertido más de 1.000 millones de dólares en investigación y desarrollo. Científicos de la

Universidad Nacional de Colombia han investigado por más de 5 años los nuevos materiales necesarios para hacer de este nuevo combustible una realidad en cada hogar. La diversidad de enzimas catalíticas y su aplicación en celdas de combustible está empezando a ser investigada por industrias privadas y universidades en el país. Estos investigadores se están asociando con Ingenieros de la Universidad de los Andes y están pensando en planes de negocio que les permitan conquistar en un futuro a los mercados generados con esta nueva tecnología. La denominada “economía del hidrógeno”, atrae hoy recursos mundiales en investigación de más de 1.200 millones de dólares y brinda una excelente oportunidad para que Colombia produzca y venda energía y conocimiento a todos los países del mundo.

Es un gas biatómico, que condensa a -253°C , inquieto, resbaladizo, difícil de almacenar, transportar, licuar y manipular con seguridad, capaz de generar mucha energía cuando se libera a la atmósfera (bomba atómica).

Convertir la economía de EEUU (petróleo) en una economía basada en H₂ requiere 150 millones de ton/año de H₂

7. ESTADO ACTUAL DE LA TECNOLOGIA AUTOMOTOR

El automóvil es sin duda hoy día uno de los más fieles y seguros elementos al servicio del hombre. A lo largo de un siglo de desarrollo, el automóvil se ha convertido en un auxiliar insustituible, siempre dispuesto a realizar cualquier tipo de recorrido. Pero para lograr este nivel, sus distintos componentes han tenido que sufrir profundos cambios y perfeccionamientos a nivel tecnológico, logrando así un mayor rendimiento con menores niveles de contaminación.

7.1 TECNOLOGIA A GASOLINA

La inmensa mayoría de los motores utilizados hoy día en el automóvil son del tipo de combustión interna, es decir, en ellos la energía motriz se obtiene quemando un combustible, transformando la energía química en energía mecánica. En los motores a gasolina o de explosión la inflamación de la mezcla tiene lugar cuando se produce el salto de una chispa en la bujía, estando el pistón próximo al término de su carrera de compresión.

Los motores a gasolina se han caracterizado por su rapidez de respuesta y mayor potencia por litro de cilindrada respecto a un motor diesel, permitiendo aceleraciones más brillantes y, en general, una mayor agilidad de marcha.

Las exigencias ambientales han obligado a los fabricantes a buscar nuevas formas de preparar la mezcla combustible, es así como inicialmente se utilizó el carburador o pieza encargada en convertir la gasolina líquida a gasolina atomizada para favorecer la mezcla con aire.

En estos primeros carburadores, el difusor o conducto a través del cual circula el aire era de un diámetro fijo. Al variarse las condiciones de marcha del motor (revoluciones y apertura de la mariposa del acelerador), variaba la cantidad de aire absorbida a través del difusor y con ello la velocidad de circulación del aire y la depresión originada sobre el surtidor de combustible. Esta depresión variable hace necesario emplear dispositivos compensadores para asegurar en todo momento un flujo correcto de combustible. Este inconveniente se subsana posteriormente con el uso del carburador de difusor variable, para lo cual se utiliza un dispositivo consistente en un pistón situado encima del surtidor de combustible, en cuya parte inferior va montada una aguja cónica que se proyecta en el interior del surtidor, de manera que cuando la mariposa del acelerador se abre, la

depresión del colector se comunica con la cámara del cuerpo del carburador. Esta depresión hace subir el pistón, ampliándose la sección de paso de aire en el difusor. Un muelle y el propio peso del pistón permiten mantener la depresión prácticamente constante.

Las continuas exigencias de un mínimo consumo, mínima polución y máximo rendimiento han hecho necesario el cambio de este sistema de carburación por la inyección de gasolina, la cual consiste en el suministro al motor de las cantidades estrictamente necesarias de gasolina, mediante el uso de unos pulverizadores denominados inyectores, que pueden estar localizados en la cámara de combustión de la culata (Inyección Directa) o en el colector de admisión (Inyección Indirecta).

El Inyector consiste en una pequeña cámara alargada en cuyo interior se aloja una aguja solidaria al núcleo de un electroimán, la base cónica y ancha de la aguja se mantiene apretada contra su asiento por la fuerza de un muelle. Cuando se da paso a la corriente, por las espiras del electroimán se produce un campo magnético que desplaza el núcleo y con él la aguja, cuya base cónica se separa de su asiento.

7.2 TECNOLOGIA DIESEL

En un motor diesel la inflamación de la mezcla aire-combustible tiene lugar espontáneamente a medida que el combustible es inyectado en la masa de aire comprimido y a alta temperatura existente en la cámara de compresión, cuando el pistón se encuentra llegando al término de su carrera de compresión.

Este tipo de motor se caracteriza por su menor consumo específico de combustible, así como una mayor sonoridad y menor potencia por litro de cilindrada que los de gasolina. Debido a que tienen que soportar presiones de compresión más elevadas, deben ser de construcción más robusta, por lo que tienen una mayor duración y un mayor peso que los de gasolina.

El menor consumo específico de este tipo de motor y el menor precio del gasóleo o A.C.P.M. frente a la gasolina, lo han llevado a ser utilizado en camiones y autobuses desde hace muchos años.

Posteriormente aparecieron los motores diesel ligeros, en los cuales la inyección del combustible no tiene lugar directamente en la cámara de combustión, sino en una pequeña cámara separada llamada precámara, unida a la cámara principal por un estrecho conducto. Esta modalidad permite disminuir el nivel de vibraciones y sonoridad del motor a la vez que hace posibles regímenes de revoluciones más elevados con una mayor agilidad de respuesta, factores que lo hacen adecuado en vehículos de turismo medio. Estos motores requieren de una bujía de precalentamiento en la precámara para iniciar la combustión del A.C.P.M. después de un arranque en frío.

El último avance en la técnica del motor diesel es la sobre-alimentación o alimentación forzada del aire de la admisión, comprimiéndolo mediante un turbocompresor. En este sistema los gases de escape antes de ser expulsados al exterior se conducen a la cámara de la turbina haciéndola girar y con ella al compresor, comprimiendo el aire de la admisión y enviándolo a los cilindros con una cierta sobrepresión. El aire a una presión superior a la atmosférica, alcanza una densidad también mayor, permitiendo inyectar mayores cantidades de combustible e incrementar en consecuencia la potencia. Cuando se desea un incremento mayor de la potencia, se recurre a refrigerar el aire de la admisión a la salida del turbo, mediante un intercambiador de calor, de esta manera la densidad del aire aumenta más todavía por lo que se puede de nuevo aumentar la cantidad de combustible inyectado y lograr aumentar la potencia útil.

En general la tecnología tanto diesel como a gasolina ha tenido un considerable avance a nivel de reducción de la contaminación ambiental en los últimos años. A tal punto que el problema de los gases de cárter o el de los procedentes de la evaporación del combustible pueden considerarse prácticamente resueltos en los motores actuales. No ocurre lo mismo, sin embargo, con las emisiones a través del escape, para las cuales todavía no existen soluciones que garanticen un tratamiento suficientemente eficaz y a un coste moderado. Las investigaciones se centran principalmente sobre cuatro posibles soluciones:

Mejoras en los motores para lograr una combustión más perfecta, cualquiera que sean sus condiciones de funcionamiento (perfeccionamiento del sistema de distribución, inyección de combustible, etc...)

Utilización de mezclas pobres y motores “desratados”; es decir, mezclas aire-gasolina escasas en combustible, y motores diseñados para potencias superiores a las que normalmente se aplican.

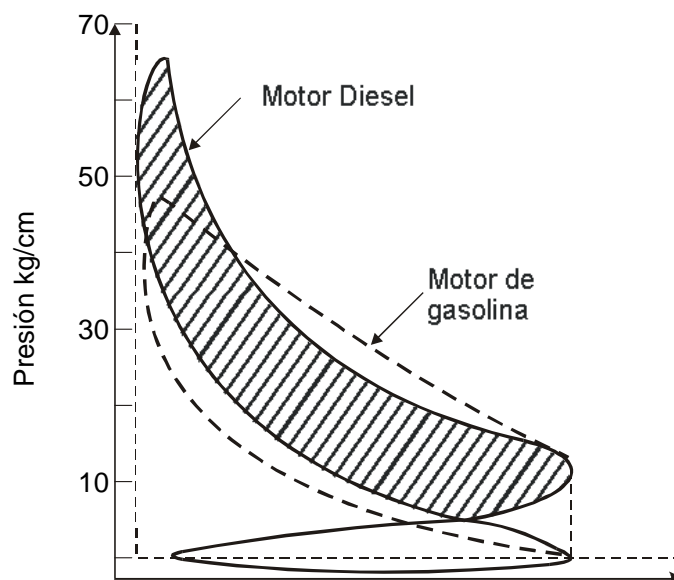
Utilización de reactores térmicos, es decir, postcombustión de los gases de escape, mediante inyección de aire en cámaras a alta temperatura situadas a la salida de los colectores.

Tabla 2. Funcionamiento comparado de los motores Diesel y Gasolina

	DIESEL	GASOLINA
1. Aspiración: Presión (a plena carga)	Aspiración de aire solo 0.95 kg/cm ²	Mezcla de aire-gasolina 0.90 kg/cm ²
2. Compresión: relación de compresión Ignición por	15/1 a 22/1 Calor de compresión	8/1 a 10/1/1999 chispa eléctrica
3. Combustión: presión máxima Temperatura	50 a 90 kg/cm ² 1800 a 2000°C	35 a 50 kg/cm ² 2000 a 2500°C
4. Escape: Gas Temperatura Potencia/litro cilindrada Por /litro de cilindrada (régimen bajo) Régimen máximo Consumo específico Relación peso/potencia	Poco tóxico 450 a 600°C 15 a 30 CV 5 a 7 m kg Inferior a 5000 r.p.m. 160 a 220 g/CV/h 3 a 6 kg/CV (mot. rápidos) 6 a 15 kg/CV (mot. lentos)	Muy tóxico (CO) 600 a 700°C 40 a 70 CV (régimen medio) 6 a 9 m kg 5000 a 8000 r.p.m. 230 a 300 g/CV/h 1.5 a 2.5 kg/CV

Fuente. Tomada de Minminas – UPME – Plan de Implementación del Gas Natural Comprimido Automotor en Colombia

Figura 12. Comparación de los diagramas de presión de un motor Diesel y de un motor de gasolina.



Fuente. Tomada de Minminas – UPME – Plan de Implementación del Gas Natural Comprimido Automotor en Colombia

7.3 TECNOLOGIA DE CONVERSION A GAS NATURAL VEHICULAR

El gas natural es un excelente combustible para motores, su combustión y emisiones características son superiores a cualquier otro combustible de los que se utilizan en la actualidad; proporciona al diseñador de la máquina una flexibilidad considerable en la selección de los parámetros de diseño. Para aprovechar efectivamente la mayoría de sus ventajas es necesario diseñar un motor que se ajuste a las propiedades específicas.

Tanto los motores Diesel o de ignición por comprensión y los motores Otto o de ignición por chispa están ampliamente difundidos en el sector del transporte. Ninguno de estos tipos de motores, diseñados para tecnología diesel o de gasolina respectivamente, se ajustan directamente para su funcionamiento con gas natural.

Un dispositivo importante en el motor para reducir las emisiones es el catalizador del gas de escape. Se están haciendo importantes avances en el desarrollo de materiales catalizadores y en los controles de la operación del motor con el fin de optimizar el comportamiento del catalizador para motores alimentados con gas natural.

La tecnología del gas natural para vehículos ha incrementado su desarrollo, gracias a la cada vez mayor penetración de la misma en diferentes países y pese a que existe gran cantidad de fabricantes. Hoy en día, todos los kits de conversión guardan entre sí ciertas semejanzas que les permiten ser utilizados en vehículos de variados tipos y tamaños.

Se puede afirmar que existen en el mercado esencialmente dos tipos de equipos de conversión, que están determinados por los mecanismos de reducción de presión que utilizan: Sistema de venturi fijo y sistema de válvula aire–gas.

En general el sistema de venturi fijo se utiliza para automóviles de cilindrada menor a 2300 c.c., conociéndose este equipo como de presión negativa ya que el flujo de gas al motor se consigue gracias a la succión del mismo, presentándose en la manguera que va hacia el carburador una presión similar a la atmosférica.

El sistema de válvula aire–gas se utiliza en toda la gama de automotores hasta 7000 c.c. Este equipo se conoce como de presión positiva pues el flujo de gas hacia el motor se asegura mediante la presión proporcionada por el reductor del equipo junto con la de succión propia del motor.

7.4 TECNOLOGIA DE UTILIZACION DE HIDROGENO AUTOMOTOR

El consumo de hidrógeno dependerá de cada tipo de vehículo, la carga que transporta, la velocidad empleada, el tipo de ruta, casos de servicios urbanos y suburbanos, tipo de motorización como motor de combustión-celda combustible-híbrido.

En la tabla 3 se presentan, por tipo de automotor, los requerimientos de hidrógeno y el consumo de agua para recorrer 100 kilómetros.

Tabla 3. Requerimientos de Hidrogeno y consumo de agua para vehículos

Tipo de automotor	Requerimientos de hidrógeno para recorrer 100 kilómetros	Consumo de agua específico por cada 100 kilómetros
Automóvil mediano	10 metros cúbicos normales	10 litros
Camión liviano de reparto	20 metros cúbicos normales	20 litros

Colectivo urbano	40 metros cúbicos normales	40 litros
------------------	----------------------------	-----------

Fuente. Tomada de Comité de tecnologías de Hidrogeno

El hidrógeno consumido en los vehículos, convertido mediante motores de combustión interna ó celdas de combustible, se transforma nuevamente en vapor de agua. El vapor de agua es en principio liberado por el “escape” a la atmósfera, incorporándose al agua presente en la misma. Con el ciclo natural de condensación, precipitaciones -lluvias- escurrimientos acuíferos, captación y nuevamente usos, esa agua se incorpora al ciclo normal terrestre. El balance global es neutro, es decir que no se tiene un consumo neto de agua. En caso de tratarse de zonas de poco recurso de agua, ó con disponibilidad pero de alta salinidad como en algunos lugares el vapor de agua del escape puede condensarse, colectarse y ser aportado nuevamente a los equipos de electrólisis para su uso en la obtención de hidrógeno libre por vía electrolítica.

El sistema de conversión que se instala en los automóviles consta esencialmente de los siguientes elementos en su orden operacional:

En forma comparativa consideramos apropiado analizar el requerimiento de agua para obtener hidrógeno libre y ser empleado éste como combustible, con otras demandas normales de agua. Tomando como ejemplo un automóvil, con recorrido medio anual de 20.000 kilómetros, la necesidad de agua se ubica en los 2000 litros para ese período. Esto es: 2000 litros de agua por año y por vehículo, lo que en promedio resulta en 5,6 litros de agua por día y por auto.

Por lo anterior se concluye que el consumo de agua requerido para obtener hidrógeno libre, es notablemente inferior y en unas cien veces, al requerido en la mayoría de las ciudades para el sector doméstico y domiciliario.

Hoy, el steam reforming de gas natural es el proceso más económico (por el proceso y por la materia prima). Eficiencia del 85%.

Los otros procesos a partir de: carbón (oxidación parcial), petróleo (steam reforming, oxidación parcial), agua (electrólisis) son menos eficientes.

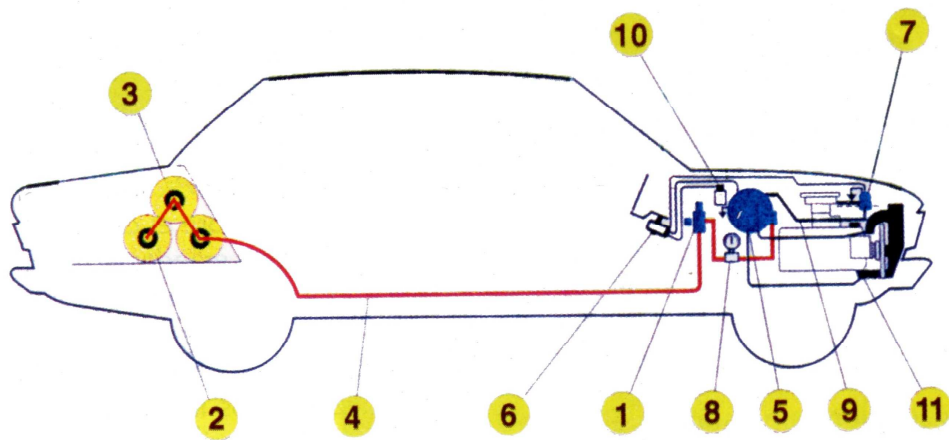
Energía solar o eólica son aun mas caras (solar es 10 veces mas cara que el carbón). La energía en H₂ siempre será mas cara que la fuente usada para obtenerlo.

El H₂ será competitivo solo por sus beneficios: aire limpio y baja producción de gases efecto invernadero (greenhouse gases).

8. SISTEMA DE CONVERSION VEHICULAR Y ESTACION DE COMPRESIÓN

8.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONVERSIÓN GNC

Figura 13. Sistema de montaje GNC en vehículo



- | | |
|-------------------------------|--------------------------------|
| 1. Válvula de llenado | 7. Mezclador |
| 2. Cilindro de almacenamiento | 8. Manómetro |
| 3. Válvula de cilindro | 9. Sistema de baja presión |
| 4. Tubería de alta presión | 10. Electroválvula de gasolina |
| 5. Regulador | 11. Sistema de calefacción |
| 6. Conmutador gas-gasolina | |

Fuente. Tomada de Minminas – UPME – Plan de Implementación del Gas Natural Comprimido Automotor en Colombia

- **Válvula de llenado.** Es una válvula tipo cheque que permite el paso de gas a 3300 psi desde el surtidor de la estación de suministro del gas hasta los cilindros de almacenamiento del vehículo y que a su vez después de ser retirada la boquilla de llenado, permite la circulación del gas desde los cilindros hacia el resto del equipo.

- **Equipo de almacenamiento.** Son cilindros sin costura generalmente de acero (aleación cromo–molibdeno o manganeso), destinados a almacenar el gas a una presión de 3300 psi y con un espesor de pared que va desde 7 hasta 11 mm. Son probados a una presión de rotura de 10000 psi y presión de operación de 4500 psi. Deben estar sujetos firmemente a la carrocería o al chasis del vehículo para evitar eventuales deslizamientos, rotación o desprendimiento de los mismos originados durante la marcha del vehículo. Su tamaño varía de acuerdo a su uso específico y al tipo de vehículo al cual están destinados pero en general su capacidad en agua varía entre 30 y 120 litros.

- **Válvulas para los cilindros.** Son fabricadas en bronce y se colocan directamente sobre la boca del cilindro. Permiten el paso de gas desde y hacia los cilindros. Su cierre se da en sentido horario. Estas válvulas poseen discos de ruptura que operan como mecanismo de seguridad para aliviar la presión en caso de emergencia.

- **Tubería de alta presión.** Generalmente está fabricada en acero al carbono o acero inoxidable. Su función es comunicar los cilindros entre sí y a éstos con el equipo instalado. El espesor de pared en general es de 1 mm.

- **Regulador de presión.** Es el encargado de reducir la presión desde 3300 psi que se tiene en los cilindros hasta un máximo de 5 pulgadas columna de agua. Esta regulación de presión se hace mediante mínimo 2 etapas de reducción de presión. El regulador de presión puede tener un solo cuerpo o 2 para vehículos de gran cilindrada. Tiene incorporado un circuito de calefacción para evitar el congelamiento del gas debido a la caída de presión que tiene lugar en el mismo.

- **Válvula manual de cierre.** Su función es aislar a los cilindros del resto del equipo para permitir los trabajos en las líneas con el sistema completamente despresurizado.

- **Mezclador.** Al salir el gas a baja presión del regulador se encuentra con el mezclador que es el encargado de dosificar la mezcla aire–gas que debe entrar a la cámara de combustión del motor. En el caso de los vehículos pequeños el mezclador va montado directamente sobre el carburador y en los vehículos grandes se utiliza un adaptador para montar el conjunto sobre la boca del carburador. Para el caso de los vehículos a inyección se utilizan picos inyectores de gas similares a los originales de gasolina.

- **El kit de conversión.** Cuenta además con una serie de accesorios que permiten el normal funcionamiento del vehículo. Estos accesorios son:

Electroválvula de gasolina. Es un componente electromecánico ubicado entre la bomba de gasolina y el carburador que impide el paso de combustible líquido mientras el automóvil trabaja con gas. La electroválvula cuenta con un sistema de cierre manual.

Electroválvula de gas. También es un componente electromecánico ubicado lo más cerca posible al regulador de presión y su función es permitir un adecuado paso de gas tanto en el momento del encendido, cuando se necesita una cantidad extra de combustible, como durante la marcha normal del vehículo.

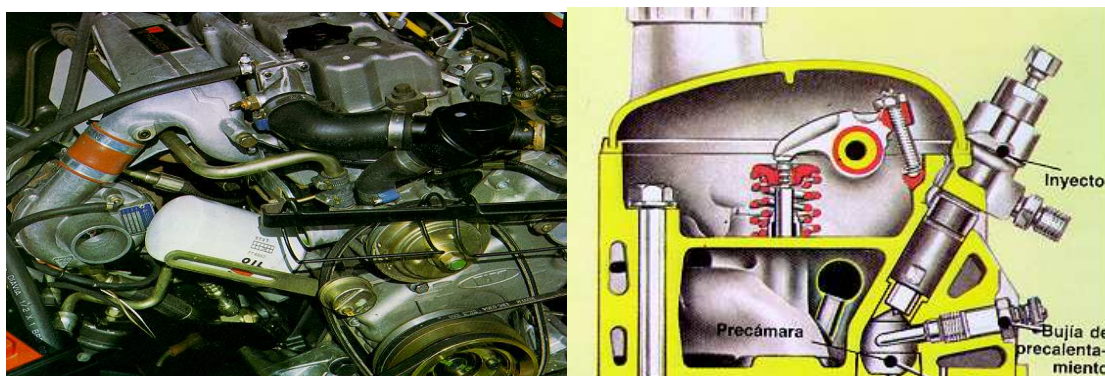
Indicador de presión. Es un dispositivo eléctrico que dispone de un potenciómetro que muestra la presión existente en los tanques y por medio de una señal eléctrica activa los indicadores de nivel. El indicador de presión está ubicado en la cabina del vehículo en un lugar visible para el conductor.

Conmutador gas–gasolina. Este dispositivo usualmente es un interruptor de 3 posiciones y está integrado al conjunto indicador de nivel; sirve para seleccionar el tipo de combustible que se desea utilizar para la operación del vehículo.

Dispositivo electrónico de avance de chispa. Como el gas tiene un punto de ignición más elevado que la gasolina, requiere de un dispositivo que adelante el momento de encendido de las bujías cuando se utilice gas y que lo atrase automáticamente cuando se utiliza combustible líquido.

Sensor de oxígeno. Es un elemento que sensa la cantidad de gases de escape y envía una señal al conjunto de dosificación cuando es necesario regular la mezcla aire-gas.

Figura 14. Motor convencional



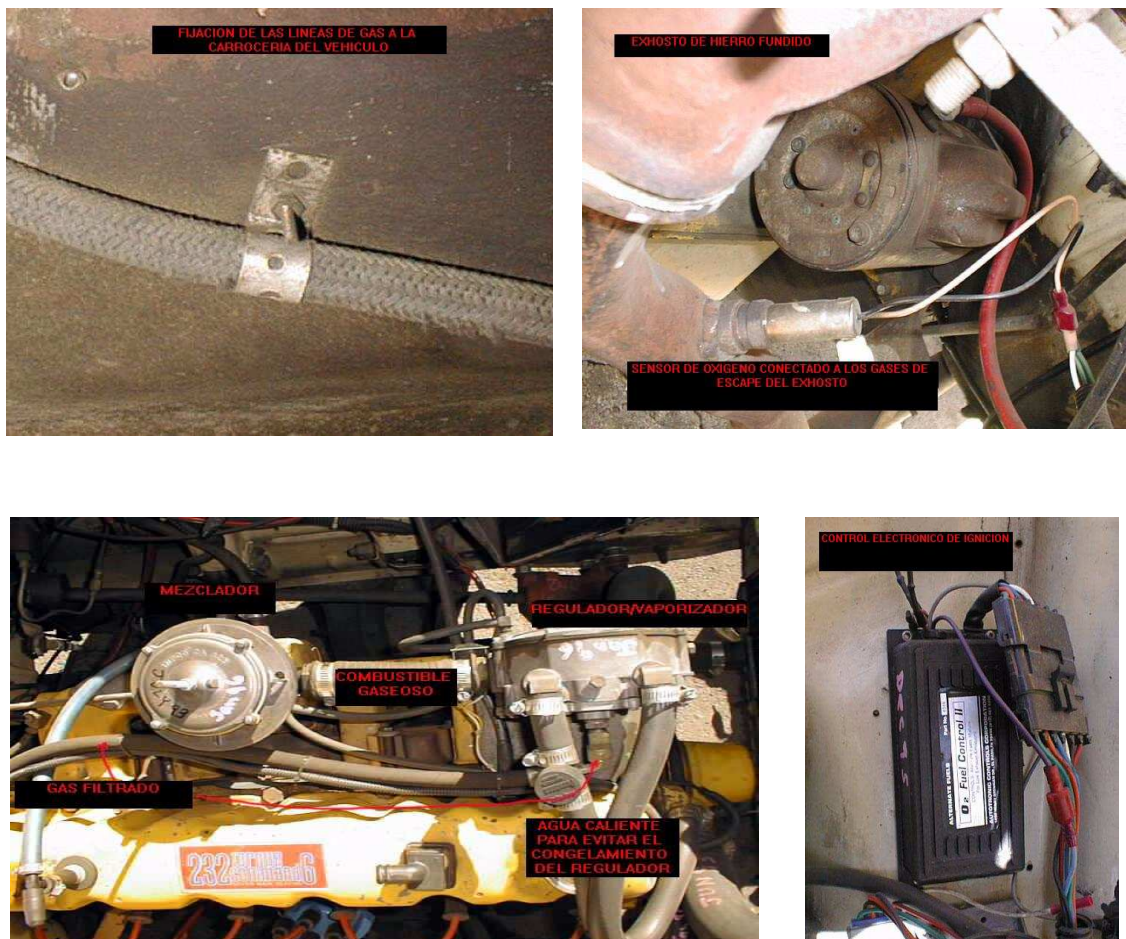
Fuente. Tomada de El Automóvil a Fondo. Ediciones Culturales VER Ltda. Bogotá - Colombia. 1996.

Figura 15. Tanque de almacenamiento de un vehiculo convertido



Fuente. Tomada de Do it yourself automotive conversion. Tom Jennings. Fourth edition, Nov 1998.

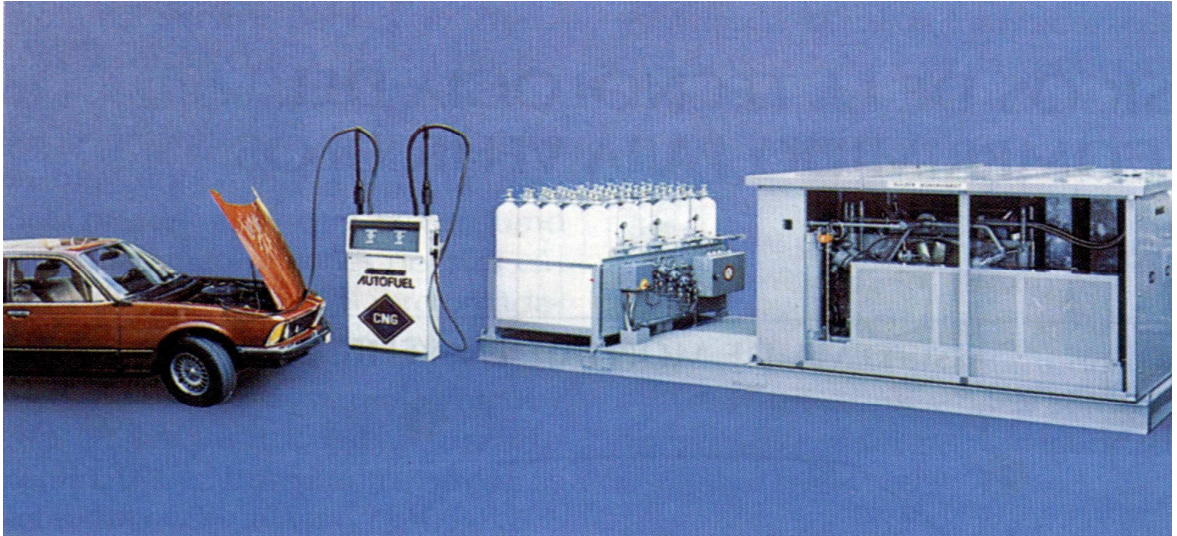
Figura 16. Vehículo convertido a gas natural



Fuente. Tomada de Do it yourself automotive conversion. Tom Jennings. Fourth edition, Nov 1998.

8.2 DESCRIPCION DE LA ESTACIÓN DE COMPRESIÓN

Figura 17. Estación de compresión



Fuente. Tomada de Minminas – UPME – Plan de Implementación del Gas Natural Comprimido Automotor en Colombia

La operación de llenado vehicular puede efectuarse de dos formas de acuerdo con el tiempo empleado en la misma: llenado lento y llenado rápido. Los sistemas de llenado lento son aquellos en los cuales el proceso de reabastecimiento de GNC demanda un tiempo de tal magnitud que imposibilita la presencia permanente junto al vehículo del personal de la estación. Dicha modalidad de carga se utiliza mayoritariamente en el aprovisionamiento de flotas cautivas o particulares.

Las operaciones de llenado rápido son aquellas que tienen una duración comparable a la del llenado con combustibles líquidos. Actualmente se dispone de equipos que toman entre 2 y 3 minutos para el llenado de un automóvil y entre 4 y 8 minutos para el llenado de un bus o camión.

Los equipos usados en operaciones de llenado lento y rápido difieren ligeramente. Sin embargo, los componentes principales son similares. El sistema genérico de compresión, almacenamiento y despacho de GNC vehicular consta de los siguientes elementos en su orden operacional:

- **Medidor de gas.** Instalado por la empresa distribuidora de gas natural para medir el consumo de gas natural de la estación de llenado que se conecta a la red de distribución.
- **Equipo de compresión.** Está formado por diversos elementos entre los que se destacan el pulmón de aspiración (tanque de aspiración), los elementos de filtrado y los compresores propiamente dichos.
- **Pulmón de aspiración:** Es un tanque que posibilita la succión de los compresores en el momento del arranque del equipo. Este tanque amortigua el efecto de la succión del compresor en la primera etapa y evita el venteo de gas cuando el equipo se detiene.
- **Filtro:** Antes de la entrada al compresor se instala un sistema de filtrado que permite retener suciedades que puedan afectar la vida útil del compresor. Dichos filtros recogen partículas cuyo tamaño oscila entre 5 y 50 micrones.
- **Compresores:** Son sistemas mecánicos de movimiento alternativo de multietapas reciprocantes que se encargan de elevar la presión desde la de operación normal de la red de distribución hasta 3500 psi mediante un mínimo de 3 etapas de compresión. Estas etapas poseen circuitos de refrigeración por agua o aire para evitar el calentamiento excesivo del compresor.

En general, los compresores de gas para estaciones de llenado de gas natural tienen relativamente bajas tasas de flujo de gas pero producen elevados incrementos en la presión. Los compresores pueden ser accionados por un motor eléctrico o por un motor de combustión interna.

Los compresores disponibles cubren un amplio rango en términos de variedad constructiva y tamaño, es posible encontrar pequeños equipos que suministran desde 2 m³/h hasta grandes unidades que entregan caudales de gas de 2000 m³/h y mayores.

- **Batería de almacenamiento.** Son cilindros de acero dispuestos de manera horizontal o vertical cuya función es almacenar el gas a alta presión que entrega el

compresor y que posteriormente pasa al surtidor. Generalmente los cilindros están dispuestos en grupos o bancos de 10 o 20 unidades, firmemente asegurados a una estructura metálica de soporte, dicha disposición se conoce como cascada de almacenamiento. Las capacidades de los cilindros empleados en las cascadas varían según los requerimientos de suministro de la estación, pero los más usuales son los de 100 o 125 litros.

- **Acumulador.** Este elemento hace pasar el gas a través de un regulador de presión para mantener la presión normal de operación del surtidor (3300 psi).
- **Surtidor.** Está compuesto por una unidad dispensadora medidora, una manguera de llenado y una boquilla de llenado. Los surtidores poseen medidores (de volumen o de masa) que indican la cantidad de gas en metros cúbicos que son despachados, el costo total de la venta y el precio por metro cúbico. Se ha incrementado el uso de los medidores de masa en los surtidores debido a que garantizan errores en la medición que están por debajo del 1%.

Existen en el mercado alrededor de 10 diseños diferentes para boquillas de llenado pero, debido a las dificultades para hacerlas compatibles entre sí, se diseñó la “boquilla NGV1”. Esta boquilla por haber sido concebida específicamente para operar con GNC vehicular proporciona grandes ventajas en cuanto a seguridad, en comparación con los otros sistemas de llenado (impedimento del llenado a una presión mayor que la de trabajo y eliminación del escape de gas que se produce al momento de la desconexión). La tendencia mundial en lo referente a la boquilla de llenado indica que el uso del tipo NGV1 se extenderá una vez el comité técnico de la ISO (TC22/SC25) culmine la elaboración de la norma técnica internacional para esta boquilla cuyo documento de referencia es la norma ANSI/AGA NGV1.

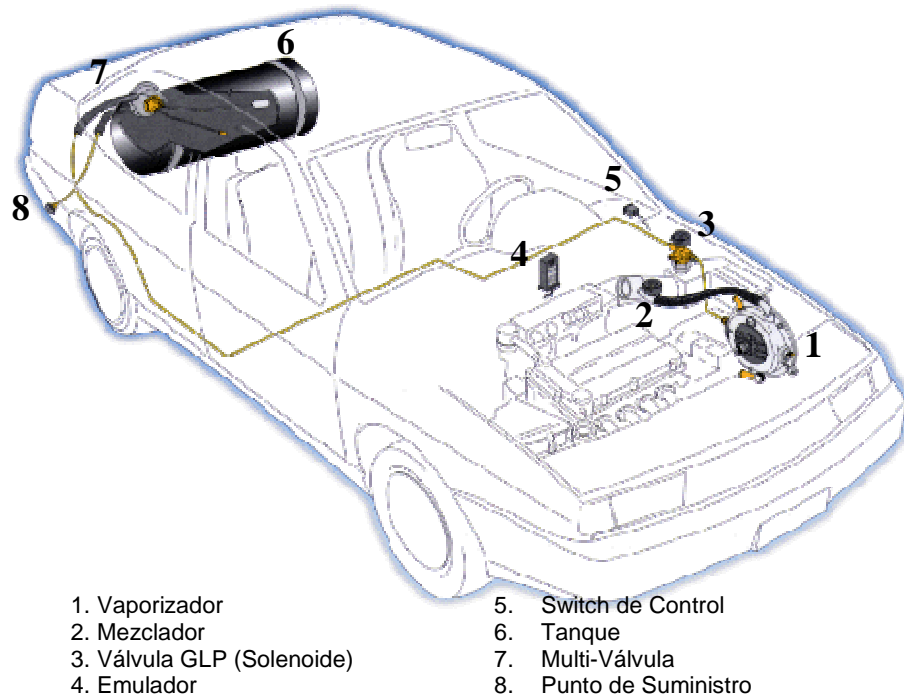
- **Válvulas de alivio y seguridad.** A través de todo el recorrido de la instalación se instalan este tipo de válvulas para proteger el sistema ante eventuales sobrepresiones y, para aislar las diferentes etapas del proceso cuando se requiere practicar labores de mantenimiento. Estas válvulas deben estar ubicadas como mínimo a la entrada principal de gas al sistema, intercaladas en las etapas de compresión, a la salida del compresor, entre los bancos de almacenamiento, a la entrada de los surtidores y antes de la manguera de despacho de cada surtidor.

- **Tablero de control.** Conjunto de mandos y controles eléctricos y manuales destinados a operar las unidades de compresión y almacenamiento, los cuales están debidamente aislados y protegidos.

- **Subestación eléctrica.** Conjunto de elementos y dispositivos debidamente aislados y protegidos, destinados a alimentar con electricidad los equipos y motores de la estación de servicio.

8.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONVERSIÓN GLP

Figura 18. Sistema de montaje GLP en vehículo



Fuente. Tomada de AGREMGAS – Asociación Gremial Colombiana de Comercializadores de Gas

Figura 19. Sistema, evaporizador, unidad de control, Depósito Tórico y Carro Cargando Gas





Deposito Tórico

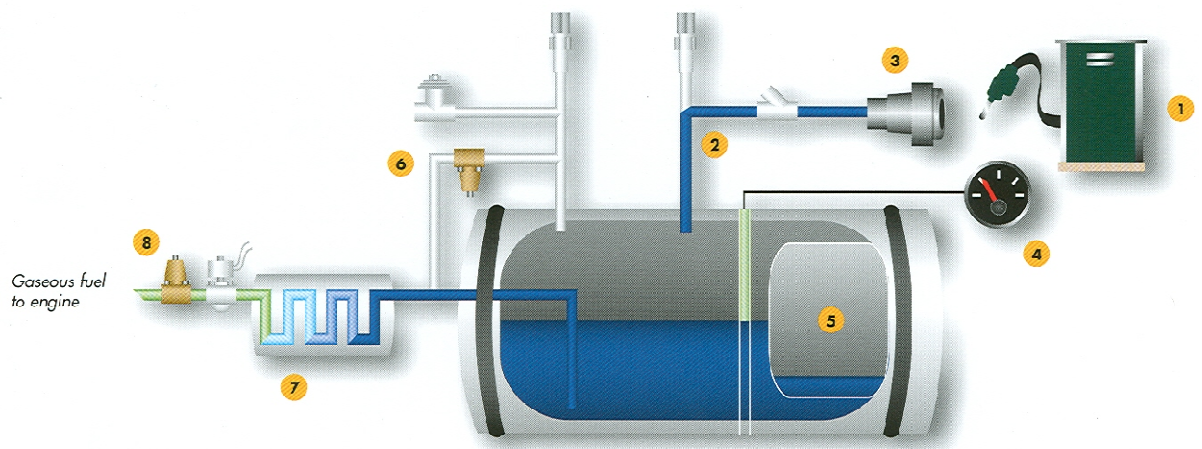


Vehiculo Cargando Gas

Fuente. Tomada de AGREMGAS – Asociación Gremial Colombiana de Comercializadores de Gas

8.4 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONVERSIÓN GNL

Figura 20. Funcionamiento tanqueo de GNL



Fuente. NEXGEN FUELING

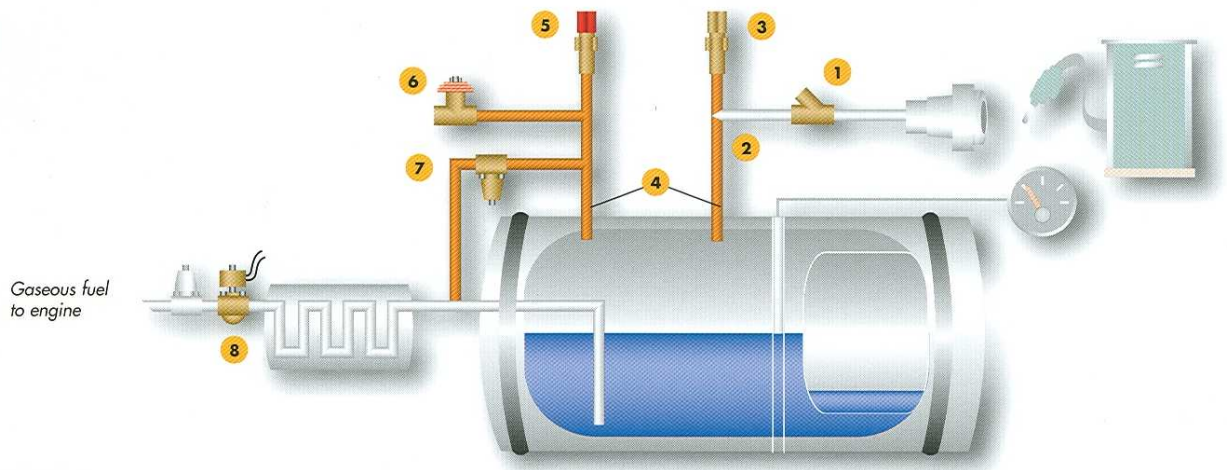
1. **Dispensador de GNL:** Provee combustible al tanque con un inyector de control para combustible.
2. **Tapa de llenado:** Permite solo aprovisionar combustible de la manguera - el spray del fluido se convierte en vapor para llenados rápidos.
3. **Receptáculo de combustible:** Una válvula de disco con movimiento vertical en el receptáculo es abierta automáticamente por el surtidor de gasolina sobre el receptáculo. El receptáculo tiene mecanismo de fijación que empareja al surtidor de gasolina para asegurar un sello apretado durante el proceso de aprovisionar el combustible.
4. **Galga de combustible:** Puede ser montada en la cabina o en un área protegida por el receptáculo de combustible.
5. **Espacio de Vapor:** Posee un hueco pequeño al lado de la tapa del tanque, para así absorber los excesos de vapor. Extiende los tiempos de asentamiento cuando el vehículo no esta en uso por mucho tiempo.
6. **Regulador de consumo (economizador):** Determina la presión del tanque.

7. **Modificador de calor:** Utiliza el líquido refrigerador del motor para calentar el GNL hasta convertirlo a un estado gaseoso.

8. **Regulador de presión excesiva:** Asegura que la presión del combustible vaporizado no exceda la presión especificada por el fabricante del motor. Provisto cuando se necesita por las presiones operativas del motor.

8.4.1 Características de Seguridad Para el Tanque

Figura 21. Seguridad de Llenado



Fuente. NEXGEN FUELING

1. **Válvula de chequeo para el llenado:** Previene el combustible y al vapor de combustible de los escapes del receptáculo. También previene los escapes de GNL en caso de un accidente severo.

2. **Tapa de llenado:** Previene el escape de combustible del tanque en caso de accidentes severos.

3. **Válvula primaria de relevo:** Selecciona la presión máxima de trabajo permitida por el tanque.

4. **Relevos duales de trayectos:** Provee un relevo alternativo en caso de que un conducto se encuentre tapado.

5. Válvula de relevo secundaria: Selecciona aproximadamente a 1.5 veces la presión máxima permitida en el tanque.

6. Válvula de aire: Permite que la presión sea controlada de forma natural, en el tanque almacenador durante el aprovisionamiento de combustible.

7. Regulador de combustible (economizador): Determina la presión en el tanque.

8. Válvula de cierre electrónico: Cierra el flujo de combustible hacia el motor cuando se encuentra apagada o atascada. Es normalmente provista por el chasis o el fabricante de motores.

8.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DEL GNC EN AUTOMOTORES

Se relacionan a continuación las principales ventajas del GNC cuando se usa como sustituto de la gasolina en vehículos convertidos, así como algunos aspectos desfavorables:

Ventajas:

- Menor costo por unidad de energía.
- Menor contaminación ambiental.
- Mejor combustión y más completa.
- Mayor eficiencia calórica.
- Mayor duración del lubricante: aproximadamente 12.000 km.
- Mayor vida útil del motor.
- Posibilidad de uso de dos opciones de combustible en los vehículos convertidos.
- Menor posibilidad de fraude respecto a la compra de gasolina.

Desventajas:

- Pérdida de potencia del motor entre 10% y 15% en motores de gasolina.
- Espacio ocupado y peso de los cilindros de almacenamiento.
- Pérdida relativa de autonomía por localización restringida de las estaciones de servicio.

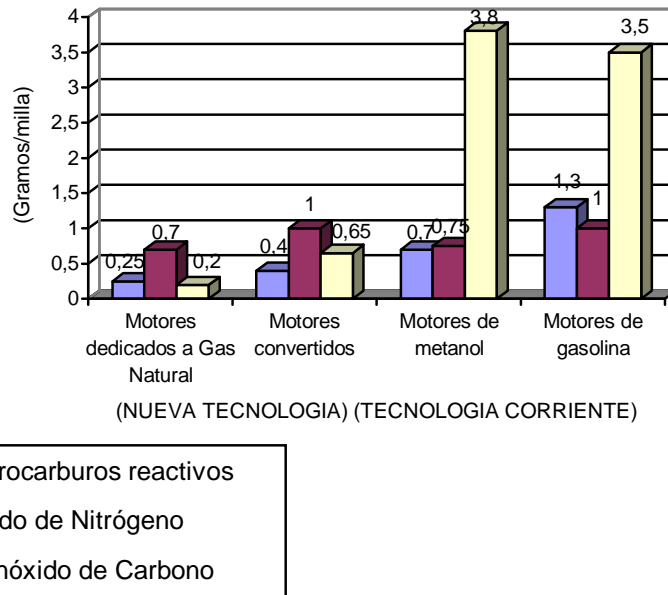
Se ha comprobado por análisis de laboratorio efectuados por Terpel en sus instalaciones de Bucaramanga que los vehículos al funcionar con gas natural comprimido (GNC) pueden mantener el estado del lubricante en aceptables condiciones de funcionamiento hasta el doble del tiempo normal de uso con gasolina esto debido a la ausencia de carbón y a la no dilución del aceite con la gasolina. La lubricación de los cilindros del motor esta mejorada debido a que la película de aceite no esta deteriorada por la no dilución del aceite con la gasolina y el calor de fricción disminuye dramáticamente.

Los aditivos utilizados para máquinas de gasolina están basados en bario, calcio y magnesio, estos compuestos metálicos forman depósitos de carbón en la máquina, las cuales causan impurezas en el motor. Las especificaciones del aceite incluyen aditivos detergentes no metálicos bajos de impurezas, para impedir el engrosamiento del aceite.

Debido a que el gas natural comprimido (GNC) es mucho más puro como combustible, todos los elementos en contacto directo con la combustión presentan menos desgaste producido por la acumulación de residuos en todos ellos (válvulas, anillos, cilindros, bujías, culatas, etc.) y por no utilizarse todos los elementos del carburador el costo de mantenimiento se reduce y al no presentar contaminación el lubricante del carter, todos los elementos rotacionales del motor presentan menos desgaste (cigüeñal, viejas, eje de levas, etc.) puede ser que las causas mayores de desgaste de la máquina sean la velocidad y el torque.

Figura 22. Emisiones de contaminación por tipo de vehículo

Valores Comparativos promedio de emisiones de monóxido de carbono (CO)



Fuente. Tomada de Minminas – UPME – Plan de Implementación del Gas Natural Comprimido Automotor en Colombia

8.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DEL GLP EN AUTOMOTORES

1. Densidad de energía: El GLP como combustible vehicular, presenta una autonomía que hace que los volúmenes del combustible y peso del tanque sean muy cercanos a los de la gasolina, generando importantes autonomías y rendimientos. Autonomía equiparable a Motores a gasolina, 3 veces superior al G.N.C. Menor pérdida de tiempo por reabastecimiento.

Tabla 4. Densidad de energía

	GL	Gasolina	GN	Metano
Volumen de combustible	10	7	30	13
Peso del combustible y el tanque	9	⁵¹ 7	28	12

Fuente. Tomada de World LP Gas Association

1. Evaluación de Octanaje: La combustión del GLP es más suave en comparación con las gasolinas regular y la Premium (el número de octanaje es típicamente mayor que 95), y a diferencia de otros combustibles no se necesitan aditivos para garantizar su alta calidad.

Es un combustible de alto octanaje que incrementa la potencia del motor y mejora la eficiencia, reduce el consumo de combustible y minimiza los costos de mantenimiento.

Tabla 5. Evaluación de Octanaje

	Gasolina	N-Butano	Propano
Número de RON	85.2	91.8	112.1

Fuente World LP Gas Association

1. Vida del Motor: Combustión más limpia y completa; El GLP se mezcla más fácilmente con el aire que la gasolina y otros combustibles líquidos, porque llega al motor en forma de gas puro.

Reducción en el mantenimiento y mayor duración del motor.

El lubricante no se diluye con el combustible líquido, se reduce la abrasión y degradación química. Mayores intervalos en el cambio de aceite.

Aumenta la vida útil de las bujías.

Ausencia de ácidos y depósitos de carbono resultantes de la combustión.

Genera hasta un 98% menos hollín que los motores diesel.

Conducción más suave, silenciosa y sin vibraciones.

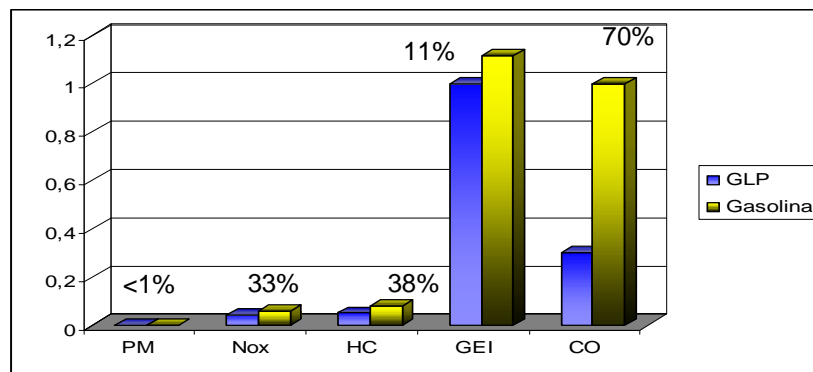
2. Medio Ambiente: Considerado como un combustible ecológico, ya que reduce las emanaciones de gases como consecuencia de una combustión completa.

Drástica reducción de las emisiones de contaminantes cancerígenos como aldehídos y compuestos aromáticos.

No causa daños al suelo o al agua, por su rápida evaporación.

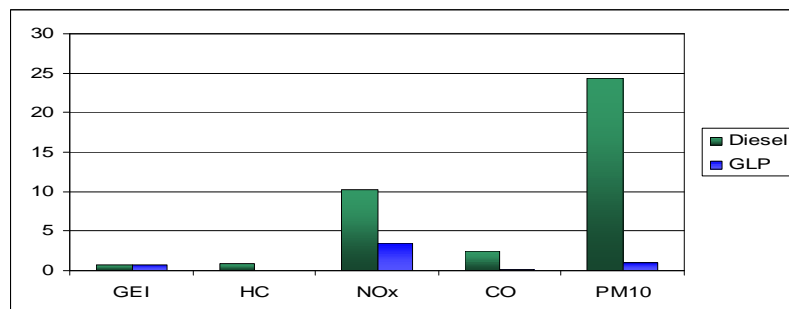
Niveles de ruido perceptibles reducidos en un 50%

Figura 23. Reducción de emisiones del GLP comparado con la gasolina



Fuente Tomada de AGREMGAS – Asociación Gremial Colombiana de Comercializadores de Gas

Figura 24. Reducción de emisiones del GLP por km comparado con el diesel



Fuente. Tomada de AGREMGAS – Asociación Gremial Colombiana de Comercializadores de Gas

Tabla 6. Comparación de los gases efecto invernadero emitidos

Combustible	Relativo neto (Gases efecto invernadero)
Gas Licuado del Petróleo	8.61
Gas Natural Comprimido	9.03
Gasolina	10.71

Fuente. Australian Liquefied Petroleum Gas Association Limited

El GNC presenta las menores emisiones de CO₂, sin embargo es relegado a segundo lugar por el alto impacto de sus emisiones de CH₄.

3. Eficiencia Energética:

Tabla 7. Eficiencia energética

Combustible	Poder calorífico (BTU/Gal)	Combustible	Poder calorífico (BTU/m³)
Diesel (ACPM)	138.000	Gas Propano	93.685
Gasolina 87-93 Oct.	115.400	Gas Natural	35.315
Gas Propano	92.000		

Fuente. Tomada de AGREMGAS – Asociación Gremial Colombiana de Comercializadores de Gas

El poder calorífico del Gas Propano es:

- ↓ Casi 3 veces mayor que el del GN vehicular
- ↓ 80% del de la gasolina
- ↓ 67% del de el Diesel

Tabla 8. GLP Vs GNC

GLP -Gas Licuado de Petr3leo	GNC - Gas Natural Vehicular
Necesita una presi3n de solo 8 Atm3sferas (118 psi). para volverse L3quido y abastecer el dep3sito del Veh3culo.	Necesita una presi3n de 200 atm3sferas (3,000 psi) y tanques probados a 300 atm3sferas. Requiere la instalaci3n de enormes Compresores en las estaciones que van a Comercializar GNC.
El peso de un tanque es aprox. de 18 Kgs. y se pueden llenar 12 Galones.	El peso de un tanque es de 80 Kgs. Pudiendo abastecerse s3lo de 4 galones de combustible.
Recargas de combustible aprox cada 300 km	Requiere recargar los veh3culos cada 100 o 150 Km
Se pueden instalar estaciones en zonas urbanas y rurales	Solo hay estaciones cerca al gaseoducto
Se puede instalar en veh3culos de todo tipo. ciudad o que salen con frecuencia	Se recomienda instalar en veh3culos que no hagan recorridos extensos fuera de la ciudad debido a que no se encontraran estaciones.
La facilidad de transporte asegura su abastecimiento.	Se transporta a trav3s de ductos. Frente a un desabastecimiento no se encuentra alternativa de suministro.

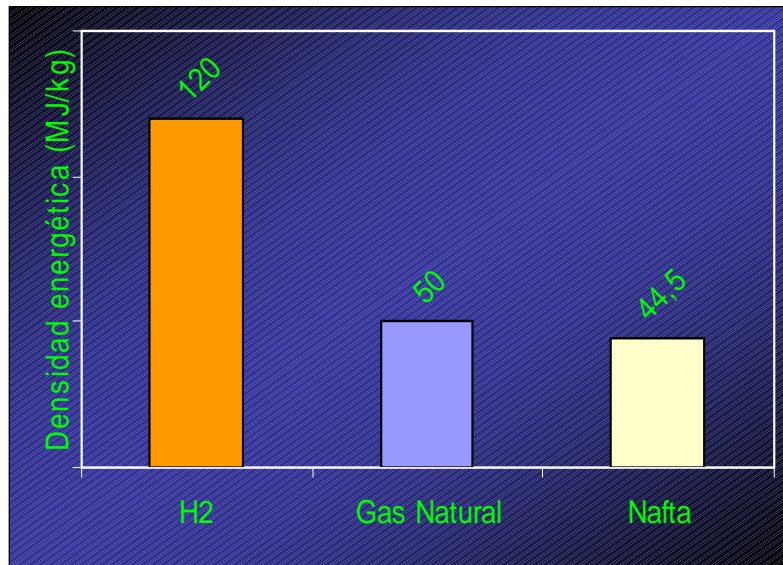
Fuente. Tomada de AGREMGAS – Asociaci3n Gremial Colombiana de Comercializadores de Gas

8.7 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DEL HIDROGENO EN AUTOMOTORES

Alta densidad energ3tica en base m3sica, bajo peso de combustible en los tanques de almacenamiento.

Gran disponibilidad: Puede producirse a partir de variadas materias primas (renovables y no renovables).

Figura 25 Ventajas del Hidrogeno, frente a los combustibles fósiles



Fuente UNICAMP octubre 2004

Combustible "limpio": Combustión con O₂ sólo produce agua (aunque con ciertas relaciones H₂/aire, produce NO_x)

Algunas de las desventajas que se tendrían con este combustible, están:

1. Los altos costos en términos energéticos, económicos y ambientales,
2. Aun es una tecnología en estudio,
3. Para su producción, se tiene algunos problemas ambientales,
4. Bajo ciertas condiciones, el hidrógeno resulta un poderoso explosivo, por lo que los riesgos inherentes a su uso deben ser evaluados y cuantificados, entre otros.

8.8 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DEL GNL EN AUTOMOTORES

Los vehículos a gas emiten 97 % menos de particulado y 58 % menos de NO_x.

Emiten menos gases de efecto invernadero. La emisión “Well to Wheel”, del pozo a la rueda, es menor.

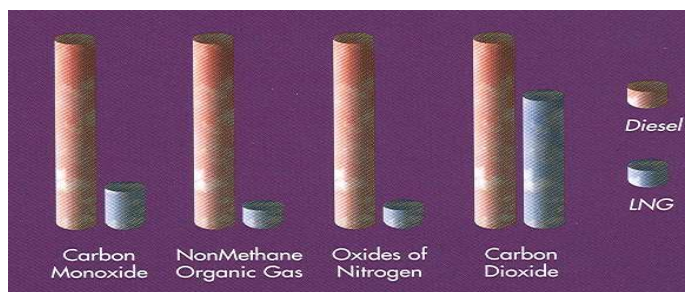
Los vehículos a gas son más costosos en el costo inicial o en el costo de conversión. Pero el costo de operación es mucho menor debido a los precios de los combustibles.

Las nuevas tecnologías de motores Diesel, con filtro de partículas y catalizador de escape, producirán menos emisiones que los vehículos a gas. Pero en la mayoría de los países no está disponible. No existen combustibles con la especificación necesaria (Euro 4+). Los filtros y catalizadores están garantizados para menos de la quinta parte de la vida del vehículo, cuando se agotan.

Grandes beneficios al Ecosistema

Los motores de gas natural producen menos contaminación que los otros motores existentes.

Figura 26. Comparación del ACPM Vs GNL



Fuente. NEXGEN FUELING
Quemado limpio del GNL

De acuerdo con los datos obtenidos, los vehículos de gas natural pueden reducir críticamente la emisión de gases tóxicos, a diferencia de otros sistemas como el Diesel, los cuales se pueden observar en las siguientes cifras.

Monóxido de Carbono CO 70%

Gases orgánicos No-metano NMOG	87%
Oxido de nitrógeno NOX	87%
Dióxido de carbono	87%
Dióxido de carbono CO2	20%

Líquido criogénico 260 F o -162 C: El GNL es muy frío, los sistemas de cerrado hermético permiten mantener el frío interno.

98% Metano: En el proceso de fabricación, muchos de los gases impuros son filtrados. GNL es el único que produce gas natural de la mejor calidad para motores de vehículos.

Más claro que el aire: A diferencia del diesel o del propano, la combustión no produce tanta contaminación, ya que los gases emitidos se diluyen de manera rápida.

Baja presión: GNL almacena a presiones de 50 PSI a 150 PSI vs la presión del GNC que es de 3000 PSI a 3600 PSI. Reduce la posibilidad escapes.

Altas temperaturas de trabajo: 999 F vs 480 F de los vehículos diesel.

Menor rango de Incenerabilidad: De 5% a 15% de la atmósfera vs del 1% al 99% de la gasolina.

Mayor densidad de energía: 3.5 veces la densidad de GNC. EL beneficio es que se necesita menos espacio para almacenar la misma cantidad de combustible que los GNC.

Los tanques de GNL no ventean gas. Un tanque térmico permanece de 4 a 7 días sin ventear. Y cuando lo hace, se enfría, y deja de hacerlo.

Figura 27. Camión ciclo Otto a gas



Fuente. California Air Resources Board staff, Proposed Identification of Diesel Exhaust as a Toxic Air Contaminant, staff report, Sacramento, CA, June 1998

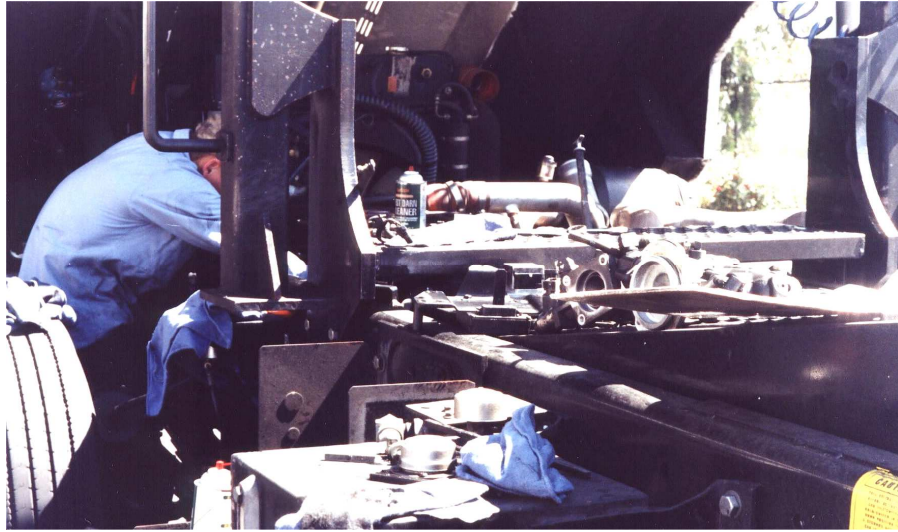
Este camión tractor de 40 toneladas y 360 HP consume en ciclo Diesel, 1 litro de Gas oil por milla. Consume 2,2 litros de GNL por milla funcionando en ciclo Otto y 1,7 litros de GNL en sistema bifuel (gas/diesel). [1litro GNL: 0,6 m³]

A los valores de surtidor de hoy en el país, de 1,4 \$/litro de Gas oil, y 0,70 \$/m³ de gas (situación más desfavorable):

Costo Diesel: 0,87 \$/Km

Costo a gas 0,43\$/Km (Dual) ///0,57 \$/Km (Otto)

Figura 28. Mantenimiento Fácil del motor con GNL



Fuente. California Air Resources Board staff, Proposed Identification of Diesel Exhaust as a Toxic Air Contaminant, staff report, Sacramento, CA, June 1998

El mantenimiento es simple: Esa es la experiencia de Estados Unidos. Es similar al de Diesel, y la duración del motores es igual o mayor a gas. El vehículo a gas no emite particulados cuando está gastado. Porque el gas se combustiona sin emisiones, limpio.

8.9 LA SEGURIDAD DEL SISTEMA CON GNC

La experiencia muestra que el gas natural es relativamente un combustible seguro, hay alrededor de 500.000 vehículos (según datos de 1998) que funcionan con este gas en las carreteras en el mundo y hasta hoy no se han reportado accidentes fatales atribuidos al uso de este combustible.

Las características físicas del gas natural ofrecen un número de ventajas en caso de colisión o accidente. El GNC es menos denso que el aire, se dispersa inmediatamente encima de la fuga, eliminando la posibilidad de formar acumulaciones y reduciendo el riesgo de explosión. Adicionalmente el gas natural posee una alta temperatura de auto-ignición comparada con la gasolina y el diesel, lo cual sugiere que una fuga de gas natural es menos probable que produzca fuego a bajas temperaturas.

El principal tema ha tener en cuenta en la seguridad del uso del gas natural, tiene que ver con una falla en el tanque de almacenamiento, ya que el gas es acumulado a alta presión, por lo tanto hay mayor riesgo de escape del sistema, que un sistema a menor presión, como ocurre con el almacenamiento de los combustibles líquidos. Ante el hecho se han dispuesto regulaciones y estándares los cuales si se acatan garantizarán una mayor confiabilidad y mayor resistencia en los cilindros. Experimentos que involucran colisiones, explosiones, pruebas de impacto y aun el disparo de proyectiles, sobre los tanques de GNC han permitido concluir que estos depósitos son probablemente la parte más segura de los vehículos.

Como una medida de seguridad los tanques de almacenamiento GNC han sido equipados con válvulas de alivio, que ventean el gas en condiciones controladas en caso de un incremento de la presión, como consecuencia de fuego en el vehículo.

8.10 TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE GNC

La elevada presión interior de los tanques de combustible de GNC actúa incrementando la resistencia del mismo ante eventuales acciones externas (choques, golpes, etc.) eliminando simultáneamente el riesgo de explosión por ingreso de aire, así mismo su mayor volatilidad respecto a este último disminuye el peligro de incendio en caso de fugas, ventajas adicionales con relación a las gasolinas, en este sentido son su mayor temperatura de inflamación y límite de inflamabilidad inferior, lo cual reduce la probabilidad de formación de atmósferas explosivas.

Además los cilindros y tuberías de conducción están diseñadas para resistir condiciones muy severas de impacto, presión y temperatura y cumplen normas muy estrictas de diseño y construcción. En caso que un ducto fallara y se presentara un escape con incendio, sólo sería un soplete localizado.

Si por causa de la gasolina (en un accidente) o cualquier otra circunstancia se presentara un incendio en el vehículo, la válvula de los cilindros de almacenamiento tiene un disco de ruptura que se rompe al elevarse la presión a 5.000 psi y la temperatura a 212°F saliendo el gas y produciendo un soplete mayor pero evitando el peligro de explosión, por otra parte la temperatura de ignición del GN es de aproximadamente 1.200°F o sea unos 400°F más alta que la gasolina o el propano por lo tanto más seguro.

El rango de combustibilidad o sea la relación de combustible–aire necesaria para sostener la combustión es menor que la de la gasolina.

En algunos países al iniciarse la utilización del GNC (y también en el gas licuado del petróleo como combustible automotor), optaron por tanques intercambiables debido a la economía que ello representaba por cuanto disponerse de plantas de llenado y no era necesario contar con estaciones de carga sino con lugares apropiados, para el almacenaje y distribución de los cilindros.

Los mayores inconvenientes del tanque móvil consisten en las conexiones flexibles y en los continuos acoples y desacoples para proceder a su reemplazo al agotarse la carga, lo que provoca desgaste de las roscas y asientos, además de la fatiga de los materiales, que origina rupturas con las consiguientes pérdidas de fluido, que se acumulan en el baúl del automotor o pasan al interior del vehículo.

Estas pérdidas pueden provocar en presencia de alguna fuente de ignición (que abundan en el vehículo) la explosión de la mezcla con el consiguiente riesgo para el usuario.

Estos inconvenientes ha hecho variar los criterios y la tendencia actual es la utilización del tanque fijo.

Los mismos poseen válvulas de seguridad con presión de apertura cercana a la presión de prueba aproximadamente 1.5 veces la presión de trabajo.

Los cilindros deberán quedar lo suficientemente anclados para evitar deslizamientos o rotaciones. Las normas prevén que la fuerza necesaria para separarlo del vehículo sea 20 veces su peso cargado en dirección longitudinal y ocho veces en dirección transversal. Estarán a su vez protegidos contra impacto, roces, etc.

8.11 COMPONENTES DEL KIT DE CONVERSIÓN

Las conexiones de llenado, así como las válvulas de seguridad y de bloqueo que se encuentran protegidas por un capuchón, el que tiene ventilación directa al exterior con el fin de canalizar posibles fugas, una electroválvula en el regulador permanece abierta sólo si se encuentra energizada (normalmente cerrada) y es uno de los elementos de seguridad más importantes, ya que corta el suministro de gas desde la primera etapa del regulador cuando el vehículo se pasa a gasolina y así mismo cuando el motor se detiene por cualquier motivo, aún con la llave de contacto en posición de arranque. Con ello se evita que ante un accidente, se siga alimentando el motor detenido, eliminando así riesgos de explosión.

Todos los elementos deberán probarse y ensayarse rigurosamente además de ser inspeccionados con frecuencia, ya que estarán sometidos a vibraciones permanentes con los consiguientes desgastes, etc., todo lo cual es materia de normalización.

8.12 SEGURIDAD EN LA UTILIZACIÓN DE VEHÍCULOS PROPULSADOS POR GNC

El estacionamiento de estos vehículos podrán efectuarse en cualquier lugar abierto: calles, avenidas, playas, etc., pero cuando se trate de lugares cerrados, debido a la posibilidad de fugas, deben contar con ventilación adecuada y complementar también otros requisitos previstos en las normas.

Las reparaciones y montajes, sólo podrán efectuarse en talleres aprobados para tal fin y siempre tomando todas las precauciones necesarias: bloque de válvulas, ausencia de fugas, etc., en caso de accidentes de tránsito, tal como se ha señalado la posibilidad de roturas o pérdidas es remota; pero no se pueden descartar, no obstante, de existir éstas se procederá a bloquear las válvulas de los recipientes y a alejar a las personas del área del siniestro, eliminando simultáneamente todo foco de ignición.

Finalmente cuando el vehículo propulsado por gas salga de servicio por un cierto tiempo, se bloquearán las válvulas primarias y se consumirá todo el gas que se encuentre dentro de las tuberías y regulador.

8.13 CONDICIONES DE SEGURIDAD EN LA INSTALACIÓN DE ESTACIONES DE SUMINISTRO DE GNC

La estación de suministro posee una serie de sistemas de seguridad como por ejemplo el de parada de emergencia (que puede ser del tipo neumático) que ante una sobrepresión, presencia de fuego o fugas de gas, mediante activación de sensores actúa sobre las válvulas de bloqueo y ventea la estación, además de cortar el suministro de energía eléctrica a los compresores. Los recipientes de almacenamiento disponen de válvulas de seguridad y fusibles que los protegen de sobre presiones y elevadas temperaturas.

Así mismo para prevenir los efectos de roturas de mangueras los surtidores contarán con válvulas de exceso de flujo que bloquearán la salida del gas cuando se supere el 10% del caudal máximo de carga.

Se tendrá en cuenta además que la línea de suministro de gas al compresor deberá poseer válvulas de cierre manual de accionamiento rápido fácilmente accesible y ubicadas fuera del área del compresor, al igual que el corte de energía eléctrica del mismo. Por otra parte todo el gas dentro de la estación debe estar odorizado, de manera de ser perceptible a una concentración del 20% de la que marca su límite inferior explosivo.

9. ESTACIONES DE SUMINISTRO

Las estaciones de suministro son un punto importante dentro de la cadena de conversión de vehículos a GNC o GLP, ya que son las encargadas del suministro seguro y oportuno del combustible a los vehículos.

9.2 ESTACIONES DE GNC

El llenado de los vehículos con GNC puede hacerse de dos formas:

- **Con llenado lento:** el abastecimiento de GNC demanda un tiempo largo, que no permite la permanencia junto al vehículo del personal de la estación. Es muy utilizado para el llenado de flotas cautivas o particulares.
- **Con llenado rápido:** aquellas que abastecen el GNC con una duración similar a la requerida para aprovisionar combustibles líquidos. Puede tomar entre 2 y 3 minutos para autos y 4 a 8 minutos para buses y camiones.

Los equipos utilizados en uno y otro sistema difieren solamente en que en las estaciones de llenado lento no se cuenta con sistema de almacenamiento, los compresores suministran el gas directamente a los vehículos por medio de un sistema de cascada que permite a un mismo tiempo entregar gas comprimido a toda una flota de vehículos conectados en serie.

9.1.1 Equipos: una estación típica de suministro de GNC cuenta con:

- **Medidor de gas:** mide el consumo de gas de la estación, la cual esta conectada a la red de distribución de gas.

Equipo de compresión esta compuesto por:

- **Tanque de aspiración:** permite la succión de los compresores en el arranque. Amortigua el efecto de la succión del compresor en la primera etapa y evita el venteo de gas cuando se detiene el equipo.
- **Filtro:** atrapa partículas que puedan afectar la vida útil del compresor. Se instala a la entrada del compresor.
- **Compresor:** es un sistema mecánico de movimiento alternativo de multietapas reciprocantes, encargado de elevar la presión, desde la presión de la red de distribución de gas hasta 3500 psi mediante varias etapas de compresión. Cuentan con un sistema de refrigeración para evitar el excesivo calentamiento del mismo. Estos compresores pueden ser accionados por medio de un motor eléctrico o de un motor de combustión interna.
- **Sistema de almacenamiento:** se utilizan cilindros de acero dispuestos horizontal o verticalmente con el fin de almacenar gas a alta presión proveniente del compresor. Los cilindros más utilizados son de 100 a 125 litros, van montados en un bastidor de acero, con sus válvulas individuales, válvula esférica manual de bloqueo general de salida, válvulas de exceso de flujo, válvula de seguridad por sobrepresión, tuberías de interconexión en acero inoxidable, presión de prueba de 5.500 psi y una presión de trabajo de 3600 psi.

Es recomendable una alta capacidad de almacenamiento debido a que estabiliza el funcionamiento general del sistema reduciendo los arranques y paradas del compresor, disminuyendo consecuentemente el consumo eléctrico, lo que se traduce en menores costos operativos.

Acumulador: hace pasar el gas a través de un regulador de presión para mantener una presión de 3000 psi en el surtidor.

- **Surtidor:** se compone de un gabinete de acero inoxidable, un sistema de medición másico incorporado, display electrónico compacto de cuarzo líquido, indicación sonora de fin de carga, teclado para introducción de datos cada dos surtidores, teclado para asignar carga preestablecida, interfase de comunicación, válvulas de desacople rápido por arranque de manguera (break-away), acople rápido para carga de gas, mangueras para llenado y boquillas. Esta diseñado para soportar una presión máxima de 3.600 psi y doble sistema de corte de fin de carga a 3.000 psi. La Tabla 11 muestra un ejemplo de las especificaciones técnicas requeridas por los surtidores.

- **Válvulas de alivio y seguridad:** para proteger todo el sistema de posibles sobrepresiones y aislar las diferentes etapas del proceso cuando se requiera mantenimiento, se utilizan válvulas de alivio y de seguridad. Se ubican a la entrada de cada etapa de compresión, a la salida del compresor, en el sistema de almacenamiento, a la entrada de los surtidores y antes de cada manguera de despacho.

- **Tablero de Control:** para la debida protección y control del sistema eléctrico de la estación, se cuenta con un tablero eléctrico de comando y potencia con: panel de operaciones tipo inteligente, memoria para mensajes programables y visualización dinámica de eventos internos y externos, sistema de protección por corto circuito, sobrecarga y falta de fase de alimentación, comunicación remota por línea telefónica (vía modem), alarma sonora y luminosa, alimentación eléctrica para surtidores, UPS con fuente estabilizadora de energía y capacitores para corregir el factor de potencia.

- **Subestación eléctrica:** alimenta con electricidad los equipos y motores de la estación.

9.1.2 Obra Civil: la instalación de una estación de GNC requiere de un estudio de suelos que comprende un análisis detallado de la capa de subsuelo existente en el lugar de obra, descapote, excavación y explanación, relleno con mejoramiento de material, cimentación, construcción de desagües para desalojo de las aguas lluvias y demás residuos líquidos que puedan presentarse.

Adicionalmente se requiere de la construcción de un bunker de concreto reforzado para confinar el compresor y el sistema de almacenamiento, resistente al fuego y con características tales que permita proteger a terceros y los bienes de la ciudadanía contra una eventual explosión debida a una muy improbable falla grave en el sistema de almacenamiento de gas a alta presión.

El bunker se construye con una viga de piso cuya función es servir de amarre para el compresor, paredes con hierro reforzado, con entradas y salidas de tipo laberíntico, de manera que los equipos instalados no sean vistos desde el exterior, en las ventilaciones se instalan celosías con trampas de insonorización, techo con teja de lámina galvanizada, corrugada y el piso en concreto perfectamente nivelado y acabado antideslizante.

9.2 ESTACIONES DE GLP

Al no contarse con un adecuado sistema de distribución por red de GLP en el país, se hace necesaria la creación de estaciones de GLP abastecidas a través de carrotanques.

Se puede pensar en dos sistemas de distribución:

Uno para las flotas cautivas que operan desde terminales de rutas de servicio público o desde instalaciones industriales o comerciales, colocando surtidores dedicados para esos vehículos, a la escala necesaria de acuerdo con sus propias necesidades.

Estaciones de servicio debidamente distribuidas de manera que el tanqueo no se vuelva un problema crítico que desestime la demanda.

Los equipos utilizados en una estación de suministro de GLP, difieren de los de GNC, en que no requieren de un sistema de compresión para su suministro. Al no

manejar presiones elevadas (3000 psi) el sistema de suministro es más sencillo, siendo lo demás muy similar.

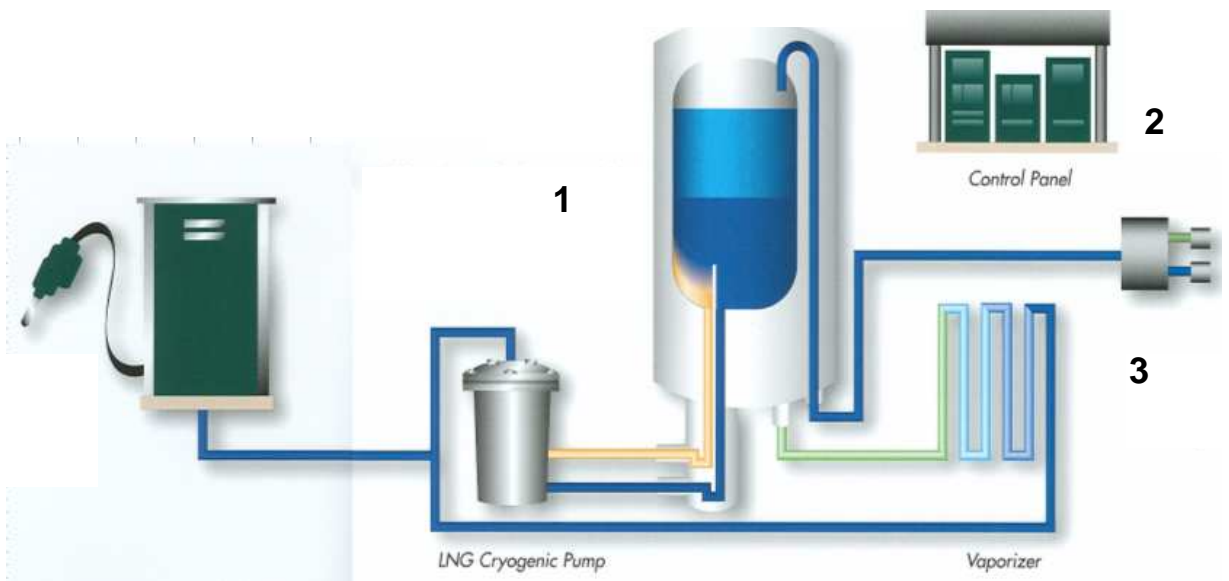
Figura 29. Vehículos a GLP



Fuente Tomada de AGREMGAS – Asociación Gremial Colombiana de Comercializadores de Gas

9.3 ESTACIONES DE GNL

Figura 30. Funcionamiento de una EDS con GNL



Fuente: WWW.NEXGENFUELING.COM, 2002

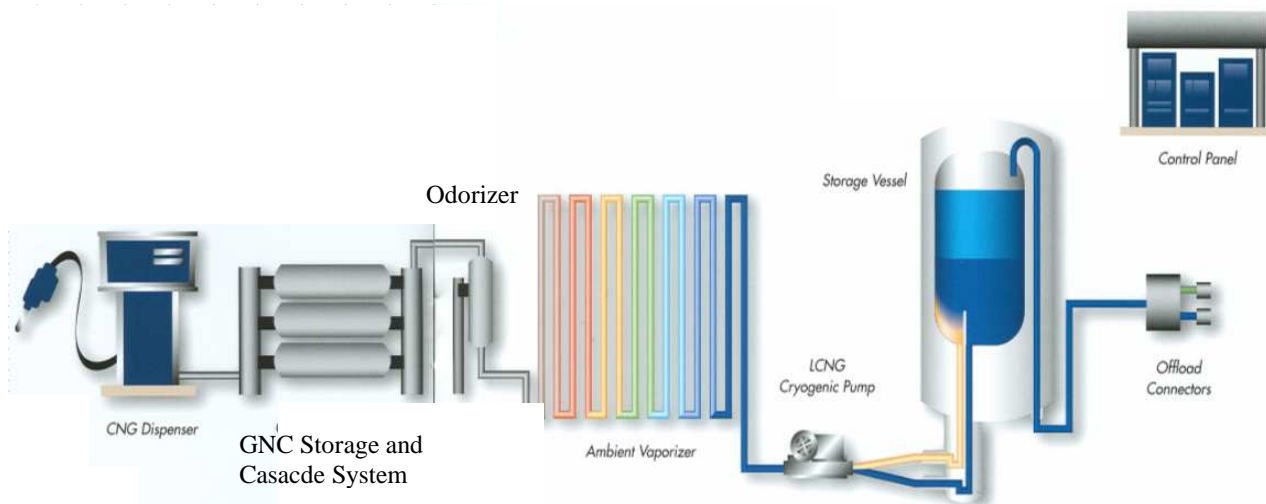
1. LEVANTAR LA PRESION EN UN TANQUE DE ALMACENAMIENTO. La bomba de GNL presiona el líquido hacia atrás, afuera del tanque directo a un vaporizador de secado colocándolo dentro del tanque a una presión aproximada de 80 Psi (5.5 bar) o de 100 Psi (6.9 bar), este proceso es llamado saturación.

2. PANEL DE CONTROL. Un PLC panel de control que utiliza drivers de frecuencias variables para así poder ajustar las condiciones de operación, controlando así los niveles del líquido en el tanque y la presión. El PLC inicia los ciclos de saturación, recibe ordenes y programa alarmas basado en los sistemas de monitoreo de llama y gases, adicionalmente puede ser configurado para enviar datos del sistema a un lugar remoto.

3. SALIDA. El GNL llega normalmente frío con presiones inferiores a los 50 Psi (3.5 bar). El panel de control mantiene la misma función que el panel de control GNL pero adicionalmente coordina las bombas de GNLC con el panel secuencial de GNC.

9.4 COMO TRABAJAN LAS ESTACIONES DE SERVICIO DE GNLC

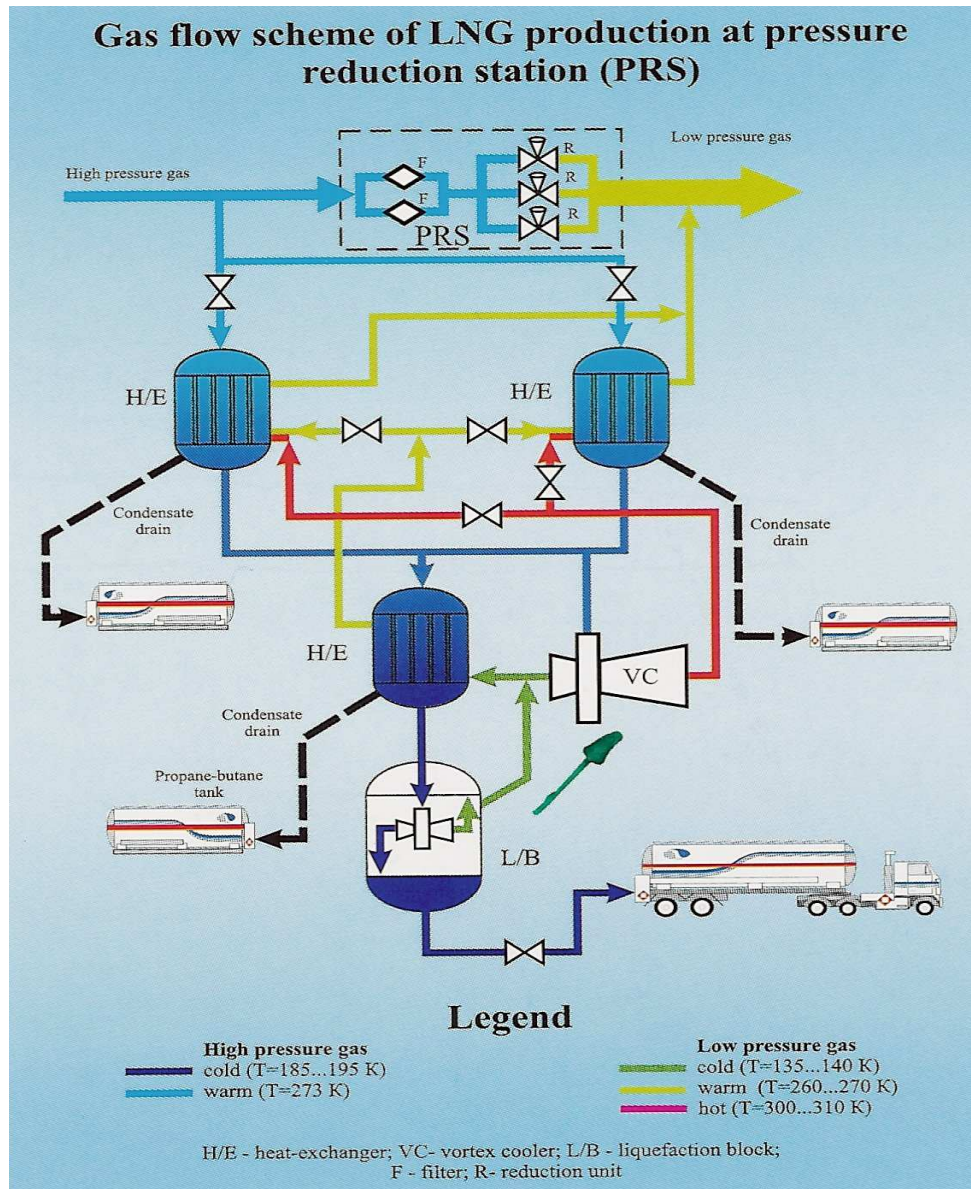
Figura 31. Funcionamiento de una EDS de GNL a GNLC



Fuente: WWW.NEXGENFUELING.COM, 2002

El dispensador presiona inicialmente del almacenador de GNC, luego activa las bombas de GNLC. Estas bombas aumentan la presión del GNL a 4500 Psi (310.3 bar) antes de enviarle al vaporizador, el cual se encarga de convertir de GNL a GNC, luego el GNC pasa por el odorizador antes de ir al dispensador. EL sistema dispensador incluye un secuenciador múltiple que permite activar las bombas y llenar los tanques para mantener alta la presión del inyector dispensador.

Figura 32. El flow sheet explicativo del proceso



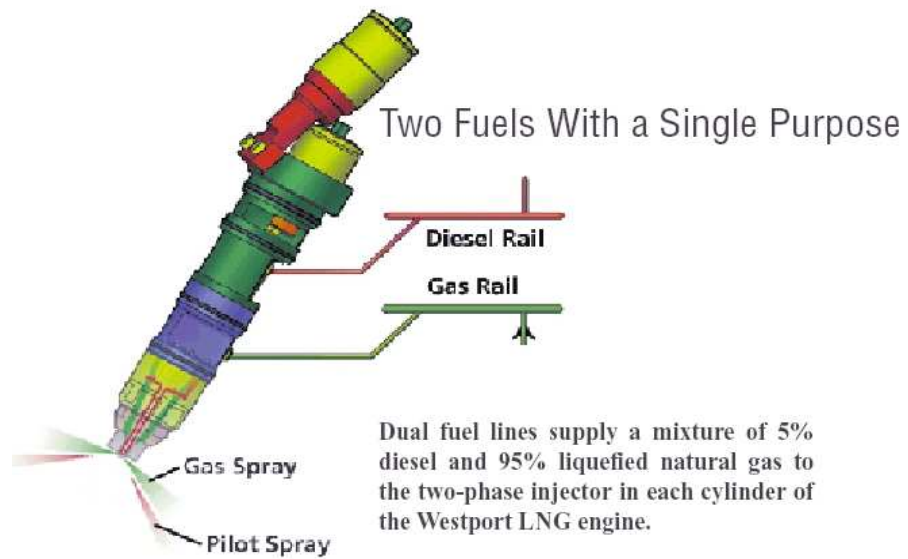
Fuente Conferencia de Victor Stativkov, Director de Gazprom, presentada en Enargas, Buenos Aires, 3/10/2002.

El sistema de expansión que utilizan los rusos se denomina “vortex supersónico”, y es un sistema estático en donde, por efecto de disminución de la presión, se produce GNL en una proporción que depende del salto, pero que para un salto de 40/45 Kgr/cm² es de 6 a 7 % sobre la masa de gas que entra al vortex. El resto del gas se obtiene a 4 Kgr/cm² y se envía a la red; y el GNL a un tanque de almacenaje.

Más adelante se observa una fotografía del vortex. Se nota la formación de hielo en la salida del GNL líquido en el extremo izquierdo de la foto. Lo más interesante de este esquema es que no se necesita energía externa, y la planta reemplaza a la estación de reducción de presión correspondiente. En la planta se recupera como gas líquido la energía que le agregó el transportista en forma de presión para transportarlo.

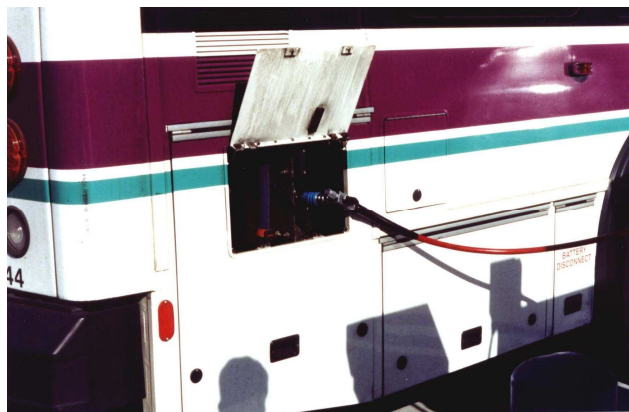
El gas del gasoducto a alta presión y a temperatura ambiente pasa por el equipo VC (vortex separator). Por efecto Joule se produce una corriente líquida de gas condensado que va a un intercambiador y se recoge (sector 1) El gas frío pasa a un segundo intercambiador de calor y a un segundo separador, desde donde la corriente líquida de propano / butano que contenía se separa y va a tanque o a un camión de distribución. El gas no líquido -pero frío- intercambia con la corriente de entrada.

Figura 33. Inyector Dual de Wesport



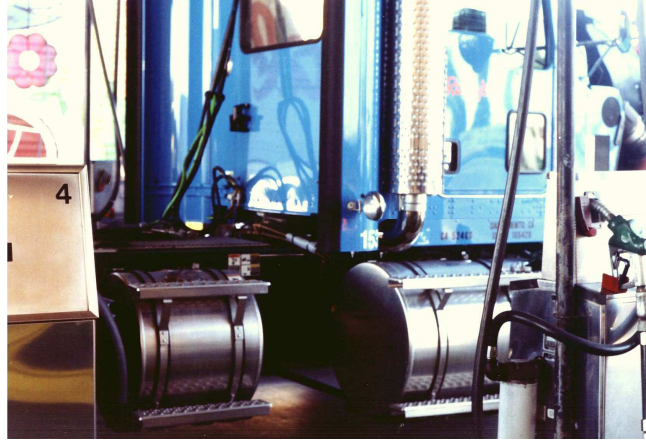
Fuente. U.S. DEPARTMENT of ENERGY, OFFICE of ENERGY EFFICIENCY and RENEWBLE ENERGY

Figura 34. Colectivo interurbano cargando GNL en California



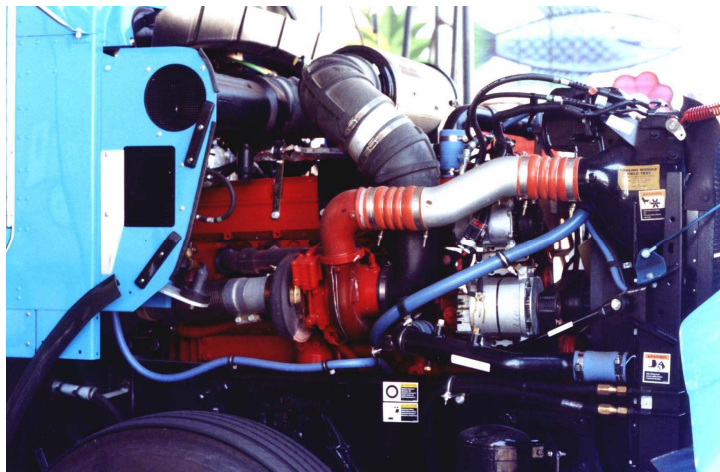
Fuente. California Air Resources Board staff, Proposed Identification of Diesel Exhaust as a Toxic Air Contaminant, staff report, Sacramento, CA, June 1998

Figura 35 Camión con tanque doble GNL-Diesel



Fuente. California Air Resources Board staff, Proposed Identification of Diesel Exhaust as a Toxic Air Contaminant, staff report, Sacramento, CA, June 1998

Figura 36. Camión con tanque doble GNL-Diesel



Fuente. California Air Resources Board staff, Proposed Identification of Diesel Exhaust as a Toxic Air Contaminant, staff report, Sacramento, CA, June 1998

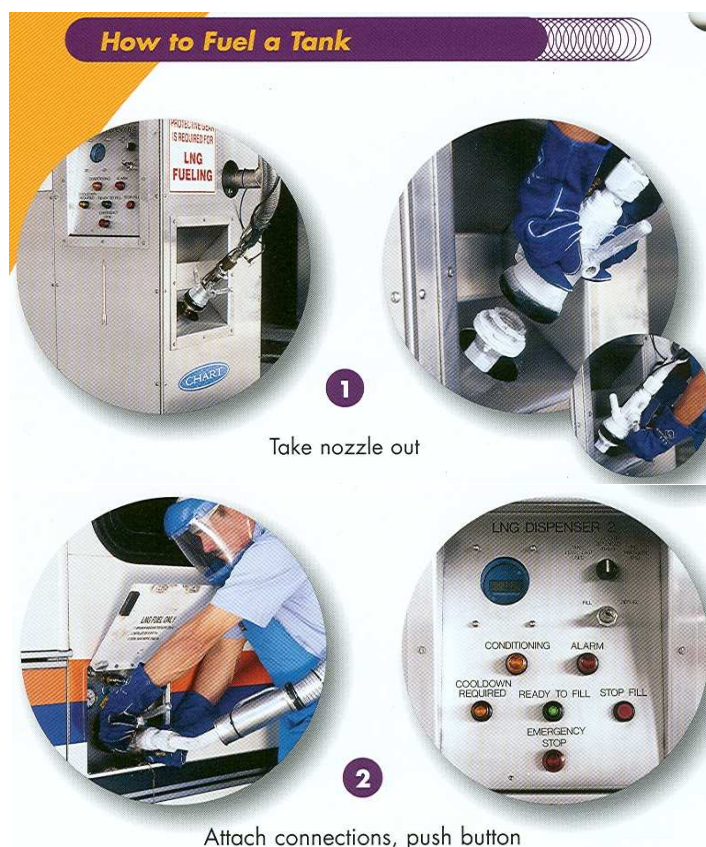
Una de las ventajas de la planta de licuefacción en pequeña escala estará en la producción local de GNL en la estación de servicio, tal que la corriente de salida

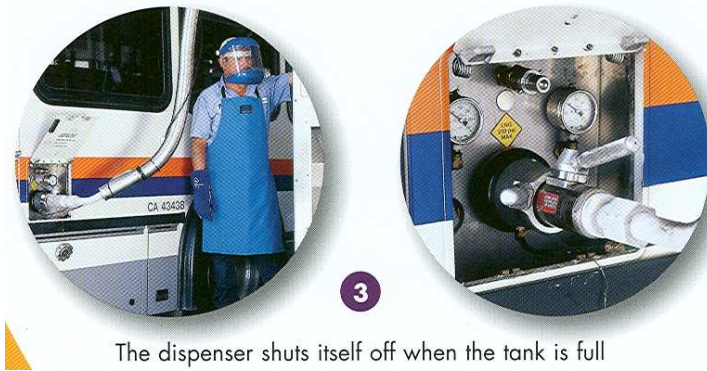
de la planta de licuefacción pasa directamente al tanque de almacenamiento. Esa instalación elimina el costo de transporte y proporciona un suministro continuo de GNL. Si existe GNL, se tiene GNC, porque calentando el GNL en un intercambiador atmosférico adecuado, se obtiene el gas a la presión correspondiente a la del GNC.

9.5 TIEMPOS DE LLENADO DE GNL

Los tiempos de llenado son cruciales cuando se tienen varias flotas que necesitan ser llenadas al mismo tiempo. Los tiempos de llenado son de cualquier manera entre el 50% y 200% más rápidos cuando se usa GNL que los vehículos GNC para una cantidad equivalente de combustible.

Figura 37. Llenado del Tanque



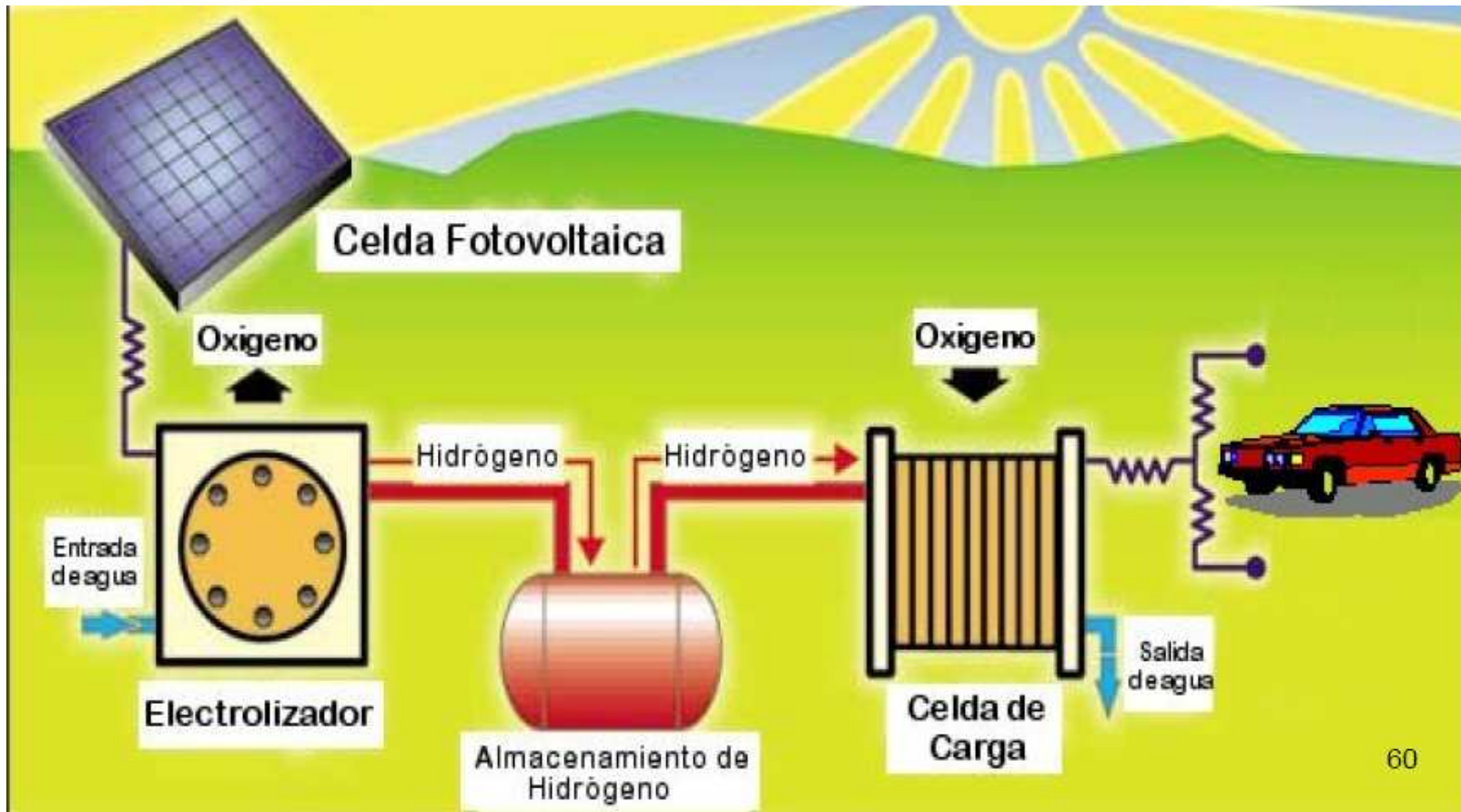


The dispenser shuts itself off when the tank is full

Fuente. NEXGEN FUELING

9.6 ESTACIONES DE HIDROGENO

Figura 38. Generación de Hidrogeno a partir de la energía solar y sus uso como combustible vehicular



Fuente. Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Centro Argentino de Ingenieros, IDES, marzo 2004

El gas de hidrógeno "tiene el más alto contenido de energía por unidad de peso que cualquier combustible conocido", lo que lo hace, en principio, un transportador de energía ideal. El hidrógeno no se encuentra en grandes cantidades sobre la superficie de la tierra, en su forma gaseosa. Debido a su extremadamente bajo punto de ebullición, su almacenamiento es difícil, a menos que sea en la forma de gas comprimido.

Hay dos métodos principales para producir hidrógeno en producción industrial a gran escala.

1. Fraccionar el agua en hidrógeno y oxígeno a través de la electrólisis.
2. Síntesis de producción de gas a partir de la reformación con vapor u oxidación parcial de combustibles que contengan hidrógeno.

Ambos métodos requieren grandes cantidades de energía. El gas de hidrógeno resultante se seca, se purifica, se comprime, y es enviado a almacenaje.

El hidrógeno también se puede producir al reformar la gasolina convencional y el combustible diesel.

El rendimiento ambiental total del hidrógeno como un combustible depende en gran medida de la fuente de energía primaria, es decir, si es que se usan combustibles fósiles o renovables. Además, el procesamiento adicional y los pasos de distribución determinan los impactos ambientales totales de la producción del hidrógeno.

La alta capacidad de inflamación del hidrógeno crea un riesgo de explosión en los espacios cerrados. Debido a que es más liviano que el aire, cualquier filtración de combustible se dispersa rápidamente sin empozamiento de vapores. No es tóxico, pero debido a que desplaza aire, cualquier liberación en un espacio cerrado podría causar asfixia.

A temperaturas y presiones normales, el hidrógeno existe como un gas, haciendo más difícil el tema del transporte y almacenaje en comparación a los combustibles líquidos. Como con el gas natural, el hidrógeno normalmente es almacenado y comprimido como un gas (CH₂) o un gas licuado (LH₂).

9.7 REQUERIMIENTOS DE INFRAESTRUCTURA PARA HIDROGENO

Los componentes de un sistema de llenado de hidrógeno incluyen lo siguiente:

- Una infraestructura química para producir hidrógeno
- Un módulo de procesamiento de hidrógeno y - en el caso de CH₂ - un compresor de hidrógeno
- Estanques de almacenamiento de hidrógeno
- Tecnología de llenado

De acuerdo con, "los vehículos motorizados y las calderas pueden fácilmente ser convertidos al uso de hidrógeno como combustible". Sin embargo, esta puede ser una sobre-simplificación grosera. Aún así, el uso del hidrógeno como combustible necesita la creación de una nueva infraestructura de almacenamiento y distribución de éste, además de adecuados sistemas de almacenamiento a bordo.

Según, "grandes avances en la tecnología de almacenaje tendrían los mayores impactos en acelerar la aceptación y comercialización de los vehículos de celdas de combustibles". "El almacenamiento de hidrógeno está limitado por el peso y volumen del contenedor. Dependiendo de si el hidrógeno es almacenado como líquido o como gas, requiere seis a ocho o seis a diez veces más espacio de almacenamiento que la gasolina, respectivamente". Los sistemas de almacenados que se están desarrollando incluyen hidrógeno comprimido, hidrógeno líquido, y un enlace químico entre el hidrógeno y un material de almacenamiento (por ejemplo, híbridos metálicos).

Se puede pronosticar que los aspectos de la seguridad van a tener que ser considerados cuando se hable de la infraestructura del llenado de combustible

con hidrógeno. El hidrógeno es liviano y es un gas altamente inflamable, por lo mismo, similitudes respecto de esto surgen con el gas natural.

El uso del hidrógeno como un combustible vehicular esta aún en la etapa de investigación y de desarrollo. Sin embargo, la mayoría de los fabricantes de automóviles ahora han desarrollado autos de prototipo o de demostración propulsados a hidrógeno, basados en motores de combustión interna, además de celdas de combustible. En, una serie de automóviles propulsados a hidrógeno están en lista, además de estaciones de combustible que han sido instaladas alrededor del mundo en conexión con varios proyectos. Comparado a otros combustibles alternativos, los vehículos propulsados a hidrógeno probablemente estén más lejos de ser comercializados. La mayoría de los fabricantes han derivado su atención de los motores de combustión interna propulsados a hidrógeno hacia los vehículos propulsados a celdas de combustible con hidrógeno. Los buses con celdas de combustibles y los automóviles con celdas de combustible actualmente existen sólo como prototipos. Una flota de pequeña escala está siendo probada en varias ciudades europeas como un proyecto en conjunto, comenzando en 2003/4.

En cuanto a la producción potencial de hidrógeno en Latinoamérica, "en Brasil, el 92% de la generación de electricidad viene de las hidroeléctricas. Hay suficiente excedente de energía eléctrica de noche en la Región Metropolitana de Sao Paulo (SPMR) para abastecer con combustible a 12.000 buses. Ya hay experiencias sustanciales de llenado con combustibles gaseosos de alta presión, a través de la flota de más de 300 buses GNC (gas natural comprimido) que operan diariamente en la SPMR". Sin embargo, está mayoritariamente aceptado que la tecnología con celda de combustible que usa hidrógeno está a muchos años de su comercialización.

10. COMPORTAMIENTO DE UN VEHICULO CONVERTIDO

Cuando un vehículo que ha estado trabajando con gasolina o diesel, es convertido a GNC, GLP, GNL ó Hidrogeno experimenta cambios importantes en su comportamiento, algunos de los más significativos son:

6.5 REDUCCION DE EMISIONES

El proceso de combustión en un motor a gasolina o diesel no produce una reacción completa de todos los componentes de la mezcla. Los gases de escape producto de la combustión siempre reflejarán los resultados de un proceso de disociación no equilibrado, además de los productos de la reacción ideal del combustible hidrocarburo en el aire-agua, dióxido de carbono y nitrógeno. Habrá entonces un arreglo de productos que dependerá de la complejidad del combustible y de los parámetros de tiempo, temperatura, turbulencia y presión de la combustión.

De esta manera, entre más complicada sea la estructura del combustible, más complicada será la elaboración de los productos. La simplicidad de la molécula de metano presente en el GNC, GNL se constituye entonces en una gran ventaja de este combustible sobre la gasolina, el diesel e inclusive sobre el GLP. Además el alto contenido de metano presente en el GNC hace que este libre de contaminantes pesados en mayor grado que el GLP.

Por otra parte, las malas condiciones del GLP de refinería, hacen que presente niveles de contaminación más altos que el GNC, pero menores que con gasolina o diesel.

Convirtiendo un vehículo a GNC o GLP, se obtendrá un mejor comportamiento desde el punto de vista de gases de escape, ya que bajo condiciones óptimas de funcionamiento su combustión no forma residuos sólidos ni cenizas. Así mismo se generan bajas emisiones de bióxido de carbono (CO_2), se reducen significativamente las emisiones de monóxido de carbono (CO) y desaparecen las emisiones de óxidos de azufre (SO_2) y plomo, reduciendo así las amenazas del efecto invernadero, lluvia ácida y el calentamiento global.

En general, el medio ambiente se vera favorecido enormemente al utilizar un combustible gaseoso como el GNC o el GLP, por ser más limpios que los tradicionales combustibles líquidos (diesel y gasolina), disminuyendo ostensiblemente los niveles de contaminación en los grandes centros poblados del país.

6.6 UNIFORMIDAD DE LA MEZCLA

El proceso de combustión que se lleva a cabo en un motor, requiere que se mezclen de la mejor forma posible el aire y el combustible vaporizado o en estado gaseoso, con el fin de obtener una mezcla lo más uniforme posible que permita

una buena combustión. Ya que tanto el GNC, GNL como el GLP a presión y temperatura ambiente son gases, se facilita su mezcla con el aire obteniéndose una mayor eficiencia en el proceso de combustión en comparación con la obtenida al usar los tradicionales combustibles líquidos, los cuales requieren de un sistema más complejo expuesto a mayores problemas de funcionamiento.

10.3 ENCENDIDO EN FRIO

En motores a gasolina, se utiliza un carburador o un sistema de inyección para crear una niebla de combustible. Para completar el proceso de vaporización, el combustible toma calor adicional del motor a su paso a través del múltiple de admisión, antes de entrar a la cámara de combustión, donde se lleva a cabo también la mezcla con el aire. Si luego de este proceso la gasolina no está totalmente vaporizada, se tendrá una combustión ineficiente, incrementando las emisiones. Para el encendido en frío, como no hay suficiente calor para vaporizar, es necesario utilizar mezclas más ricas, mientras se alcanza la temperatura de operación. Algunos sistemas utilizan resistencias de calentamiento eléctrico bajo el carburador o utilizan los gases de escape para calentar el múltiple de admisión.

Al utilizar GNC, GNL, Hidrogeno o GLP, esto ya no es problema, porque el combustible entra al motor en fase gaseosa, aún durante el encendido en frío, evitando el uso de precalentamiento y permitiendo una mejor mezcla aire-combustible obteniéndose una combustión más eficiente y limpia.

El hecho de que el GLP y el GNC sean gases a condiciones atmosféricas, hacen que el mezclador sea más sencillo comparado con el carburador o el sistema de inyección de gasolina. Su trabajo consiste básicamente en mezclar aire con gas en las proporciones correctas para mantener una óptima relación para la combustión.

10.4 REDUCCION DE EMISIONES EVAPORATIVAS

Cuando se usa GNC, GNL, Hidrogeno o GLP, el combustible siempre se encuentra bajo presión en un sistema cerrado. Esto hace que se reduzcan ostensiblemente las emisiones evaporativas que normalmente tienen lugar en los sistemas a gasolina y elimina la necesidad de utilizar bombas de combustible.

10.5 NÚMERO DE OCTANO

El número de octano mide la tendencia a la detonación de una gasolina, es el tanto por ciento en volumen de iso-octano y heptano que esta contiene.

El número de octano se determina por medio de un ensayo comparativo en un motor especial usando una mezcla de referencia. La mezcla se compone de Iso-octano que se supone tiene un número octano igual a 100 y de Heptano cuyo número de octano es 0. Es decir, que una gasolina de número octano igual a 90, muestra las mismas características detonantes que una mezcla compuesta de 90% de Iso-octano y 10% de Heptano.

Colombia cuenta con gasolina con índice de octano que va desde 86 a 93, correspondiente a gasolina corriente y extra respectivamente. El GLP posee un número de octano de 110 y el GNC entre 120 y 125, estos valores dependen de la composición del combustible.

Dentro del motor, cuando se cierran las válvulas, se produce una compresión de la mezcla. A medida que aumenta la presión en el interior del motor, va subiendo la temperatura. Lo ideal es que ese aumento de calor no provoque la ignición de la mezcla, sino que esta se genere en el momento de mejor rendimiento, que es cuando se hace saltar una chispa en los electrodos de una bujía.

Si el calor es excesivo por la presión que se genera al comprimir la mezcla, se puede dar el caso de que esta se inflame antes de que salte la chispa de la bujía. Milisegundos después, con el chispazo de la bujía se produce un segundo frente de llama que choca con el primero. A esto es a lo que se le conoce con el nombre de pistoneo.

Este choque de ondas es tan fuerte que se escucha afuera y puede destruir el motor en pocos kilómetros. Entonces para hacer que la mezcla resista más temperatura, podemos modificar la resistencia del combustible a inflamarse, esto se logra aumentando el número de octano. Esto quiere decir que entre más alto sea el número de octano de un combustible, más duro o difícil de prender es.

De lo anterior se puede concluir que en vehículos a gasolina convertidos a GLP o GNC, no se presentarán problemas de pistoneo cuando operen con gas debido a los altos valores de índice de octano que no permitirán una ignición prematura, pero requerirán de un dispositivo electrónico de avance de chispa capaz de

adelantar el momento de encendido de las bujías debido al más alto punto de ignición de estos gases y a su vez capaz de atrasar automáticamente el encendido de las bujías cuando se utiliza gasolina en vehículos duales.

10.6 NÚMERO DE CETANO

El número de cetano de un aceite diesel es el porcentaje en volumen de cetano de una mezcla cetano y alfa-metil-naftaleno que se comporta igual en un motor normal de ignición por compresión que el aceite diesel.

El hidrocarburo de cadena recta cetano $C_{16}H_{34}$ es un buen combustible para motores diesel de alta velocidad y se le asigna un valor de 100. Los hidrocarburos aromáticos son combustibles de baja calidad de encendido y al alfa-metil-naftaleno se le ha asignado un valor de 0.

El ciclo diesel requiere del uso de un combustible que tenga auto ignición de demora mínima cuando se inyecta aire a alta temperatura, siendo el número de cetano significativo respecto a esto. Estos motores diesel manejan relaciones de compresión entre 15 a 18.

El gas tiene un número de cetano demasiado alto para operar satisfactoriamente en un ciclo de ignición por compresión, de ahí la dificultad de conversión de los vehículos diesel a gas. Se requiere entonces de modificaciones que involucran el maquinado de pistones para reducir la relación de compresión y la adición de sistemas de control de ignición.

10.7 SEGURIDAD

Desde el punto de vista de seguridad, el GNC sobresale por encima del GLP, la gasolina y el diesel, porque el GNC al ser menos denso que el aire, en caso de escapes sube y se disipa a la atmósfera; a diferencia del GLP, el cual por ser más denso tiende a acumularse al nivel del piso. Por su parte la gasolina y el diesel al derramarse presentan enormes posibilidades de incendio y se infiltran en el suelo contaminándolo y dificultando su limpieza.

Colombia cuenta actualmente con un importante sistema de distribución de gas natural a través de tuberías enterradas, lo que facilita y proporciona mayor seguridad al despacho de GNC en los diferentes puntos de suministro. Con GLP, gasolina y diesel no sucede lo mismo, ya que no se tiene un sistema adecuado de distribución por red para ninguno de estos combustibles, lo que hace necesario el uso de carrotanques que aumentan la congestión del tráfico y el peligro de choques con incendios en los vehículos.

10.8 COMPOSICION DEL GAS Y RELACION ESTEQUIOMETRICA AIRE-GAS

La composición del gas y especialmente la relación estequiométrica aire-gas, establecen la energía de la mezcla. Las emisiones óptimas, el desempeño y la eficiencia requieren de una mezcla predeterminada para obtener buenas condiciones de operación.

La influencia de la composición del gas en el comportamiento del motor se caracteriza por el índice de Wobbe. Cuando este índice permanece constante, un cambio en la composición del gas no conducirá a un gran cambio en la relación aire-gas. Pero este cambio en la composición cambiará el contenido de energía volumétrica y la resistencia al pistoneo de la mezcla. Rendimientos térmicos altos requieren de una alta razón de compresión y una alta resistencia al pistoneo.

10.9 TORQUE DEL MOTOR

Cuando en un motor a gas se trabaja con una mezcla levemente más rica que la estequiométrica se obtiene un troqué máximo y por consiguiente máxima potencia a una velocidad de motor dada. Un cambio en la mezcla tiene un efecto más grande en la capacidad de potencia que un cambio en la composición del gas.

Una mezcla pobre por exceso de aire significa un contenido de energía más bajo. En motores aspirados naturalmente un aumento en el exceso de aire produce una caída de potencia. En motores turbocargados la pérdida de potencia se puede recuperar subiendo la densidad a la entrada.

10.10 RATA DE COMBUSTIÓN

En un motor a gasolina o de ignición por chispa, la combustión comienza en la bujía y se esparce hacia las paredes de la cámara. Luego para mantener el consumo de combustible en un nivel adecuado, la rata de combustión no debe ser demasiado lenta, debido a que puede producir cargas mecánicas altas y elevados niveles de ruido.

La rata de combustión también es afectada por la composición de la mezcla, de modo que un incremento más allá de la relación estequiométrica produce una combustión más lenta. La adición de gases inertes como el nitrógeno o el dióxido de carbono producen una rata de combustión más baja y requieren por lo tanto adelantar el tiempo de la chispa.

10.11 CONFORT

Estadísticas mundiales, basadas en monitoreos realizados a flotas de autos y buses movidos a gas, bien sea en forma de GNC o GLP, indican que la combustión del gas es mejor y más completa que cuando se utilizan combustibles líquidos, dando una mayor eficiencia calórica y brindando una conducción ligera, fácil y confortable.

Los pasajeros los prefieren debido a que los niveles de ruido, las vibraciones y el humo producido son menores que cuando se utiliza diesel o gasolina.

Además, el estado gaseoso del combustible hace más fácil su mezcla con el aire de combustión, lo cual le da una gran flexibilidad para su utilización en motores de cualquier tamaño.

10.12 AUTONOMIA

Para un tanque de almacenamiento de 15 galones, la autonomía con GLP es del orden de 2.6 veces mayor que con GNC, lo cual se debe a que el GLP a presiones de 120 psi y temperatura ambiente se encuentra en estado líquido con un volumen específico de 0.0315 pie³/lb, mientras que el GNC a presión de 3000 psi y temperatura ambiente posee un volumen específico de 0.095 pie³/lb, ocupando así un mayor espacio que el GLP. Por otra parte, el GLP posee un

poder calorífico mayor que el GNC, es decir se obtiene mayor energía con menor cantidad de combustible.

Inicialmente se deberán utilizar equipos duales, mientras se logre un mercado y una estructura tal que permita el uso de motores dedicados. Con los equipos duales al operar la válvula de alimentación de combustible, el vehículo quedará en modo gas o modo gasolina; esto implica una gran flexibilidad, además de que la autonomía de los vehículos se incrementa, lográndose alrededor de 300 kms de autonomía con el gas, más la autonomía correspondiente a la capacidad que tenga el tanque de gasolina.

10.13 TIEMPO DE LLENADO

El tiempo de llenado, en horas, para el GNC es aproximadamente de 2 a 3 minutos para autos y de 4 a 8 minutos para buses y camiones; esto se logra con incrementos en la inversión para aumentar la capacidad de compresión y almacenamiento, y los diámetros de las tuberías de llenado.

Con GLP se pueden obtener tiempos del orden de 2 a 3 minutos sin mayores inversiones.

10.14 SOBREPESO

Cuando se utiliza un tanque de 15 galones (203 mm. de diámetro y una longitud de 550 mm., de acero al carbono 1040 tratado térmicamente) y se hace un análisis de esfuerzos, se obtiene con una presión de diseño de 4500 psi para GNC, un espesor de pared de 5.3 mm. Utilizando este mismo tanque con GLP, a una presión de diseño de 1200 psi, se tiene un espesor de pared de 1.5 mm. , lo anterior representa una relación en peso del orden de 3.5 veces más para un tanque de GNC que para uno de GLP.

Cabe notar que esta diferencia se puede reducir utilizando materiales más resistentes y aleaciones especiales pero a un costo más elevado, lo que ha llevado a un acelerado desarrollo de tecnología orientada a reducir el peso de los cilindros para GNC reduciendo igualmente los costos de fabricación.

10.15 PERDIDA DE POTENCIA

El índice de octano limita la razón de compresión de los vehículos, es así como el límite superior para la relación de compresión en vehículos a gasolina se encuentra generalmente en el rango de 8 a 10, para el GLP puede estar en 12 y para el GNC en 14. Estos límites dependen de la composición del combustible y de las condiciones de operación.

Cuando un motor a gasolina es convertido a GNC o GLP, por el hecho de tener el motor a gasolina una relación de compresión demasiado baja se presentarán características de operación por debajo de las óptimas, que se manifestarán a través de una pérdida de potencia, siendo mayor esta pérdida con GNC, por requerir de una mayor relación de compresión debido a su alto número de octano.

Estas diferencias en la razón de compresión son las que generan una mayor caída de presión, por eso se han tratado de reducir a través del acondicionamiento de las cámaras de combustión, maquinado de cilindros y barrido de culatas que permiten un aumento en la relación de compresión de los motores a gasolina, disminuyendo las pérdidas de potencia.

Cuando un vehículo es convertido a GNC o GLP, comienza a trabajar con un combustible menos denso. La densidad más ligera del combustible hace que este desplace más aire, es decir menos aire por ciclo es inducido a los cilindros. Esto se convierte en una disminución de la eficiencia volumétrica y por lo tanto en una pérdida de potencia comparada con la obtenida con combustibles líquidos.

Otro factor que repercute es la altura sobre el nivel del mar del sitio en cuestión. Al usar un automóvil en altura, estamos consumiendo un aire menos denso y con menor cantidad de oxígeno, lo cual implica dos cosas. Al usar un aire más delgado, la presión dentro del cilindro baja, reduciendo la relación de compresión y la combustión es más lenta por el poco oxígeno.

Cabe notar que esta caída de potencia por efecto de la altura afecta a todos los combustibles.

Estudios realizados por el Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente - DAMA y por el Instituto Colombiano del Petróleo - ICP han establecido que utilizando GLP en la ciudad de Santa fé de Bogotá se obtiene una reducción en la potencia del orden del 7%, y con GNC en la misma ciudad una reducción hasta del 15%, dependiendo del tipo de mezcla utilizada.

Considerando que solo en condiciones muy extremas y a máxima capacidad de carga se requiere alta potencia en el motor, y conociendo de resultados satisfactorios de vehículos operando a gas en ciudades con altitudes superiores a la de Bogotá, es perfectamente viable la conversión. Además esta desventaja será transitoria, ya que se esta eliminando con nuevos diseños de motores solo gas o dedicados, los cuales han sido construidos para satisfacer las relaciones de compresión de los gases de acuerdo con su número de octano.

10.16 MANTENIMIENTO

La combustión limpia que caracteriza tanto al GNC como al GLP, debido a la eliminación de la formación de carbón, barnices y lodos dentro del motor, hace que se prolongue la vida del aceite y los filtros (se incrementa su vida útil aproximadamente tres veces en comparación con un vehículo a gasolina), adicionalmente se pierde el efecto de dilución por combustible, que suele presentarse en los motores a gasolina.

Otro aspecto positivo que conlleva la combustión limpia es la prolongación de la vida útil de las bujías, siempre y cuando se coloquen dentro del rango de temperatura correcto. El estado gaseoso del combustible facilita la formación de la mezcla y no necesita de elementos de precalentamiento para el encendido en frío, de manera que se requiere de elementos menos sofisticados que facilitan la operación del vehículo y por lo tanto reducen su mantenimiento.

11. NORMATIVIDAD TÉCNICA

11.1 NORMATIVIDAD TÉCNICA A NIVEL MUNDIAL DEL GNC

Para una industria relativamente nueva como el gas natural para vehículos que está siendo desarrollada en más de 35 países, resulta necesario establecer normas técnicas que fijen los requisitos mínimos en cuanto a diseño, operación y seguridad de los distintos equipos asociados a la misma.

Ahora cuando dichas normas son más necesarias debido al incremento en el uso de esta tecnología, los diferentes países se han visto abocados a tener que definir unos estándares que capitalicen la experiencia de los países con mayor trayectoria en este campo.

El consenso general y la manera como se está llevando a cabo este proceso indica que la ISO va a tardar por lo menos cinco años en la elaboración de normas de aplicación internacional. Por esta razón es que es probable que se continúen elaborando normas nacionales por algún tiempo basadas en las de los países que han tomado la vanguardia en este campo. El trabajo de elaborar normas que reúnan las necesidades de una industria internacional requiere de un soporte adecuado y por esto la IANGV está liderando iniciativas en tal sentido.

Por otro lado revisten especial interés las normas que están siendo desarrolladas para regular los niveles de contaminación. La industria del GNC es consciente de que los requisitos exigentes en materia ambiental pueden fortalecer el posicionamiento de este combustible como alternativa energética para el sector transporte. En efecto, la facilidad con la cual ha sido posible para el GNC cumplir con los niveles de contaminación que han establecido legislaciones tan exigentes como las de California y otros estados de la unión americana, es una medida del potencial del gas natural en este aspecto.

Tabla 9. Normatividad técnica a nivel mundial sobre GNC

PAÍS	No. DE NORMAS
ARGENTINA	10
AUSTRALIA	5
BRASIL	5
CANADA	17
COLOMBIA	6(*)
ESTADOS UNIDOS	16
HOLANDA	5(*)
IRGANDA	1
ITALIA	3
JAPON	5
MALASIA	2
NUEVA ZELANDA	10
SUIZA	3(*)

(*) Incluye proyectos de norma

Fuente. Tomada de Minminas – UPME – Plan de Implementación del Gas Natural Comprimido Automotor en Colombia

Desarrollo de Normas en Estados Unidos. La Asociación de GNC en los EE.UU ha sido la encargada de efectuar el trabajo de promoción de esta tecnología y para ello conformó en 1989 un subcomité de normalización. Al mismo tiempo ha brindado asistencia a una amplia representación de sectores industriales que incluyen, fabricantes de equipo de conversión y estaciones de llenado, OEMs, y agencias regulatorias.

La NGVC esta involucrada directamente en la estructuración de documentos regulatorios que propenden por el uso seguro del gas natural en todos los tipos de vehículos. Cabe destacar el amplio trabajo de la NGVC en el desarrollo y actualización de la normatividad técnica para equipos de comprensión, abastecimiento, almacenamiento y conversión.

Agencias estatales como la Administración Federal de Tránsito (FTA) y la Administración Nacional de Carreteras y Tráfico (NHTSA) han trabajado en asocio con la NGVC en la emisión de resoluciones y recomendaciones técnicas sobre el uso del gas natural en vehículos. Estos documentos han cubierto el diseño de sistemas de llenado y almacenamiento y el empleo del equipo asociado a la tecnología del GNC en diversas clases de vehículos.

Adicionalmente la NGVC, la Asociación Americana de Gas (AGA) y el Instituto de Investigación del Gas están trabajando en coordinación con la FTA en la búsqueda de mecanismos de financiación de buses movidos por gas natural.

Normatividad en Europa. La primera directiva que fijó los límites en cuanto a emisiones para vehículos de pasajeros fue la EEC 70/220. Posteriormente se han efectuado reformas a la misma haciéndola más exigente y logrando que se extienda a toda la comunidad europea.

La directiva 94/12/EC es la reforma más reciente a la directiva original emanada en 1970, y en ella se ha definido que las emisiones de las fuentes móviles contaminantes deben ser reducidas en el orden del 90% de los valores definidos en 1970. La nueva directiva refleja la decisión de que la legislación debe estar basada en las normas sobre calidad del aire, debido a la necesidad de disminuir el efecto de la creciente actividad del tráfico automotor en las ciudades.

Los cambios efectuados en el artículo 4 de la directiva EEC 70/220 impulsan medidas como la aplicación de una administración racional del tráfico vehicular y el apoyo a nuevas tecnologías de propulsión poco contaminantes.

Es claro que los vehículos que utilizan gas natural como combustible deben ser ampliamente apreciados por las diferentes administraciones de tráfico por su contribución significativa al mejoramiento de la calidad del aire.

Los países europeos en la actualidad adelantan trabajos relacionados con los siguientes puntos del proyecto GNC:

- La potencia del motor tradicional y la tecnología del manejo post-combustión.
- Mejoras en los procedimientos de prueba (arranque en frío y operación a baja temperatura).
- Mejoramiento en la rigurosidad de las inspecciones y procedimientos de mantenimiento.

- Revisión de la conformidad con la normatividad técnica de los vehículos en circulación.
- Definición de límites específicos en la emisión de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno así como contaminantes no regulados.

El comité europeo de normalización (CEN) ha establecido unos grupos de trabajo como colaboración a las iniciativas de la ISO para el desarrollo de proyectos de normas técnicas en varios temas: estaciones de llenado, sistemas de combustible para GNC y condiciones de operación de los equipos de los diferentes equipos. Todos estos grupos de trabajo están directamente coordinados por el comité técnico CEN/TC326.

Normalización en Argentina. Como respuesta al planteamiento e inicio del programa de sustitución de combustibles líquidos en Argentina desde 1984, Gas del Estado coordinó la elaboración de un compendio de normas sobre GNC vehicular. Teniendo en cuenta que en la parte normativa no se tenían mayores antecedentes, se recurrió para la estructuración de los documentos inicialmente a las normas canadienses y a las reglamentaciones italianas, pero posteriormente los documentos fueron replanteados y mejorados mediante la inclusión de requisitos contemplados en las normas técnicas de Nueva Zelanda y Estados Unidos (NFPA 52).

En todas las normas que rigen actualmente la industria del GNC en Argentina, se describen y especifican además de las condiciones técnicas las responsabilidades a que están sujetos los fabricantes, importadores e instaladores de los diferentes equipos y accesorios.

Por diversos motivos entre los que se pueden citar: evolución del programa de sustitución de combustibles, adelantos tecnológicos, etc., últimamente han tenido necesidad de ampliar la normatividad promulgada inicialmente para el uso del gas natural comprimido en automotores. Es así como se elaboraron normas relacionadas con las condiciones de seguridad adicionales en vehículos con GNC, equipos de comprensión y las reglamentaciones sobre inspecciones periódicas de cilindros.

Así mismo, debido a la evolución del desarrollo tecnológico se ha visto la necesidad de incorporar anexos específicos a las normas existentes basados en la experiencia y en las variantes constructivas de los sistemas.

Puede decirse que Argentina fue el primer país latinoamericano en implementar el gas natural comprimido en el sector transporte, y tanto por los conocimientos adquiridos con el transcurrir de los años como por la continua actualización de sus normas técnicas, continúa siendo uno de los países con mayor liderazgo y potencial en esta industria.

11.2 NORMATIVIDAD TÉCNICA EN COLOMBIA DE GNC

La principal aplicación en nuestro medio del gas natural comprimido está en su uso como combustible para vehículos automotores, aplicación en la que se da lugar a economía, mejor utilización de los recursos energéticos propios y disminución significativa de la contaminación.

Por lo anterior y analizando el crecimiento de dicha actividad, inicialmente en la costa atlántica y sur del país y actualmente en el centro, se ha visto la necesidad de contar con las normas técnicas colombianas correspondientes para regular y a la vez fortalecer el empleo de este combustible alternativo.

Es así como en desarrollo de la segunda fase de un convenio firmado entre ECOPELROL-ACOGAS e ICONTEC, durante el año de 1995 se emprendió la elaboración de la primera norma técnica colombiana en materia de GNC que estableció los requisitos en cuanto a materiales, diseño, fabricación y ensayos de los cilindros destinados al almacenamiento de gas natural comprimido como combustible automotor. Dicha norma es la NTC 3847 y fue ratificada por el Consejo Directivo del ICONTEC en 1996.

Posteriormente, durante la tercera y última fase del convenio en mención se llevó a cabo la elaboración de una segunda norma técnica colombiana de aplicación en esta área. Dicha norma es la NTC 4300, la cual establece los requisitos de diseño, construcción, funcionamiento y pruebas de los diferentes componentes del sistema de combustible para vehículos que funcionan con gas natural comprimido.

Más recientemente, una vez finalizado un estudio sobre el plan de desarrollo de la industria del gas natural vehicular en Colombia, la Unidad de Planeación Minero-

Energética (UPME) designó a ACOGAS para adelantar la preparación de cuatro proyectos de normas técnicas colombianas, que unidas a las dos primeras constituyen un soporte técnico para el inicio del programa de sustitución de combustibles líquidos en el sector transporte.

Los proyectos de normas técnicas mencionados son:

Estaciones de servicio para vehículos que utilizan gas natural comprimido como combustible. Este documento establece los requisitos mínimos de construcción, instalación y seguridad que deben cumplir las estaciones de compresión, almacenamiento y despacho de gas natural comprimido para vehículos tanto en sistemas de llenado rápido como en sistemas de llenado lento.

Inspección y reprobación de cilindros empleados en vehículos que utilizan gas natural comprimido. Este proyecto de norma establece los requisitos y procedimientos de inspección y reprobación de cilindros empleados en vehículos que utilizan GNC. Esta norma aplicará a todos aquellos cilindros de almacenamiento de gas natural comprimido a alta tensión que se hallen o no instalados en vehículos automotores y que cuenten con la debida documentación que acredite su correcta fabricación de acuerdo con al NTC 3847.

Talleres de servicio para vehículos que utilizan gas natural comprimido. Este proyecto de norma establece los requisitos mínimos tanto técnicos como de seguridad que deben cumplir los talleres de servicio dedicados a labores de instalación, mantenimiento y reparación de los componentes del sistema de gas natural comprimido para vehículos, lo mismo que para realizar labores de instalación, inspección, mantenimiento y reparación de los respectivos cilindros.

Instalación de componentes del sistema de combustible para vehículos que funcionan con gas natural comprimido. Este documento establece los requisitos para la instalación de los componentes del sistema de combustible para vehículos cuyos motores son convertidos para funcionamiento con gas natural comprimido. La norma aplicará a la instalación de los componentes y cilindros, previa aprobación de los mismos bajo las normas técnicas colombianas NTC 4300 y NTC 3847 respectivamente.

Al igual que durante el convenio ECOPETROL-ACOGAS-ICONTEC, para la estructuración y edición de estos cuatro proyectos de norma se prepararon

documentos preliminares que se pusieron en consideración de las empresas relacionadas con el GNC en nuestro país, con el propósito de recoger y discutir las observaciones a los mismos para concretar los requisitos técnicos.

Al momento los cuatro proyectos de normas se encuentran listos para su trámite ante el Organismo Nacional de Normalización, esto es el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación –ICONTEC–, para ser sometidos a los trámites de consulta pública y aprobación por parte del Consejo Técnico de dicho instituto con el objeto de ser promulgados posteriormente como normas técnicas colombianas.

Tabla 10. Normas legales colombianas relacionadas con GNC.

NORMA LEGAL	FECHA DE EXPEDICION	ENTIDAD	OBJETO
RESOLUCIÓN 05227	DICIEMBRE 20/90	MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA	4. Por la cual se delega la función de verificar la calibración y funcionamiento de surtidores de combustibles.
DECRETO 283	1990	MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA	5. (Artículo 5: Trámite para la aprobación de planos de estaciones de servicio)
DECRETO 353	1991	MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA	6. (Reglamentó el almacenamiento, manejo, transporte y distribución de combustibles líquidos)
DECRETO 1677	OCTUBRE 14/92	MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA	7. Por la cual se modifica el artículo 3º del Decreto 353 de 1991
RESOLUCIÓN 31088	JUNIO 10/93	MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA	8. (Trata lo relacionado con el trámite para imposición de sanciones)
RESOLUCIÓN 32503	DICIEMBRE 27/93	MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA	9. Por la cual se establecen los precios de Gas Natural y se toman medidas en relación con un subsidio.
DECRETO 400	FEBRERO 18/94	MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA	10. Por el cual se asignan funciones al Ministerio de Transporte.
RESOLUCIÓN 002025	JUNIO 23/94	MINISTERIO DE TRANSPORTE	11. Por la cual se reglamenta el registro de transporte de combustible para los vehículos motorizados y no motorizados, destinados al transporte de gas propano (GLP) y gas natural comprimido (GNC); se establece un procedimiento y se adoptan unos

			formatos.
RESOLUCIÓN 82035	AGOSTO 25/95	MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA	12. Por la cual se establece el precio de GNC para venta en estaciones de servicio.
RESOLUCIÓN 80582	ABRIL 8/96	MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA	Por la cual se reglamenta el almacenamiento, manejo y distribución de GNC para uso en vehículos automotores, la conversión de los mismos y se delegan unas funciones.
RESOLUCIÓN 008	FEBRERO 10/98	COMIS. DE REG. DE ENERGÍA Y GAS	Por la cual se determina el régimen para el Gas Natural Comprimido Vehicular (GNC).
RESOLUCIÓN 81343	JULIO 10/98	MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA	Por la cual el Ministerio de Minas y Energía reasume las funciones delegadas a las Alcaldías Municipales y Distritales para la autorización de la construcción, ampliación o modificación de estaciones de servicio para la distribución de gas natural comprimido para uso en vehículos automotores (GNC).
RESOLUCION 180928	JULIO 26/06	MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA	Por la cual se expide el Reglamento Técnico aplicable a las Estaciones de Servicio que suministran Gas Natural Comprimido para Uso Vehicular (GNC).

Fuente. Tomada de Minminas – UPME – Plan de Implementación del Gas Natural Comprimido Automotor en Colombia

12. BENEFICIOS AMBIENTALES DEL USO DE GNC, GLP, GNL E HIDROGENO AUTOMOTOR

La utilización de combustibles líquidos de origen fósil en el sector automotor, ha incrementado la contaminación ambiental, generando fenómenos como la lluvia ácida, el efecto invernadero y el calentamiento global, lo cual ha motivado la expedición de regulaciones cada vez más restrictivas en materia de emisiones contaminantes, lo que a su vez a generado la necesidad de buscar nuevos combustibles como el GNC, GLP, GNL e Hidrogeno que proporcionen mayores beneficios ambientales y económicos a la nación.

El informe del JICA en 1992 acerca de la estimación de emisiones de gases hacia la atmósfera en Bogotá, para 1991, es el documento más exacto que se tiene en este tema (Véase Tabla 12), actualmente el Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente - DAMA cuenta con varias estaciones debidamente repartidas en Bogotá, las cuales podrán reportar polvo en mg/m^3 , CO en ppm, CH_4 en ppm, otros hidrocarburos en ppm, velocidad del viento en m/s, dirección del viento en grados, lluvia en mm., permitiendo así para un futuro disponer de información más actualizada.

El estudio del JICA, muestra como el monóxido de carbono (CO) es el mayor contaminante presente en la ciudad de Bogotá, dando a entender que contamos actualmente con una tecnología muy ineficiente en cuanto a combustión de energéticos fósiles.

12.1 EMISIONES DE MONOXIDO DE CARBONO

El monóxido de carbono (CO) es un gas resultante de la combustión incompleta, inoloro, cuyo efecto letal resulta en reemplazar el oxígeno disuelto en las moléculas de hemoglobina, causando hipoxia celular o deficiencia de oxígeno. El monóxido de carbono es 200 veces más afín a la hemoglobina que al O_2 . Por debajo del 15% no debe producir efectos peligrosos.

Cuando el monóxido de carbono reacciona con la atmósfera da origen al dióxido de carbono (CO_2), el cual es soluble en agua; algunas de sus reacciones con la

lluvia pueden producir compuestos ácidos que afectan infraestructuras y obras cuya materia prima sea el calcio en alguna de sus formas.

Estudios realizados por el DAMA en diferentes tipos de vehículos con GNC y GLP en la ciudad de Santafé de Bogotá han mostrado que en vehículos pesados con GLP y usando sonda lambda, la reducción del CO es del orden de 680 gr/galón equivalente de gasolina (-254.15%) y en vehículos livianos con GLP y sonda se reduce en 270 gr/galón respecto a la gasolina (-75.11%).

El mismo análisis hecho con GNC y sonda lambda en vehículos pesados muestra una reducción de 930 gr/galón equivalente de gasolina (-305.36%) y en vehículos livianos con sonda se logra una reducción de 400 gr/galón de gasolina equivalente (-1043.52%).

12.2 EMISIONES DE OXIDO DE AZUFRE

El óxido de azufre (SO_2) puede ocasionar en las personas desde la reducción del área bronquial (1-6 ppm), pasando por síntomas más agudos como irritaciones en la garganta (8-12 ppm), irritación de ojos y tos (20 ppm) hasta llegar a la muerte (400 - 500 ppm). El límite sugerido de exposición se encuentra en 2 ppm. Forma ácidos como el sulfídrico y el sulfúrico, los cuales pueden generar problemas en suelos y por consiguiente en las plantas, o en estructuras.

El gas existente en el país se encuentra libre de azufre, lo que lo convierte en el energético ideal para evitar la emisión de óxidos de azufre.

12.3 EMISIONES DE OXIDOS DE NITROGENO

El nitrógeno puede aparecer en siete formas de óxido de los cuales los tres principales son el dióxido de nitrógeno (NO_2), el óxido nítrico (NO) y el óxido nitroso (N_2O).

El dióxido de nitrógeno y el óxido nítrico se caracterizan por su actividad fotoquímica en la transformación de hidrocarburos y la formación de ozono troposférico; el óxido nitroso influye en el cambio climático.

El nitrógeno puede formar los ácidos nítrico y nitroso, los cuales al igual que los ácidos de azufre, pueden afectar suelos, plantas y estructuras.

En vehículos pesados con GLP y sonda, la emisión de óxidos de nitrógeno se incrementa en menos de 23 gr/galón equivalente de gasolina (+41.62%) y en vehículos livianos con sonda se incrementa en 10 gr/galón equivalente de gasolina (+25.52%).

Con GNC se obtienen valores muy similares. Un aumento de 22 gr/galón equivalente de gasolina (+45.57%) en vehículos pesados y un aumento de 10 gr/galón equivalente de gasolina (+34.86%) en vehículos livianos.

Cabe anotar que cuando no se utiliza sonda la emisión se incrementa en solo 14 gr/galón equivalente de gasolina (+30.30%) en vehículos pesados y 7 gr/galón equivalente de gasolina (+19.33%) en vehículos livianos.

Este incremento en la producción de NO_x, se debe a que la temperatura de la cámara de combustión en motores a GNC o GLP es ligeramente superior a la que se tiene con gasolina a elevadas velocidades.

12.4 HIDROCARBUROS

Los hidrocarburos aromáticos son bioquímicamente activos y algunos irritantes para las mucosas. El benceno es cancerígeno, razón por la cual no se admiten exposiciones por encima de 0.1 ppm.

Los aldehidos y las cetonas producidos son muy activos y potencialmente más tóxicos que los hidrocarburos de los cuales provienen.

En vehículos pesados con GLP y sonda se obtiene una reducción de 3 gr/galón equivalente de gasolina de hidrocarburos inquemados (-10.04%) y en vehículos livianos con sonda se reduce en 17 gr/galón de gasolina equivalente (-69.25%). Con GNC y sonda en vehículos pesados se reduce en 36 gr/galón equivalente de gasolina (-187.29%) y en vehículos livianos se reduce en 12 gr/galón equivalente de gasolina (-39.11%).

12.5 PARTICULAS

En el sector transporte es muy común la emisión de partículas, provenientes de la misma naturaleza, tales como: polvo arrastrado por el viento, provenientes del suelo, de la descomposición de organismos, de incendios, etc., los cuales se adhieren al combustible y lo contaminan. Estudios hechos en Europa, han establecido que el GNC y el GLP están por debajo del 10% de la norma europea EURO II, la cual tiene como nivel mínimo permitido de emisiones de partículas 0.15 gr/kwh.

Los datos anteriores indican que tanto el GNC como el GLP pueden contribuir a mejorar la calidad de vida en las grandes ciudades, disminuyendo la contaminación del aire, especialmente en materia de monóxido de carbono (CO) (mayor contaminante en la actualidad). Prácticamente todas las evaluaciones muestran disminuciones considerables en los niveles de emisiones respecto a los combustibles líquidos, excepto en los óxidos de nitrógeno donde se tiene un ligero aumento pero dentro de los rangos permitidos por las normas ambientales vigentes. Aunque ambos combustibles surgen como buenas alternativas desde el punto de vista ambiental, el GNC es la mejor opción por tener más bajos niveles de emisiones contaminantes.

12.6 REDUCCIÓN DE ENFERMEDADES

Estudios realizados, indican que el monóxido de carbono causa inhabilidad en las células de la sangre para transportar oxígeno por el sistema circulatorio, y como el corazón y los tejidos nerviosos son susceptibles a la deficiencia de oxígeno, pueden originar problemas cardiovasculares, migrañas, mareos y visión borrosa.

La ingestión de plomo produce insuficiencia urinaria, anemia e intoxicaciones. Los óxidos nitrosos y sulfurosos irritan el sistema respiratorio, reducen la inmunidad y pueden producir cáncer. Los hidrocarburos libres irritan los ojos y producen tos. Las partículas emitidas llevan los contaminantes hacia los pulmones atacando las mucosas nasales.

Los anteriores problemas acarreados por la combustión de gasolina y diesel, muestran la conveniencia del uso del GNC o del GLP. El hecho de que el GNC y el GLP reduzcan las emisiones a la atmósfera, los convierte en los combustibles de mejor comportamiento desde el punto de vista salud, reduciendo los severos

problemas de tipo visual, respiratorio, cardiovascular y neurológico que conlleva un ambiente contaminado. Además la no presencia de azufre en estos combustibles hace improbable la emisión de partículas cancerígenas.

13. PERSPECTIVAS EN EL USO DEL GNC, GLP, GNL E HIDROGENO AUTOMOTOR

Teniendo en cuenta que el sector transporte es el que experimenta un mayor crecimiento en la demanda de combustibles, surge la necesidad de emprender programas de sustitución de gasolina y diesel por un combustible alternativo limpio, que permita un uso más eficiente y económico de la energía.

Gracias al Plan de Masificación del Gas Natural, el país cuenta con una gran infraestructura de producción, transporte y distribución de gas, el cual se debe aprovechar para impulsar un programa de sustitución. ECOPETROL ha entendido esto y ha decidido impulsar un programa de GNC vehicular, cuyos principales objetivos son:

- Procurar la conservación del medio ambiente.
- Promover el uso eficiente de las reservas de gas natural existentes en el país y de la infraestructura ya existente.
- Mejorar la calidad de vida de los habitantes.
- Generar independencia respecto al sector externo en materia de combustibles líquidos.
- Generar espacios para la inversión privada.
- Generar empleo.

Se planea convertir 150.000 vehículos e instalar 400 estaciones de suministro en un lapso de 10 años en todas las ciudades que cuenten con red de suministro de gas natural. Se estima que este parque automotor consumirá 220 MPCD de gas natural, permitiendo la sustitución de 43.000 BPD de gasolina.

En cuanto a GLP no se cuenta con un programa específico de sustitución. Todo depende de lo que puedan hacer entidades privadas (sin el apoyo del gobierno nacional). Las limitaciones en la producción nacional de GLP, los problemas asociados a su composición, los altos costos de importación de este combustible y el poco interés de los fabricantes por desarrollar motores dedicados a GLP, hacen que no sea viable este programa, al menos en los próximos 5 años.

Es indudable que un programa de GNC o GLP automotor traería innumerables beneficios siempre y cuando se le dé el impulso y la importancia que requiere. Para ello es importante tener en cuenta:

13.1 MERCADO OBJETO

El programa debe estar dirigido inicialmente hacia el transporte de servicio público, por ser este el sector más contaminante y el cual puede beneficiarse económicamente por los altos recorridos que efectúan. Sin embargo, una vez se cuente con la infraestructura adecuada, podrá abrirse para todos aquellos vehículos particulares que lo deseen.

13.2 DISPONIBILIDAD DE COMBUSTIBLE

Estudios realizados por ECOPETROL, estiman una disponibilidad de gas natural más allá de los 20 años, a las tasas de consumo actual, distribuido por una red de gasoductos repartida por todo el territorio nacional de una manera eficiente y segura, lo que respalda cualquier programa de GNC que se lleve a cabo.

En cuanto a GLP no se cuenta actualmente con la disponibilidad requerida, y a largo plazo solo existe la expectativa de la producción de los campos del Piedemonte Llanero, persistiendo el problema de la falta de homogeneidad en la composición de este combustible.

13.3 REGIMEN TARIFARIO

Considerando que la tarifa final al usuario es el factor crítico para el desarrollo de un programa de conversión, se requiere de la conformación de comités encargados de analizar los diferentes costos del sistema y establecer rentabilidades razonables para cada uno de los integrantes de la cadena.

Se deben hacer incrementos graduales en el precio del transporte y una disminución gradual equivalente en el margen de las estaciones de suministro, teniendo en cuenta que el volumen de vehículos despachados inicialmente será bajo y solo a partir del cuarto o quinto año alcanzará su máxima capacidad.

13.4 POLITICAS E INCENTIVOS GUBERNAMENTALES

Para dar el impulso necesario a un programa de sustitución de combustibles líquidos, se requiere de varias acciones por parte de diferentes entidades del estado.

13.4.1 Ministerio de Minas y Energía: aplicar la fórmula de fijación de márgenes y precios al público en todas las ciudades del país.

Agilizar los trámites para expedición de licencias de funcionamiento de estaciones de suministro y talleres de conversión.

13.4.2 Ministerio de Transporte: prohibir la introducción de nuevos vehículos diesel al transporte público urbano, por su alta contaminación.

Ordenar la reposición del parque automotor de transporte público con vehículos a gas.

Restringir la repotenciación de motores para los vehículos de transporte público, de gasolina a diesel, presentando como alternativa la repotenciación a gas con motores dedicados.

13.4.3 Ministerio del Medio Ambiente: reglamentar niveles máximos de emisiones de contaminantes para fuentes móviles.

Agilizar los trámites de expedición de licencias ambientales cuando se requiera ampliar una estación de gas.

13.4.4 Ministerio de Hacienda: incluir en el listado de Bienes de Capital equipos como compresores, estaciones, surtidores y cilindros, con un arancel no superior al 5%.

Establecer aranceles del 5% para los kits de conversión y para partes y piezas.

13.4.5 Ecopetrol: comprometer a los mayoristas y minoristas de combustibles líquidos en la venta de gas.

- Incentivar la conversión de flotas de vehículos.
- Emprender programas de divulgación.
- Diseñar procesos de capacitación para las personas involucradas en el proceso de suministro de combustible, conversión y mantenimiento de vehículos.
- Impulsar en una primera fase del proyecto el consumo de gas, con incentivos de forma que representen una reducción en el costo de los equipos de conversión.

13.4.6 Sena y Universidades: desarrollar programas de capacitación.

13.4.7 Alcaldías: agilizar el trámite para construcción o modificación de estaciones e instalación de talleres de conversión.

13.4.8 Icontec: agilizar la aprobación de normas para el buen uso del gas vehicular.

14. CONCLUSIONES

Los elevados precios internacionales del petróleo sumados a las bajas proyecciones de reservas internacionales, están impulsando el desarrollo de nuevas opciones que aseguren el suministro de energía que demandará en el futuro venidero la siempre creciente población mundial. Colombia también comparte la progresiva preocupación por la escasez de recursos energéticos y por eso se está dando a la tarea de encontrar nuevas formas de energía que le garanticen un suministro independiente y le den la capacidad para responder a sus necesidades industriales futuras. ¿Cuáles son las oportunidades que se vislumbran en la búsqueda de nuevas fuentes de energía? Aquí tiene algunos ejemplos de las apuestas y los esfuerzos que están haciendo algunos colombianos para encontrar nuevas y abundantes fuentes de energía.

El combustible más próximo a reemplazar a la gasolina convencional ya es una realidad en Colombia, y es el biodiesel. Desde éste año todos los vehículos deberán mezclar un 10% de alcohol carburante con gasolina convencional, alcohol que provendrá de algunos ingenios y otras industrias nacionales. Es una excelente solución de corto plazo para reducir el consumo de hidrocarburos y explorar nuevas alternativas energéticas. El biodiesel tiene un reto fundamental, lograr un costo de producción que lo haga competitivo en el mercado internacional. De esta forma Colombia podría convertirse en un exportador de biodiesel a mercados tan atractivos como el brasilero. Para lograr esta meta, científicos de la Universidad de la Sabana están explorando nuevas enzimas que mejoren el proceso de conversión de biomasa en alcohol carburante y que reduzca considerablemente los costos de producción. El biodiesel es una realidad y dependerá de los colombianos que se convierta en una industria mundialmente competitiva que genere recursos y empleo sostenible para el país.

El parque eólico “Jepirachi” en la Guajira colombiana, proyecto desarrollado por EPM, es una primera y ejemplar aproximación al desarrollo de la fuente de energía de mayor crecimiento en los últimos 3 años. La energía eólica ha crecido más del 20% en el último año y le está haciendo una fuerte competencia a otras fuentes de energía como la hidroeléctrica y la termoeléctrica. La variedad de condiciones climáticas colombiana hace inevitable que existan excelentes lugares para implementar esta tecnología y el desarrollo de nuevos parques podrá ser impulsado en el corto plazo por las ganancias generadas de la venta de los certificados de reducción de emisiones suscritos al protocolo de Kyoto. Empresas multinacionales como General Electric Company, reconocen el enorme potencial

de crecimiento de la energía eólica y están dispuestas a invertir millones de dólares para atender una demanda que se espera se duplique para el 2007. Colombia tiene una gran oportunidad no sólo en la implementación de los parques eólicos y en la producción de energía barata, también en la asimilación y apropiación de la tecnología y en la capacidad de diseñar y vender modelos de parques para todo el mundo.

Científicos de la Universidad Nacional están desarrollando una nueva generación de celdas solares basadas en polímeros conductores. Ellos saben que el sol nos envía diariamente 2750 veces la cantidad de energía que requerimos para atender el consumo mundial. Por eso se están dedicando a construir un nuevo tipo de celdas solares, eficientes, livianas y económicas que podrán ser utilizadas masivamente en menos de 10 años. A diferencia de las actuales, las nuevas celdas podrán ser adheridas a su celular como una calcomanía, adaptadas como pintura de cualquier color para su carro y revestir de forma elegante la fachada de su casa. El mercado potencial de energía solar se estima en 6.600 millones de dólares en 5 años, oportunidad que quiere ser aprovechada por estos visionarios colombianos. Si Colombia se convirtiera en una sociedad líder en utilización de energía solar, reduciría enormemente sus emisiones de CO₂, sería energéticamente independiente y generaría progreso para sus regiones más olvidadas.

Si se carece del gas natural, los clientes industriales pueden usar mezclas propano / butano para la generación de energía o el transporte, y existen varias alternativas de conversión vehicular en desarrollo para implementar la mezcla en vehículos ciclo Otto en Argentina. El propano es un buen combustible; produce menos emisiones que las naftas y ha estado en el uso en el mundo durante muchos años; en el país se usa, por ejemplo, en los equipos moto elevadores. Pero es más caro que el gas natural. El propano también fluctúa fuertemente en sus precios: baja en el verano y sube en los meses de alta demanda invernal.

Los factores que contribuyen a las fluctuaciones del precio de propano / butano también pueden impactar el suministro y la disponibilidad. Estos problemas son muchos menores con el GNL, por una sola razón: el gas natural no es un commodity, sino que tiene precios regionales.

El otro problema en el uso de propano butano es que es más denso que el aire, así que las posibles pérdidas se disipan lentamente y se acumulan en lugares cerrados. La "nube" que se forma al derramarse propano se encenderá fácilmente. En cambio, el gas natural se disipa rápidamente, porque es más liviano que el aire.

Tabla 11. Propiedades relativas a la seguridad del GNL comparado con otros combustibles

	GNC	GNL	Diesel	Gasolina	Metanol	Etanol	Propano
Temp. Ignición (°C)	538	538	252	258	464	422	492
Límite de inflamación	5-15%	5-15%	0.6-5.5%	1.4-7.6%	6.7-36%	3.3-19%	3.4-13.8%
Luminosidad de llama	60%	60%	100%	100%	0.03%	3%	60%
Densidad al estado gaseoso, gr/cm³	0.0096	0.0096	0.07	0,05	0.017	0.025	0,024

Fuente. International Association for Natural Gas Vehicles.

El hidrógeno es un transportador de energía atractivo sólo si es generado usando recursos renovables, y, de este modo, no lleva a emisiones significativas de CO₂ fósiles. Podría ser, por ejemplo, una opción interesante almacenar y distribuir la electricidad de estaciones de energía eólicas, hidráulicas, o solares en la forma de hidrógeno a través de electrólisis. Cuando es usado hidrógeno producido por la reformación con vapor del gas natural, aproximadamente 10% más de CO₂ se emite por unidad de energía comparado a la gasolina, mientras se generan mayores costos.

Para usar el hidrógeno en una mayor escala, los investigadores deben desarrollar formas más prácticas y económicas de almacenarlo y procesarlo. Varios expertos en celdas de combustible entrevistados en están de acuerdo en que la tecnología de almacenamiento de hidrógeno debería ser foco de mayor investigación y de actividades de desarrollo en el futuro. Los avances significativos en la tecnología

de almacenamiento tendrían un gran impacto en acelerar la aceptación y comercialización de los vehículos de celdas de combustibles.

Además, se necesita de un arduo trabajo de confección de códigos y estándares relacionados al transporte y almacenamiento de hidrógeno en el futuro próximo, antes de que pueda haber alguna participación significativa de los vehículos a hidrógeno en el mercado.

Sin embargo, las grandes compañías fabricantes de automóviles han realizado uniones estratégicas con firmas tecnológicas y empresas petroleras para avanzar en el desarrollo de prototipos. Chrysler se ha asociado con la firma Delphi Automotive Systems para desarrollar automóviles basados en el uso de celdas de combustible; Ford se ha aliado con Ballard, International Cells y Mechanical Technology Incorporated con el mismo objetivo. General Motors también lo hizo con Delphi y Ballard y, en el marco de un programa de investigación europeo conjunto, Peugeot con Citroën. Mazda anunció el desarrollo de un vehículo que alcanza una velocidad máxima de 90 km/h y un rango de 170 km. Estos desarrollos se suman a los conseguidos por Nissan, que comenzó a probar autos con celdas de combustible a principios de 1990 y a Toyota, que en 1996 presentó un vehículo a celda de combustible de pre-producción basado en su vehículo deportivo RAV4L. Recientemente, la automotriz alemana BMW presentó su modelo 750hL con combustión a hidrógeno. El modelo, equipado con un motor convencional de doce cilindros puede funcionar tanto a nafta como a hidrógeno (204 HP, de 0 a 100 km/h en 9.6 segundos y máxima de 225 Km./h).

Hasta el momento, los altos costos de producción y la baja densidad han hecho imposible el uso del hidrógeno como un combustible de transporte en todos los programas, excepto en aquellos de prueba. Según el Alternative Fuels Data Center (AFDC), "puede que falten 20 ó 30 años o más antes de que el hidrógeno sea un combustible de transporte viable, y quizá, solamente entonces, en los vehículos propulsados a celdas de combustible."

Finalmente, si se quisiera escoger una tecnología por sus costos, definitivamente el más económico sería el GNC. Como lo podemos observar en la tabla 12. Los valores aquí relacionados y analizados son los costos de producción antes de su venta final.

Tabla 12. Costos de Producción antes de su Venta Final.

COMBUSTIBLE	U\$/MMBTU
HIDROGENO	56,0
GASOLINA	53,3
ACPM	33,7
GNL	28,6
GLP	26,6
GNC	18,4

15. RECOMENDACIONES

En el siglo XX eran los hidrocarburos, y las tecnologías asociados, la fuente predominante para resolver la cuestión energética.

En el siglo XXI, hay que comenzar a pensar en la DIVERSIDAD de materias primas y de tecnologías.

Existen múltiples alternativas, solo hay que tener la capacidad intelectual para elegir la más adecuada para cada escenario, TENIENDO EN CUENTA :

- ⇒ EL IMPACTO AMBIENTAL,
- ⇒ LA GENERACIÓN DE MANO DE OBRA, Y
- ⇒ LA DISPONIBILIDAD DE MATERIAS PRIMAS LOCALES.

El automóvil cumple un siglo de vida ya. Reconocido como un suceso sin precedentes, cambió la vida del ser humano radicalmente, brindándole prosperidad, libertad, movilidad y placeres que hicieron que ya la vida no se pueda imaginar sin él.

Pero si bien ya son cien años, se puede decir que esta maravilla se encuentra aún en su “infancia” dentro del contexto de las proyecciones tecnológicas y sociales del nuevo siglo.

Para el año 2020 la sociedad se vera muy diferente a lo que conocemos hoy en día. Como resultado de los cambios demográficos, la población estará llegando a su techo como así también la demanda de transporte y el número de automóviles. La real tendencia a una población laboral joven incrementará el transporte y la movilidad por placer de una evidentemente creciente población de tercera edad.

La reducción del consumo y sus resultantes emisiones de carbono serán el reto fundamental de las terminales. En el futuro estaremos conduciendo autos más livianos, más económicos y equipados con revolucionarios motores de escasa combustión. Todos los accesorios, caja de cambios, aire acondicionado y tracción estarán diseñados para requerir esfuerzos de consumo mínimos. Esto quiere decir que dentro de diez años los automóviles consumirán y contaminarán un treinta por ciento menos de lo que lo hacen hoy en día.

Para ese entonces, estaremos frente al apogeo de las alternativas en el consumo de combustibles, como por ejemplo el auto híbrido, las celdas de combustible y los generadores de electricidad en base a reacciones químicas entre hidrógeno y

oxígeno. Como resultado, las emisiones serán meramente vapor.

Desde la famosa crisis energética de los setenta, los constructores han aprendido que el diseño de vehículos en base a su economía de consumo, es fundamental a la hora de su comercialización. Las soluciones transitan por diversas áreas: en pos de una mejor performance del motor, el uso de materiales ligeros es vital; la combustión por inyección electrónica ocupa el mismo lugar de importancia, así como el uso de la fibra de carbono y las válvulas de control variable. Motores eléctricos, servo asistidos por pequeños motores de baja cilindrada a inyección cerrarán así una extensa serie de novedades que seguramente nos sorprenderán.

Finalmente, intensivas campañas llevarán al consumidor a "profesionalizar" el uso de su vehículo, instándolo a atender seriamente su estilo de manejo y necesidades de transporte, buscándose así de estandarizar un tránsito masivamente concernido en economía de consumo, preservación ambiental y seguridad vial.

El auto del siglo XXI se adaptará perfectamente al conductor y a sus necesidades, quien estará constantemente concernido por los comercializadores a adquirir el auto justo.

Bases de datos personales archivadas en su tarjeta o registro de conductor reflejarán sus necesidades, estilo de manejo e historia conductiva.

El factor demográfico y sus diversos segmentos y niveles de edades, serán determinantes a la hora de diseñar los vehículos. En el año 2020 la población mayor a 60 años será un 27% dentro del total de la población mundial y un 33% de la población que maneje vehículos. Los sorprendentes progresos en medicina preventiva permitirán así a una gran parte de la población, un mejor estado físico y por ende una mayor demanda de movilidad creativa.

BIBLIOGRAFIA

ALIENTO DE PIEDRA. Fundamentos de gas en lenguajes no técnicos. ALFREDO MENDEZ. Ediciones Vita Arte Producciones, 3ª Edición 2005.

ASOCIACION COLOMBIANA DE GAS. Colombia: El sector gas en cifras 1998. Santa Fé de Bogotá D.C., ACOGAS, Junio de 1998.

AUTOGAS UK. Her majestic the queen - now an autogas user. May 1998.

EL TIEMPO. Sección C. Santa Fé de Bogotá. Martes 13 de Julio de 1999.

EL AUTOMOVIL A FONDO. Ediciones culturales VER Ltda. Santa Fé de Bogotá. 1996.

NOTAS DEL CURSO DE MAQUINAS TERMICAS. Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad de los Andes. Ingeniero Alfredo Navarro. Ediciones Uniandes 1994.

EMPRESA COLOMBIANA DE PETROLEOS. INSTITUTO COLOMBIANO DEL PETROLEO. Proyecto de gas natural comprimido (GNC) para vehículos en la ciudad de Bogotá-Prueba de desempeño de un bus urbano. Piedecuesta. ECOPETROL - ICP. Enero de 1990.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. International energy outlook 1997. Washington. EIA. April 1997.

HOLLEMANS, Bas. Technical reference paper. Autogas. 1998.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Norma NTC 3768. ICONTEC. Santa Fé de Bogotá.

INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR NATURAL GAS VEHICLES. International natural gas vehicles statistics. July 1999.

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY. Study en air pollution control in Santa Fe de Bogotá city area. JICA. 1991.

JENNINGS Tom. Do it yourself automotive conversion. Fourth edition. November 1998.

LA ECONOMIA DEL HIDROGENO. La creación de la red energética mundial y la redistribución del poder en la tierra. JEREMY RIFKIN. Ediciones Paidós Ibérica, S.A. 4ª Edición, 2002.

LA REPUBLICA. Sección B - Empresas y Negocios. Santa Fé de Bogotá. Jueves 22 de Julio de 1999.

ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA. Revista Proyecto energético. OLADE. Agosto 1998.

ROBERT ALYN, Davies Musil. Viabilidad económica de la sustitución de motores diesel por motores a gas, en los buses de transporte público de Bogotá. Santa Fé de Bogotá, Agosto de 1996.

THE NATURAL GAS VEHICLE COALITION. More than one million natural gas vehicles now in use. NGVC. 1998.

TORRES José Eddy. Departamento técnico administrativo del medio ambiente DAMA - Programa de naciones unidas para el desarrollo PNUD. Estudio de factibilidad para la reconversión de vehículos a gas licuado de petróleo GLP en Santa Fé de Bogotá - Fase I. Diciembre de 1997.

UNIDAD DE PLANEACION MINERO ENERGETICA. El gas natural vehicular en Colombia. UPME. Enero de 1998.

World Bank Technical Paper #516, Breathing Clean: Considering the Switch to Natural Gas Buses, Masaji Kojima, October 2001.

_____ GNC: Aire limpio. Revista No. 24. Santa Fé de Bogotá D.C., ACOGAS, Julio - Diciembre de 1998.

_____ Norma NTC 3769. ICONTEC. Santa Fé de Bogotá. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Norma NTC 3770. ICONTEC. Santa Fé de Bogotá.

_____ Norma NTC 3771. ICONTEC. Santa Fé de Bogotá.

_____ Norma NTC 3847. ICONTEC. Santa Fé de Bogotá.

_____ Police cruise in natural gas vehicles. NGVC. 1998.

_____ Transit bus fleets switching to natural gas. NGVC. 1998.

_____, BOCAREJO Juan Pablo. Empresa colombiana de petróleo, ECOPEL. Proyecciones volumétricas y condiciones financieras del mercado de GLP automotor en el transporte público metropolitano. Santa Fé de Bogotá, Abril de 1995.

_____ Plan energético nacional 1997 - 2010. Autosuficiencia energética sostenida.

CONSULTAS ELECTRÓNICAS

Small Scale GNL Unit, Large Scale Potential. Australian Energy News.
<http://isr.gov.au/resources/netenergy/aen/aen22/18GNL.html>

Conferencia de Victor Stativkov, Director de Gazprom, presentada en Enargas, Buenos Aires, 3/10/2002.

BP Statistical Review of World Energy June 2002. <http://www.bp.com>

Annual Energy Outlook 2000 With Projections to 2020 [Report#:DOE/EIA-0383(2000)]December 17, 1999

<http://www.eia.doe.gov/oiaf/aeo/forecast.html#natgas>

Idaho National Engineering and Environmental Laboratory

<http://www.inel.gov/about/about.html>

INEEL Natual Gas Research Methane Liquefaction Plant

<http://www.inel.gov/engineering/fossil/GNL>

US DOE- Energy Information Administration- International Natural Gas Information Page <http://www.eia.doe.gov/emeu/international/gas.html#IntlGNL>

Annual Energy Outlook 2003 with Projections to 2025

Forecast ComparisonsReport #:DOE/EIA-0383(2003)

Released January 9, 2003 <http://www.eia.doe.gov/oiaf/aeo/forecast.html#natgas> y tambien <http://www.eia.doe.gov/oiaf/aeo/natgas>, [http://www.eia.doe.gov/oiaf/aeo/pdf/0383\(2003\).pdf](http://www.eia.doe.gov/oiaf/aeo/pdf/0383(2003).pdf)

DEVELOPMENT OF A THERMOACOUSTIC NATURAL GAS LIQUEFIER

John J. Wollan, Praxair Inc., Denver, CO 80239Gregory W. Swift, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM 87545Scott Backhaus, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM 87545David L. Gardner, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM 87545 Prepared for Presentation at 2002 AIChE New Orleans Meeting, New Orleans, LA March 11-14 CALIFORNIA GNL TRANSPORTATION FUEL SUPPLY AND DEMAND ASSESSMENT. Trabajo preparado para la CARB (California Air Research Board) por USA Pro & Associates St. Croix Research

Huntington Beach, CA Sherry Stoner Peter Ward et al (13/02/2002).
http://www.energy.ca.gov/reports/2002-02-13_600-02-002F.PDF

"The Cleaner Choice: Natural Gas as a Substitute for Diesel " Document Number:
Gas Research Institute-99/0261 December 1999.
<http://www.gri.org/cgi2/PrinterFriendlyView.cgi?strURL=%2Fsubscriber%2Fcontent%2Fapr%2F20000406%2F140718%2F990261%2D06%2Ehtml&strBU=Distributio%20%26%20End%20Use%2FLDC&boolTOCExists=1&boolSingleFileDoc=0 --><HTML><HEAD><TITLE>The Cleaner Choice: Natural Gas as a Substitute for Diesel</TITLE>>

California Air Resources Board staff, Proposed Identification of Diesel Exhaust as a Toxic Air Contaminant, staff report, Sacramento, CA, June 1998.
<http://www.arb.ca.gov/>

ANEXOS

ANALISIS DE COSTOS

GNL:

Costo del gas en boca de pozo:	1,80 U\$\$/MMBtu
Costo de Transporte:	1,10 U\$\$/MMBtu
Costo de Distribución en A.P.:	0,17 U\$\$/MMBtu
Costo Gas en planta:	3,07 U\$\$/MMBtu
Costo Compresión:	1,13 U\$\$/MMBtu
Costo de Licuación:	1,00 U\$\$/MMBtu
Costo de transporte por ruta	2,00 U\$\$/Km

Costo Total **10,27 U\$S/MMBtu**

(Operación con tractor apto para 45 ton)

Precios de Combustibles Alternativos

GLP Granel	11,6 U\$S/MMBTU
GLP	9,0 U\$S/MMBTU
Diesel 2	10,5 U\$S/MMBTU
Fuel Oil	4,5 U\$S/MMBTU

Las diferencias de precio del Gas a Granel, y del L N G se han calculado teniendo en cuenta que:

El repago de la inversión es dentro de los 5 años descontado a una tasa anual del 10%.

La TIR en todos los casos es superior al 10%, a 5 años.

Planta de L N G de 10.000 gal/día

1- Terreno :

Superficie	10000	m2	
Valor unit. terreno :	80	U\$/m2	
Valor terreno:	800.000,00	U\$	0,31

2- Obra Civil:

Caminos internos			
Alambrado Perim.			
Bunkers			
Oficinas	100000	U\$	0,04

3- Instalación EM

ET.Transformadora			
Celdas / Tableros			
Conexiones elec.			
Iluminación	50000	U\$	0,02

4- Planta producción:

	1300000	U\$	0,50
--	---------	-----	------

5- Otras

	20000		0,01
--	-------	--	------

6- Trailers

Cantidad	2		
Precio unitario	160000		
Precio total	320000	U\$	0,12

7- 3 tanques en punto consumo

de 11000 Galones	62000	U\$	0,02
------------------	-------	-----	------

TOTAL

	2.590.000,00	U\$	1,00
--	--------------	-----	------

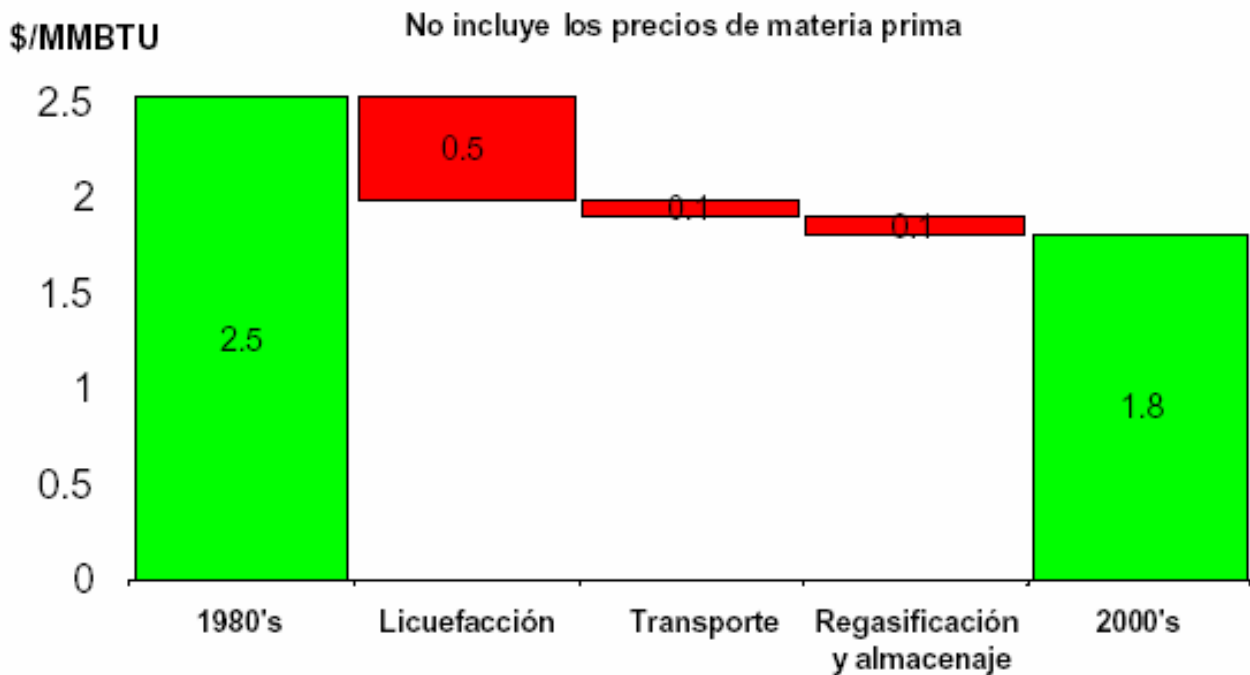


Tanques con bomba de transvase y medición criogénica

Cantidad 1 (Información de lista de precios de EDASAINFRA)

CAPACIDAD DE LICUACIÓN DE LA PLANTA :

10000 Gal/día	LNG
37850 Litros / día	LNG
37,85 m3/dí	LNG
22710 Sm3/día	gas natural
8280150 Sm3/año	



GNC:

RENTABILIDAD PARA EL USUARIO

Las rentabilidades para los usuarios dependen del tipo de vehículo, de la tecnología utilizada (conversión, repotenciación, vehículo dedicado), del kilometraje recorrido y fundamentalmente del diferencial de precio entre el combustible líquido (gasolina o diesel) y el GNC. Los recorridos más largos generan mayores ahorros en el valor del consumo de combustible.

Teniendo en cuenta, las consideraciones económicas anteriores y los datos sobre kilometraje promedio para las diversas categorías de vehículos, el tiempo de recuperación de la inversión, variable crítica para la toma de decisiones de los propietarios de vehículos, son los siguientes:

Tiempo de recuperación de la inversión (meses)

	BUS/BUSETA	TAXI
Conversión de gasolina a gas	10.5	11.1

RENTABILIDAD PARA LAS ESTACIONES DE LLENADO

En las estaciones de suministro de combustibles, la rentabilidad depende de múltiples factores, principalmente ubicación, tipo de estación (mixta: venta de combustibles líquidos y GNC o dedicada: exclusivamente para venta de GNC), si el terreno es arrendado o propio, número de mangueras para llenado de GNC, número de compresores instalados y margen de distribución por cada metro cúbico m³ vendido.

Si consideramos una estación típica de venta de combustibles líquidos en Colombia, de 10 mangueras, sin costo inicial del lote, con incremento en sus costos variables por el consumo energético derivado de la operación del compresor, y que invierte inicialmente en un compresor para capacidad de 8 a 10 mangueras de gas y gradualmente incorpora surtidores de gas, sustituyendo surtidores de combustibles líquidos, de acuerdo con la penetración del mercado, la rentabilidad es aceptable, en atención al nivel de riesgo, entre 14% y 28% en dólares constantes después de impuestos. Estas son las conclusiones de un análisis financiero efectuado por la empresa Gas Natural S.A. e.s.p.

También la empresa citada consideró una estación dedicada a GNC, cuyo costo adicional sobre la anterior es el costo del lote. El margen de distribución utilizado fue de \$2.68 US/MBTU, similar al que tiene en la actualidad. En este caso la rentabilidad es baja (entre 7 y 18% en dólares constantes después de impuestos).

Equivalencia entre la Gasolina y el GNC

1 Galón de gasolina	120 pie ³ estándar de gas natural (1 atm y 60°F)
1 galón de gasolina	120.000 BTU
1 pie ³ de gas a cond. Standard	1000 BTU
1 m ³ de gas	35.29 pie ³
1 galón de gasolina	3.40 m ³ de gas

GPL

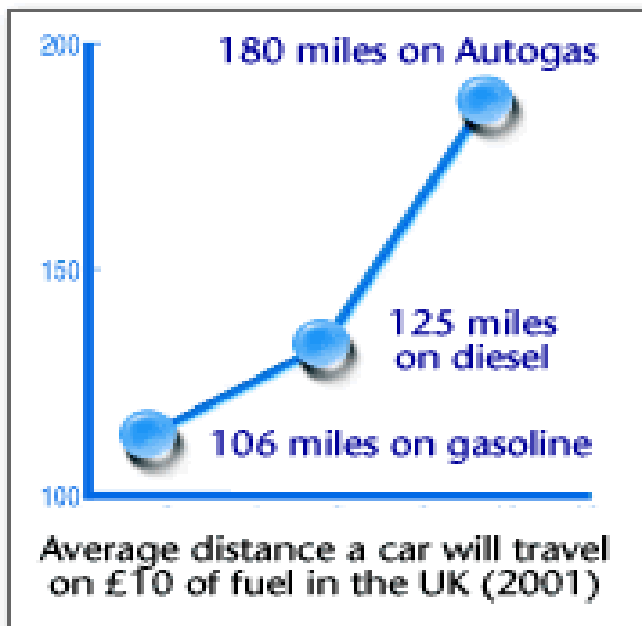
España: (Ejemplo)

Gasto Mensual aprox. Gasolina	\$200.00
Total galones consumidos en el mes	135.14
Total galones consumidos en el año	1621.62
Costo de galon de gasolina extra	\$1.48
Costo de galon GLP sin subsidio	\$0.90
Gasto Anual aprox. de Gasolina	\$2400.00
Gasto Anual aprox. de GLP	\$1459.46
Ahorro Anual con GLP	\$940.54

**39
%**

Fuente: E.L. Distribuidor Combustibles alternos

Inglaterra:



Fuente: World LP Gas Association

Menor precio en comparación con la gasolina y el diesel.

Menores costos de infraestructura de vehículos.

Menor costo de mantenimiento.

Mayor duración del vehículo.

Instalaciones y equipos más livianos y económicos. La instalación de un sistema de carburación a Gas Natural es del orden de 2,5 veces más costoso que el de GLP. GLP (120 psi) vs. GNC (3000 psi).

Costo estimado a precios de hoy del combustible

COMBUSTIBLE	\$/MBTU
Gasolina	53.293
Diesel	33.696
GLP	26.630
GNC	18.406

HIDROGENO

De acuerdo con, "actualmente, la forma más rentable de producir hidrógeno es la reformación de vapor. Según el Department of Energy de los EE UU, en 1995 el costo fue de US\$ 7,00 por gigajoule (GJ) en grandes plantas de producción. Esto supone un costo para el gas natural de US\$ 2,30 por gigajoule. La producción de hidrógeno por electrólisis usando costos de hidroelectricidad en tarifas de período bajo entre US\$ 10,00 a US\$ 20,00 por gigajoule."

Estimaciones para los precios de bombas (de combustible) en 1998 en Alemania (excluyendo los impuestos) eran:

FUENTE	CENTAVOS DE EURO/KWH	US\$/GJ
Gas natural	5-6	13-16
Madera	14-20	36-52
Electrólisis (energía solar) LH2/GH2	26/21	67/54
Electrólisis (energía hidroeléctrica) LH2/GH2	12/10	31/25

Según, el costo de desarrollar una distribución por gasoducto para el gas de hidrógeno "podría ser enorme". Para evitar este gasto, algunos investigadores han propuesto una producción descentralizada de hidrógeno en las estaciones de combustibles. En una evaluación de costos de infraestructura de diferentes sistemas de llenados de hidrógeno para los vehículos a celdas de combustibles se estimó que "mantener la infraestructura a gas natural existente y producir e instalar reformadores de metano de vapor a pequeña escala para producir hidrógeno en las estaciones de combustibles locales requiere inversiones capitales anuales de entre US\$ 600 a US\$ 800 para cada nuevo vehículo a celda de combustible de hidrógeno directa vendido".

Es necesario señalar que la aún embrionaria tecnología del hidrógeno sigue siendo sumamente costosa, no competitiva aún con los altos costos actuales del petróleo en el mundo (que acá nos hacen pagar las petroleras extranjeras por nuestro petróleo, mucho más barato para producirse que los valores medios mundiales, pero ese ya es otro tema).

Todo el aparataje necesario para utilizar el hidrógeno como fuente de energía es voluminoso y muy costoso. Además bajo ciertas condiciones, el hidrógeno resulta un poderoso explosivo, por lo que los riesgos inherentes a su uso deben ser evaluados y cuantificados.

Por otra parte, la propia obtención del hidrógeno puro es también un proceso costoso en términos energéticos, económicos y ambientales.

Resulta costoso bajo esos tres parámetros (energético – económico – ambiental) pues la obtención del hidrógeno necesario para producir 1 (un) kilovatio hora (KWh), insume entre 3 (tres) a 5 (cinco) KWh. Dicho de otra forma, es mal negocio quemar entre 3 a 5 KWh de energía de cualquier origen, para obtener el hidrógeno necesario para producir 1 KWh.

Dadas las leyes de la física (la energía no se crea, se transforma, y eso puede ser muy caro), resulta impensable que la precedente ecuación de entre 1/3 a 1/5, se reduzca al ideal de 1/1, puesto que todo proceso de transformación de energía tiene pérdidas por rozamiento, disipación y otros fenómenos que tornan inalcanzable la perfecta eficiencia en los procesos de transformación de energía.