

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA  
CURSOS ESPECIALES DE GRADO**



**EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD DEL USO DEL GAS  
NATURAL VEHICULAR COMO UNA ALTERNATIVA  
ENERGÉTICA PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN  
AMBIENTAL POR EMISIONES PELIGROSAS.**

Presentado por:

**RILIMAR CÁCERES**

**ISABELLA MARIANA MALLÓN MARÍN**

Trabajo de Grado presentado ante la Universidad de Oriente como requisito  
parcial para optar al título de:

**INGENIERO QUÍMICO**

Puerto La Cruz, abril de 2011

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE**  
**NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**CURSOS ESPECIALES DE GRADO**



**EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD DEL USO DEL GAS NATURAL  
VEHICULAR COMO UNA ALTERNATIVA ENERGÉTICA PARA DISMINUIR  
LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL POR EMISIONES PELIGROSAS.**

---

Ing. Isvelia Avendaño  
**Asesor académico**

Puerto La Cruz, abril de 2011

## **RESOLUCIÓN**

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de trabajos de grado:

“LOS TRABAJOS DE GRADO SON DE EXCLUSIVA PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE Y SÓLO PODRÁN SER UTILIZADOS A OTROS FINES CON EL CONSENTIMIENTO DEL CONSEJO DE NÚCLEO RESPECTIVO, EL CUAL PARTICIPARÁ AL CONSEJO UNIVERSITARIO”

## RESUMEN

El Gas Natural Vehicular (GNV) es el combustible más económico que se conoce, ya que no requiere refinación como la gasolina. Desde el año 2006 en Venezuela se está reconsiderando el GNV como combustible alternativo, para proporcionar al usuario un sistema alterno de combustible económicamente atractivo y menos contaminante. Esta iniciativa obedece a un programa inscrito en las políticas públicas energéticas del Estado venezolano, que impulsa el uso racional de los combustibles líquidos destinados al mercado interno. En este trabajo, se realizó un estudio sobre la situación actual de Venezuela con el uso de GNV como combustible con respecto a los demás países del mundo, resultando que el país cuenta con las mayores reservas probadas de gas en Latinoamérica y como octavo a nivel mundial, para este año se cuenta con 64.818 vehículos convertidos transitando en el territorio nacional y 134 estaciones de servicio aproximadamente; cifra que indica que un pequeño porcentaje de la población usa el gas, ya que más de 7 millones de automóviles usan la gasolina como combustible preferencial. Siguiendo las expectativas de los países pioneros en la utilización del gas como combustible automotor, Venezuela cuenta con tecnología de punta para realizar el proceso de conversión de los vehículos al sistema dual (gasolina-GNV), esta tecnología se denomina quinta generación o presión positiva y trae beneficios como menor pérdida de potencia en el motor, ahorro de combustible y menos emisiones contaminantes en comparación con la tecnología de tercera generación. Para evaluar la factibilidad del uso del GNV se estudiaron las propiedades físicoquímicas tanto de la gasolina como del combustible gaseoso, resultando que el GNV proporciona una mayor relación de compresión y un mayor octanaje y poder calorífico, lo que hace al

combustible alternativo más atractivo que el combustible líquido desde el punto de vista de eficiencia y seguridad. Con respecto a las emisiones de escape, el GNV resulta mucho menos contaminante que los combustibles fósiles como la gasolina y el diesel, debido a que este está compuesto principalmente por metano, que es un gas por naturaleza y por ende le permite mezclarse más fácilmente con el aire para formar mezclas homogéneas, que al quemarse resultan más inocuas que las originadas por los carburantes líquidos.

## TABLA DE CONTENIDO

RESOLUCIÓN .....	iii
RESUMEN.....	iv
TABLA DE CONTENIDO .....	vi
CAPÍTULO 1 .....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Descripción del problema.....	2
1.3 Aportes de la investigación.....	4
1.4 Alcance.....	4
1.5. Objetivos .....	5
1.5.1 Objetivo general.....	5
1.5.2 Objetivos específicos.....	5
CAPÍTULO 2.....	5
MARCO TEÓRICO .....	5
2.1 Antecedentes .....	5
2.2 Gas natural.....	6
2.2.1. Origen.....	6
2.2.2. Concepto .....	7
2.2.3. Composición básica.....	8
2.2.4. Tipos de Yacimientos.....	10
2.2.5. Características del gas natural .....	12
2.2.6 Procesamiento y tratamiento del gas natural.....	13
2.2.7. Producción, recolección y acondicionamiento del gas natural.....	16
2.2.8. Principales usos del gas natural .....	19
2.2.9. Reservas de gas natural en Venezuela y en el mundo.....	22
2.3. Gas natural vehicular.....	24

2.4. Proyecto autogas .....	28
2.4.1. ¿Porque el relanzamiento del gas natural vehicular en Venezuela? .....	28
2.4.2. Situación del proyecto AUTOGAS .....	29
2.4.3. Beneficios del GNV .....	29
2.4.4. Tipos de vehículos que operan con GNV .....	29
2.4.4.1. Vehículo dedicado .....	30
2.4.4.2. Vehículo dual diesel-GNV .....	30
2.4.4.3. Vehículo dual gasolina-GNV .....	30
2.4.5. Proceso de pre-conversión .....	31
2.4.6. Proceso de conversión .....	32
2.4.7. Proceso de post-conversión .....	33
2.4.8. Fallas más comunes al convertir un vehículo al sistema dual. ....	34
2.4.9. Recorrido del GNV desde la red de gasoductos hasta su combustión dentro del motor .....	36
2.4.9.1. Componentes de una estación de servicio de GNV. ....	38
2.4.9.2. Recorrido del gas natural desde el surtidor hasta el motor ...	48
2.5. Gasolina .....	52
2.6. Efecto invernadero .....	53
2.6.1. Factores que influyen en el clima, efecto invernadero natural y mecanismos forzados de radiación. ....	53
2.6.2. Efecto invernadero antropogénico .....	56
2.6.3. Calentamiento global .....	57
2.6.4. Consecuencias del calentamiento global.....	58
2.6.5. Medidas para paliar el cambio climático .....	59
2.6.6. Gases de efecto invernadero.....	60
2.6.6.1. Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) .....	60
2.6.6.2. Metano (CH <sub>4</sub> ).....	60
2.6.6.3. Dióxido nitroso (NO <sub>2</sub> ).....	61

2.6.7. Protocolo de Kioto .....	61
2.6.8. Mecanismos para minimizar el impacto económico del Protocolo de Kioto .....	62
2.6.9. Situación de Venezuela con respecto al Protocolo de Kioto.....	63
CAPÍTULO 3 .....	53
MARCO METODOLÓGICO .....	53
3.1 Tipo de investigación.....	53
3.2. Etapas de la investigación.....	54
3.2.1. Descripción de la situación actual en cuanto al avance del proyecto del uso del gas natural como combustible vehicular tanto en Venezuela como a nivel mundial. ....	54
3.2.2 Análisis de las alternativas tecnológicas de equipos de conversión del gas natural vehicular. ....	55
3.2.3. Estudio de las propiedades fisicoquímicas del gas natural vehicular como combustible.....	55
3.2.4 Comparación de las emisiones de escape de la gasolina con los generados con el empleo del gas natural vehicular.....	56
3.3. Técnicas y herramientas a utilizar .....	56
CAPÍTULO IV.....	57
DESARROLLO DEL PROYECTO .....	57
4.1. Descripción de la situación actual del empleo del gas natural como combustible vehicular tanto en venezuela como a nivel mundial .....	57
4.1.1. Situación actual del empleo del gas natural como combustible vehicular en América latina.....	57
4.1.1.1. Situación actual del empleo del gas natural como combustible vehicular en Venezuela. ....	59
4.1.1.2. Situación actual del empleo del gas natural como combustible vehicular en Argentina. ....	66

4.1.1.3. Situación actual del empleo del gas natural como combustible vehicular en Brasil.....	67
4.1.1.4. Situación actual del empleo del gas natural como combustible vehicular en Bolivia. ....	67
4.1.1.5. Situación actual del empleo del gas natural como combustible vehicular en Perú. ....	69
4.1.1.6. Situación actual del empleo del gas natural como combustible vehicular en Colombia.....	70
4.1.1.7. Situación actual del empleo del gas natural como combustible vehicular en Chile.....	72
4.1.2. Situación actual del empleo del gas natural como combustible vehicular en Europa y el resto del mundo.....	73
4.2 Análisis de las alternativas tecnológicas de equipos de conversión del gas natural vehicular en Venezuela.....	77
4.2.1. Lazo cerrado o 3era generación.....	77
4.2.1.1. Componentes básicos del sistema de lazo cerrado o 3ra generación .....	79
4.2.2. Presión positiva o 5ta generación.....	91
4.2.2.1. Componentes básicos del sistema de presión positiva o 5ta generación .....	93
4.3. Estudio de las propiedades fisicoquímicas del GNV como combustible .....	99
4.3.1. Definición de algunas propiedades de los combustibles .....	99
4.3.1.1. Poder calorífico (PC).....	99
4.3.1.2. Número de octano.....	100
4.3.1.3. Densidad relativa.....	101
4.3.1.4. Temperatura de auto ignición o autoencendido .....	101
4.3.1.5. Límite de inflamabilidad.....	102

4.3.2. Análisis de las propiedades fisicoquímicas del GNV como combustible.....	102
4.3.2.1. Propiedades físico químicas de ambos combustibles .....	102
4.4. Comparación de las emisiones de escape de la gasolina con los generados con el empleo del gas natural vehicular .....	113
4.4.1. Emisiones peligrosas producidas por combustibles fósiles .....	114
4.4.1.1. Emisiones producidas por la gasolina .....	115
4.4.2. Emisiones producidas por el GNV .....	120
4.4.2.1. Descripción de las emisiones producidas en la tubería de escape.....	120
4.4.2.2. Emisiones de escape del GNV.....	122
4.4.2.3. Comparación de las emisiones del GNV y la gasolina .....	123
CONCLUSIONES.....	115
RECOMENDACIONES .....	116
BIBLIOGRAFIA.....	115
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:.....	118

# CAPÍTULO 1

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Introducción

En los últimos años, el creciente desarrollo industrial y tecnológico ha originado diversas formas de contaminación, las cuales alteran el equilibrio del aire, el agua, el suelo y la vida humana, animal y vegetal.

En lo que respecta a la contaminación del aire, su causa principal es la combustión de combustibles fósiles como petróleo, carbón, diesel, gasolina, produciendo emisiones peligrosas que generan el efecto invernadero, la lluvia acida y el smog. Entre los gases contaminantes se encuentran el monóxido de carbono (CO), el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), hidrocarburos no quemados, óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>), material particulado, entre otros. Estas emisiones provienen mayormente del sector industrial y de los gases de escape de los vehículos automotores, viéndose más afectadas aquellas ciudades donde existen grandes concentraciones urbanas, sin embargo, los efectos de estos gases no reconocen fronteras, sintiéndose sus efectos en cualquier lugar del planeta.

Actualmente la humanidad reconoce que la naturaleza no es un bien inalterable sino frágil, por lo que su conservación constituye una tarea fundamental e inaplazable. Lo anterior ha conllevado a que los gobiernos y los hombres de ciencia a nivel mundial, tengan la necesidad de buscar formas de energías alternativas, que permitan el movimiento de un cuerpo de un lugar a otro a través de un medio de transporte seguro, poco

contaminante y de fácil acceso, este panorama señala que las demandas aumentarán sobre los recursos energéticos más accesibles, en particular hacia la utilización del gas natural como combustible automotor, debido a que es considerado el combustible fósil más limpio y respetuoso con el ambiente.

De allí que en el ámbito mundial desde hace algunas décadas, en países tales como: Argentina, Pakistán, Italia, Alemania, Francia, Brasil y Colombia, existan empresas dedicadas a convertir vehículos que utilicen gas natural como sustituto de los combustibles líquidos, debido a su disponibilidad, bajo costo de producción, seguridad y protección al ambiente.

## **1.2 Descripción del problema**

A este respecto, Venezuela como un país con grandes reservas probadas de gas y siguiendo las perspectivas de los países nombrados anteriormente, crea el proyecto de gas natural vehicular, **AUTOGAS**. El proyecto es una política energética, que consiste en promover el consumo del gas natural como combustible automotor alternativo a la gasolina, a fin de disponer de mayores volúmenes de combustibles líquidos para exportar a escenarios internacionales. Todo esto aunado al hecho de que el gas natural representa un fuerte ahorro económico ya que no requiere costosos procesos de refinamiento, lo que garantiza precios aún más favorables a los consumidores. Además se ha comprobado que al implementar el hidrocarburo como fuente de combustible vehicular, se reducen notablemente los costos de operación y de mantenimiento por su eficiencia y limpieza, prolongando así la vida del motor, al disminuir la frecuencia del cambio de aceite y aumentar la vida útil de los lubricantes, bujías, filtros de aire y de aceite; en fin, mejorando, el desempeño general de los vehículos.

En la actualidad el proyecto se encuentra en proceso de relanzamiento, por ello es de vital importancia conocer la situación actual de Venezuela y del resto de los países del mundo, en cuanto al progreso del combustible alternativo; para lograr esto es necesario conocer la posición del país (referente a la cantidad vehículos convertidos y estaciones de servicio) y las ventajas que posee Venezuela en comparación con el resto del mundo, para visualizar la razón del por qué ha evolucionado satisfactoriamente en otros países y en el nuestro existe un notable atraso, a sabiendas que poseemos todas las cualidades para un creciente desarrollo.

De igual forma se analizarán las alternativas tecnológicas de equipos de conversión de GNV más utilizadas, como lo son lazo cerrado y presión positiva. Para este análisis se establecieron comparaciones entre ambas y se analizaron las ventajas y desventajas en cuanto al control y almacenamiento del GNV durante el proceso de conversión. Actualmente AUTOGAS trabaja con la tecnología de presión positiva, un aspecto importante a tomar en consideración es el hecho de que la tecnología usada anteriormente era lazo cerrado. Una de las interrogantes planteadas es por qué el programa decidió cambiar una tecnología por otra.

En el desarrollo de la investigación se estudiarán las propiedades físico químicas tanto del GNV como de la gasolina, para poder determinar la factibilidad que representa el uso de este combustible alterno desde el punto de vista de eficiencia y seguridad.

Se sabe que la gasolina durante la combustión vehicular genera ciertos contaminantes que son los causantes de muchos procesos climatológicos importantes, por ello como parte del estudio de los objetivos propuestos se compararán las emisiones de escape de la gasolina con los generados con el

empleo del GNV, esto con la finalidad decidir cuál de los dos combustibles es más apto en materia tanto ambiental como energética, y así a través de este proyecto poder incentivar a la población al uso de energías limpias y seguras.

### **1.3 Aportes de la investigación**

A través de la evaluación planteada, se dará a conocer la factibilidad del aprovechamiento energético del GNV como una alternativa para disminuir la contaminación ambiental por emisiones peligrosas. Este proyecto representa una vía que permitirá incentivar a la población hacia el uso de otras alternativas, al conocer los beneficios de este importante combustible. Además con la investigación planteada se pretende dar a conocer el por qué siendo Venezuela un país que posee todas las cualidades necesarias para ser líder mundial, aún se encuentra notablemente retrasado. Además se pretende demostrar que el GNV es más atractivo que la gasolina desde el punto de vista de seguridad, eficiencia y protección al ambiente, debido a que posee valores más altos de relación de compresión, octanaje y poder calorífico comparado con el combustible líquido, lo cual le concede cualidades extraordinarias cuando se usa en autos que han sido diseñados para uso exclusivo de gas.

### **1.4 Alcance**

El alcance de la investigación delimita Venezuela como área en estudio, evaluando a través de información recolectada, el uso del GNV como combustible alternativo a la gasolina, en esta investigación solo se estudia las propiedades físico químicas del gas natural vehicular y de la gasolina y se compararan las emisiones de los combustibles nombrados anteriormente, no

se estudia el proceso de conversión de vehículos que funcionan con diesel, tampoco se comparan las emisiones y las propiedades del GNV y el diesel. Aunque se plasma información con respecto al avance en otros países en cuanto a las tecnologías usadas en el proceso de conversión, así como el número de vehículos convertidos y las estaciones de servicio disponibles actualmente, esto solo sirve de guía para la estimación de la situación en Venezuela.

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo general**

Evaluar la factibilidad del uso del gas natural vehicular como una alternativa energética para disminuir la contaminación ambiental por emisiones peligrosas.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

1. Describir la situación actual del empleo del gas natural como combustible vehicular tanto en Venezuela como a nivel mundial.
2. Analizar las alternativas tecnológicas de equipos de conversión del gas natural vehicular más utilizadas en el país.
3. Estudiar las propiedades fisicoquímicas del gas natural vehicular como combustible y de la gasolina.
4. Comparar las emisiones de escape de la gasolina con los generados con el empleo del gas natural vehicular.

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes**

En estudios recientes, Agosto de 2010, los ingenieros **Mosquera y Henao** [1], realizaron un estudio acerca de dos tipos de combustibles, gasolina y gas natural vehicular, contra el uso del biocombustible Etanol en mezclas de etanol – gasolina en diferentes proporciones. En particular el estudio muestra la superioridad ecológica del uso de estas mezclas sobre el uso de gasolina pura y el gas natural vehicular.

En septiembre de 2005, **Marín y Rivero** [2] a través de su estudio en la factibilidad técnico económica con la implementación del gas natural como combustible vehicular, concluyeron que el GNV no era considerado como preferencial en el sector urbano a pesar de ser un producto más económico en comparación con los otros combustibles existentes. Además, su uso como combustible alternativo fue calificado por los autores como viable debido a sus bajos niveles de emisiones tóxicas en comparación con los otros combustibles líquidos existentes.

Para los Ingenieros **Elorza y Mejías** en abril de 2005 [3], la cantidad de vehículos convertidos para la época era de apenas el 1,6% de la población, lo que representaba un atraso significativo con respecto al proyecto de GNV como combustible alternativo en el país, sabiendo que la sustitución de la gasolina por GNV contribuirá a mejorar la calidad del aire en ciudades con alta densidad vehicular.

## 2.2 Gas natural

### 2.2.1. Origen

Se formó hace millones de años con lodo, arena, piedras, plantas, materia animal y el acumulo de energía solar sobre materias orgánicas soterradas en grandes profundidades, desde el tiempo pre-histórico, debido al proceso de acomodación de la corteza terrestre que con la presión y el calor de la tierra, se convirtieron en petróleo y gas natural. Es compuesto por gases inorgánicos e hidrocarburos saturados, predominando el metano y, en menores cantidades el propano y butanos, entre otros.

El gas natural lo encontramos en rocas porosas de la corteza terrestre, las cuales no están en contacto con el aire. Se suele encontrar en yacimientos de petróleo o cerca de ellos, aunque tomando en cuenta su estado gaseoso, puede presentarse también solo.

El gas natural fue descubierto en América, naturalmente en 1626, cuando exploradores franceses descubrieron salidas naturales de gas, en el lago Erie. Aunque la industria del gas natural tuvo sus inicios en 1859, cuando el Coronel Edwin Drake cavó el primer pozo donde encontró aceite y gas natural a 69 pies, debajo de la superficie.

Posteriormente se construyo una tubería que corría por 5 millas del pozo a la villa de Titusville, Pennsylvania. Esta tubería comprobó que se podía transportar gas natural de manera sencilla para fines prácticos.<sup>[3]</sup>

Factores para su formación:

- Ausencia de aire.

- Restos de plantas y animales (sobre todo, plancton marino).
- Gran presión de las capas de la tierra.
- Altas temperaturas.

### 2.2.2. Concepto

El gas natural es el resultado de una mezcla en proporciones variables de compuestos gaseosos de naturaleza orgánica e inorgánica. Los compuestos orgánicos lo constituyen compuestos parafínicos también denominados alcanos por la química orgánica. Este grupo de compuestos orgánicos aporta normalmente más del noventa por ciento en volumen en el análisis normal de una muestra de gas natural ordinario y está formado por los siguientes componentes: metano ( $\text{CH}_4$ ), etano ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), propano ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ), normal butano ( $\text{nC}_4\text{H}_{10}$ ), normal pentano ( $\text{nC}_5\text{H}_{12}$ ), iso-pentano ( $\text{iC}_5\text{H}_{12}$ ), hexanos ( $\text{C}_6\text{H}_{14}$ ) y heptanos plus ( $\text{C}_7+$ ). No siendo este último un componente sencillo, sino una denominación para describir todo ese remanente de componentes más pesados que los hexanos, que debido a las ínfimas concentraciones bajo las cuales se encuentran, resulta impráctico desde el punto de vista de laboratorio su identificación. El segundo grupo de componentes que forman el gas natural, lo constituyen los componentes inorgánicos; estos aportan normalmente menos del diez por ciento en volumen en una muestra de gas y están representados por el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ), algunas veces por el nitrógeno ( $\text{N}_2$ ), agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) y excepcionalmente helio ( $\text{He}$ ).<sup>[2]</sup>

Se encuentra en las cavidades microscópicas o intersticiales, las cuales unidas pueden formar grandes acumulaciones de gas, permanece en el estado gaseoso, bajo presión atmosférica y temperatura ambiente. Para que se inflame, es preciso que sea sometido a una temperatura superior a  $620^\circ\text{C}$ . Además, es incoloro e inodoro, quemando con una

llama casi imperceptible. Por cuestiones de seguridad, se pone olor con mercaptano en el GN comercializado.

El poder calorífico del gas natural es variable de acuerdo a su composición, estando comprendido generalmente entre 37.656 y 39.748 cal/m<sup>3</sup>, a menos que se trate de un gas con importante contenido de inertes o por el contrario de hidrocarburos pesados, siendo así de menor a mayor poder calórico respectivamente. <sup>[3]</sup>

Se puede encontrar “gas natural asociado” cuando está acompañado de petróleo, o bien como “gas natural no asociado” cuando son yacimientos exclusivos de gas.

### **2.2.3. Composición básica**

La composición básica del gas natural indica que es una mezcla de hidrocarburos constituido principalmente por metano, que se encuentra en yacimientos en solución o en fase gaseosa con el petróleo crudo, o bien, en yacimientos que no contienen petróleo. Se considera que el gas natural es uno de los combustibles más limpios, que produce principalmente CO<sub>2</sub> en forma de gas, vapor de agua y pequeñas cantidades de óxidos de nitrógeno cuando se quema. En la tabla 2.1. se indica la composición en porcentaje molar que puede tener una muestra de Gas natural.

**Tabla 2.1. Composición en porcentaje molar de una mezcla de gas natural.**

<b>Componente</b>	<b>Fórmula Química</b>	<b>Estado Físico</b>	<b>Composición %</b>
<b>Metano (C<sub>1</sub>)</b>	CH <sub>4</sub>	Gaseoso	<b>55,00-98,00</b>
<b>Etano (C<sub>2</sub>)</b>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	Gaseoso	<b>0,10-20,00</b>
<b>Propano (C<sub>3</sub>)</b>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	Gaseoso	<b>0,05-12,00</b>
<b>n-Butano (nC<sub>4</sub>)</b>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	Gaseoso	<b>0,01-0,80</b>
<b>i-Butano (iC<sub>4</sub>)</b>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	Gaseoso	<b>0,01-0,80</b>
<b>n-Pentano (nC<sub>5</sub>)</b>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	Líquido	<b>0,01-0,80</b>
<b>i-Pentano (iC<sub>5</sub>)</b>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	Líquido	<b>0,01-0,80</b>
<b>n-Hexano (nC<sub>6</sub>)</b>	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	Líquido	<b>0,01-0,50</b>
<b>n-Heptano (nC<sub>7</sub>)</b>	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	Líquido	<b>0,01-0,40</b>
<b>Nitrógeno</b>	N <sub>2</sub>	Gaseoso	<b>0,10-5,00</b>
<b>Dióxido Carbónico</b>	CO <sub>2</sub>	Gaseoso	<b>0,20-30,00</b>
<b>Oxígeno</b>	O <sub>2</sub>	Gaseoso	<b>0,09-30,00</b>
<b>Sulfuro de Hidrógeno</b>	H <sub>2</sub> S	Gaseoso	<b>Trazas-28,00</b>
<b>Helio</b>	He	<b>Gaseoso</b>	<b>Trazas-4,00</b>

En la tabla 2.1. se observa que el componente predominante es el metano. Los otros hidrocarburos, tanto gaseosos, como líquidos se consideran acompañantes. Sin embargo, por medio del porcentaje real del análisis de la muestra del gas se puede calcular la cantidad de líquidos susceptibles de extracción y las posibilidades de comercialización. La presencia de sulfuro de hidrógeno, que es un gas muy tóxico incluso en cantidades pequeñas, puede causar severas irritaciones a la vista y hasta la muerte. Al momento de manejar operaciones donde se encuentre presente este gas, se deben tomar las

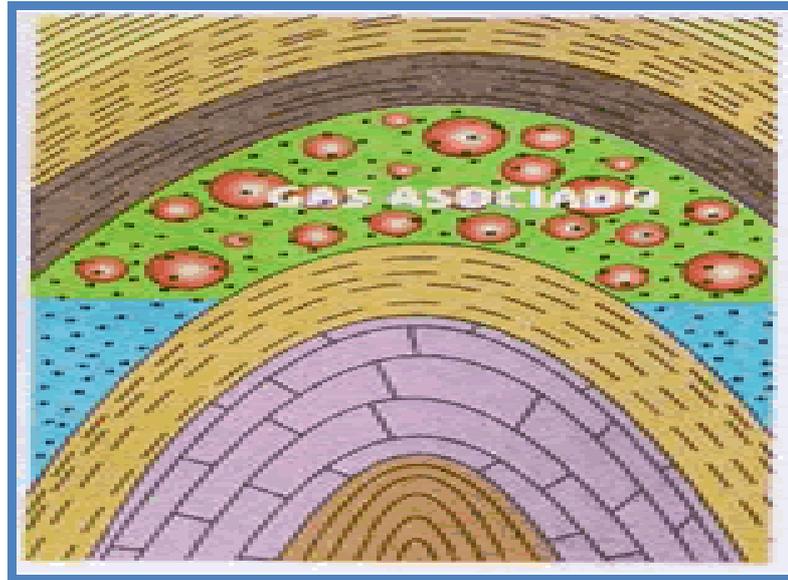
precauciones y medidas de seguridad correspondientes. El sulfuro de hidrógeno, junto al dióxido carbónico le confiere las propiedades ácidas al gas natural, y en muchos casos hay que tratar el gas natural, a través del proceso de endulzamiento para eliminar estos componentes.

El gas natural puede contener pequeñas cantidades de helio, el cual, por su incombustibilidad, es de mucha utilidad en la aeronáutica para llenar globos aerostáticos. En algunos yacimientos de gas natural puede existir la presencia de pequeños porcentajes de hidrocarburos, que pueden contener hasta un 90% de CO<sub>2</sub>, gas que tiene una gran utilidad en la fabricación de bebidas gaseosas; además, en la industria química y en otras aplicaciones industriales se utiliza para producir “hielo seco”; pero en términos generales, se puede señalar que la composición del gas natural está dominada por hidrocarburos de la serie parafínica.<sup>[4]</sup>

#### **2.2.4. Tipos de Yacimientos**

- **Yacimientos de Gas Asociados**

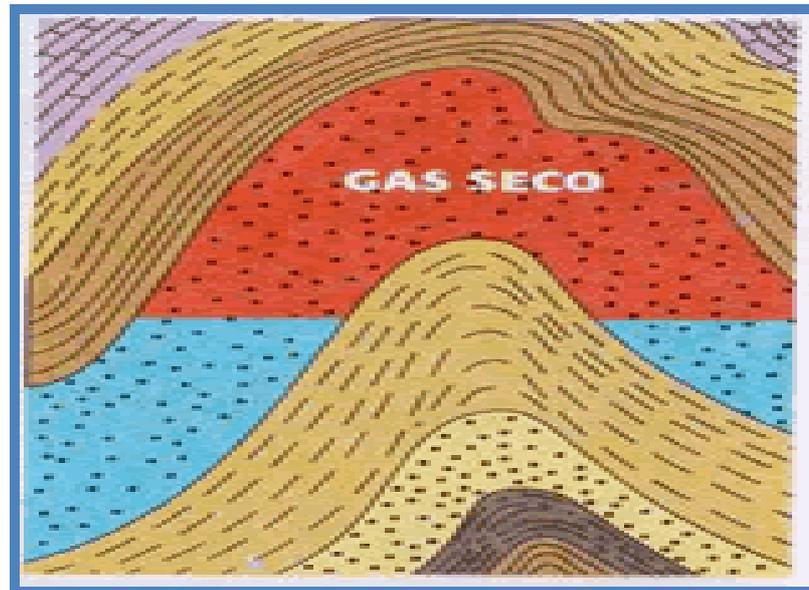
Es aquel que, en el reservorio, está disuelto en petróleo o bajo la forma de capa de gas. En este caso, la producción de gas es determinada directamente por la producción de petróleo, figura 2.1. En el caso de que no haya condiciones económicas para la extracción, el gas natural es reinyectado en el yacimiento, a fin de evitar el acumulo de gases combustibles próximos a los pozos de petróleo.



**Figura 2.1. Esquema de interpretación de un yacimiento de gas asociado.**

- **Yacimientos de Gas No Asociado**

Estos yacimientos pueden ser definidos como aquellos en que el gas puede estar libre o junto a pequeñas cantidades de petróleo, como es el caso de yacimientos de gas condensado, así como se observa en la figura 2.2.



**Figura 2.2. Esquema de interpretación de un yacimiento de gas no asociado.**

En los yacimientos, generalmente, el gas natural asociado se encuentra como gas húmedo ácido, mientras que el no asociado puede hallarse como gas húmedo ácido, húmedo dulce o seco, aunque la principal diferencia es que el gas asociado tiene que ser sometido primeramente al proceso de separación gas petróleo, mientras que en el no asociado este proceso no es necesario.

### **2.2.5. Características del gas natural**

Dado que el gas natural es una mezcla de hidrocarburos, la cual varía en cantidades relativas, las propiedades físicas de una mezcla dependerán de las propiedades individuales de sus componentes y su grado de contribución a la mezcla.

Durante el transporte, tratamiento, procesamiento y almacenamiento del gas natural, pueden existir condiciones, por ejemplo de presión y

temperatura muy variables. El conocimiento de las propiedades físicas de tales sustancias, bajo estas condiciones variables es indispensable tanto para el diseño de los equipos o sistema, como para su manejo y distribución.

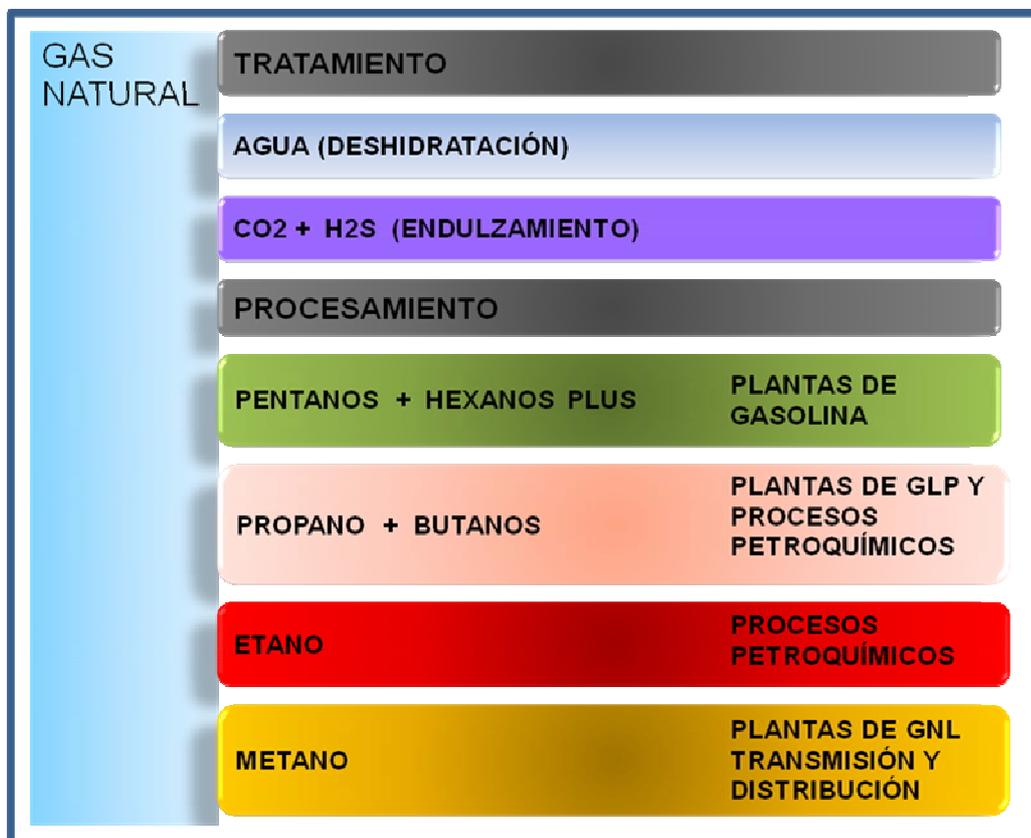
Para poder realizar un análisis de propiedades físicas de una mezcla cualquiera, es necesario determinar previamente su composición y las diferentes propiedades de cada componente, y así poder establecer los diversos parámetros de cálculo que permitan, con ayuda de ecuaciones y tabla, conocer las propiedades de la mezcla total. Las propiedades físicas más usadas para el procesamiento del gas natural son: peso molecular, punto de congelación, punto de ebullición, densidad, temperatura y presión crítica, calor de vaporización y calor específico.

### **2.2.6 Procesamiento y tratamiento del gas natural**

El objetivo del procesamiento del gas natural es eliminar los contaminantes, incluyendo los componentes corrosivos (agua y gases ácidos, sobre todo el sulfuro de hidrógeno por su carácter contaminante), los que reducen el poder calorífico, (como dióxido de carbono y nitrógeno) y los que forman depósitos sólidos a bajas temperaturas, (nuevamente agua y dióxido de carbono), para después separar los hidrocarburos más pesados que el metano, que constituyen materias primas básicas para la industria petroquímica.

Las etapas normales en el procesamiento del gas natural son la deshidratación (eliminación de agua, usualmente con adsorbentes sólidos, como alúmina o mallas moleculares), el endulzamiento (eliminación del sulfuro de hidrógeno y dióxido de carbono con soluciones absorbentes, y la recuperación criogénica de etano e hidrocarburos más pesados (condensación de estos componentes a bajas temperaturas, y

destilación fraccionada de los líquidos condensados). Otras etapas complementarias son el fraccionamiento de los hidrocarburos recuperados y la conversión del ácido sulfhídrico a azufre en forma líquida o sólida, también la extracción de los líquidos del gas natural, es un proceso de gran importancia, como lo es también la compresión del gas, además del transporte y almacenamiento. La eficiencia de todos estos procesos está totalmente relacionada con la eficiencia del proceso de separación gas- petróleo. El procesamiento el gas natural se encuentra detallado en la figura 2.3.



**Figura 2.3. Diagrama de tratamiento y procesamiento del gas natural.**

El tratamiento del gas natural es el conjunto de operaciones que se realizan para dejar el fluido en condiciones de entrada a la planta de fraccionamiento, en las cuales se realiza la partición de la mezcla.

El tratamiento de gas se hace para acondicionarlo de manera que pueda ser utilizado en las operaciones de reinyección, combustible o como materia prima.

De acuerdo a las características del gas producido, este se realiza por medio de tres procesos: separación, deshidratación y endulzamiento; siendo factible hablar de la planta universal, en la cual lo que acontece en una de las partes del sistema afecta por igual a los otros equipos o subsistemas que integran el conjunto. El hidrógeno sulfurado y mercaptanos, que pueden contener ciertos gases naturales y la totalidad de los gases manufacturados y de destilería, son compuestos de azufre corrosivo, que es necesario extraer a fin de evitar el daño de los equipos de movimiento y utilización del gas. Esa extracción se efectúa mediante procesos especiales, siendo el más difundido el proceso que se efectúa en torres de absorción con dietanolamina.

El dióxido de nitrógeno que contienen algunos gases naturales también es eliminado en el proceso antes mencionado, pudiendo encontrarse en proporciones muy variables, existiendo yacimientos en que supera el 50%. Al igual que el nitrógeno que también puede existir ofrece el inconveniente de la reducción del poder calorífico ya que se trata de gases inertes y de la disminución de rendimiento en procesos de extracción de gasolina.

El contenido de agua o vapor de agua en el gas, así como el contenido de hidrocarburos condensables ante un aumento de presión o disminución de temperatura, resulta inconveniente para la conducción del gas ( $\text{CH}_4$ ) por tuberías ya que provocaría obstrucciones de importancia. Es por ello que el gas natural debe someterse siempre que sea necesario a deshidratación y extracción de líquidos. La humedad del gas al condensar da origen a la formación de hidratos que pueden taponar las

tuberías. Para que tal formación se produzca se requiere una presión elevada y una baja temperatura. A cada valor de la presión corresponde una temperatura por debajo de la cual puedan formarse hidratos si existe humedad. A mayor presión es también mayor aquella temperatura, por ello este inconveniente es más común a mayores presiones. Para evitarlo debe procederse a deshidratar el gas, es decir, bajar su punto de rocío hasta temperaturas inferiores a 0°C. Ello se hace mediante procesos que emplean como absorbedores agentes sólidos o líquidos.

También se logra impedir la formación de hidratos mediante la inyección en el gas de sustancias inhibidoras tales como metanol. En lo que respecta a los hidrocarburos condensables, ellos se extraen en forma de gasolina y gas licuado, en plantas especiales que puedan utilizar diversos procesos, tales como compresión, enfriamiento, absorción con kerosén, etc.

Otro proceso al que se somete el gas natural es la odorización, a fin de hacer posible la detección en caso de fugas. <sup>[6]</sup>

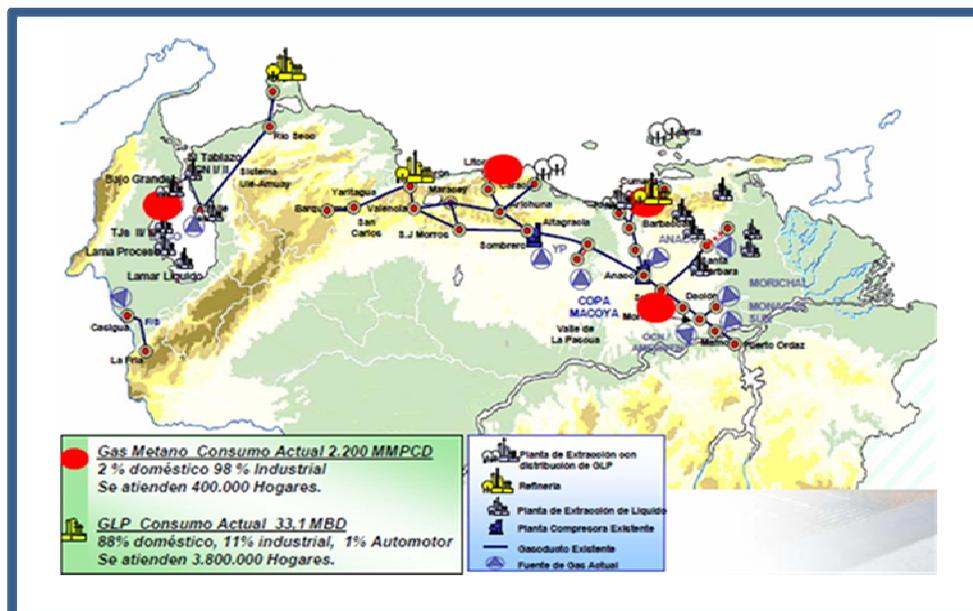
### **2.2.7. Producción, recolección y acondicionamiento del gas natural**

Los campos productores de crudo y gas se ubican principalmente en el lago de Maracaibo y, en el oriente del país, en los estados Monagas, Anzoátegui y Guárico. La producción de estos campos se dirige hacia estaciones de flujo, donde se separa del crudo la corriente de gas natural. Estas corrientes se envían a través de gasoductos de recolección hacia los centros de tratamiento y compresión. Allí, el gas se somete a un proceso de deshidratación hasta lograr un contenido de vapor de agua equivalente a 7 Lb/MMPC. Posteriormente, es endulzado para eliminarle el contenido de azufre hasta alcanzar niveles de aproximación de 4 ppm de H<sub>2</sub>S.

De los múltiples de segregación, ubicados en los centros de tratamiento, las corrientes del energético ya acondicionado, son separadas en flujos de gas rico y pobre. Dependiendo del contenido de hidrocarburos condensables, el gas más rico se destina a plantas de extracción profunda de líquidos, el más pobre se envía a plantas de inyección para facilitar la recuperación de flujo remanente, y el restante, conjuntamente con el gas residual de las plantas de extracción, se destina a la venta, como gas metano, en el mercado interno a través de la red nacional de gasoductos.

Esta red está integrada por varios sistemas de tuberías y plantas compresoras con una capacidad de transmisión de 217 millones de metros cúbicos diarios aproximadamente.

La figura 2.4. muestra esquemáticamente la red nacional de gasoductos, conformada por tres sistemas principales: centro, oriente y occidente



**Figura 2.4. Esquema de la red de distribución nacional de gas natural.**

La red de centro y occidente se encarga de satisfacer el 77% del gas usado por el sector no petrolero, constituye la columna vertebral de la red de gasoductos nacional. Su complejidad y la necesidad de ofrecer un suministro seguro y confiable a los usuarios, ha exigido la aplicación de las más avanzadas tecnologías para su operación, mediante un sistema de telemetría y control, integrado por estaciones remotas ubicadas en diferentes localidades, operadas por un despacho central de gas en Caracas y uno respaldado en Buena Vista, Anaco.

Esta red tiene una capacidad de transmisión aproximada de 58 millones de metros cúbicos, donde el 52% corresponde al sistema Anaco – Barquisimeto, el 26% al Anaco – Puerto Ordaz, el 19% al Anaco – Puerto La Cruz y 3% a La Toscana – Maturín y Guárico – Cadafe Anaco. Estos sistemas están integrados por plantas compresoras y tuberías de transporte y distribución, cuyos diámetros varían entre 4 y 36 pulgadas, con una longitud que supera los 3.800 kilómetros, de los cuales 68% corresponde a líneas de transmisión, 14% al sector de distribución doméstico y 18% a ramales y derivaciones de distribución industrial.

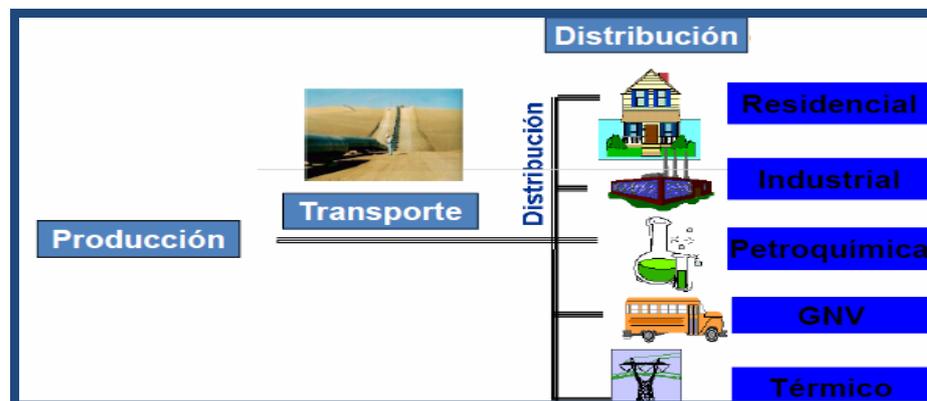
El sistema Anaco – Puerto Ordaz, suministra gas metano a las industrias básicas de Guayana. Tiene una longitud de 491 kilómetros y una capacidad de transmisión de 13.6 millones de metros cúbicos diarios. Lo componen dos líneas paralelas de 20 y 26 pulgadas de diámetro, y una tercera de 36 pulgadas de diámetro desde la estación de Mamo hasta Puerto Ordaz que cruza el Orinoco.

El sistema Anaco – Puerto La Cruz, suministra gas para uso industrial en la región norte del estado Anzoátegui. Está formado por dos tuberías principales de 20 y 26 pulgadas de diámetro que finalizan en la refinería de Puerto La Cruz la primera y en la zona industrial de Jose, la

segunda la cual es apoyada por una nueva tubería de 36 pulgadas implementada para satisfacer las demandas del condominio.

### 2.2.8. Principales usos del gas natural

El gas natural es una fuente de energía versátil que puede ser utilizada en ámbitos muy variados, se puede emplear como combustible para abastecimiento de calor, generación de electricidad y de fuerza motriz; como materia prima en las industrias siderúrgica, químicas, petroquímicas y de fertilizantes. En el área de transporte se utiliza como sustituto del dieseloil, de la gasolina y del alcohol. Estos factores permiten el uso del producto en diversos segmentos, en concordancia con las determinaciones ambientales y contribuyendo eficaz y eficientemente con el control de los procesos, seguridad y calidad. Por ende, el gas natural participa directa o indirectamente en la vida de toda la población. Sus principales usos se pueden observar en la figura 2.5.



**Figura 2.5. Usos del gas natural.**

- **Uso doméstico**

El gas natural utilizado en las residencias recibe el nombre de gas residencial o doméstico. Es un mercado en franca expansión,

especialmente en los grandes centros urbanos de todo el país. Las compañías distribuidoras estatales tienen planes actuales y futuros para realizar una ampliación de sus redes.

El gas natural, comúnmente es aplicado para cocinar, lavar, secar ó calentar el agua. Además, los electrodomésticos se mejoran cada día con el fin de emplear el gas natural de forma más económica y segura. Los costos de mantenimiento de los materiales que funcionan con gas son generalmente más bajos que los de otras fuentes de energía.

- **Uso industrial**

Utilizado como combustible, el gas natural proporciona una combustión limpia, libre de agentes contaminantes, ideal para procesos que exigen la quema en contacto directo con el producto final, como por ejemplo, en la industria de cerámicas y en la fabricación de vidrio y cemento. El gas natural también puede ser utilizado como reductor siderúrgico en la fabricación de aceros y en sus formas más variadas, como materia prima en la industria petroquímica, principalmente para la producción de metanol y en la industria de fertilizantes, para la producción amoniaco y urea. Puede ser igualmente utilizado para el reciclado de residuos para la incineración, el secado, la deshumidificación, la calefacción, la climatización y la cogeneración.

- **Generación de electricidad**

Las compañías de electricidad y los proveedores independientes de energía emplean cada vez más el gas natural para alimentar sus centrales eléctricas. Generalmente las centrales que funcionan con gas natural tienen menores costos de capital, se construyen más rápidamente, funcionan con mayor eficiencia y emiten menos polución que las centrales

que utilizan otros combustibles fósiles. Los avances tecnológicos en materia de diseño, la eficacia y la utilización de turbinas de ciclo combinado, así como en los procesos de cogeneración, fomentan el empleo de gas natural en la generación de energía. Las centrales de ciclo combinado (CCGT) utilizan el calor perdido para producir más electricidad, mientras que la cogeneración del gas natural produce al mismo tiempo potencia y calor que son útiles tanto como para la industria como para los usuarios comerciales. Esta cogeneración reduce muy fuertemente las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera. Este proceso se utiliza actualmente en diversas industrias del mundo entero, ya que garantiza economía y seguridad operativa. Si se analizan con cuidado las propiedades del GNV se puede constatar que este posee muchas de las características ideales de un combustible de uso automotor. Hoy en día ya existen termoeléctricas operativas y otras se encuentran en construcción.

- **Combustible automotor**

El gas natural surge como alternativa para combustible automotor por su bajo costo y el considerable rendimiento de este combustible, en especial en lo que se refiere al transporte público. Esto sin contar con los ahorros colaterales desprendidos del incremento de vida útil de elementos como bujías, sistemas de escape, carburador y aceites lubricantes que la utilización del GNV (Gas Natural Vehicular) proporciona. El bajo costo del gas natural hace la gran diferencia, es un combustible muy seguro debido a que es más liviano que el aire y se disipa rápidamente eliminando la posibilidad de acumulaciones o formación de mezclas explosivas. Es un hidrocarburo cuya composición es gas metano predominantemente, y cualquier fuga es fácilmente detectable por estar olorizado con mercaptanos. Es por ello que la seguridad del GNV como combustible automotor ha sido comprobada. Durante la combustión de hidrocarburos

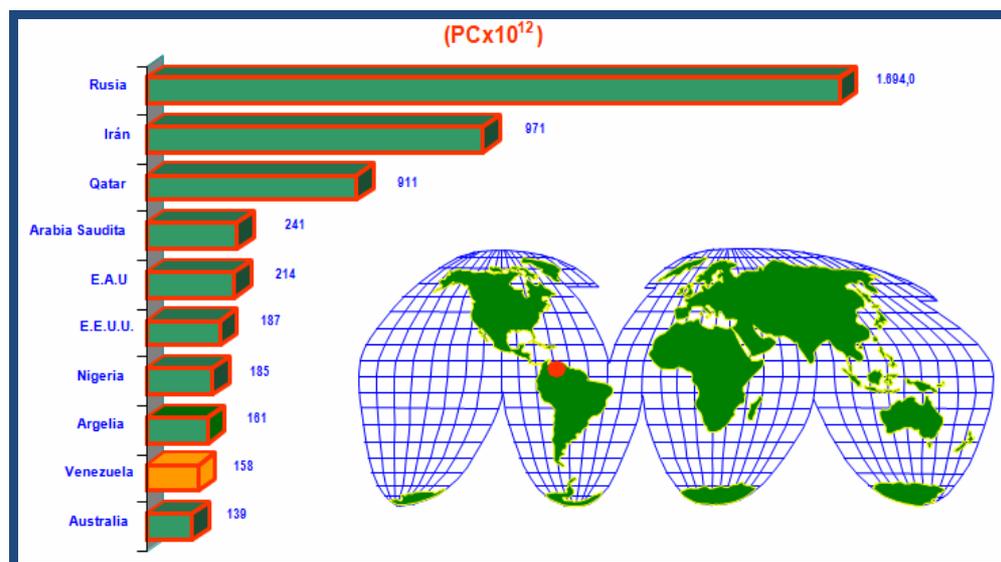
líquidos, se emana ciertos residuos sólidos y gases tóxicos, como el hollín, CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub> Y NO<sub>x</sub>. El sector transporte es la principal fuente de estos gases y presentan un incremento continuo de contaminación atmosférica. La sustitución de la gasolina y otros combustibles líquidos para automóviles por el gas natural como carburante, disminuye en gran magnitud la emisión de estos gases tóxicos y la generación de partículas sólidas. El automotor que emplea GNV, no contamina el aire, es un sistema económico y ecológico. <sup>[2]</sup>

### **2.2.9. Reservas de gas natural en Venezuela y en el mundo**

La estimación de la cantidad de gas presente en un yacimiento, también conocida con el nombre de cálculo de reservas, es un factor determinante desde el punto de vista económico, ya que permite iniciar el proceso de extracción del combustible.

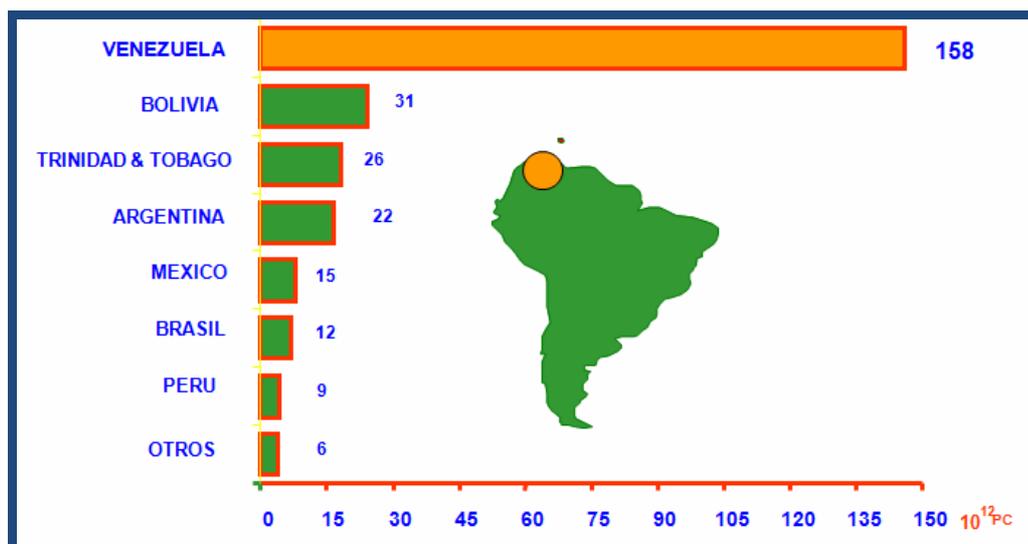
Las reservas mundiales de gas natural, aunque limitadas, son muy importantes y las estimaciones de su dimensión continúan progresando a medida que las nuevas técnicas de exploración, de explotación y de extracción son descubiertas. Las reservas de gas natural son abundantes y ampliamente distribuidas por el mundo. Se estima que una cantidad significativa de gas natural queda aún por descubrir.

Venezuela está considerada como una de las naciones más importantes como potencial suplidor de energía gasífera por sus cuantiosas reservas de gas. Su ventajosa posición geográfica e importancia geopolítica, colocan a Venezuela en la octava posición con reservas de gas probadas en el mundo, por debajo de: Rusia, Qatar, Arabia Saudita, Emiratos Árabes, Norteamérica y Norte de África, figura 2.6.



**Figura 2.6. Reservas probadas de gas natural en el mundo 2006-2012 en trillones de pie cúbicos, TCF.**

Actualmente, Venezuela cuenta con reservas probadas de gas natural con más de 150 TPC, según un informe de la Agencia Internacional de Energía (AIE). El recurso coloca a nuestro país como el primero del continente americano con reservas de gas probadas, ubicándose luego Bolivia y Trinidad, Figura 2.7.



**Figura 2.7. Reservas probadas de gas natural en Sur América 2006-2012 en trillones de pie cúbicos, TCF. [5]**

### 2.3. Gas natural vehicular

El gas natural se adopta como combustible para vehículos desde la década de los 40, debido al elevado precio de la gasolina durante la II guerra mundial y fue para este periodo que se comenzó a probar sus beneficios económicos como alternativa de combustible. En el año 1960, Italia es el país que comienza la promoción e instalación de GNV en vehículos particulares, pero Argentina toma riendas del negocio a finales de los años 70, pasando al primer lugar del ranking mundial. En el año 1985 la empresa Corpoven dio inicio a los estudios de la factibilidad del uso del gas natural en Venezuela, apoyados por líderes mundiales en tecnologías de esta área. En 1991 se da inicio formal al proyecto de GNV para vehículos de transporte público. <sup>[3]</sup>

La experiencia internacional obtenida por la utilización de gas natural como combustible automotor y las ventajosas perspectivas que ofrece a la industria nacional del gas, motivaron a la industria petrolera a iniciar en 1988 las acciones para implementar el uso de GNV en el país, con el objetivo de ofrecer una alternativa energética al transporte público, diferente a los combustibles ya conocidos como la gasolina y el diesel. A mediados de 1994, PDVSA le asigna a Corpoven S.A. la responsabilidad del proyecto de GNV para promover el desarrollo de actividades en el sector automotriz, metalmecánica y empresas de servicios proveedoras de partes y equipos para la conversión de vehículos a gas natural.

Para finales de 1996 se esperaba la instalación de 145 puntos de suministros, y en 1997 se estarían terminando los 55 puntos restantes, concluyendo de esta manera con los 200 puntos de suministro. A nivel nacional su distribución se hizo de la manera siguiente: 127 en el área metropolitana de Caracas, 32 en la zona Central, 21 en la región Occidental y 20 en la región oriental del país. <sup>[6]</sup>

La instalación y conversión de los automóviles con GNV, está financiado por PDVSA con su programa AUTOGAS, que es retomado en el año 2006 después de encontrarse inactivo. El GNV también es conocido como gas natural comprimido ó GNC, está compuesto principalmente por metano y como es difícilmente licuable se le comprime en cilindros de acero a una presión de 2845 lpca, manteniendo su estado gaseoso. La alta presión a la que actúa el GNV es necesaria para dotar a los vehículos de una autonomía conveniente. Todos los vehículos que funcionan a gasolina se pueden convertir a GNV, a tal fin debe instalarse en los vehículos, uno o varios cilindros de acero como tanques contenedores de combustible, capaces de soportar la presión del GNV. Estos combinados con una serie de otros componentes, denominados comercialmente en su conjunto "Kits de Conversión", permiten efectuar la adaptación para utilizar GNV como combustible.

Se puede asegurar que la producción y transporte de GNV es mucho más "limpia" que transportar y refinar petróleo.

Como se puede visualizar en la tabla 2.2., la norma CONVENIN 3568-2 exige un requerimiento limitado para cada componente de la mezcla gaseosa para usar el gas natural como combustible vehicular, esto con la finalidad de garantizar que el combustible sea confiable.

**Tabla 2.2. Límites actuales de componentes mayoritarios y minoritarios.**

<b>Nombre</b>	<b>Límite</b>	<b>Valor % molar</b>	
<b>Metano (C1)</b>	Min.	80	
<b>Etano (C2)</b>	Máx.	12	
<b>Propano (C3)</b>	Máx.	3	
<b>Butanos y mas pesados (C4), De estos, hidrocarburos insaturados totales</b>	Máx.	1,5	
		0,2	
<b>Dióxido de carbono (CO2)</b>	Máx.	8,5	
<b>Nitrógeno (N2)</b>	Máx.	1,0	
<b>Hidrógeno (H2)</b>	Máx.	0,1	
<b>Oxígeno (O2)</b>	Máx.	0,1	
<b>Monóxido de carbono (CO)</b>	Máx.	0,1	
<b>Componentes</b>	<b>En</b>	<b>Trazas</b>	
<b>Nombre</b>	<b>Límite</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
<b>Sulfuro de hidrógeno (H2S)</b>	Máx.	mg/m3 ppm	17,3
		molar	12
<b>Azufre total para gas no odorizado</b>	Máx.	mg/m3 ppm	38
		molar	28
<b>Azufre total para gas odorizado</b>	Máx.	mg/m3 ppm	49
		molar	36
<b>Agua</b>	Máx.	mg/m3	112
		[lb/10 <sup>6</sup> SCF]	[7]

El gas natural que circula por los sistemas de transporte y distribución cumplirá a partir del 1° de enero de 2013 con las especificaciones mencionadas en la tabla 2.3.

**Tabla 2.3. Límites de componentes mayoritarios y minoritarios, a entrar en vigencia en el año 2013.**

Parámetros	Valores	
	Mínimo	Máximo
<b>Sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S)</b>	-	6 mg/m <sup>3</sup> (4,16 ppm molar)
<b>Monóxido de carbono (CO)</b>	-	0,1% molar
<b>Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)</b>	-	2% molar
<b>Agua (H<sub>2</sub>O)</b>	-	90 mg/m <sup>3</sup> (5,625 lb/MMPC)
<b>Nitrógeno (N<sub>2</sub>)</b>	-	1% molar
<b>Hidrógeno (H<sub>2</sub>)</b>	-	0,1% molar
<b>Oxígeno (O<sub>2</sub>)</b>	-	0,1% molar
<b>Azufre total</b>	-	25 mg/m <sup>3</sup> (18,42 ppm molar)
<b>Mercurio (Hg)</b>	Menores de 0,01 µg/Nm <sup>3</sup>	
<b>Metano (C<sub>1</sub>)</b>	80% molar	-
<b>Etano (C<sub>2</sub>)</b>	-	12% molar
<b>Propano (C<sub>3</sub>)</b>	-	3% molar
<b>Butanos y mas pesados(C<sub>4</sub>+), de estos, hidrocarburos insaturados totales</b>	-	1,5% molar
<b>Hidrocarburos insaturados total</b>	-	0,2% molar

El uso de la gasolina como combustible implica que una cierta cantidad de la misma se evapora del tanque de combustible, contribuyendo a la contaminación por hidrocarburos, por el contrario en cuanto al GNV, la existencia de gasoductos evita la necesidad del

transporte peligroso lo cual garantiza un suministro seguro y confiable debido a que la recepción del producto se hace directamente de las redes de gas. <sup>[4]</sup>

El GNV es y será siempre más económico que los combustibles tradicionales por su menor costo de producción. Además su consumo genera ingresos adicionales de divisas, producto de la liberación de volúmenes de hidrocarburos líquidos en el mercado interno que podrían ser empleados para la exportación.

## **2.4. Proyecto autogas**

El objetivo del proyecto es de disponer en el mercado interno de un combustible alternativo (GNV) para uso automotor que permitirá liberar combustible líquido (gasolina) de elevados costos de producción y gran valor comercial, los cuales podrían ser exportados generando ingresos extras a la nación.

### **2.4.1. ¿Porque el relanzamiento del gas natural vehicular en Venezuela?**

El GNV es una opción más ventajosa que la gasolina para el transporte de bienes y personas. Además el país está ubicado en noveno lugar a nivel mundial y primero en Suramérica en reservas de Hidrocarburos Gaseosos.

Debido a su alta calidad y bajos costos para su producción, PDVSA ha decidido relanzar el hidrocarburo como combustible con el proyecto **AUTOGAS**, en vista que existe una alta competencia en el manejo de combustibles gaseosos y un despilfarro de combustibles líquidos comparado con otros países de la región.

El proyecto se encarga de asegurar la integridad de los gasoductos y las líneas de distribución, dado que parte del desarrollo económico y social del país depende de un sistema complejo de interdependencia de la infraestructura de energía.

#### **2.4.2. Situación del proyecto AUTOGAS**

En la **Fase I (2006-2009)**: Se logró incorporar el 12% de GNV en la matriz energética nacional de los combustibles del sector transporte, liberando un equivalente 2,52 MBD de combustible líquido.

La **Fase II (2009-2013)** del proyecto AUTOGAS se encuentra en ejecución. El análisis de la situación actual se encuentra detallado en la sección 4.1.1.

#### **2.4.3. Beneficios del GNV**

El principal beneficio al convertir el vehículo a gas natural, es el ahorro que se genera aunado al costo del mantenimiento del vehículo, el cual representa un 50% menos con respecto a la gasolina. Además, mantiene limpias las bujías alargando su vida útil; no contamina el aceite duplicando el tiempo de recambio del mismo y de los filtros.

Al ser más completa la combustión, los efectos contaminantes de los gases de escape son menores. Siendo estos menos corrosivos aumentando la duración del sistema de escape.

#### **2.4.4. Tipos de vehículos que operan con GNV**

Existen diferentes tipos de vehículos que utilizan el gas natural como combustible, los cuales son explicados a continuación:

#### **2.4.4.1. Vehículo dedicado**

Es aquel vehículo que utiliza exclusivamente el gas natural como combustible, posee el mismo principio de funcionamiento de vehículos a gasolina (Ciclo OTTO).

Este tipo de vehículo se va aplicar primordialmente en el sistema de transporte masivo urbano y extraurbano, así como vehículos destinados a transporte particular. El país acaba de adquirir 300 autobuses con motor dedicado únicamente a GNV, así como se observa en la figura 2.8.



**Figura 2.8. Buses dedicados a GNV.**

#### **2.4.4.2. Vehículo dual diesel-GNV**

Es aquel vehículo que utiliza diesel y gas natural vehicular como combustible, mediante la instalación de un equipo de conversión y la realización de modificaciones en el motor para tal fin.

#### **2.4.4.3. Vehículo dual gasolina-GNV**

Es aquel vehículo que utiliza indistintamente gasolina o gas natural vehicular como combustible, mediante la instalación de un equipo de

conversión para tal fin. Para efectos de este trabajo solo se tendrán en cuenta los vehículos de este tipo. Para efectos de este proyecto solo se estudiarán los vehículos convertidos

#### **2.4.5. Proceso de pre-conversión**

Antes de convertir todo vehículo a gas natural vehicular este debe ser evaluado, ver Figura 2.9, previamente según la norma COVENIN 3228-99, completando un formato de evaluación que determina si el vehículo está apto para convertir a GNV, el procedimiento es denominado “PRUEBA DE PRE-CONVERSIÓN”.

Un sistema de encendido que funciona correctamente con gasolina no siempre funciona correctamente con gas natural vehicular, por lo cual se debe verificar todo el sistema minuciosamente (voltajes de trabajo, calibración y fugas), así como el filtro de aire.



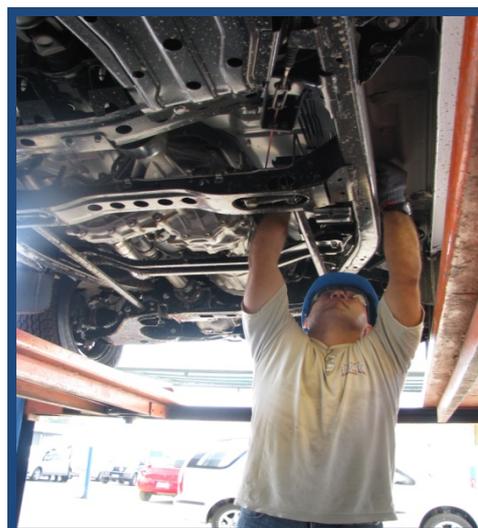
**Figura 2.9. Proceso de pre-conversión.**

### ✓ Condiciones para que un vehículo sea convertido

- Debe poseer sistema de gasolina. No se convertirán los vehículos que funcionen con diesel, ya que por no poseer bujías y disponer de un sistema diferente de combustión habría que realizar modificaciones mayores al motor.
- El vehículo debe ser de inyección (fuel injection). La inyección computarizada tiene la ventaja que se puede emular haciendo uso de la electrónica avanzada del vehículo, para una combustión eficiente y una pérdida de potencia mínima.
- El vehículo debe pasar la prueba de preconversión.

#### 2.4.6. Proceso de conversión

Como se observa en la Figura 2.10, es el proceso mediante el cual se adapta un vehículo para que funcione con gas natural vehicular como combustible alternativo, que comprende la instalación de cada uno de los componentes del sistema dual y su posterior calibración.



**Figura 2.10. Proceso de conversión.**

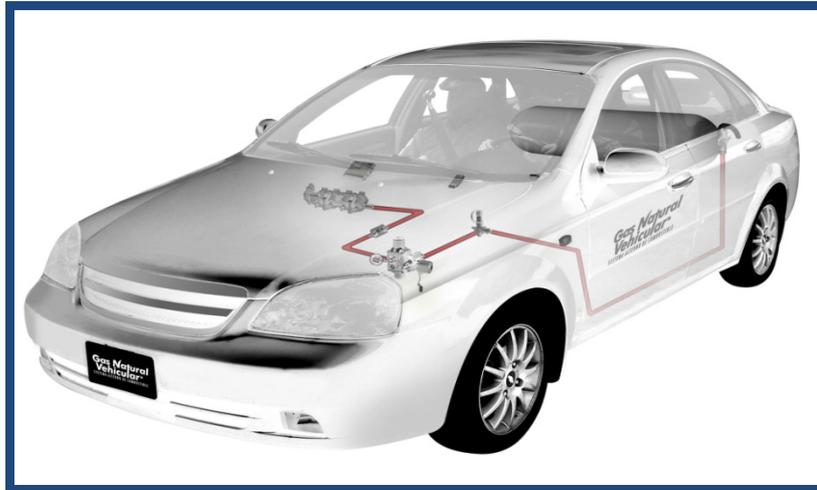
Antes de la conversión en serie de vehículos al sistema dual gasolina – GNV, se realiza la homologación de los mismos. Esto es para cada uno de los modelos con las respectivas marcas de kit de conversión a cada modelo de vehículo con una marca determinada de Kit de conversión, esto se rige por las normas COVENIN 3227-1998 y 3228-1999, consiste en:

- Se convierte el vehículo a GNV utilizando los elementos que se adapten mejor a las especificaciones del vehículo.
- El prototipo es calibrado tanto en pruebas estáticas como en pruebas dinámicas.

#### **2.4.7. Proceso de post-conversión**

Es una serie de pruebas que se realiza al vehículo una vez convertido al sistema dual gasolina - GNV, para evaluar las condiciones de operación bajo especificaciones del fabricante trabajando tanto con gasolina como con GNV con la finalidad de garantizar la calidad de la conversión, según la norma 3228 del año 1999. En dichas pruebas básicamente se evalúan los cambios de combustible, aceleración y desaceleración, control de emisiones, entre otros.

En la figura 2.11. se observa un vehículo convertido al sistema dual.



**Figura 2.11. Vehículo convertido al sistema de inyección dual.**

#### **2.4.8. Fallas más comunes al convertir un vehículo al sistema dual.**

Algunas de las causas de fallas más comunes se deben a:

- Encendido defectuoso o débil.
- Avance de encendido incorrecto.
- Calefacción insuficiente.
- Regulación inadecuada.
- Filtro de aire obstruido.

A continuación en la tabla 2.4. se muestran algunas de las fallas que se podrían presentar en los vehículos al momento de ser convertidos para operar con el sistema dual gasolina - GNV. Además se presentan posibles soluciones que sirven de guía para eliminar dichos inconvenientes y así, operar el vehículo de forma segura y eficaz. <sup>[5]</sup>

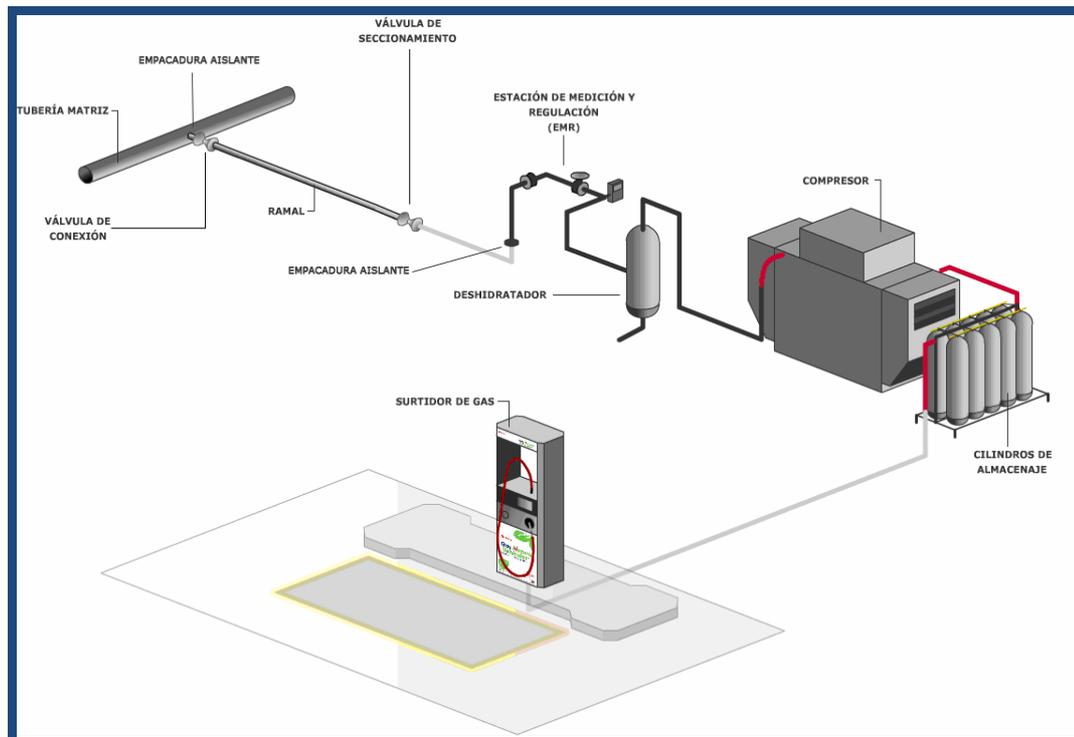
**Tabla 2.4. Fallas más comunes presentadas en los vehículos convertidos y sus posibles soluciones**

Problemas	Posible solución
<p><b>Funcionamiento irregular</b></p> <p><b>Potencia baja</b></p> <p><b>Baja aceleración</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filtro de aire sucio</li> <li>• Falla en la entrada de aire entre el mezclador y la admisión</li> <li>• Mala instalación del mezclador</li> <li>• Encendido defectuoso</li> <li>• Avance incorrecto</li> <li>• Membrana de la tercera etapa del regulador desgarrada</li> </ul>
<p><b>Mínimo irregular del motor</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filtro de aire sucio</li> <li>• Ver registro de marcha lenta</li> </ul>

<p><b>Consumo demasiado elevado</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filtro de aire sucio</li> <li>• Regulador de alta demasiado abierto</li> <li>• Avance de encendido incorrecto</li> </ul>
<p><b>Mínimo irregular luego de la puesta en marcha con GNV a gran velocidad</b></p>	<p>Calefacción insuficiente en el regulador de Gas Natural Vehicular</p>

#### **2.4.9. Recorrido del GNV desde la red de gasoductos hasta su combustión dentro del motor**

Para abastecer la demanda interna, el gas natural se distribuye a través de gasoductos ó tubería matriz por donde fluye a una presión de 800 psi aproximadamente. A través de los ramales o redes de distribución llega a las ciudades a 250 psi. Una vez que ingresa a la estación de servicio, una unidad reguladora de presión de GNV, recibe el gas natural y eleva su presión a 3000 psi, para almacenarlo momentáneamente en cilindros presurizados tal como se observa en la figura 2.12.



**Figura 2.12. Esquema de distribución de GNV hasta las estaciones surtidoras.**

Este almacenaje es el que garantiza que la estación de servicio tenga una presión constante de combustible y que esté listo para ser comercializado, pudiendo abastecer hasta 3 vehículos por cada unidad de almacenamiento. Desde el conjunto de almacenaje el GNV se conduce por una canalización de alta presión hasta los surtidores específicos. Estos surtidores son los dispositivos con los que se abastece el combustible a los vehículos rápidamente y, de manera similar a los de combustibles líquidos.

Todos estos procesos son gestionados por un tablero principal de control, que determina el momento de compresión de GNV, controlando la presión, el envío de gas del compresor al almacenaje y la utilización de los surtidores. Además este tablero registra todos los datos de carga para el control de las ventas realizadas.

A continuación se explican detalladamente los componentes básicos de una estación de servicio de gas natural vehicular.

#### **2.4.9.1. Componentes de una estación de servicio de GNV.**

Los componentes básicos de una estación de servicio de GNV son:

- Unidad de compresión
- Unidad de almacenamiento
- Unidad de suministro o distribución

##### **A. Unidad de compresión**

Es la encargada de tomar el gas de la red principal domiciliaria a una presión de 250 psi y someterlo al proceso de compresión, elevando la presión a 3000 psi, para posteriormente almacenarlo y de esta manera proporcionar un llenado rápido a los tanques de los vehículos.

La unidad de compresión está conformada por:

- Sistema de medición del gas
- Sistema de filtrado
- Compresor para GNV

### **A.1. Sistema de medición de gas**

Este sistema es instalado para determinar la cantidad de gas que entra a la estación de servicio dependiendo del consumo del combustible. Consta de un filtro, medidor, válvula de chequeo, válvula automática y/o manual de corte. Se encuentra ubicado entre la red del gas y la entrada a la unidad de compresión en un sitio de fácil acceso y maniobra.

### **A.2. Sistema de filtrado**

El filtro es un elemento que se instala en la entrada del compresor y su objetivo es retener el 99% de las impurezas del gas cuyo tamaño es igual o superior a los 5 micrones. Es un sistema de protección que resguarda el equipo de las impurezas que puede contener el GNV ocasionando daños graves.

### **A.3. Compresor de GNV**

Si no existiera la forma de comprimir el gas para almacenarlo en condiciones estándar, el equivalente energético a 12 galones de gasolina (capacidad del tanque de un automóvil pequeño), es un tanque de 34 m<sup>3</sup> (varias veces más grande que el vehículo). En estas circunstancias se tendría que descartar al gas natural como combustible automotor. Por esta razón el compresor es considerado el corazón en una estación de servicio. Si sometemos a presión este mismo gas ocupará un menor espacio.

Los compresores son máquinas dinámicas destinadas al movimiento del flujo de gases. Dependiendo de la energía que utilizan para su funcionamiento, los compresores se clasifican en: eléctricos (los más utilizados), térmicos (gas, gasolina y diesel) e hidráulicos. Otra forma de

clasificarlos es teniendo en cuenta la presión que genera, estos pueden ser de: presiones negativas y presiones positivas.

## **B. Unidad de almacenamiento de GNV**

En las estaciones de servicio de GNV para llenado rápido, es indispensable la unidad de almacenamiento del gas, y de esta manera abastecer rápidamente el combustible a los vehículos.

La unidad de almacenamiento está conformada por los siguientes elementos:

- Baterías de abastecimiento
- Dispositivos de alivio de presión, incluye válvulas de alivio de presión
- Dispositivo de relevo de presión
- Manómetros
- Líneas de combustible

### **B.1. Cilindros o 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 unidades, firmemente asegurados a un soporte en una estructura metálica, dicha disposición se conoce como cascada de almacenamiento. Las capacidades de cada uno de los

cilindros empleados en las cascadas varían según los requerimientos de suministro de la estación.

### **B.1.1. Almacenamiento en cascada**

El almacenamiento de gas se diseña para que los vehículos se llenen en el menor tiempo posible y a la vez evitar los arranques y paradas frecuentes de los compresores de gas. El almacenamiento está compuesto por bancos de cilindros que trabajan con un banco a presión única (3000 psi), y se van despresurizando paulatinamente se realice el llenado del cilindro en el automóvil. Este almacenamiento es del tipo cascada, distribuyéndose en 3 bancos llamados de baja, de media y de alta, además de un tanque de recuperación. El llenado del vehículo se comienza por el banco de baja, si se hace necesario, el dispensador automáticamente cambia al banco de media, y posteriormente, si hace falta, termina de cargar del banco de alta.

De esta manera la presión en los tres bancos va cayendo en forma individual hasta que el banco de alta presión alcanza una presión mínima (2900 psi generalmente), que es el punto de ajuste para arrancar el primer compresor.

Si la capacidad de despacho del surtidor es menor que la capacidad de compresión, la presión en los tres bancos se irá aumentando uno por uno hasta alcanzar un valor máximo para el compresor (3000 psi).

Si la capacidad de despacho del surtidor es mayor que la entregada por el compresor, la presión del almacenamiento caerá por debajo del punto de ajuste y se arrancará el segundo compresor.

En este último caso los compresores operarán juntos hasta que se llenen los bancos de almacenamiento. El segundo compresor se apagará un poco antes de que lo haga el primero. De esta forma se tendrá una operación estable durante el llenado con un mínimo de arranques y paradas de los compresores, y se puede prestar un servicio a los usuarios en un tiempo similar al que se toma surtir el vehículo con gasolina.

## **B.2. Dispositivos de alivio de presión**

Los dispositivos de alivio de presión de un sistema de GNV, son aquellos que relevan a la atmósfera la presión cuando ésta supera la presión de disparo. Cada cilindro debe equiparse con uno o más dispositivos de alivio de presión los cuales deben cumplir el estándar. Los dispositivos de alivio de presión deben instalarse de tal manera que la temperatura a la cual sean sometidos, sea representativa de la temperatura a la cual opera el cilindro.

La unidad de almacenamiento para su protección debe contar como mínimo con las siguientes válvulas:

- Válvula manual de corte que el operador de la estación de servicio puede activar en el momento de una emergencia.
- Válvula de bloqueo la cual se activa automáticamente por la caída brusca de presión.

## **B.3. Manómetros**

De acuerdo estándares, los manómetros deben ser aptos para leer al menos 1,2 veces a presión del sistema, es decir, un factor de sobre diseño de 20%.

#### **B.4. Líneas de combustible**

En la unidad de almacenamiento se encuentran tuberías, accesorios y empaquetaduras, los cuales deben ser compatibles con el combustible bajo las condiciones de servicio.

La tubería, los accesorios y los otros componentes de la tubería deben tener la capacidad soportar una prueba hidrostática de por lo menos cuatro veces la presión nominal de servicio sin presentar fallas estructurales.

#### **C. Unidad de suministro o distribución**

La unidad de suministro o distribución de GNV en la estación de servicio es la encargada de proporcionar el combustible a los vehículos. Esta unidad está separada de la unidad de compresión y almacenamiento, y está compuesto por los siguientes dispositivos.

##### **C.1. Surtidor para GNV**

Los surtidores para GNV son los elementos utilizados para el abastecimiento, medición, control y registro del GNV. Estos surtidores deben de cumplir con la norma ISO 15403. Los surtidores se diferencian unos de otros en las líneas de alimentación de GNV que pueden ser de una, dos o tres vías. En la medida que tenga más líneas de alimentación, mayor será su capacidad de carga. También puede tener una o dos mangueras y uno o dos visores o tableros de lectura. Se diferencian también en el tipo de filtro de gas que utilicen, el sistema de corte (solenoides o actuador electro-neumático) y el tipo de medidor másico.

## **C.2. Componentes de un surtidor**

El surtidor está compuesto por una unidad dispensadora medidora, una manguera de llenado provista de un sistema de seguridad (break away) 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%.

## **C.3. Mangueras de llenado**

Las mangueras de llenado están equipadas de un sistema seguridad break away que permite una desconexión y cierre rápido en caso que el vehículo arranque antes de quitar la manguera de carga de GNV. Los surtidores deben contar con unas mangueras de llenado de una longitud máxima de 5 metros (16,5 pies) y deben cumplir con la norma internacional. Cada manguera de llenado debe tener un dispositivo de corte rápido por desprendimiento de la manguera, y deben estar dispuestos en la manguera entre el compartimento del surtidor y la boquilla. Cuando las mangueras estén fijadas a un mecanismo retráctil que recoge la manguera, el dispositivo de corte rápido por desprendimiento debe estar instalado entre el punto de fijación de la manguera al mecanismo retráctil y la boquilla, a menos que la fuerza para separar la manguera del mecanismo retráctil sea mayor que la de accionamiento del dispositivo de corte rápido por desprendimiento y se afecte la característica de interrupción de flujo en la manguera y se provoque daño al compartimento del surtidor.

#### **C.4. Boquillas de llenado**

Actualmente existe en el mercado alrededor de diez diseños diferentes para boquillas de llenado, pero debido a las dificultades para hacerlas compatibles entre sí, se diseñó la boquilla NGV I. Esta boquilla, por haber sido concebida específicamente para operar con GNV, proporciona grandes ventajas en cuanto a seguridad, en comparación con los otros sistemas de llenado (impedimento de llenado a una presión mayor a 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 NGV I se extenderá una vez el comité técnico de la ISO (TC 22/SC 25) culmine la elaboración de la norma técnica internacional para esta boquilla cuyo documento de referencia es la norma ANSÍ /AGA NGV I y la ISO / DIS 14469.

#### **C.5. Válvula de alivio del surtidor**

La válvula de alivio de presión debe de estar localizada aguas abajo del sistema de protección de sobrellenado para evitar una sobrepresurización de los cilindros del vehículo. El orificio de descarga de todas las válvulas de alivio de presión debe ventear hasta un área segura. En los surtidores también encontramos unas válvulas de corte operadas en forma manual, eléctrica o neumáticamente.

#### **C.6. Venteo**

El surtidor debe estar equipado con mecanismos de venteo para la liberación de gas, buscando su conducción hasta una localización segura.

### **C.7. Filtros**

Si el filtro para la línea de gas está incluido como parte del surtidor, este debe ser instalado aguas arriba de todos los controles de gas. El filtro debe ser de un tamaño y construcción adecuada para su aplicación particular, y ubicado en un lugar accesible para su inspección, limpieza y remplazo de manera que no interrumpa la línea de conducción de gas o dispositivo de llenado

### **C.8. Tubería y accesorios**

La tubería rígida, flexible y sus accesorios deben ser adecuados para su uso con GNV y aptos para operar dentro del rango de temperaturas de trabajo del surtidor.

### **C.9. Protección por sobre llenado**

Cada manguera del sistema de llenado debe disponer de un método de compensación por temperatura para limitar la máxima presión (3000 psi) de llenado en los cilindros del vehículo.

### **C.10. Dispositivos indicadores de presión**

El surtidor debe estar equipado con un dispositivo que indique la presión de suministro apropiada y rango de temperatura del GNV. El manómetro debe tener una carátula que registre al menos 1,2 veces la presión más alta del sistema.

Los surtidores trabajan con líneas de gas de alta presión (3000 psi) y tensiones de alimentación que implican riesgos para la vida humana. La

instalación o reparación de sus partes sólo debe ser llevada a cabo por personal técnico calificado y autorizado para tal fin.

### **C.11. Procedimiento de llenado de vehículo**

El procedimiento de llenado de los vehículos es una operación muy simple, reduciéndose a los siguientes pasos:

- Alimentación eléctrica normal (220 voltios)
- Presión de suministro de GNV normal
- Válvula esférica de bloqueo manual totalmente abierta

Cumplidas estas condiciones el operador desprende la válvula de carga de su alojamiento y realiza los siguientes pasos:

- Iniciar la recepción del vehículo.
- Colocar en cero el tablero del surtidor y posteriormente abrir la válvula solenoide.
- Remover el guardapolvo de la boca de la válvula de llenado y acoplar la manguera de llenado. Este acople debe hacerse sin mucho esfuerzo; si hay alguna resistencia, se debe limpiar y lubricar la boquilla.
- Normalmente el sistema del vehículo llegara a su presión de llenado entre 4 y 5 minutos. Durante el llenado se oirá y sentirá una pequeña vibración en la medida que el gas este fluyendo por la

manguera. Cuando el flujo de gas pare, se debe cerrar la válvula en la línea de gas.

- En los surtidores modernos existe una alarma que sonará e indica visualmente al bombero que el llenado finalizó.
- Desconectar la manguera y colocar en el surtidor.
- Al finalizar el turno de trabajo, debe registrar en la planilla la cantidad acumulada por el contador del surtidor.

#### **2.4.9.2. Recorrido del gas natural desde el surtidor hasta el motor**

El gas es introducido al circuito mediante el dispensador de GNV de la estación de servicio, por medio del pico de carga interno (o externo si lo tuviese) a una presión de 3000 psi, lo que se puede comprobar en el manómetro que se encuentra inmediatamente a continuación del pico. El manómetro es el encargado de medir la presión existente en el nivel de carga y debe colocarse de modo tal que su lectura sea fácil y cómoda, fundamentalmente durante la operación de llenado.

El pico de carga interno es, como su nombre lo indica, la pieza por donde se introduce el gas al sistema. Posee un circuito específico y debe quedar montada en forma, pues es la parte del sistema sometida a mayor maltrato; dispone de la válvula de retención para evitar el retorno de gas al exterior una vez realizada la carga del mismo. El pico de carga se localiza sobre uno de los laterales del motor, lo más accesible posible para la operación de carga, alejado de la batería y terminales que puedan producir corto circuito.

Luego pasa por la válvula de carga, la cual permite cortar la entrada o salida del gas. Se usa en forma manual en el caso de pérdidas por fallas de la válvula de retención de pico de carga o en la zona del regulador. Se debe instalar lo más cerca posible al regulador de presión, y a la mayor altura para un fácil acceso en caso de necesitar operarla. Las tuberías de gas que vinculan la válvula de carga con los demás elementos deben estar dotadas de rulos antivibratorios. De allí el GNV es conducido por la tubería de alta presión hasta el o los cilindros de almacenamiento. Estos cilindros son de distintos diámetros y tamaños, según la cantidad de gas a almacenar. Cuentan en su entrada con una válvula de cilindro o de servicio que permite cerrar la entrada o salida del gas, también en forma manual. Esta válvula consta de un sistema de seguridad el cual se activa cuando hay un aumento de presión en el cilindro, o cuando se produce un aumento considerable de temperatura. Los cilindros se instalan en cunas especiales, que se fijan a la carrocería (en el baúl, bajo el chasis, en la caja de carga, etc.).

De la válvula de servicio, el gas se dirige por la misma tubería de alta presión antes descrita, a la válvula de carga nuevamente, y de allí al regulador de presión.

En el regulador de presión el gas reduce su presión de 3000 psi hasta la presión de trabajo que se encuentra aproximadamente entre 29 y 36 psi. Esta descompresión brusca hace que el gas pierda temperatura ocasionando el enfriamiento del regulador, por lo cual se hace necesario calentarlo utilizando una derivación del sistema de refrigeración del motor, para ello se usa el agua de calefacción producto del enfriamiento del motor. Estos reductores poseen 2 o 3 etapas dependiendo de la marca del kit de conversión. Cuando se trabaja con 2 etapas de reducción de presión, se despresuriza en su primera etapa a 102 psi y luego se obtiene una presión entre 22 y 36 psi. La presión ideal para la combustión

en el motor es de 29 psi aproximadamente. La posición del regulador debe permitir visualizar sin dificultad el manómetro, especialmente en el momento de carga.

Luego, el gas ya descomprimido, fluye mediante tuberías hasta el múltiple de admisión, donde a través de inyectores ingresa el gas y dentro del múltiple se mezcla con aire. Cabe destacar que el ingreso de la mezcla aire-gas a la admisión del motor, debe ser en la proporción óptima requerida para una perfecta combustión.

Otro elemento a instalar es la llave conmutadora que se encuentra dentro de la cabina del vehículo al alcance del conductor, y que sirve para seleccionar el tipo de combustible que se desea usar. Esta cuenta además con un indicador de nivel de carga de los cilindros de almacenaje, compuesto por cuatro leds y uno de estos destella indicando que el vehículo está circulando en reserva. El cambio puede hacerse en forma automática o manual.

Debido a que el vehículo cuando funciona con GNV requiere de un avance al encendido mayor que con la gasolina, se coloca un variador electrónico o corrector electrónico de avance que corrige automáticamente estos valores según el combustible que se esté usando. La velocidad de propagación de llama del gas es menor que la gasolina, por lo tanto para lograr una combustión completa en el funcionamiento con GNV, se debe adelantar el avance al encendido aproximadamente 10 grados respecto al vehículo funcionando a gasolina. Es decir que el avance al encendido en el vehículo con GNV debe ser de 22 grados iniciales. Esto es porque como se dijo anteriormente el gas necesita más tiempo para realizar una combustión completa y lograr el máximo rendimiento posible en el motor.

La función entonces del corrector de avance en los carros con inyección electrónica es la de obtener el avance adecuado a todos los regímenes de revoluciones, sin alterar los circuitos propios del automóvil, para no afectar el funcionamiento con gasolina.

Cuando el vehículo funciona a GNV, es necesario cortar y emular el funcionamiento de los inyectores, para no acumular códigos de fallas en la unidad electrónica de control (UEC). En el momento de la conmutación de gasolina a GNV, el emulador no interrumpe inmediatamente el funcionamiento del inyector para permitir al gas salir del reductor y llegar a la aspiración, evitando pozos de alimentación con eventuales contra explosiones.

De esta manera durante la conmutación hay una superposición de combustibles, la cual es posible modificar con un preset de regulación que poseen estos emuladores.

Esta regulación se realiza si es necesario cuando se efectúan las pruebas de funcionamiento.

En el caso de vehículos con inyección monopunto se utilizan emuladores de inyección y sensor de oxígeno, que están unificadas en un solo elemento. En este caso hay que interceptar la alimentación al inyector para que este no opere cuando el motor funciona con GNV, como también interceptar la señal al indicador de fallas de la UEC.

En el caso de inyección multipunto, se interceptan cada uno de los inyectores con las fichas con que vienen provistas, y se conectan de acuerdo a las instrucciones de los manuales de instalación.

En el funcionamiento con gasolina, el sensor le indica a la UEC el nivel de oxígeno de los gases de escape, mediante una señal en función

del estado de marcha del vehículo, con un valor de tensión que varía entre 0 y 1 volt, según tenga defecto o exceso de oxígeno. La UEC en ausencia de esta señal enviará una indicación de falla que quedará memorizada con un código que corresponde a esta falla.

En el uso con GNV al no modificar el ingreso de gas al motor por medio del sensor de oxígeno, se intercala un emulador que le entrega a la UEC una señal que varía entre 0 y 1 volt, para que no aparezca la indicación de falla.

El sistema también cuenta con un dispositivo llamado unidad de control lambda, este tomando valores de la sonda lambda (sensor de oxígeno), la posición del acelerador y el tiempo de inyección calculado por la unidad electrónica de control, determina la correcta relación aire/GNV a ser utilizada por el motor en cada momento, independientemente del estado de carga, velocidad, etc.

Esa mezcla estequiométrica es la que permite al motor desarrollar todas su potencia, permitiendo a su vez, un mejor confort de manejo y una reducción apreciable en el consumo de combustible, logrando un importante incremento en la vida útil del motor.<sup>[7]</sup>

## **2.5. Gasolina**

Es la mezcla de hidrocarburos procedente de la destilación fraccionada del petróleo y que se emplea como combustible en algunos vehículos automóviles. Tienen componentes hidrocarbonados de  $C_4$  a  $C_{10}$  y una temperatura de destilación de entre 30 y 200°C. El peso molecular de sus elementos no es muy elevado y tienen una gran volatilidad. Su capacidad de inflamación se mide con el índice de octano en comparación con un hidrocarburo muy inflamable (isooctano) y otro muy poco inflamable (n-heptano).

## **2.6. Efecto invernadero**

El calentamiento global y el cambio climático, junto con la búsqueda de un desarrollo sostenible, son los asuntos que producen más reuniones y eventos a nivel internacional y reúne a gran número de líderes políticos. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, lo define como el cambio originado en el clima directa o indirectamente por la acción del hombre y que se suma a la variabilidad natural del clima. Tal y como se recoge en esta definición, el clima sufre una variabilidad natural, pero es mucho más lenta y progresiva que la que está ocurriendo hoy en día.

### **2.6.1. Factores que influyen en el clima, efecto invernadero natural y mecanismos forzados de radiación.**

La energía que recibimos del sol y que llega a la parte alta de la atmósfera se compone de radiación ultravioleta, luz visible y radiación infrarroja. Para cuando esta energía solar llega a la superficie de la tierra, ya ha sido absorbida en parte por el ozono, el vapor de agua y otros componentes de la atmósfera, además de la vegetación, de manera que la energía que realmente llega a la superficie terrestre suele ser en un 49% radiación infrarroja, en un 42% luz visible y un 9% es radiación ultravioleta, tal como se observa en la figura 2.13.



**Figura 2.13. Proceso de efecto invernadero.**

En definitiva, alrededor de un 30% de la energía que recibe la tierra se refleja y devuelve al espacio, mientras que el 70% restante se absorbe, pero no de manera uniforme (es mayor en los polos, por ejemplo) sino que existen unas diferencias que producen fenómenos de convección, corrientes atmosféricas que transportan calor, evaporación, condensación, produciendo finalmente lo que conocemos como el clima.

Según la cantidad de radiación infrarroja que emite la tierra (240 W.m<sup>2</sup>), su temperatura debería ser de unos -18 °C. Pero lo cierto es que la Tierra tiene una temperatura media de de 15 °C. La diferencia entre la energía a la que equivalen estos 15 °C y la realmente emitida es la que se devuelve al espacio más lentamente porque queda atrapada por las nubes y ciertos gases atmosféricos como el dióxido de carbono, el metano y óxidos de nitrógeno, por lo que estos gases reciben el nombre de gases de efecto invernadero. Así que el efecto invernadero es un fenómeno natural y necesario, ya que es responsable de estos 33 grados

de diferencia tan beneficiosos para la vida en el planeta, tal y como la conocemos hoy.

Pero las nubes tienen otro papel muy importante, ya que reflejan la luz del sol. Así que teniendo en cuenta que se calcula que el calentamiento de la Tierra por el efecto invernadero supone unos 30  $W.m^2$ , mientras que el enfriamiento por ese reflejo de parte de la radiación es de 50  $W.m^2$ , resulta que el efecto invernadero natural supone un enfriamiento resultante de 20  $W.m^2$ , en contra del calentamiento global que produce el efecto invernadero producido por la acción humana.

Otros factores que influyen en el clima son los denominados mecanismos forzados de radiación, que pueden ser internos y externos. Los mecanismos externos se dan a escalas de tiempo de milenios e incluyen variaciones de la órbita terrestre, que fuerzan cambios entre condiciones glaciales e interglaciales, e incluso cambios físicos en el sol, como las manchas solares que curren cada 11 años. Los mecanismos internos son la composición atmosférica, cuyos cambios están directamente relacionados con el clima, sobre todo en el caso de los gases de efecto invernadero, tal y como hemos comentado antes; y la actividad volcánica, ya que las emisiones de polvo y gases de las erupciones se mantienen durante varios años en la atmósfera y producen descensos en las temperaturas.

En conclusión, el clima terrestre es algo tremendamente complicado, ya que en él influyen la atmósfera, los océanos, las capas de hielo, los seres vivos y el suelo. Es decir, todos los flujos de materia y energía que se dan en nuestro planeta.

### 2.6.2. Efecto invernadero antropogénico

El efecto invernadero es un fenómeno natural y beneficioso, pero el problema se produce cuando por causas humanas ocurre un aumento en la atmósfera de los gases de efecto invernadero, lo que aumenta este efecto y produce un calentamiento global del planeta.

El aumento de la concentración atmosférica de los gases de efecto invernadero ha sido algo progresivo y constante, debido a la actividad humana. Por ejemplo, a principios de siglo por la quema de bosques para conseguir tierras de cultivo.

La concentración de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) ha aumentado en las últimas décadas por uso de combustibles fósiles como fuente de energía, para el transporte y en procesos industriales.

El metano ( $\text{CH}_4$ ) también es otro gas de efecto invernadero y su concentración en la atmósfera se va aumentando en mayor medida por el tratamiento de residuos en los vertederos, la digestión de los rumiantes, al criarlos masivamente para alimento, la gestión del estiércol, del que junto con los fertilizantes agrícolas también se producen importantes cantidades de óxido nitroso, y en menor medida por los cultivos de arroz y las incineradoras de residuos.

El óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) también se utiliza como propelente para aerosoles, en la fabricación de lámparas incandescentes y fluorescentes, etc.

Otros responsables del efecto invernadero antropogénico son compuestos como los perfluorcarbonados (PFC) y los hidrofluorcarbonados (HFC), que se utilizan en equipos de refrigeración,

extintores de incendios y aerosoles, además del Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>) , que se utiliza como gas aislante en equipos de distribución de energía eléctrica.

Cabe reseñar que el dióxido de carbono ha aumentado de 275 ppm antes de la revolución industrial a 361 ppm en 1996, los niveles de metano se han doblado en los últimos 100 años y la cantidad de óxido de dinitrógeno aumenta a razón de un 0.25% anual.

### **2.6.3. Calentamiento global**

Según el informe de 2001 del Intergovernmental Panel on Climate Change) (IPCC), la temperatura media de la Tierra ha aumentado 0.6°C en los últimos 100 años, pero es muy difícil saber si este incremento se debe a causas naturales o puede achacarse a actividades humanas, debido a que el clima es un sistema tremendamente complejo en el que influyen gran cantidad de factores.

Para analizar las variaciones en el clima y su relación con ciertas variables se crean complejos modelos a base de sistemas de ecuaciones que intentan simular su comportamiento real y tratan de hacer predicciones sobre su evolución. Estos modelos, al margen de pequeñas diferencias entre ellos, han coincidido en establecer una relación directa entre el calentamiento global y el aumento de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera por la acción humana. De hecho, en su informe de 1995, la IPCC afirma que el conjunto de evidencias sugiere un cierto grado de influencia humana en el clima global.

No obstante, hay muchos científicos que dudan de que exista relación entre el calentamiento global y la acción humana, sobre todo porque opinan que los modelos climáticos existentes son insuficientes y

poco satisfactorios en relación a la complejidad del funcionamiento del clima. Pero a pesar de que existan estas posturas en contra, la gravedad de las consecuencias del calentamiento global hace que sea imprescindible tomar medidas para al menos reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

#### **2.6.4. Consecuencias del calentamiento global**

Hasta hace poco las previsiones hablaban de entre 1.5 y 4.5°C pero actualmente sabemos que el calentamiento se producirá con retraso con respecto al aumento en la concentración de gases de efecto invernadero, ya que los océanos más fríos absorberán gran parte del aumento de temperatura, de modo que la IPCC prevé para el año 2100 un calentamiento de entre 1.0 y 3.5°C. Estas variaciones de temperatura pueden parecer insignificantes, pero supondrán transformaciones tan importantes como:

- Las áreas desérticas serán más cálidas pero no más húmedas, lo que provocará graves consecuencias, sobre todo donde el agua escasea, como en África y Oriente Medio.
- Casi la mitad de los glaciares se fundirán y si tenemos en cuenta que el 11% de la superficie terrestre es hielo, resultan bastante creíbles las previsiones sobre el aumento del nivel del mar de entre 0.4 y 0.65 m, haciendo desaparecer muchas zonas costeras.
- Las precipitaciones aumentarán entre un 3 y un 15%.
- Muchas tierras de cultivo, podrían perderse, al convertirse en desiertos.

En resumen, aún con las predicciones más optimistas, estos cambios en el clima es el más rápido de todos los que han ocurrido a lo largo de la historia de nuestro planeta y supondrán grandes impactos adversos para la humanidad.

### **2.6.5. Medidas para paliar el cambio climático**

Dado que el cambio climático es un problema global, las soluciones deben tomarse igualmente de forma global, por todos los países.

Entre las medidas que podemos tomar para paliar el cambio climático están las siguientes:

- Reducir la emisión de gases de efecto invernadero, con lo que evitaremos que su concentración en la atmósfera siga aumentando. Esto solo se puede lograr a través de la eficiencia y el ahorro energético y el uso de energías renovables, que sustituyan progresivamente a los combustibles fósiles más contaminantes. Además para lograrlo disponemos de la tecnología necesaria, pero es preciso que se reduzcan las barreras a la difusión y transferencia de estas tecnologías, se usen los suficientes recursos financieros y se ayude a los países con economías poco desarrolladas. Además se deben aplicar políticas económicas y sociales como favorezcan el ahorro energético e incentiven el uso de energías renovables.
- Aumentar las superficies forestales, ya que actúan como sumideros absorbiendo dióxido de carbono, evitando la deforestación y aumentando las repoblaciones, respetando en lo posible la biodiversidad.

- Promover desde ya las más esenciales medidas de adaptación, sobre todo en zonas con ecosistemas más sensibles y en sectores con economía más vulnerable.

### **2.6.6. Gases de efecto invernadero**

Se denominan gases de efecto invernadero o gases de invernadero a los [gases](#) cuya presencia en la [atmósfera](#) contribuyen al [efecto invernadero](#). Entre estos gases se encuentran los nombrados a continuación:

#### **2.6.6.1. Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)**

La principal fuente de emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a la atmósfera es la quema de combustibles fósiles y biomasa, en procesos industriales, transporte, y actividades domiciliarias (cocina y calefacción). Los incendios forestales y de pastizales constituyen también una fuente importante de CO<sub>2</sub> atmosférico. La concentración del CO<sub>2</sub> atmosférico subió desde 280 ppm en el periodo 1000 - 1750, a 368 ppm en el año 2000, lo que representa un incremento porcentual de 31%. Se estima que la concentración actual es mayor que la ocurrida durante cualquier periodo en los últimos 420.000 años, y es muy probable que también sea el máximo de los últimos 20 millones de años.

#### **2.6.6.2. Metano (CH<sub>4</sub>)**

La principal fuente natural de producción de CH<sub>4</sub> son los pantanos. El CH<sub>4</sub> se produce también en la descomposición anaeróbica de la basura en los rellenos sanitarios; en el cultivo de arroz, en la descomposición de fecas de animales; en la producción y distribución de gas y combustibles; y en la combustión incompleta de combustibles

fósiles. Se estima que su concentración aumentó entre 700 ppb en el periodo 1000 - 1750 y 1750 ppb en el año 2000, con un aumento porcentual del 151% (incertidumbre de +/- 25%)

### **2.6.6.3. Dióxido nitroso (NO<sub>2</sub>)**

El aumento del NO<sub>2</sub> en la atmósfera se deriva parcialmente del uso creciente de fertilizantes nitrogenados. El NO<sub>2</sub> también aparece como subproducto de la quema de combustibles fósiles y biomasa, y asociado a diversas actividades industriales (producción de nylon, producción de ácido nítrico y emisiones vehiculares). Un 60% de la emisión de origen antropogénico se concentra en el Hemisferio Norte. Se estima que la concentración de NO<sub>2</sub> atmosférico creció entre 270 ppb en el periodo 1000 - 1750, a 316 ppb en el año 2000 (un 17 +/-5% de aumento)

### **2.6.7. Protocolo de Kioto**

Se trata del primer compromiso internacional para frenar el cambio climático y tuvo lugar en diciembre de 1997 en la ciudad de Kioto durante la *III Conferencia de las Partes del Convenio Marco sobre Cambio Climático*, que reunió a 125 países.

El Protocolo de Kioto compromete a todos los países que lo ratifiquen a reducir las emisiones de los seis gases de efecto invernadero. El compromiso global de reducción para el período 2004-2012 es del 5.2% respecto a los niveles de 1990, aunque en cada país la cuota de reducción varía en función a lo que contaminó en el pasado.

Para que el Protocolo de Kioto sea finalmente una realidad, debe ser ratificado por un mínimo de 55 países, que sumen por lo menos el 55% de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial. El principal

problema fue la negativa de Estados Unidos, que además produce el 25% de las emisiones mundiales, aunque con la adhesión de Moscú, en 2005, que aporta el 17.4% de las emisiones, el Protocolo de Kioto entra en vigor siendo un total de 126 países los que lo ratifican.

#### **2.6.8. Mecanismos para minimizar el impacto económico del Protocolo de Kioto**

Muchas de las medidas a tomar para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero plantean serios problemas para ciertos sectores, por lo que resulta imprescindible aplicar políticas que reduzcan el inevitable impacto económico.

Por este motivo el Protocolo de Kioto incluye medidas como la de los sumideros de carbono, consistente en aumentar las extensiones forestales y tierras de cultivo que de forma natural absorben importantes cantidades de dióxido de carbono, aunque la dificultad radica en que no se puede cuantificar a ciencia cierta el nivel de absorción además de que no todas las especies se comportan igual en este sentido.

También están los llamados mecanismos de flexibilidad, que tanta controversia han producido y que están formados por tres medidas:

- Compra-venta de emisiones, la idea es que los países que reduzcan sus emisiones por debajo de lo que les correspondía, puedan vender esa diferencia a otros países que superan sus límites, de modo que reduce el coste económico que les ha supuesto la reducción y se compensa el nivel de emisiones a nivel internacional. El aspecto negativo es que esto podría llegar a convertirse en una forma de intercambio comercial, lo que queda lejos del propósito con el que se propuso.

- Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), que consiste en exportar proyectos de tecnología limpia a países que no han asumido ningún compromiso de reducción, de modo que los exportadores se descuentan la diferencia de emisiones que resulta del abandono de la antigua tecnología y los países menos desarrollados reciben fondos.
- Implementación conjunta, es una medida parecida a la del Mecanismo de Desarrollo Limpio, pero con la diferencia de que el intercambio de tecnología se hace entre países con compromiso de emisiones.

#### **2.6.9. Situación de Venezuela con respecto al Protocolo de Kioto**

Venezuela es uno de los países de la OPEP menos afectados por el Protocolo de Kioto, pues a pesar de ser exportador de crudo, tiene grandes espacios boscosos que se pueden considerar sumideros.

En los últimos años se ha ratificado al Ejecutivo nacional de adherirse a este tratado internacional, cuyo objetivo principal es lograr que para 2008-2012, los países desarrollados disminuyan sus emisiones de gases con efecto invernadero, en un 5 por ciento menos del nivel de emisiones de 1990.

La aplicación de este protocolo causará previsiblemente a los países de la OPEP una pérdida de ingresos anuales de entre 20 mil y 60 mil millones de dólares, razón por la que los gobiernos del cartel quieren obtener en la Cumbre del Clima la promesa de ayudas tecnológicas para diversificar su economía.

En el caso de Venezuela el impacto de los acuerdos de Kioto quedará mitigado por el hecho de que el país latinoamericano tiene grandes extensiones de bosque –450 mil kilómetros cuadrados– que se pueden contabilizar como sumideros por su facultad de absorber los gases contaminantes. El acuerdo estudia hasta qué punto se pueden contabilizar los sumideros forestales a la hora de calcular la cuota de reducción de emisiones asignada a cada país, que en el futuro deberían aplicar también los países que hoy están en desarrollo. Su situación geográfica hace que Venezuela, pese a ser el tercer país productor de la OPEP, vaya a ser “uno de los menos afectados”.<sup>[8]</sup>

A pesar de que Venezuela es un país petrolero, la cantidad de emisiones de estos gases es relativamente baja y corresponde al 0.48% de todas las emisiones mundiales. Solo Estados Unidos, por ejemplo, produce el 35%

De acuerdo con investigaciones realizadas, y en cuanto a cantidad de emisiones, Venezuela se encuentra en el cuarto lugar en América Latina después de Brasil, México y Argentina, por lo que no somos grandes productores de emisiones con efecto invernadero.

Aun así el plan es el de exhortar a todo el país a colaborar con esta iniciativa en el sentido de difundir lo que significa el fenómeno del cambio climático y cómo influye negativamente sobre las especies animales y vegetales, así como, por el contrario, su control, redundará en beneficios.

Venezuela abogó por la continuidad del Protocolo de Kioto y defendió el cumplimiento de este convenio, durante la última cumbre del Cambio Climático, organizada por la ONU, que se celebró en Cancún (México).

La cumbre de Cancún implicó el reto de llevar esta batalla hasta que se logre un compromiso que nos ayude a solventar la catástrofe que estamos viviendo.<sup>[9]</sup>

## **CAPÍTULO 3**

### **MARCO METODOLÓGICO**

En este capítulo se explican los procedimientos para el cumplimiento de los objetivos planteados, iniciando con la descripción de la situación actual en cuanto al uso del GNV como combustible alternativo tanto en Venezuela como a nivel mundial, además se analizaron las alternativas tecnológicas de conversión vehicular, procedimiento promovido por PDVSA a través del programa AUTOGAS. Necesariamente para entender el proceso de combustión que ocurre en el interior de los motores se establecieron las propiedades fisicoquímicas más importantes del combustible predominante en el mercado venezolano como lo es la gasolina y el GNV, para poder comprender, y finalmente comparar las emisiones de escape de ambos combustibles y evaluar la factibilidad de cada uno de ellos.

#### **3.1 Tipo de investigación**

La investigación es de tipo documental y de campo, se basa en toda la información recolectada de distintas fuentes escritas para el desarrollo de cada uno de los objetivos planteados, así como también entrevistas no estructuradas realizadas a entes capacitados en el tema. Además se efectuaron visitas a talleres mecánicos autorizados por PDVSA donde se observó el proceso de conversión de los vehículos al sistema dual.

## **3.2. Etapas de la investigación**

### **3.2.1. Descripción de la situación actual en cuanto al avance del proyecto del uso del gas natural como combustible vehicular tanto en Venezuela como a nivel mundial.**

Para la realización de este objetivo se recopiló toda la bibliografía necesaria para su desarrollo proveniente de fuentes escritas tales como tesis de grado, textos universitarios especializados, papers, informes técnicos, internet, etc., así como entrevistas no estructuradas al personal de los talleres de conversión de GNV, que sirvieron de guía y soporte para establecer cómo los diferentes países del mundo están usando este valioso combustible. Esta búsqueda exhaustiva de información, también permitió deducir cuáles son los motivos que incentivan a la población a la preferencia de un combustible frente a otro.

Para la obtención de datos actuales, fue necesaria una serie de reuniones con los Superintendentes de Conversión Distrito Oriente Jerrit Bermúdez y Guillermo Valbuena, de PDVSA AUTOGAS, quienes además solventaron diversas dudas generadas durante el desarrollo de este proyecto.

Según Natural Gas Vehicle Statistics (IANGV) publicada en su página web, se pudo conocer aproximadamente el número de vehículos y estaciones de servicio que se encuentran activos en los diversos países donde se utiliza GNV y, por supuesto permitió comparar la situación de Venezuela con el resto del mundo, para así discutir cuales son las oportunidades que posee nuestro territorio ante el uso de GNV como combustible automotor.

### **3.2.2 Análisis de las alternativas tecnológicas de equipos de conversión del gas natural vehicular.**

A través de documentos especializados publicados en la web, y de información recolectada en los talleres de conversión, se estudiaron las tecnologías más utilizadas en el proceso de conversión vehicular. Ambas tecnologías fueron estudiadas con detenimiento en los talleres de conversión, para así establecer conclusiones, semejanzas y diferencias entre una y otra, todo esto con la finalidad de deducir porque el estado venezolano decidió cambiar hacia la tecnología de presión positiva.

Además del soporte bibliográfico, fue necesario el apoyo de todo el personal capacitado que labora en el taller de conversión elegido, ubicado en la ciudad de Puerto La Cruz, pasando por los ingenieros hasta el personal obrero encargado de convertir los vehículos al sistema dual. El personal en cuestión, fue el encargado de mostrarnos el proceso, así como también la secuencia que debe llevarse a la hora de realizar la conversión. Todo esto permitió determinar, entre otras cosas, cuáles son los valores máximos permitidos según las diversas normas COVENIN, que se deben mantener para lograr un proceso eficiente, seguro y que cumpla con lo establecido.

### **3.2.3. Estudio de las propiedades fisicoquímicas del gas natural vehicular como combustible.**

Para el entendimiento de estas propiedades fue necesaria la recopilación bibliográfica de textos relacionados con vehículos de combustión interna, así como entrevistas no estructuradas tanto a profesores como a compañeros de clases, revisión de páginas web relacionadas con el tema de estudio, trabajos de grado, entre otras, en fin

todo aquel material necesario para la comprensión de la importancia de estas propiedades en la escogencia de un combustible frente a otro.

#### **3.2.4 Comparación de las emisiones de escape de la gasolina con los generados con el empleo del gas natural vehicular.**

En esta etapa fue necesaria la revisión de páginas web especializadas, que permitieron comprender la situación mundial en cuanto al panorama actual de contaminación, proveniente principalmente de la combustión de combustibles fósiles en el parque automotor. Esto permitió el análisis de las emisiones producto del uso de GNV y de la gasolina, con el objetivo de comprender a través de su comparación cual de los dos combustibles representa una alternativa más ecológica.

De igual forma, fue necesaria la visita en carácter de participante de la charla “Emisiones producidas por el GNV” dictada por el Superintendente de Conversión Distrito Oriente Jerrit Bermúdez, que permitió constatar los datos obtenidos a partir de la bibliografía revisada.

### **3.3. Técnicas y herramientas a utilizar**

Para el desarrollo de esta investigación fue necesario utilizar herramientas que permitieron recolectar el mayor número de información necesaria, con el fin de obtener un conocimiento más amplio sobre la factibilidad del GNV como un combustible alternativo de la gasolina.

Por la naturaleza del estudio se requirió de la técnica de revisión y recopilación de todo el material proveniente de fuentes escritas, incluyendo publicaciones técnicas, informes, tesis de grado, páginas web, papers y por supuesto textos universitarios especializados relacionado con el GNV y sus emisiones, así como las ventajas y desventajas que

este presenta y las razones que hacen que de este combustible el más atractivo ante las demás alternativas.

Además de la recopilación documental, fue necesario realizar entrevistas del tipo no estructuradas, que consisten en aclarar cualquier duda o inquietud acudiendo a profesionales especializados en el área de control, transporte y almacenaje de gas y al personal que día a día labora en los talleres de conversión. Estas entrevistas permitieron comprender a cabalidad como es realmente el proceso de conversión, además de establecer la importancia y los beneficios que le trae esta política energética al país.

Otra técnica utilizada para lograr el desarrollo de esta investigación fue la observación directa. Esta técnica consistió en visitas al taller de conversión "El SOLIDARIO 2000" ubicado en la ciudad de Puerto La Cruz, Edo. Anzoátegui; a cargo del inspector de AUTOGAS, Ing. Eduardo El Juri. Esta visita permitió observar el ambiente que se maneja a la hora de la conversión de los vehículos así como también establecer las variables más críticas que se deben tomar en consideración.

## **CAPÍTULO IV**

### **DESARROLLO DEL PROYECTO**

Según datos recientes de la INGVA (International Natural Gas Vehicles Association) en el mundo existen actualmente más de 11.000.000 de vehículos a GNV, desde Argentina hasta India, pasando por Japón, Rusia, Italia, Alemania, Francia, entre otros. El desarrollo de esta tecnología no obedece a un patrón homogéneo y tiene que ver con varios factores, como la disponibilidad de recursos naturales, la preocupación local por el problema de la contaminación, los precios de los combustibles y las políticas públicas desarrolladas para promover el uso del GNV. Pero lo que sí muestra una tendencia constante es la dirección de los mercados y de las políticas institucionales hacia la creación y desarrollo de un potente sector del GNV, especialmente en la Unión Europea y los países industrializados, donde los niveles de contaminación son muy altos y la única manera de disminuirlo es usando combustibles limpios. <sup>[10]</sup>

#### **4.1. Descripción de la situación actual del empleo del gas natural como combustible vehicular tanto en Venezuela como a nivel mundial**

##### **4.1.1. Situación actual del empleo del gas natural como combustible vehicular en América latina**

El consumo de gas natural vehicular continúa creciendo en toda América Latina. Más de cuatro millones de automóviles circulan en el continente y es posible registrar considerables aumentos en el número de

conversiones y en la cantidad de puestos de abastecimiento capaces de suministrar el combustible a un número aún mayor de ciudades.

Aunque el gas natural es desde hace mucho tiempo es un combustible popular para la flota de vehículos en la región, el uso del GNV ha recibido un apoyo decisivo en los últimos tiempos en diversos países. Las preocupaciones por la seguridad de suministro energético, la disponibilidad de gas natural, las emisiones de gases de efecto invernadero y la volatilidad de los precios del petróleo, son tan sólo una parte de los imperativos que impulsan la industria, además de una mayor expansión de las redes de distribución de gas, una mejor oferta de empleos y el consecuente desarrollo social y económico de las naciones.

Diversos estudios relacionan la evolución de los distintos sectores económicos con el ciclo de vida del producto. El sector transporte constituye un objetivo inmediato de gasificación, por representar el principal problema de distorsión entre oferta y demanda, en el caso diesel, y existir una buena experiencia en el caso de motores de gasolina. La adopción de combustibles menos contaminantes se transformó en una necesidad; más de 11 millones de autos en el mundo, entre camiones y autobuses, ya circulan con gas natural y se estima que la flota mundial de vehículos con GNV podrá llegar a 50 millones en 2020. Los vehículos movidos por gas natural emiten menos de gas carbónico que un auto de gasolina. La intensificación del gas en los automóviles busca minimizar la contaminación ambiental, especialmente en los centros urbanos, con la eliminación del contenido de plomo en las gasolinas, la reducción del contenido de azufre en el diesel, la disminución de la presión de vapor de las gasolinas y del contenido de hidrocarburos aromáticos. El gas está avanzando conforme lo hace la industria automovilística, que ha adoptado tecnologías de vanguardia en relación con

la eficiencia de los combustibles. La industria está, desde hace años, inmersa en investigaciones y desarrollos de las áreas de la infraestructura y la tecnología del vehículo automotor, tal es el caso de las empresas más importantes del mundo, con marcas como Iveco, Aspro, GNC Galileo, Agira, Cummins Wesport, Yutong Daewoo, Neogas, Gazel, Hyundai, New Flyer, Man, etc. Además, el desarrollo del combustible gaseoso es uno de los objetivos más perseguidos por gobiernos latinoamericanos como Bolivia, Venezuela o Colombia, a través de medidas e incentivos con el respaldo de entidades estatales competentes en la regulación, control y vigilancia de esta industria.

En muchos países de la región existe un punto de coincidencia, el cambio de la matriz energética de los mercados internos para sustituir los combustibles líquidos por gas natural, que redundaría en beneficios económicos para cada país. Diferentes iniciativas y campañas privadas contribuyen a aumentar las conquistas del sector, sea concediendo financiación para las conversiones, descuentos en impuestos o comunicando los beneficios de la elección de un combustible menos contaminante y más económico en el mercado. Actualmente, la industria del GNV está concentrada en satisfacer los requerimientos de las flotas comerciales con elevado consumo de combustibles, tales como transportadoras de alimentos, de pasajeros, transportes desde y hacia aeropuertos y camiones de empresas de servicios públicos.<sup>[11]</sup>

#### **4.1.1.1. Situación actual del empleo del gas natural como combustible vehicular en Venezuela.**

Por las carreteras venezolanas transitan aproximadamente 64.818 automóviles que funcionan con gas natural vehicular. Esta cifra devela que

sólo un pequeño porcentaje del parque automotor consume el combustible alternativo, mientras que más de 7 millones de carros usan el carburante líquido.

Gracias al surgimiento del Programa Autogas, un porcentaje de vehículos tiene instalado el sistema que les permite andar con GNV. Este proyecto, impulsado por el gobierno desde el año 2006, ha fomentado el uso de una energía menos contaminante y segura, por lo que, según datos analizados y expuestos en la tabla 4.1., Venezuela se encuentra de número 6 en el ranking latinoamericano, con miras al ascenso en el empleo de este combustible limpio.

**Tabla 4.1. Situación actual de Venezuela con respecto a Latinoamérica en cuanto al empleo de GNV como combustible.**

<b>País</b>	<b>Vehículos convertidos</b>	<b>Estaciones de servicio</b>
<b>Argentina</b>	<b>1.918.404</b>	<b>1.882</b>
<b>Brasil</b>	<b>1.631.919</b>	<b>1.787</b>
<b>Colombia</b>	<b>320.036</b>	<b>614</b>
<b>Bolivia</b>	<b>140.400</b>	<b>156</b>
<b>Perú</b>	<b>105.659</b>	<b>146</b>
<b>Venezuela</b>	<b>43.000</b>	<b>150</b>
<b>Chile</b>	<b>8.064</b>	<b>15</b>

Entre el año 2007 y 2011, las empresas privadas y personas particulares han entregado 18.036 automóviles para su conversión. Otras 16.361 unidades pertenecientes al Estado han empezado a utilizar el GNV

para movilizarse y 30.421 unidades en las ensambladoras se les ha instalado el sistema de Autogas antes de su comercialización.

En la figura 4.1 se presenta la situación actual de los puntos de expendio existentes en el país, se observa que las estaciones de servicio se ubican en los distritos: Occidente, Centro, Metropolitano y Oriente, distribuidos en los estados Bolívar, Monagas, Anzoátegui, Aragua, Guárico, Carabobo, Yaracuy, Lara, Falcón, Zulia, Miranda y Caracas, estas estaciones están ubicadas estratégicamente ya que se surten directamente del sistema de redes y gasoductos instalados a lo largo de todo el territorio.



**Figura 4.1. Situación actual en Venezuela de los puntos de expendios existentes, en construcción e ingeniería. [5]**

En la actualidad se encuentra un total de 134 estaciones de servicio operativas, resultando el distrito capital el que tiene mayor número de estaciones, siguiendo el estado Miranda con 27 puntos de expendio. En

construcción se encuentran 149 estaciones y 89 en ingeniería, para un total de 367 estaciones; para el caso de las zonas donde aún no llega el combustible gaseoso por medio de tuberías, PDVSA ha lanzado una alternativa, gasoductos virtuales, en estos se combinan las últimas tecnologías en compresión y descompresión de gas natural, consiste en un sistema modular de compresión, transporte y descompresión de GNV, para abastecer de Gas Natural por carretera a pueblos, grupos de pueblos, industrias o estaciones remotas de GNV, donde la distancia, el volumen y estacionalidad de la demanda, no justifican económicamente la inversión en un Gasoducto.

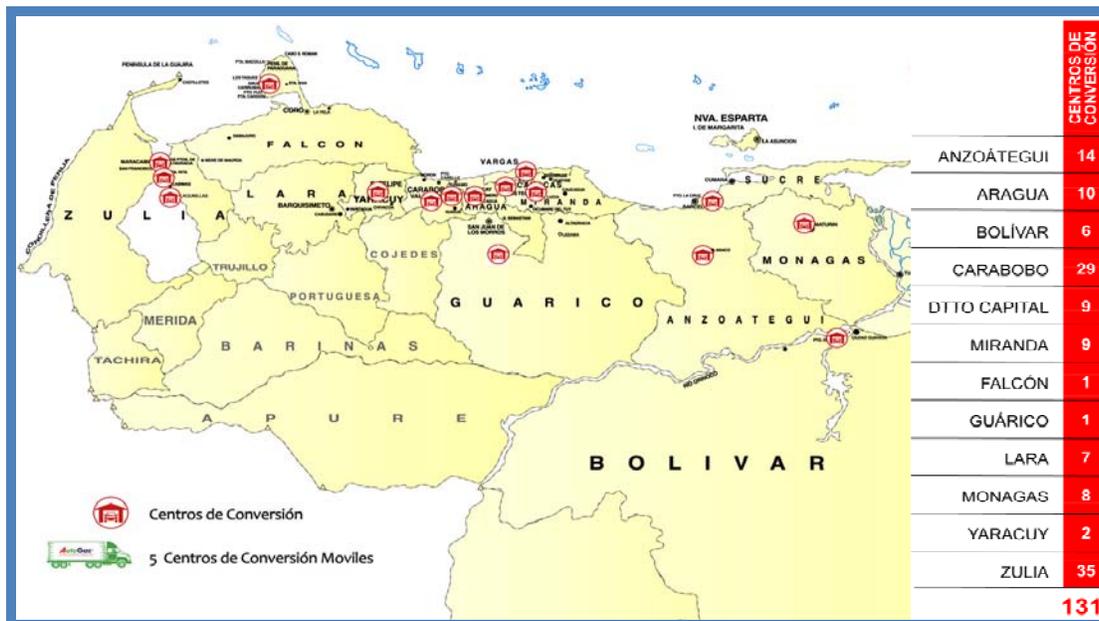
Este sistema fundamenta su tecnología en conceptos de diseño totalmente modulares que permiten la construcción de instalaciones de abastecimiento de Gas Natural por carretera en forma rápida, sencilla y económica, totalmente escalable en función del crecimiento de la demanda.

Actualmente en Venezuela esta nueva tecnología de transporte para el hidrocarburo gaseoso se encuentra en una fase de ingeniería avanzada y se pretende que la primera zona que goce de este beneficio sea el oriente del país (estado Bolívar).

La segunda Fase del proyecto comprende las perspectivas del estado venezolano para el año 2012, esto involucra la incorporación del 32% de GNV en la matriz energética nacional de los combustibles del sector transporte, liberando un equivalente 37,36 MBD de combustible líquido que generará cerca de 1500 MM\$ a recuperar al cabo de 2 años de exportación. Para el 2012-2013 se pretende contar, aproximadamente, con 563 estaciones de servicio operativas a GNV, de las 1800 estaciones que actualmente expenden gasolina.

El impulso del estado venezolano al promover el combustible gaseoso, surge en la necesidad de obtener beneficios a largo plazo con estas exportaciones, para invertirlo en obras de labor social. Es necesario concientizar a la población a realizar la conversión de sus vehículos en este momento, donde el costo del kit, la instalación y hasta el expendio del gas corren por cuenta de PDVSA. Este panorama no será el mismo al cabo de algunos años, cuando la demanda de gas y la cantidad de estaciones de servicios sean suficientes. Para ese momento PDVSA considerará culminado el proyecto de conversión gratuita.

En la figura que se muestra a continuación se presentan los centros o talleres de conversión a nivel nacional. Actualmente existen 131 talleres y una gran cantidad se encuentran en construcción, en la figura 4.2 también se observa que existen 5 talleres de conversión móviles que se desplazan alrededor de todo el país, convirtiendo vehículos. Estos talleres trabajan directamente con PDVSA y son establecimientos debidamente autorizados por el ministerio de energía y petróleo, en ellos se realizan las pruebas de pre conversión, conversión y post conversión.



**Figura 4.2. Situación actual de los centros de conversión en Venezuela.** [5]

En la prueba de pre conversión primeramente hay que verificar que el carro este homologado por el Intevep, luego se procede a llenar un formulario de evaluación que indique que el vehículo es apto para convertir a gas natural, este debe funcionar correctamente y no puede presentar ningún tipo de fallas. Posterior a ello, se realiza la prueba de conversión, en esta etapa se adapta el vehículo para que funcione con GNV y gasolina y finalmente se realiza la prueba de post conversión, esta consiste en realizar una serie de pruebas al vehículo para evaluar las condiciones de operación bajo ciertas especificaciones con la finalidad de garantizar la calidad de la conversión. En dichas pruebas se evalúan los cambios de combustible, potencia, aceleración y desaceleración, entre otros

Cabe destacar que el costo de los equipos para efectuar la conversión y el pago de la mano de obra ha sido asumido por PDVSA. La ventaja que

presenta nuestro país es que la modificación de los vehículos se realiza gratuitamente, tanto para el sector privado como público, siendo Venezuela el único país en el mundo donde esta conversión se realiza de manera gratuita. La finalidad es de minimizar el impacto de la implementación de esta nueva tecnología ya que el kit de conversión de 5ta generación tendría un valor en el mercado actual de 3500\$.

Se espera que cuando en el país exista un número considerable de estaciones de servicio, aumentar el precio de la gasolina para incentivar a la población al uso del combustible alternativo; lo que se pretende con esto, no es sacar del mercado a la gasolina, sino más bien convertir al gas natural en el combustible preferencial del país por todas las ventajas que este presenta en comparación con la gasolina.

El notorio retraso de este importante proyecto y la falta de publicidad para vender el mismo, se puede atribuir a que en primer lugar se pretenden completar la instalación en el país de una fábrica, en donde se manufacturen los dispositivos necesarios para realizar el proceso de conversión, desde los cilindros de almacenamiento, tuberías, hasta sensores y reguladores. Esta fábrica actualmente se encuentra en proceso de construcción y para lograr para tal efecto se firmaron acuerdos estratégicos con tres empresas argentinas para la manufactura de los cilindros y demás dispositivos.

Los contratos para la ingeniería, procura y construcción de equipos de gas vehicular se suscribieron entre las empresas argentinas Kioshi Compresión, T.A. Gas Technology, GNC Galileo y la Venezolana PDVSA.<sup>[12]</sup>

#### **4.1.1.2. Situación actual del empleo del gas natural como combustible vehicular en Argentina.**

El 21 de diciembre de 1984 fueron inaugurados los dos primeros puestos de gas vehicular en la ciudad de Buenos Aires, durante una jornada en la que se convirtieron 300 taxis al sistema y cerca de 100 vehículos que pertenecían al estado. Un cuarto de siglo después, Argentina es potencia y referencia mundial indiscutible en este combustible, fundamentalmente por su disponibilidad de gas y necesidades económicas. Para el año 2010, se contabilizaron en este país más de 1,8 millones de vehículos de combustión a gas natural vehicular, tres veces más que en 1997, y más de 1.800 estaciones de servicio, esto se puede observar en la figura 4.1.

Cabe destacar que Argentina es el país líder mundial en el desarrollo de tecnología de GNV, debido a sus 26 años de experiencia en este negocio, este país es uno de los más grandes exportadores de kit de conversión, exportan tecnologías de 3era generación (aplicada tanto a vehículos carburados como fuel injection) y 5ta generación (solo para vehículos fuel injection).

El GNV es el combustible garantizado en los surtidores para los próximos años. Una de las razones es la gran diferencia de precio con la gasolina, ya que los autos convertidos representan para el usuario un considerable ahorro de 73% en comparación con los combustibles líquidos. La brecha que separa al gas vehicular de la gasolina es actualmente la más alta de su historia 4:1.

#### **4.1.1.3. Situación actual del empleo del gas natural como combustible vehicular en Brasil.**

En el mercado Brasileño de GNV, el 2009 fue un año importante para el retorno de este combustible como una alternativa factible para el usuario, tanto por el costo como por la confianza en la disponibilidad de suministro de gas natural. El escenario de disponibilidad de gas natural y su demanda interna cambió considerablemente, desde el momento en que el gobierno se pronunció con respecto al uso en vehículos. El mercado de GNV tiene un potencial muy grande en el país y las campañas de incentivo para su uso son fundamentales para el crecimiento del sector. Con el aumento de los precios del alcohol, para el año 2009, el número de conversiones de vehículos y el volumen de venta de gas en los surtidores ha aumentado. La cifra de vehículos convertidos para el 2010 fue de 1.631.173, contando con un aproximado de 1700 estaciones de servicios a lo largo de todo el territorio nacional. La ventaja económica del gas natural es revelada cuando se compara el precio medio de la gasolina y del alcohol, junto con las distancias recorridas con cada combustible. El valor medio del GNV por kilómetro recorrido es de 0,12 reales, mientras que el valor de la gasolina y del alcohol es de 0,25 y 0,27 reales, respectivamente.

#### **4.1.1.4. Situación actual del empleo del gas natural como combustible vehicular en Bolivia.**

A comienzos de 2004, el consumo de gas natural vehicular en Bolivia equivalía a menos de 15% de la demanda de gasolina. A marzo de 2007 ya era equivalente a 36% de la demanda de gasolina. Actualmente el país cuenta con una cantidad de 140.000 vehículos convertidos y una cantidad de aproximadamente 160 estaciones de servicio. Este resultado significa que en

Bolivia el gas natural vehicular tiene una creciente participación en la demanda de combustibles automotores. La conversión a GNV significa un ahorro de 60% del presupuesto de los choferes para gasolina. Además, Bolivia es el segundo país de la región con las mayores reservas de gas natural, después de Venezuela, debido a esto adoptó la política de transformar la matriz energética de su parque automotor. En cuanto a la conversión, los kits tienen un valor de 600\$ por equipo, lo que hace una requisitoria de 2,1 millones de dólares. De acuerdo con las estadísticas, La Paz es la ciudad que necesita el mayor número de conversiones y la instalación de un mayor número de estaciones de servicio de GNV. Sin embargo, el problema ha sido que la capacidad de los gasoductos es insuficiente para transportar los volúmenes necesarios del energético. Las obras del Tramo III del Gasoducto Carrasco Cochabamba (GCC), que se extiende unos 173 kilómetros entre las localidades de Carrasco y Villa Tunari, tienen un avance cercano al 90% y preveen esté finalizado para julio de 2012. De esta manera, se podrá satisfacer la demanda de gas natural de los departamentos del oeste del país.

La disponibilidad de GNV y la promoción de la conversión permitieron estabilizar la demanda de gasolina en los últimos años, mientras que la demanda de diesel crece considerablemente. Sin el GNV, la curva de crecimiento de la gasolina sería similar a la del diesel. Este cambio de la matriz energética del parque automotor será uno de los factores para que Bolivia pueda exportar gasolina, GLP y diesel en el futuro. Se consumirán menos carburantes y la producción de las refinerías y plantas de GLP será vendida al mercado externo a precios internacionales.

#### **4.1.1.5. Situación actual del empleo del gas natural como combustible vehicular en Perú.**

El inicio de la expansión del uso del GNV ocurrió hace aproximadamente 5 años. Del total de las conversiones que se realizaron desde 2006, casi 80% de los vehículos están dirigidos al negocio del taxi, pues al utilizar el carburante natural les resulta más rentable. Con el uso de GNV es posible ahorrar hasta 75% en el costo de combustibles, una mayor vida útil del motor, reducción por costos de mantenimiento del mismo y menor contaminación son otras ventajas que ofrece este tipo de carburantes, según un estudio de la Asociación de Grifos y Estaciones de Servicio de Perú (Agesp). “El automóvil que se pretenda transformar a GNV debe estar en buenas condiciones de funcionamiento (encendido e instalación eléctrica)”, destaca el estudio.

Según estudios realizados el país cuenta con 105.659 vehículos convertidos, y alrededor de 105 estaciones de servicios activos para el presente año. La mayor demanda no sólo se concentra en Lima, sino también en regiones como Arequipa, Cusco, Lambayeque, Piura, La Libertad y Ancash, entre otras. El sistema financiero tiene una participación cada vez más activa en las conversiones de GNV, y a la fecha ya 18 entidades otorgan estos créditos. En respuesta a la gran demanda del gas natural, NEOgas ha desarrollado equipos para el transporte y la entrega del gas comprimido utilizando la más avanzada tecnología, haciendo posible así la llegada de gas natural a lugares donde aún no hay gasoductos. La empresa efectuó un desembolso de US\$750 mil para la ampliación de la capacidad de compresión en la planta de Lurin, la compra de dos remolques de gas y la instalación de equipos de última tecnología a través de los cuales se hace el trasvasado del gas a los surtidores.

Un gasoducto virtual lleva gas natural a lugares donde no existe gasoducto. Para ello se debe disponer de compresores que comprimen el gas natural en recipientes especiales, para luego ser transportado en vehículos acondicionados hasta distancias de 300 kilómetros. En dichos lugares se tendrán dispositivos que permitan usarlo, hasta que sea reemplazado por otro recipiente, dando continuidad del abastecimiento. Los lugares pueden ser una estación de servicio (gasocentro) o para clientes particulares como fábricas, minas, grandes centros comerciales.

#### **4.1.1.6. Situación actual del empleo del gas natural como combustible vehicular en Colombia.**

Colombia cuenta actualmente con más de 300.000 vehículos de gas natural, atendidos en más de 600 estaciones de servicio que registraron un crecimiento de 28% durante los últimos años. En el sector, este país consolida su tercer lugar como potencia latinoamericana y octava a escala mundial. En Colombia, luego de más de veinte años de haber comenzado el programa de conversión, ya hay un poco más del 2,5% del parque automotor nacional en esta condición, pero la aspiración es llegar a las 500.000 unidades en los próximos años.

El Ministerio de Minas y Energía colombiano creó un plan que incorpora distintas leyes y resoluciones, entre ellas la exención del IVA por partes, equipos de estaciones de GNV y kits de conversión. Además, se espera la disminución paulatina de los subsidios a los combustibles líquidos en el corto y mediano plazo. Esto necesariamente se traducirá en aumentos periódicos en el precio del petróleo, lo que revelará finalmente la mayor competitividad del gas natural. Según un estudio de la Unidad de Planeación Minero

Energética (Upme) de Colombia, la industria del GNV, al registrar una de las mejores proyecciones de crecimiento del sector de gas, tendrá un alza de 7% anual hasta 2020. A su vez, se estima que la demanda de gas se elevará a un ritmo de 1,47% en los próximos 10 años. El análisis estadístico realizado por la Upme evidencia que el consumo de gasolina tendrá un descenso anual promedio de 0,5% hasta 2020, lo que posibilita no sólo una menor dependencia de los combustibles líquidos, sino, además, que la población escoja opciones menos contaminantes.

El país cuenta con más reservas probadas en producción de gas natural que de petróleo; adicionalmente existen sistemas de respaldo que mitigarían cualquier impacto y los agentes del gas natural están en capacidad de ofrecer seguridad de suministro. Los cálculos más recientes dicen que aún sin nuevos hallazgos, Colombia dispone de reservas para atender holgadamente la demanda de gas hasta 2017, algo similar a lo que ocurre con el panorama de las reservas de petróleo. La impronta colombiana en materia de gas vehicular es la gran variedad de modelos 0 kilómetros listos para andar con metano. Son seis las automotrices que ofrecen estas unidades y, entre todas, brindan ocho alternativas. El toque secreto de esta nueva ola de los cero kilómetros radica en que los motores de los vehículos de gas están siendo fabricados de acuerdo con las especificaciones de la geografía colombiana, e incluso el tipo de gas vehicular que se consume internamente y las condiciones propias del modelo que se va a comercializar. Por ejemplo, en el caso de Renault se hacen las adaptaciones a gas desde la planta de ensamblaje, lo cual le garantiza al cliente que se han seguido los protocolos debidamente aprobados por esa casa fabricante. En el caso de un nuevo modelo de taxi Kia, a petición de la empresa, el tanque fue colocado por debajo para evitar la pérdida de espacio en el baúl, una queja muy común entre los usuarios.

#### **4.1.1.7. Situación actual del empleo del gas natural como combustible vehicular en Chile.**

El impulso del gas natural vehicular no ha sido fácil en la industria chilena. Desde principios de la década pasada el sector privado ha querido desarrollar este negocio. Para ello, primero buscaron cambios tributarios y cuando los consiguieron, se produjo la crisis del gas argentino, que paralizó los planes de las compañías. A finales de 2007 se cerraron los gasoductos desde Argentina, lo que silenció los motores de 5 mil vehículos, entre taxis y flotas comerciales, que componían el parque automotor habilitado para funcionar con este combustible.

Pero la inauguración de la planta de GNL en Quintero, que ya abastece de gas a la zona central de país, terminó con el ostracismo y reabrió el negocio. La planta de GNL suministra diariamente entre 1,5 y 2 millones de metros cúbicos al sistema. La cadena comienza con Metrogas, que trae el gas hasta la capital y abastece a las distribuidoras. En sus mejores tiempos, este segmento llegó a representar 7% de sus ventas, con un volumen anual de 21 millones de metros cúbicos de gas natural.

Si bien los caminos son diversos, el objetivo es el mismo: conquistar a un cliente que quedó marcado por la crisis. El gas natural es más económico y mucho más competitivo que sus sustitutos, por ejemplo los precios del GNV en Chile son 25 y 30% más baratos que la gasolina. En la medida en que aparezcan mayores estaciones expendedoras, este negocio va a despegar solo. El desafío es que a corto plazo, cerca de 10.000 vehículos accionados por gas natural puedan transitar en las calles de Santiago y Valparaíso. También esperan que el servicio de Transantiago, sistema de transporte de la capital del país, pueda seguir los mismos pasos en el mediano plazo.

Existen varios proyectos en estudio para la instalación de estaciones propiedad de las distribuidoras de combustibles, lo que permitirá seguir ampliando la cobertura y tener presencia en las comunas más importantes de Santiago de Chile.<sup>[11]</sup>

#### **4.1.2. Situación actual del empleo del gas natural como combustible vehicular en Europa y el resto del mundo.**

El marco legal juega un papel clave en el desarrollo de los mercados. Por un lado, el cumplimiento del Tratado de Kioto, aprobado en 1997 y ratificado por la Unión Europea en mayo de 2002, exige un esfuerzo institucional y privado por reducir las emisiones de gases invernadero prácticamente hasta los niveles de 1990. Hay que tener en consideración que esto no se va a lograr sin recurrir a combustibles limpios. Tanto el Libro Verde como el Libro Blanco de la Comisión Europea sobre el suministro de energía y sobre una política común de transporte proponen importantes objetivos de sustitución de los combustibles líquidos por otros alternativos, como el GNV. La cuota de sustitución asignada al GNV para todo el parque de vehículos Europeo es del 2% para el año 2010 y del 10% para el 2020.

La Comisión Europea ha formado un Grupo de Contacto con los agentes privados de los diversos sectores implicados para estudiar las medidas que se deben adoptar para cumplir con estos objetivos. Una de las conclusiones a las que ha llegado el Grupo de Contacto es que: “La tecnología está suficientemente madura. El gas natural podría conseguir rápidamente una amplia cuota de mercado si estuviera apoyado por impuestos reducidos durante un periodo suficientemente prolongado hasta alcanzar un amplio mercado”.

**Tabla 4.2. Situación actual de Europa y el respecto del mundo en cuanto al empleo de GNV como combustible.**

<b>País</b>	<b>Vehículos convertidos</b>	<b>Estaciones de servicio</b>
<b>Paquistán</b>	<b>2.250.100</b>	<b>3.000</b>
<b>India</b>	<b>700.000</b>	<b>500</b>
<b>Italia</b>	<b>676.850</b>	<b>732</b>
<b>China</b>	<b>500.000</b>	<b>1.652</b>
<b>Ucrania</b>	<b>200.019</b>	<b>283</b>
<b>Egipto</b>	<b>139.804</b>	<b>119</b>
<b>Usa</b>	<b>110.000</b>	<b>1100</b>
<b>Rusia</b>	<b>100.020</b>	<b>249</b>
<b>Alemania</b>	<b>91.890</b>	<b>900</b>
<b>Japón</b>	<b>39.623</b>	<b>342</b>
<b>Canadá</b>	<b>12.140</b>	<b>96</b>

Al analizar la tabla 4.2., se puede observar que Paquistán lidera con un aproximado de 2.250.100 vehículos convertidos y circulando en el territorio, contando con cerca de 3.000 estaciones de servicios que son las encargadas de surtir a los automóviles con el gas.

La India es uno de los mercados con mayor crecimiento en el desarrollo del gas natural comprimido para uso vehicular con más de 700.000 vehículos convertidos y cerca de 732 estaciones de servicios. A través de políticas de incentivo para su uso, actualmente la mayoría de los vehículos de transporte público se encuentran convertidos al GNV.

Por su parte Italia es el país europeo con mayor la implementación de GNV como combustible automotor, con más de 676.000 vehículos adaptados

(1% del parque total; 10% en algunas zonas del país aproximadamente) y 732 estaciones de servicio. Además, hay planes para incrementar el número de estaciones de servicio en los próximos años. Entre otras actuaciones, las autoridades centrales (Ministerio de Medio Ambiente) han llevado a cabo un acuerdo con Fiat y Unione Petrolifera para desarrollar el uso de GNV.

China es uno de los mercados más importantes de Asia con 1.600 estaciones y 500.000 vehículos convertidos. El gobierno promueve políticas de incentivo para el uso del GNV en todo el país que incluyen la construcción de nuevas estaciones de carga cada año, y la ampliación de la red de gasoductos. El GNV es utilizado cada vez por más países como una alternativa al combustible líquido, debido a que es más económico y menos contaminante.

Alemania, posee un ambicioso plan para aumentar el parque de vehículos de GNV. Existen más de 90.000 vehículos a GNV. El objetivo a corto plazo es tener 1.000 estaciones de servicio abiertas para los próximos años (actualmente hay alrededor de 900). Según datos de Autoglobal.com, las distancias máximas entre estaciones de servicio son de 5 km en zonas urbanas y 20-25 km en las áreas rurales.

Al analizar lo antes mencionado, lo que impulsa a países como Argentina, Colombia, Chile, Brasil y la mayoría de los países europeos, al consumo de gran cantidad del gas como combustible vehicular es el alto precio de los combustibles líquidos, siendo estos tan elevados que la población es capaz de hacer grandes inversiones en el costo inicial de la conversión, sabiendo que al cabo de poco tiempo podrán recuperar el dinero invertido; debido a la economía que involucra a corto plazo el uso del gas natural como combustible. Además es atractivo en otros aspectos porque

trae beneficios adicionales en el vehículo tales como incrementar la vida de ciertos elementos como bujías, sistema de escape, carburador, y del lubricante.

Venezuela es el país latinoamericano con mayor cantidad de reservas de gas probadas, aunado a los bajos costos de producción de este hidrocarburo y su alta calidad como combustible, el estado venezolano ha decidido relanzar el proyecto AUTOGAS de manera gratuita. El proyecto tiene como objetivo disponer en el mercado interno de un combustible alternativo para uso automotor, que permitiera liberar combustibles líquidos de elevados costos de producción, como la gasolina y el diesel, y gran valor comercial, los cuales podrían ser exportados generando ingresos extras a la nación.

Otra razón de peso que promueve al estado venezolano al impulso del gas natural, es la existencia de una alta competencia en el manejo de combustibles gaseosos y un despilfarro de combustibles líquidos por parte de la población, comparado con otros países de la región.

Debido a la falta de información y educación acerca del tema, además del bajo precio del resto de los combustibles líquidos en el mercado, la población venezolana no siente la necesidad de la implementación del combustible gaseoso alternativo, alegando muchas veces “el peligro que representa el uso de gas natural”, que “puede causar explosión”, entre otras, desconociendo las inmensas ventajas que puede significar su uso. Un punto de interés y que no hay que dejar a un lado, es que el país cuenta con tecnología de punta para realizar las conversiones de los automóviles al sistema dual, tecnología utilizada por países líderes como Argentina, Pakistán, Brasil, entre otros, pero es la falta de concientización por parte de la población lo que limita el número de conversiones en el territorio. <sup>[13]</sup>

## **4.2 Análisis de las alternativas tecnológicas de equipos de conversión del gas natural vehicular en Venezuela.**

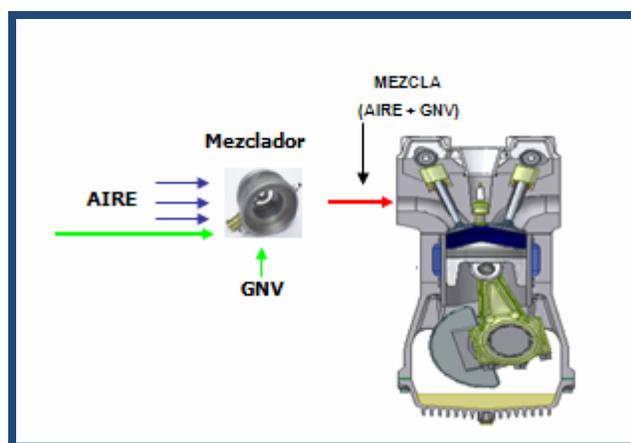
En la actualidad, se han desarrollado diferentes tecnologías de equipos de conversión, siendo los más comunes las de lazo cerrado y presión positiva. En los equipos de lazo cerrado, la mezcla del gas con el aire se realiza en el mezclador, ubicado en el ducto de admisión del motor, y la cantidad de gas es controlada por una válvula solenoide. En los equipos de presión positiva, la mezcla del gas con el aire se realiza en el múltiple de admisión mediante inyectores, y la cantidad es controlada mediante una central electrónica. En ambos casos la señal del sensor de oxígeno proporciona información para garantizar una relación óptima de aire combustible.

### **4.2.1. Lazo cerrado o 3era generación**

Los equipos de lazo cerrado constan principalmente de uno o varios cilindros de almacenamiento, válvulas, regulador de presión, conexión de llenado, canalizaciones rígidas y flexibles, sensor lambda, motor paso a paso, corrector de avance, selector de combustible. El GNV contenido a presión en el tanque (3000 psi) llega a un regulador mediante canalizaciones rígidas de dos o tres etapas con diafragmas. En el regulador la presión del tanque desciende hasta la presión de salida. Posteriormente, ocurre la mezcla del gas con el aire en un mezclador, similar al de los motores carburados, mediante la aspiración de gas por el múltiple de admisión, desconectándose los inyectores cuando el vehículo opera a GNV.

El mezclador es instalado en el ducto de admisión del motor produciendo obstrucción del paso del aire, afectando la potencia a gasolina

en la condición original del vehículo, así como se visualiza en la figura 4.3. El control del caudal de gas se realiza por medio de una electroválvula o motor paso a paso, recibiendo una señal electrónica de cerrar o abrir, permitiendo que las variaciones de las lecturas modifiquen caudal de gas, garantizando el ahorro de combustible con el vehículo en bajas revoluciones y dando más flujo de gas según el régimen de operación del motor.



**Figura 4.3. Mezclador aire-gas antes del múltiple de admisión.**

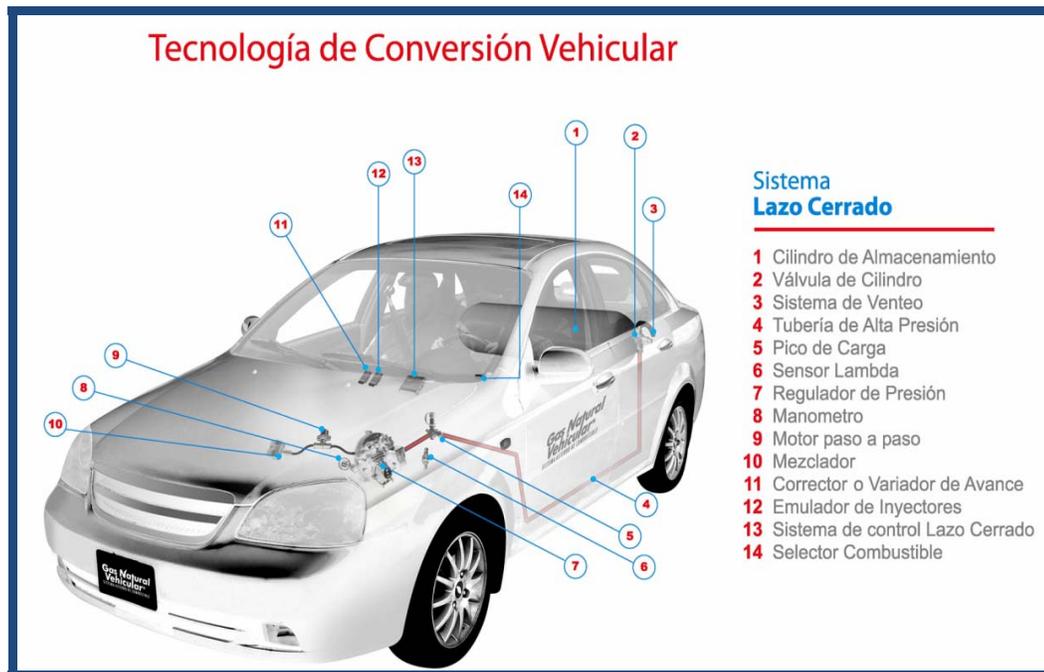
En este tipo de tecnología se debe realizar una prueba de potencia que incluye en primer lugar una medición de la potencia del vehículo a gasolina, vehículo original, como la mostrada en la figura 4.4. Posteriormente se realiza la medición de la potencia del vehículo a gasolina, mezclador instalado, según la Norma COVENIN 3228 no debe haber una pérdida mayor al 5%. Finalmente se realiza la medición de la potencia del vehículo a GNV, según la Norma COVENIN 3228 no debe haber una pérdida mayor al 20%.



**Figura 4.4. Prueba de potencia para la tecnología de lazo cerrado.**

#### **4.2.1.1. Componentes básicos del sistema de lazo cerrado o 3ra generación**

En la figura 4.5 se observan los elementos básicos que componen la tecnología de conversión vehicular por lazo cerrado. A continuación se describen brevemente los parámetros más importantes.



**Figura 4.5. Componentes básicos de control en la tecnología vehicular por lazo cerrado.**

### **A. Cilindro de almacenamiento**

Elaborado en acero sin costura, con tratamientos térmicos que garantizan un alto nivel de seguridad, capacidades de almacenamiento de 27, 40 y 80 litros, respectivamente.

Generalmente es instalado en el compartimento de carga del vehículo. En el caso de vehículos tipo sedan en la maletera y los vehículos de carga en el compartimento destinado para ello. El GNV se encuentra presurizado dentro del cilindro a 3000 psi.

Los cilindros deben estar cubiertos por una protección que absorba impactos que pueden ocurrir durante la carga o descarga del vehículo, esta

protección debe estar libre de componentes que puedan dañar el cilindro, sus válvulas y conexiones. Los tamaños de los cilindros comerciales, son mostrados en la figura 4.6. Todas estas especificaciones son detalladas en la norma COVENIN 3223-1, ubicada en el apéndice B.



**Figura 4.6. Tamaño de los cilindros de almacenamiento del GNV.**

**Método de fabricación:** Sin costuras

**Ensayo del prototipo a evaluar**

- Ensayo de tracción
- Análisis mecánica de la fractura
- Pruebas hidrostáticas de comprobación
- Ensayo de estallido
- Ensayo de presión cíclica
- Detección de defectos por ultrasonido

- Ensayo de dureza
- Ensayo de corrosión bajo tensión
- Prueba de fuga neumática

### **Sobre el mantenimiento**

- Revisiones periódicas
- Control de identificación
- Limpieza exterior
- Inspección visual externa
- Defectos de cuello
- Limpieza interior
- Inspección visual interna
- Ensayo hidráulico de expansión volumétrica
- Detección de defectos por ultrasonido y medición de espesores

### **Sobre la instalación**

- No debe existir contacto metálico entre cilindro y soporte
- Utilizar los elementos de aislación provistos con el soporte.
- El lugar elegido para la fijación del soporte deberá asegurar suficiente rigidez, para lograr una firme vinculación del conjunto al chasis.
- Posicionar el cilindro de manera que la válvula tenga fácil acceso(se observa la posición del cilindro en la figura 4.7).



**Figura 4.7. Cilindros de almacenamiento de GNV.**

### **B. Tubería de alta presión**

Es un tubo de acero inoxidable de  $\frac{1}{4}$ " resistente a presiones muy superiores a 3000 psi. Permite la comunicación entre el cilindro y los componentes del vano motor (válvula, reductor).

La tubería de alta presión se debe fijar firmemente al piso del vehículo con grapas de sujeción recubiertas de goma y remachadas al mismo, como se visualiza en la figura 4.8, se debe tomar en cuenta que no existan roces entre la tubería y la carrocería del vehículo ya que esto puede causar desgaste en las tuberías y por consiguiente fugas de gas, en los casos en que no se pueda separar la tubería de la carrocería se puede colocar secciones de mangueras de goma para aislarla, estas secciones no deben ser mayor a 10 cm, ya que se puede acumular residuos de agua y sucio provocando que la tubería se deteriore.

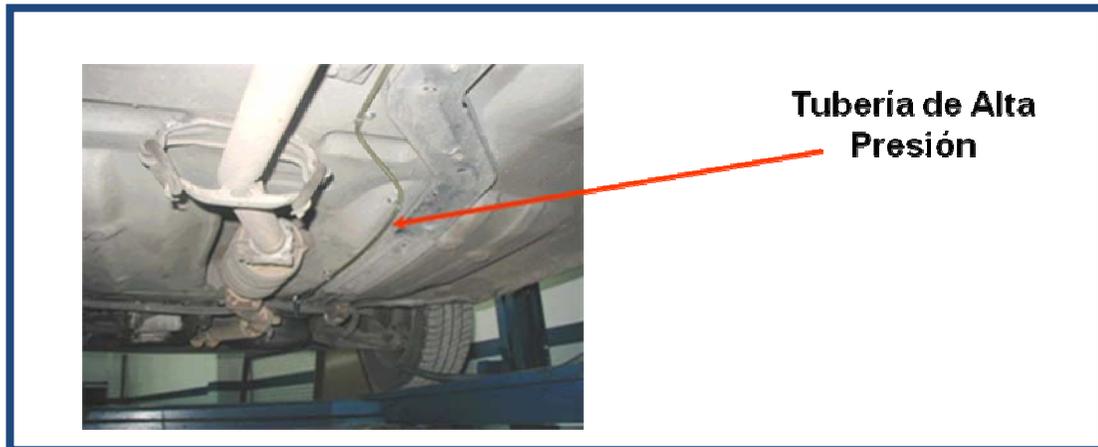


Figura 4.8. Instalación de la tubería de alta presión.

### C. Sistema de venteo

Permite conducir al exterior posibles fugas, está compuesto por mangueras y boquillas, así como se visualiza en la figura 4.9.

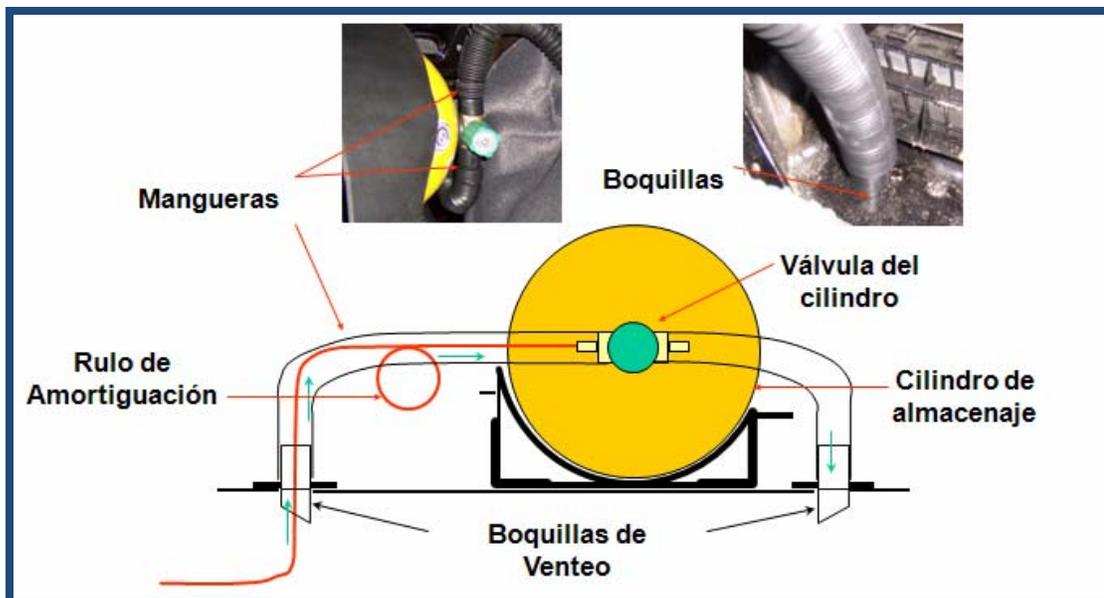


Figura 4.9. Sistema de venteo de GNV

## D. Sensores

Entre los sensores más importantes que posee un sistema de inyección de gasolina se encuentran los siguientes:

- Sensor para la medición RPM (Revoluciones Por Minuto), PMS (Punto Muerto Superior) o Fase.
- Sensor de mariposa TPS (Sensor de Posición del Acelerador, Throttle Position Sensor por sus siglas en Inglés).
- Sensor MAF (Sensor de la Masa de Aire, Mass Air Flow por sus siglas en Inglés).
- Sensor MAP (Presión Absoluta del Múltiple, Manifold Absolute Pressure por sus siglas en Inglés).
- Sensor CKP (Sensor de Posicionamiento del cigüeñal, Crankshaft Position Sensor por sus siglas en Inglés), existen del tipo Inductivo y de efecto Hall.
- Sensor IAT (Sensor de temperatura de aire, Intake Air Temperature por sus siglas en Inglés), y Sensor ECT de temperatura de refrigerante.
- Sensor de oxígeno en escape o Lambda.
- **Sensor de Oxígeno / Sonda Lambda**

Este sensor siempre está ubicado en el sistema de escape del vehículo, censa la relación Aire/combustible del motor, es decir, si está pobre o si está rica. Esta lectura es enviada a la ECU para que haga las correcciones necesarias para mantener siempre correcta la relación Aire/combustible. Las sondas mas comunes tienen un rango de trabajo de 0v a 1v pero también existen sondas 0v-5v.

### **E. Mezclador aire – gas**

Permite realizar la mezcla entre el aire y el combustible gaseoso, figura 4.10., suministrado por el regulador. Se diseña especialmente para cada tipo de motor. La “linealidad” es la capacidad del mezclador de dosificar gas y aire en proporciones justas en cada situación de funcionamiento del motor.

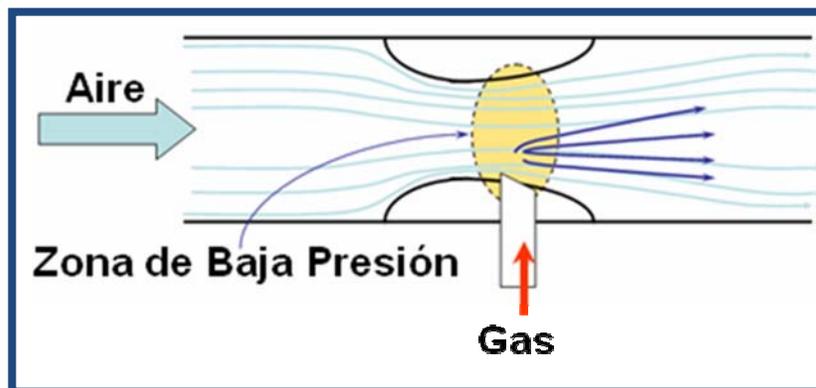
No todos los diseños de mezclador son perfectamente lineales, influyendo en gran medida en el desempeño con GNV.



**Figura 4.10. Mezclador aire- gas.**

Los diferentes modelos de mezcladores funcionan con el mismo principio elemental: Efecto de Venturi. Como podemos observar en la figura

4.11 en la zona de baja presión la velocidad del aire aumenta por lo que la presión disminuye.



**Figura 4.11. Efecto venturi en el mezclador aire - gas.**

Por la diferencia de presión entre la sección antes y después del mezclador y por la conservación de la energía, el aire al pasar por el mezclador aumenta su velocidad mezclándose con el GNV y luego es alimentado al motor.

## **F. Electroválvula**

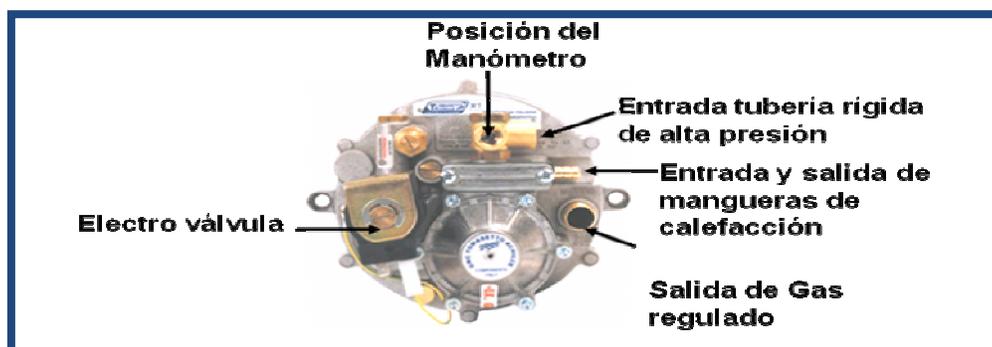
Es un dispositivo electromecánico ubicado entre el regulador de presión y el mezclador que actúa para controlar el caudal de gas natural, a través de las señales de proporción de mezcla entre aire y gas emanadas por la unidad de control electrónica, así como se observa en la Figura 4.12.



**Figura 4.12. Válvula de carga.**

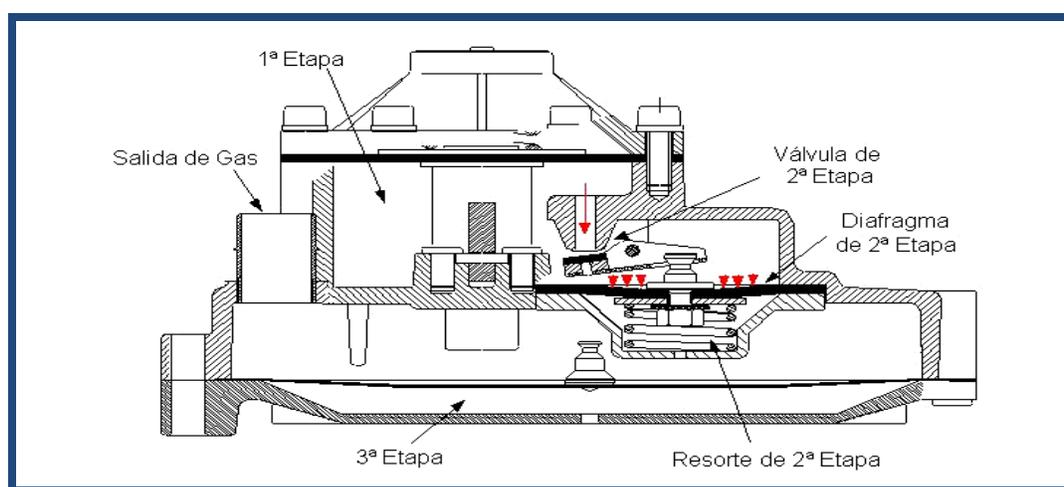
### **G. Regulador de presión**

Dispositivo que permite reducir la presión, en dos o tres etapas sucesivas (dependiendo de la marca comercial) hasta la presión de trabajo según el sistema de inyección del motor que se encuentra entre aproximadamente 29 y 36 psi. En la figura 4.13 se muestra la electro válvula ubicada entre la segunda y tercera etapa.



**Figura 4.13. Regulador de presión utilizado en el proceso de conversión mediante la tecnología de lazo cerrado.**

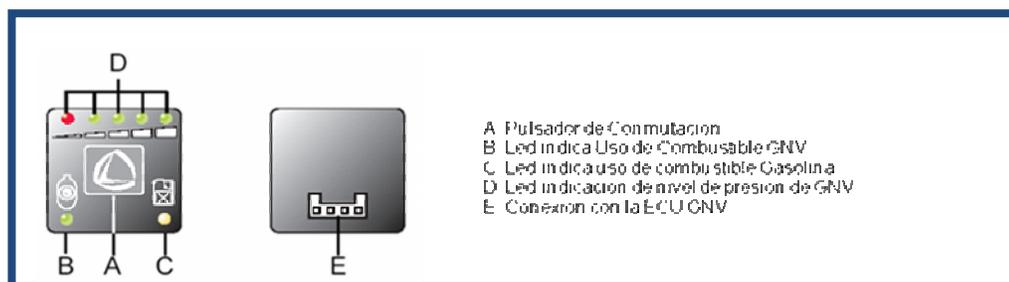
En la primera etapa se reduce la presión del gas de 3000 psi (máx) a 58 psi, durante la segunda etapa se reduce la presión de 58 a 22 psi y la tercera etapa modula la cantidad de gas entregada al mezclador, en función de la depresión generada en este, donde la electroválvula cierra totalmente el paso de gas hacia el motor, Figura 4.14.



**Figura 4.14. Etapas durante la regulación de presión utilizando la tecnología de lazo cerrado**

#### **H. Llave conmutadora - indicador de nivel**

Permiten seleccionar el tipo de combustible que se utiliza, gasolina o gas natural vehicular, realizando el cambio en forma manual o automática. Además, incorporan un dispositivo de seguridad que habilita las electroválvulas de gas únicamente con el motor en marcha, ver figura 4.15.



**Figura 4.15. Llave conmutadora e indicador de nivel.**

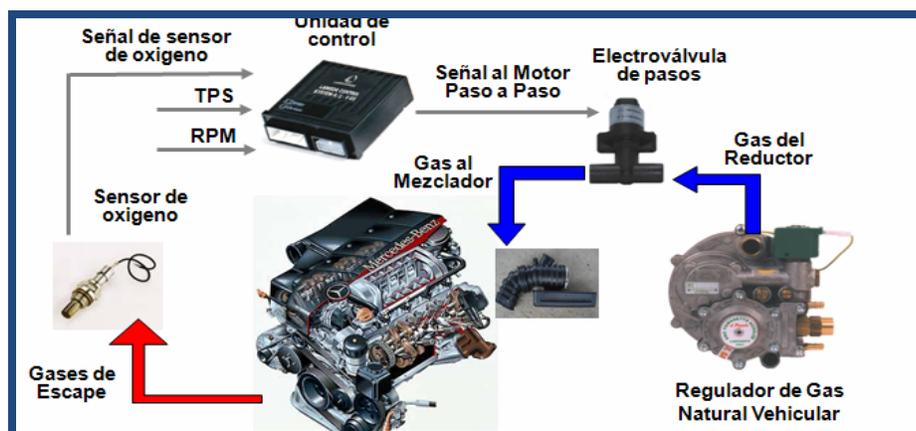
Para adecuar el funcionamiento del vehículo en gas natural vehicular se usan dispositivos electrónicos como:

- Emuladores de inyectores.
- Emuladores de Sonda lambda.
- Variadores de avance de encendido.
- Sistemas de lazo cerrado.

En línea general la tecnología de lazo cerrado cumple con lo siguiente:

- Ajustan en forma continua la carburación, adaptándose a distintos combustibles y condiciones.
- Reduce el consumo de combustible.
- Disminuye la emisión de contaminantes con respecto a las tecnologías anteriores a ella.
- Evitan el uso de gran parte de los elementos necesarios para la conversión.
- Durante la operación en lazo cerrado, se controla en la condición ideal de mezcla.

A continuación se visualiza en la figura 4.16 el proceso en línea general de la tecnología de conversión vehicular a través del lazo cerrado.



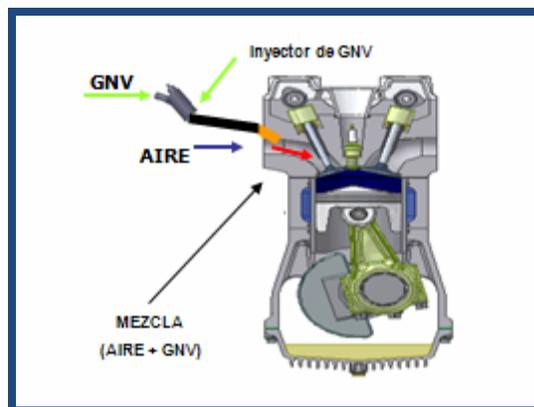
**Figura 4.16. Proceso general de la tecnología de conversión del tipo lazo cerrado o 3 era generación.**

#### 4.2.2. Presión positiva o 5ta generación

El equipo de presión positiva al igual que el de lazo cerrado, consta principalmente de uno o más cilindros de almacenamiento, válvulas, canalizaciones rígidas y flexibles, sensores de temperatura del refrigerante, sensor lambda, filtro de gas, regulador de presión, inyectores de gas, central electrónica y variador de avance.

Básicamente, el GNV contenido a presión en el tanque (3000 psi) llega a un regulador de presión mediante canalizaciones rígidas de dos o tres etapas con diafragmas. En el regulador la presión del tanque desciende hasta la presión de salida. Posteriormente, el gas es inyectado a presión en el múltiple de admisión de manera secuencial, mediante inyectores independientes que son comandados por una central electrónica de GNV, así

como se observa en la figura 4.17. El sistema de presión positiva mantiene el lazo cerrado modificando el caudal y el flujo para obtener una óptima mezcla aire-combustible, el cual es inyectado de forma independiente justo antes de la apertura de las válvulas.



**Figura 4.17. Mezclado de aire-gas dentro del múltiple de admisión mediante inyectores.**

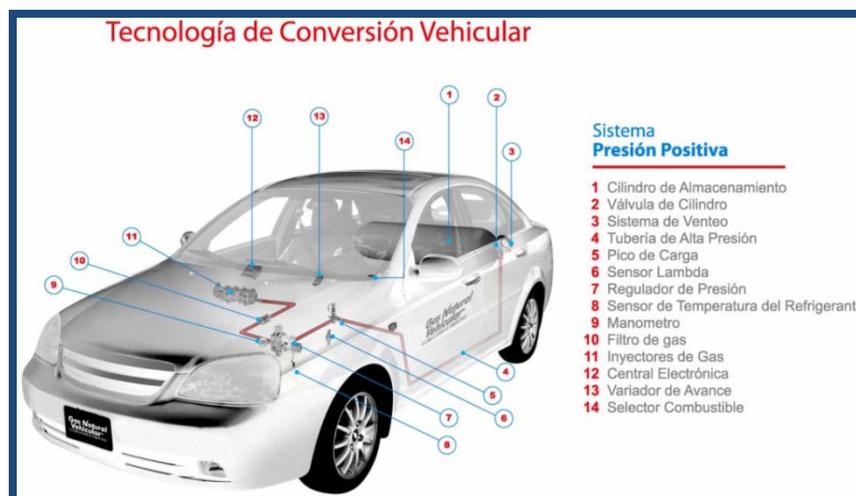
En este caso no es necesario realizar una prueba comparativa a gasolina después de convertido el vehículo ya que este tipo de tecnología no varía en ningún aspecto el rendimiento. Luego, se realiza una prueba comparativa de emisiones y una inspección general de la instalación.

Una vez que el vehículo es aprobado se realiza el levantamiento técnico de los componentes e instalación con la finalidad de que todos los vehículos que correspondan al modelo evaluado sean convertidos bajo la norma con altos niveles de estandarización.

Este tipo de tecnología es la utilizada actualmente por PDVSA para la conversión de los vehículos a un sistema dual, a través del programa AutoGas.

#### 4.2.2.1. Componentes básicos del sistema de presión positiva o 5ta generación

En la figura 4.18 se muestran los elementos básicos que componen el sistema de control mediante la tecnología de conversión vehicular por presión positiva. A continuación se describen brevemente los parámetros más importantes.



**Figura 4.18. Componentes básicos de control en la tecnología vehicular por presión positiva.**

**A. Cilindro de almacenamiento, sistema de venteo, tubería de alta presión, llave conmutadora, sensores de oxígeno**

Estos componentes son del mismo tipo que los usados en la tecnología de lazo cerrado y fueron descritos anteriormente.

## B. Sensores

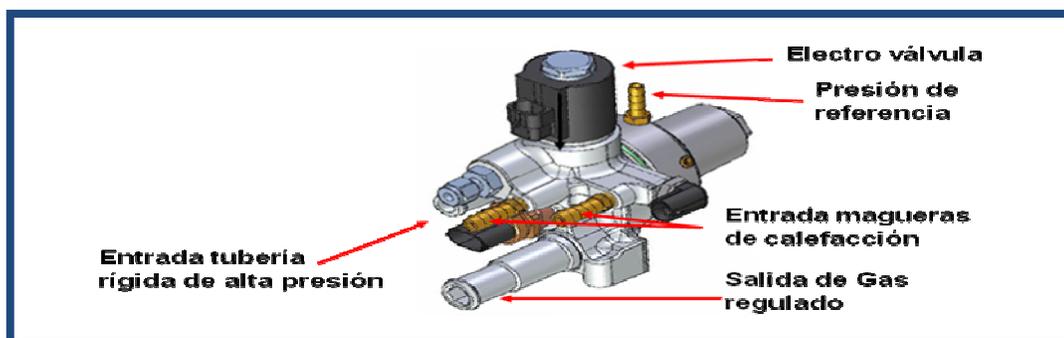
Para el sistema de GNV se utilizan básicamente tres sensores:

- Sensor de temperatura de refrigerante del motor.
- Sensor de temperatura del GNV posterior al regulador de presión.
- Sensor de presión del GNV posterior al regulador de presión.

Estos suministran las señales a la unidad de control eléctrica GNV para que determine el tiempo de inyección.

## C. Regulador de presión

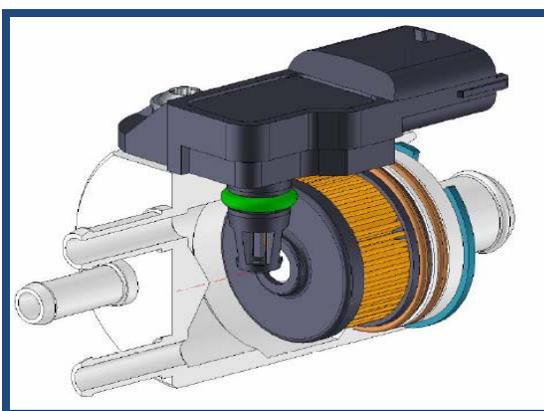
Dispositivo que permite reducir la presión de almacenamiento (3000psi), en una o dos sucesivas hasta la presión de trabajo (30-45psi) según el sistema de inyección del motor, posee una electroválvula, tal como se observa en la figura 4.19.



**Figura 4.19. Regulador de presión utilizado en el proceso de conversión mediante la tecnología de presión positiva.**

#### D. Filtro para GNV

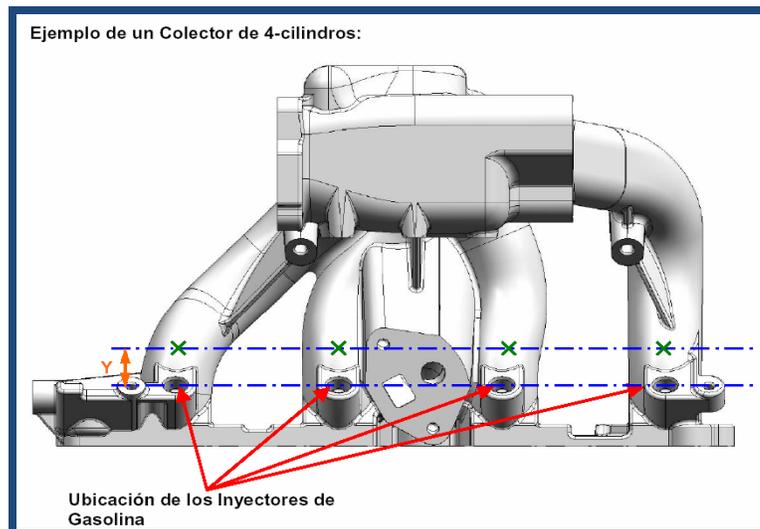
Componente ubicado entre el regulador de presión y los inyectores de GNV, tiene como finalidad eliminar las impurezas presentes en el GNV para evitar que los inyectores se obstruyan, su vida útil puede alcanzar los 50.000km de uso del motor. Este componente es mostrado en la figura 4.20.



**Figura 4.20. Filtro de GNV**

#### E. Inyectores de GNV

Los inyectores de GNV son muy similares a los de inyección de gasolina se pueden observar en la figura 4.21; su principal función es distribuir el gas a los diferentes pistones o cilindros del motor, se instala dicho componente en el múltiple de admisión tan cerca como sea posible de los inyectores de gasolina, uno por cada cilindro del motor. Estos dispositivos trabajan en función de las señales emitidas por la unidad de control electrónica de GNV; es importante destacar que una vez que el inyector de GNV empieza a trabajar la señal del inyector de gasolina es interrumpida por la ECU de GNV y su señal es emulada y enviada a la ECU de Gasolina.



**Figura 4.21. Inyectores de gas y gasolina.**

#### **F. Unidad electrónica de control**

Módulo electrónico muy similar a la computadora (ECU) de gasolina, trabaja en función del tiempo de inyección de gasolina, tiene implícitas todas las señales de los sensores del vehículo y tres parámetros más (temperatura del refrigerante del motor, temperatura del gas en la admisión y presión del gas en la admisión). Otra función importante de este módulo es la interrupción del tiempo de inyección de gasolina y la posterior emulación de la señal en la ECU de gasolina.

#### **G. Variadores de avance**

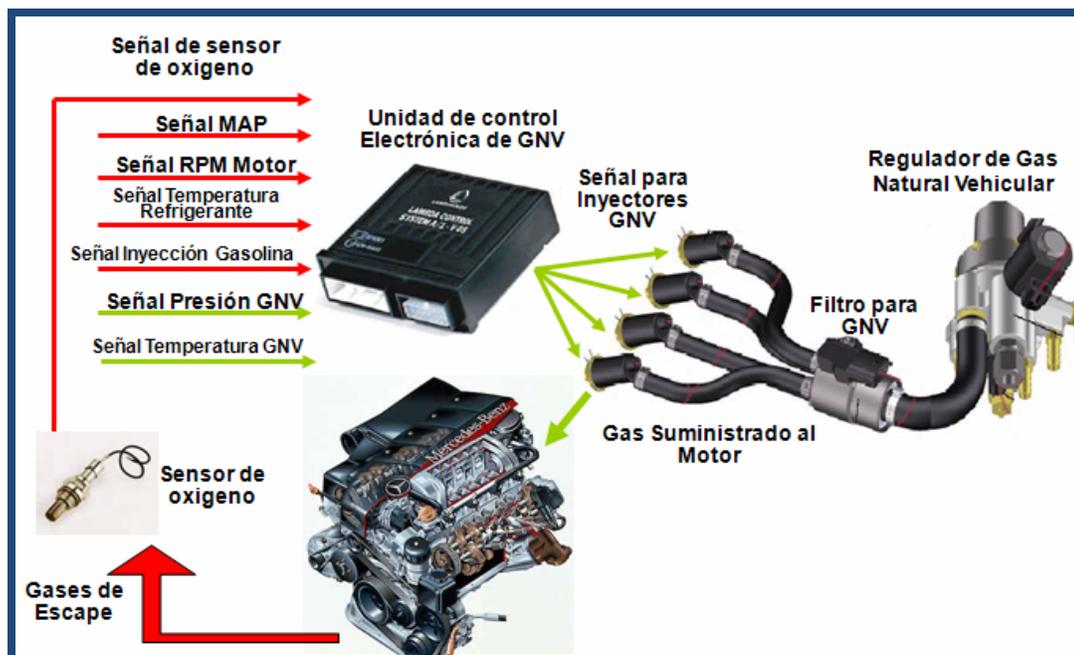
Los módulos electrónicos que lo componen tienen por finalidad:

- Optimizar el encendido original para un buen desempeño a gas natural vehicular.
- Mantener el encendido original a gasolina.

- Permitir un consumo menor.
- Mejorar el rendimiento del motor, especialmente en aceleración.

En la tecnología de presión positiva es necesario en algunos casos desmontar el múltiple de admisión del vehículo para realizar las perforaciones necesarias para la instalación de los inyectores de GNV, garantizando en todo momento la reinstalación del mismo de manera que este no sufra modificaciones en su funcionamiento.

A continuación se visualiza en la figura 4.22 el proceso en línea general de la tecnología de conversión vehicular a través de presión positiva.



**Figura 4.22. Proceso general de la tecnología de conversión del tipo presión positiva o 5ta generación.**

Este sistema garantiza un mayor ahorro de combustible en un rango amplio de condiciones de operación del motor, y menores pérdidas de potencia a GNV en comparación al vehículo original cuando opera con gasolina. Adicionalmente, la potencia del vehículo en la condición original permanece igual a la potencia en la condición post-conversión del vehículo puesto que no hay restricción de aire en la admisión.

A diferencia de los equipos de tercera generación, los de presión positiva permiten el control computarizado de la inyección de gas al motor, logrando que ingrese el volumen justo requerido, proporcionando así que el vehículo consuma 20% menos de combustible que si usara la tecnología de tercera generación. Por otro lado, la pérdida de potencia del motor, que con un equipo de tercera generación ronda un promedio de 12%, se reduce a apenas 2 o 3% para el caso de presión positiva.

Lo anterior ha traído como consecuencia que los países pioneros en el uso del GNV como Argentina, hayan adoptado el uso de la tecnología de quinta generación por los beneficios que trae, ya que estos tienen un funcionamiento similar al de inyección secuencial de gasolina, por lo que son perfectamente compatibles con los vehículos más modernos del mercado.

A este respecto, Venezuela siguiendo las expectativas de otros países, ha decidido implementar la tecnología de quinta generación en la conversión de los vehículos a sistema dual por los beneficios antes mencionados, pero principalmente por la pérdida de la potencia, ya que a diferencia de otros países, la población venezolana, debido al bajo costo del combustible líquido, no se ve afectada por el ahorro de combustible que ofrece la tecnología de punta, en contraste con otros países donde la necesidad de ahorrar combustible es vital.<sup>[11]</sup>

### **4.3. Estudio de las propiedades fisicoquímicas del GNV como combustible**

Para comprender el comportamiento del GNV y la gasolina como combustibles, es necesario el estudio de algunas propiedades importantes, que nos permitirán enfocar las ventajas y/o desventajas del uso de uno frente a otro. A continuación se definen las más importantes.

#### **4.3.1. Definición de algunas propiedades de los combustibles**

##### **4.3.1.1. Poder calorífico (PC)**

Tal y como se define en la norma COVENIN 3568-1:2000, es la cantidad de calor que sería liberado por la combustión completa ideal en aire normal de una cantidad específica de gas. Existe un valor calorífico superior y uno inferior, los cuales difieren por el calor de condensación del agua formada por la combustión.

Según la norma COVENIN 3568-1:2000, los límites del poder calorífico permitidos para el combustible gaseoso en estudio, son los expresados en la tabla 4.3.

**Tabla 4.3. Límites permitidos para el poder calorífico, temperatura de rocío e índice de Wobbe, según la norma COVENIN 3568-1:2000.**

Parámetros	Valores	
	Mínimo	Máximo
Poder calorífico bruto [MJ/m <sup>3</sup> ]	35,4	42,8
Temperatura de rocío	Diferencial de 20 °C con respecto a la temperatura ambiental	
Índice Wobbe [MJ/m <sup>3</sup> ]	48	52

#### 4.3.1.2. Número de octano

El número de octano también denominado **RON** (por sus siglas en inglés, Research Octane Number), se refiere exclusivamente a la calidad antidetonante de la gasolina. El octanaje no es otra cosa que la medida de la capacidad antidetonante que se requiere en el combustible para resistir la tendencia a la detonación o autoencendido, por lo que el número de octano requerido depende directamente de la relación de compresión del motor. Con el nivel de octanaje adecuado se evita la detonación y se logra un solo foco de llama dado para el encendido en el momento preciso, con lo cual se logra una combustión pareja y efectiva. Un mayor número de octanos permite obtener arranques en frío más rápidos y una marcha en régimen de mayor suavidad.

El exceso de octanaje por sobre lo requerido por un motor no agrega mayores beneficios, ni en términos de potencia, ni suavidad de rendimiento, sino tan solo un costo adicional, y puede generar mayor contaminación en el

ambiente. Es decir, no existe relación directa entre mayor octanaje y mayor potencia, puesto que, la mayor potencia depende de la relación de compresión, además existen otros aspectos como el diseño mecánico (geometría) del motor, que determinan el octanaje más adecuado para cada motor.

#### **4.3.1.3. Densidad relativa**

La densidad relativa o aparente expresa la relación entre la densidad de una sustancia y una densidad de referencia. La densidad de referencia habitualmente es la densidad del agua líquida para sustancias líquidas, y para gases se utiliza la densidad del aire.

#### **4.3.1.4. Temperatura de auto ignición o autoencendido**

Es la mínima temperatura, a presión de una atmósfera, a la que un gas inflamable o mezcla de aire-vapor en contacto con el aire arde espontáneamente o es calentado en su superficie sin necesidad de una fuente de ignición.}

A esta temperatura se alcanza la energía de activación suficiente para que se inicie la reacción de combustión. Los vapores y gases arderán espontáneamente a una temperatura más baja en oxígeno que en el aire. La temperatura de autoignición puede disminuir sustancialmente ante atmósferas ricas en oxígeno y ante presiones elevadas.

#### **4.3.1.5. Límite de inflamabilidad**

Límites de concentración superior e inferior de un gas inflamable, sobre o debajo de los cuales no ocurre propagación de la llama en contacto con una fuente de ignición. Los límites inflamables son calculados a temperatura y presión ambiente en el aire. <sup>[14]</sup>

#### **4.3.2. Análisis de las propiedades fisicoquímicas del GNV como combustible**

Si se analizan con cuidado las propiedades del GNV se puede constatar que este posee muchas de las características ideales de un combustible de uso automotor; su estado gaseoso, su composición con menor contenido de carbono, su alto número de octano (menor tendencia al auto encendido) y su combustión más limpia, son condiciones que lo hacen adecuado para utilizarse en motores de combustión interna y atractivo para el ambiente por sus menores emisiones contaminantes.

A pesar de esta dificultad, el uso del GNV en el sector automotor se ha difundido ampliamente en muchas regiones mediante una industria dedicada a la adaptación de los motores de gasolina y diesel para que utilicen gas natural, ya que estos son una buena alternativa para sustituir combustibles tradicionales por razones económicas y ambientales.

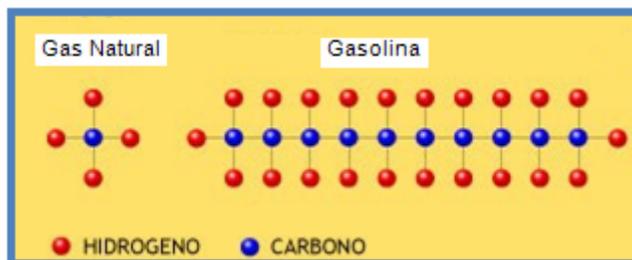
##### **4.3.2.1. Propiedades físico químicas de ambos combustibles**

Para evaluar y analizar las consecuencias del uso del gas natural en el desempeño de los vehículos, es preciso entender la influencia de las

características físico-químicas del GNV sobre los procesos de combustión que se producen en el interior de los motores.

A continuación se explican las características principales del gas natural y se hace un paralelo con la gasolina, de modo que se puedan establecer diferencias, ventajas o desventajas que implica el uso de un combustible frente a otro. Es importante tomar en consideración que la condición ideal para aprovechar todas las ventajas del hidrocarburo gaseoso es que se utilice en un motor diseñado conforme a sus propiedades. Desafortunadamente, y aunque existen desarrollados vehículos para el uso exclusivo del GNV, estos no se han producido en la misma escala que los motores de gasolina se han convertidos al sistema dual.

En esencia, la gasolina, es una mezcla de hidrocarburos, que incluye componentes aromáticos, nafténicos y parafínicos. Típicamente contiene hidrocarburos de 5 a 12 átomos de carbono, como se observa en la figura 4.23. Como resultado de una combustión incompleta pueden formarse compuestos parcialmente oxidados de alta complejidad y muy contaminantes.



**Figura 4.23. Relación Carbono-Hidrógeno.**

En la figura 4.23. se observa la relación carbono/hidrógeno para el gas natural y para la gasolina. Dada la composición química simple del GNV (compuesto principalmente por metano), se puede visualizar un solo átomo de carbono, de modo que al ocurrir la combustión esta es más completa que para el caso de la gasolina, libre de hollín y con menos producción de contaminantes como monóxido de carbono, hidrocarburos no quemados, dióxido de carbono (principal generador del efecto invernadero) entre otros elementos. Por el contrario, la gasolina al ser una molécula más compleja, origina luego de la combustión la producción de estos y otros contaminantes en mayor proporción.

Para analizar la factibilidad del uso de un combustible con respecto a otro, se compararon sus propiedades fisicoquímicas desde dos puntos de vista, en cuanto a los parámetros que afectan la eficiencia térmica de los motores y con respecto a los factores que limitan la seguridad, tabla 4.3.

**Tabla 4.4. Comparación de algunas propiedades fisicoquímicas de la gasolina y el GNV.**

	<b>Propiedades</b>	<b>Gasolina</b>	<b>GNV</b>
<b>Factores que afectan la eficiencia</b>	<b>Poder calorífico(MJ/m<sup>3</sup>)</b>	<b>33.14</b>	<b>37.23</b>
	<b>Número de octano</b>	<b>91-95</b>	<b>125-130</b>
	<b>Relación estequiometrica aire/combustible (Peso)</b>	<b>14.64/1</b>	<b>17.4/1</b>
<b>Factores que afectan la seguridad</b>	<b>Densidad relativa</b>	<b>3.9</b>	<b>0.56-0.60</b>
	<b>Temperatura de autoignición (°C)</b>	<b>350-400</b>	<b>650-700</b>
	<b>Limites de inflamabilidad (%vol.)</b>	<b>1.5-7.6</b>	<b>5-15</b>
	<b>Condiciones de almacenamiento (Psia)</b>	<b>14.7</b>	<b>3000</b>

La relación de compresión en un motor de combustión interna define el rendimiento térmico del mismo, es decir, el grado de aprovechamiento de la energía del combustible. Este aprovechamiento aumenta al aumentar la compresión, ventaja que beneficia en mayor grado al GNV, que además de poseer un elevado número de octano, presenta la característica atractiva de ceder volumen, por lo tanto se aprovechará en mayor proporción la cantidad de energía liberada (poder calorífico).

Al comparar este valor con la gasolina se observa que es un poco menor, dado que la mezcla aire gasolina es menos compresible, por lo que su valor energético aprovechable disminuye.

Lo anterior conlleva a evidenciar que el poder calorífico de la mezcla GNV-aire es mayor en comparación con el generado por la mezcla Gasolina-aire, pero existe una desventaja a tomar en consideración y es que los motores que han sido convertidos al sistema dual fueron diseñados para trabajar exclusivamente con gasolina, por lo tanto no se logrará aprovechar toda la energía del GNV debido a que la relación de compresión estará limitada por el nivel que requiera la gasolina durante su proceso de combustión y, en consecuencia, solo se logrará un mayor eficiencia térmica (y un mayor poder calorífico) si se trata de un vehículo dedicado.

El índice de octano es un número usado para medir y comparar las características antidetonantes de combustibles para motores. Entre mayor es el número, mayor la capacidad antidetonante del combustible. Como se muestra en la tabla 4.4 el índice de octano del gas natural (125-130) es mayor que el de la gasolina (91-95) por lo que permite un mayor avance del encendido sin detonación o cascabeleo, que permite a su vez una mejor combustión en el motor sin riesgo de daño.

Para aumentar al máximo la eficiencia térmica del motor se requeriría emplear una elevada relación de compresión. En este caso la temperatura de la mezcla combustible- aire tendería a elevarse por encima de la temperatura de autoignición del combustible, lo que originaría la detonación de la mezcla y graves averías en el motor.

Las mejoras en la eficiencia del motor se logran empleando combustibles con un mayor número de octano, debido a que estos presentan una mayor resistencia a detonar prematuramente a la hora de ser comprimidos dentro de la cámara de combustión, esto para favorecer la

deflagración y no la detonación del combustible. El GNV al presentar un mayor número de octano en comparación con la gasolina, representa un combustible muy atractivo para utilizarlo sin riesgo de daños en el motor.

Un vehículo dedicado al uso exclusivo del GNV como combustible, está diseñado para aprovechar lo mejor de las excelentes propiedades del gas natural, es decir, presentará una mayor relación de compresión y logrará una mejora en el compartimiento y consumo del combustible. Por el contrario, para el caso de vehículos convertidos al sistema dual, estas mejoras dependerán en gran medida del diseño del vehículo, del tipo de motor, del equipo de conversión usado y como se encuentre instalado.

La relación estequiométrica es la relación ideal de mezcla aire-combustible para la cual todo el oxígeno y todo el combustible se utilizan en el proceso de combustión. El que la relación ideal aire combustible para el gas natural (17,4/1) sea superior al de la gasolina (14,64/1) significa que se requiere más aire para quemar completamente una libra de gas natural que para quemar una libra de gasolina. Como la combustión completa es un proceso ideal y siempre habrá mayor o menor cantidad de aire que lo expresado en la relación anterior, se originarán ciertos contaminantes como  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ , hollín, hidrocarburos en la combustión incompleta de la gasolina, y en menor proporción  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$  e hidrocarburos no quemados en la del GNV, por tratarse de una molécula mas simple y con mayor número de átomos de hidrógeno.

La cantidad de aire requerida para quemar un volumen de combustible es crítica para la operación del motor. La cantidad de aire que un cilindro del motor puede tomar está limitada por el desplazamiento y el rendimiento volumétrico del cilindro. En un motor, se puede limitar la cantidad de aire

tomada en un cilindro cerrando la válvula estranguladora del acelerador, pero no se puede aumentar la cantidad de aire tomada más allá de los límites físicos del cilindro. Además, a medida que se requiere más aire para quemar un combustible, el volumen de combustible factible de introducir en el cilindro se reducirá proporcionalmente.

De acuerdo con lo anterior, físicamente el volumen de gas que se podría introducir en un cilindro será menor que el de gasolina, ya que requiere más aire para quemar el combustible, lo que genera menos cantidad de combustible y por lo tanto pérdidas de potencia en el motor. La cantidad de pérdida de potencia por el uso de gas natural en reemplazo de la gasolina está entre el 10 y el 20%, rango que no es percibido por el conductor, excepto en una operación de carga muy pesada y/o en operación con el acelerador completamente abierto.

Hay que tomar en consideración que todo el sistema donde se maneje gas natural debe construirse y mantenerse de acuerdo a especificaciones rigurosas para asegurar su control, ya que en el caso de una fuga en un lugar confinado, puede existir riesgo de explosión si se dan las condiciones, por ende por su característica de ser tan liviano, se invierte un capital muy elevado en sistemas de control para garantizar la seguridad dentro de los vehículos. Las siguientes propiedades nombradas a continuación son consideradas como parámetros de seguridad a tomar en consideración cuando se trata con GNV como combustible.

El gas natural por ser un combustible gaseoso más liviano que el aire (con densidad relativa 0,56-0,60), se disipa rápidamente en él, y tiende a subir y difundirse en la atmosfera en caso de un escape de los diferentes sistemas en un vehículo, en una estación de servicio o en una línea de

conducción. Por el contrario la gasolina es más densa que el aire (con densidad relativa de 3,9), los vapores de esta son aproximadamente 5 veces más pesados y en caso de fuga tiende a depositarse en el punto más bajo del área, creando enormes riesgos de explosión en lugares pocos ventilados. Esta propiedad es determinante para afirmar que el GNV es uno de los combustibles más seguros, lo que lo hace atractivo a la hora de escoger combustibles alternativos.

Además de la seguridad que implica el hidrocarburo debido sus características fisicoquímicas, el nivel de control de seguridad implementado debido a la existencia de una normativa técnica rigurosa, y un adecuado cumplimiento mediante verificación periódica obligatoria de la instalación de gas en el vehículo, hacen que el GNV sea un combustible privilegiado en países con grandes reservas probadas de gas.

Como se puede observar en la tabla 4.4, el GNV posee una temperatura de autoignición (650-700°C) más elevada que la de los combustibles líquidos, resultando en una reducción notable del peligro de inflamación accidental. Esto quiere decir que para que el GNV arda espontáneamente sin necesidad de una fuente de ignición, requiere aproximadamente el doble de la temperatura que se requeriría para inflamar la gasolina, es decir, el GNV requiere mayor temperatura que la gasolina para una ignición espontánea en el aire, lo que le aporta también un nivel superior de seguridad en comparación con los combustibles líquidos. Como consecuencia, la gasolina requiere de una mayor inversión en sistemas de control para prevenir derrames inesperados.

Otra desventaja que presenta la gasolina en comparación con el GNV es que al poseer una temperatura de autoignición menor, dentro de la

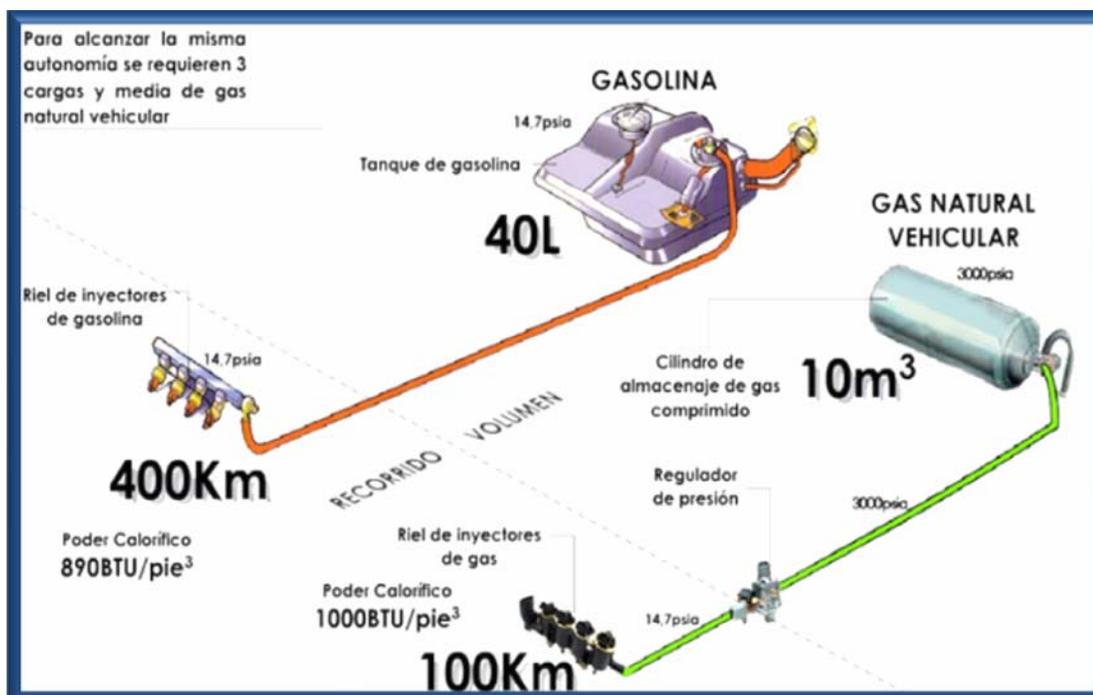
cámara de combustión generará con mayor facilidad problemas de cascabeleo en el motor debido a la detonación prematura, tal como se explico anteriormente.

Los combustibles poseen una característica intrínseca relacionada con el porcentaje de mezcla con el aire para que se produzca el fenómeno de combustión. Con respecto al GNV como se observa en la tabla 4.4 sus límites varían entre 5 y 15% de contenido de gas mezclado con aire. Al analizar esto se puede constatar que se requieren mayores volúmenes de GNV para formar una mezcla dentro del rango de combustión, en contraposición se encuentra la gasolina, debido a que es más probable la formación de mezclas inflamables aire-gasolina con menos volúmenes de combustible líquido, esto considerando una comparación entre volúmenes idénticos de mezclas. Es decir, se requiere un mayor volumen de GNV para realizar la misma combustión dentro del motor lo que ocasiona la necesidad de reponer mayor cantidad de veces el tanque cuando se utiliza GNV como combustible.

El GNV como se muestra en la tabla 4.4 requiere presiones de almacenamiento en el orden de los 3.000 psi, en cilindros a alta presión, resultando imposible el ingreso de aire que pueda dar origen a una mezcla explosiva dentro del cilindro de almacenamiento. Por el contrario los combustibles líquidos se almacenan a presión atmosférica en tanques que permiten, por el sistema de venteo, el ingreso de aire. Este aire en conjunto con los vapores del combustible, constituye una peligrosa mezcla explosiva. Los cilindros para GNV están diseñados, desarrollados y probados bajo rigurosas normas de seguridad, donde cada uno esta capacitado para tolerar impactos más fuertes que cualquier colisión que pudiera ocurrir. Así mismo son sometidos a presiones excesivas, calentamiento, entre otras condiciones

extremas, para dar plena confianza de que es, sin duda, una unidad de almacenamiento completamente segura, tanto para la vida de quienes se trasladan como para los vehículos.

Al almacenar el GNV a una presión mucho mayor a la presión atmosférica, obviamente el volumen que ocupa en tanques a la misma capacidad es mayor para el GNV al compararlo con la gasolina, esto debido a su característica atractiva de ceder volumen. Para comparar la autonomía del combustible gaseoso con la gasolina es necesario analizar la figura 4.24.



**Figura 4.24. Comparación entre la autonomía del GNV y la gasolina.**

La equivalencia aproximada entre ambos combustibles es de 1,2 litros de gasolina por m<sup>3</sup> de GNV a presión atmosférica. En las estaciones de servicio se autoriza a expender gas a una presión máxima de 3000 psi, por lo que en un pequeño tanque se puede cargar un gran volumen de gas. En un

tanque de 40 litros se podrían almacenar 10 m<sup>3</sup> de GNV comprimido a 3000 psi, lo que generaría un consumo en equivalencia a gasolina de 12 litros (10 m<sup>3</sup> de GNV rinden 12 litros de gasolina). Entonces para alcanzar la misma autonomía de la gasolina se requerirían tres cargas y media de GNV. Del mismo modo, se observa que para recorrer 400 Km, se necesitan 40 litros de gasolina. Ahora, para tan solo recorrer 100 Km, se requieren los mismos 40 litros pero ahora almacenando GNV presurizado (10 m<sup>3</sup>).

A manera de condensar la información citada anteriormente, se presenta la tabla 4.5. referente a las ventajas y desventajas de cada uno de los combustibles estudiados.

**Tabla 4.5. Comparación de las propiedades fisicoquímicas para el GNV y la gasolina.**

	Propiedades	Gasolina	GNV	Ventajas	Desventajas
Factores que afectan la eficiencia	Poder calorífico(MJ/m <sup>3</sup> )	33.14	37.23	Aporta mayor energía al motor, cuando se trata de vehículos dedicados	Limitado por la relación de compresión requerida por la gasolina
	Número de octano	91-95	125-130	Mayor capacidad antidetonante	
	Relación estequiometría □ aire/combustible (Peso)	14.64/1	17.4/1	Forma mezclas mas homogéneas con el aire	
Factores que afectan la seguridad	Densidad relativa	3.9	0.56-0.60	Al ser más liviano que el aire se disipa en la atmósfera	
	Temperatura de autoignición (°C)	350-400	650-700	Requiere mayor temperatura para autoencenderse	
	Limites de inflamabilidad (%vol.)	1.5-7.6	5-15	Presenta menor posibilidad de formar mezclas explosivas	
	Condiciones de almacenamiento (Psia)	14.7	3000	Altos sistemas de control	

#### 4.4. Comparación de las emisiones de escape de la gasolina con los generados con el empleo del gas natural vehicular

Actualmente, la estimación de emisiones de fuentes vehiculares representa un reto en cuanto a que estas varían dependiendo de numerosos factores y, a diferencia de las fuentes puntuales, no es factible medir las emisiones provenientes de cada una de las fuentes móviles, debido a la gran

cantidad y variedad de vehículos en circulación. Sin embargo se pueden hacer estimaciones en cuanto a estas.

Las emisiones de escape contribuyen a la polución existente en la atmósfera. Para reducir las emisiones que son despedidas por los autos, las leyes requieren que muchos vehículos sean chequeados para determinar si las emisiones se encuentran dentro de los estándares.<sup>[15]</sup>

#### **4.4.1. Emisiones peligrosas producidas por combustibles fósiles**

Uno de los impactos que el uso de combustibles fósiles ha producido sobre el medio ambiente terrestre ha sido el aumento de la concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera. La cantidad de CO<sub>2</sub> atmosférico había permanecido estable, aparentemente durante siglos, en unas 260 ppm (partes por millón), pero en los últimos 100 años ha ascendido a 350 ppm. Lo significativo de este cambio es que puede provocar un aumento de la temperatura de la Tierra a través del proceso conocido como efecto invernadero. El dióxido de carbono atmosférico tiende a impedir que la radiación de onda larga escape al espacio exterior; dado que se produce más calor y puede escapar menos, la temperatura global de la Tierra aumenta.

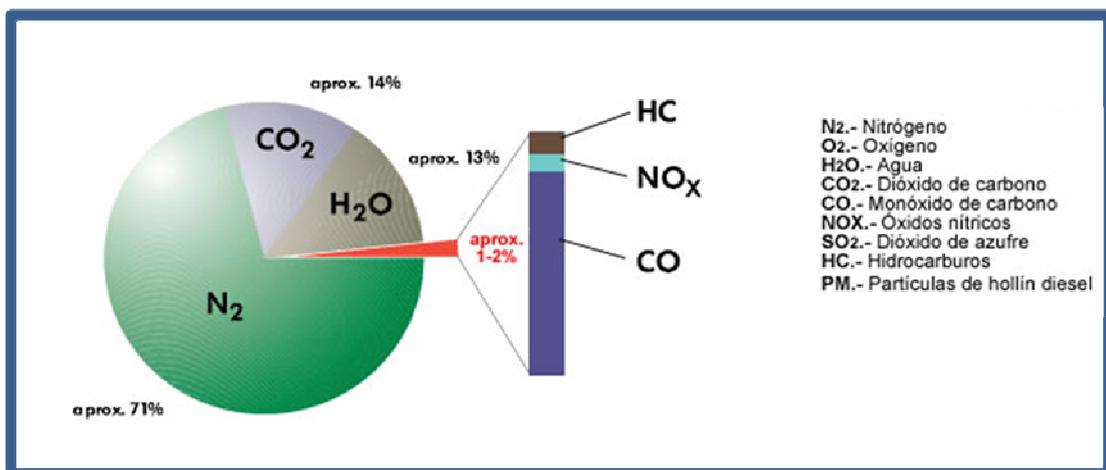
Un calentamiento global significativo de la atmósfera tendría graves efectos sobre el medio ambiente, aceleraría la fusión de los casquetes polares, haría subir el nivel de los mares, cambiaría el clima regional y globalmente, alteraría la vegetación natural y afectaría a las cosechas. Estos cambios, a su vez, tendrían un enorme impacto sobre la civilización humana. Desde 1850 se ha producido un aumento medio en la temperatura global de cerca de 1°C. Algunos científicos han predicho que el aumento de la

concentración en la atmósfera de CO<sub>2</sub> y otros "gases invernadero" provocará que las temperaturas continúen subiendo. Las estimaciones van de 2 a 6 °C para mediados del siglo XXI.<sup>[16]</sup>

#### 4.4.1.1. Emisiones producidas por la gasolina

El aire está compuesto básicamente por dos gases: nitrógeno (N<sub>2</sub>) y oxígeno (O<sub>2</sub>). En un volumen determinado de aire se encuentra una proporción de nitrógeno (N<sub>2</sub>) del 79 % mientras que el contenido de oxígeno es aproximadamente de un 21%. El nitrógeno durante la combustión, en principio, no se combina con ningún elemento y tal como entra en el cilindro es expulsado al exterior sin modificación alguna, excepto en pequeñas cantidades, para formar óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>). El oxígeno es el elemento indispensable para producir la combustión de la mezcla.

A continuación, en la figura 4.25, se visualiza la composición aproximada de los gases de escape emitidos por un vehículo cuyo combustible es gasolina.



**Figura 4.25. Composición de los gases de escape de la gasolina.**

## A. Descripción de las emisiones producidas en la tubería de escape

El motor de combustión interna, por su forma de funcionar, no es capaz de quemar de forma total el combustible en los cilindros. Pero si esta combustión incompleta no es regulada, mayor será la cantidad de sustancias nocivas expulsadas en los gases de escape hacia la atmósfera. Dentro de los gases generados en la combustión, hay unos que son nocivos para la salud y otros no, figura 4.26.

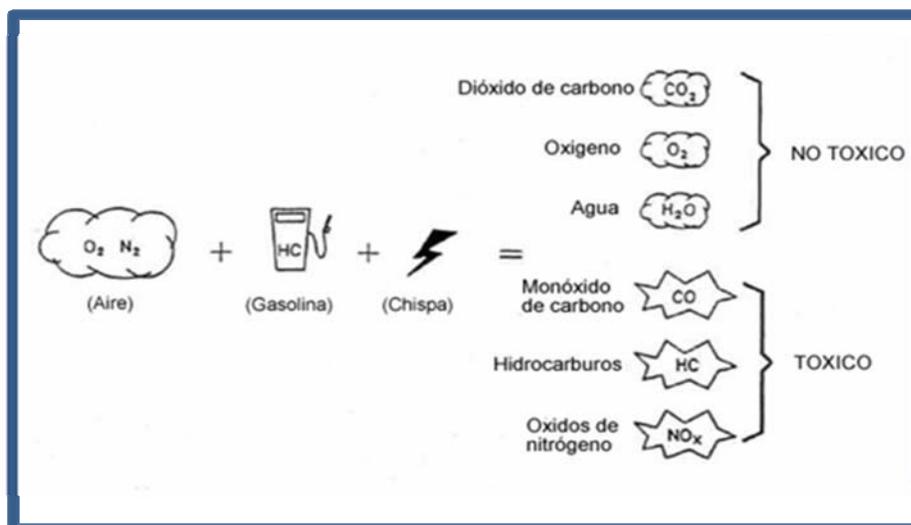


Figura 4.26. Combustión de la mezcla y emisiones de escape.

### A.1. Nitrógeno ( $N_2$ )

El nitrógeno es un gas no combustible, incoloro e inodoro, se trata de un componente esencial del aire que respiramos y alimenta el proceso de la combustión conjuntamente con el aire de admisión. La mayor parte del nitrógeno aspirado vuelve a salir puro en los gases de escape; sólo una pequeña parte se combina con el oxígeno  $O_2$  (óxidos nítricos  $NO_x$ ).

### **A.2.Oxígeno (O<sub>2</sub>)**

Es un gas incoloro, inodoro e insípido. Es el componente más importante del aire que respiramos (21 %). Es imprescindible para el proceso de combustión, con una mezcla ideal el consumo de combustible debería ser total, pero en el caso de la combustión incompleta, el oxígeno restante es expulsado por el sistema de escape.

### **A.3. Agua (H<sub>2</sub>O)**

Es aspirada en parte por el motor (humedad del aire) o se produce con motivo de la combustión "fría"(fase de calentamiento del motor). Es un subproducto de la combustión y es expulsado por el sistema de escape del vehículo, se lo puede visualizar sobre todo en los días mas fríos, como un humo blanco que sale por el escape, o en el caso de condensarse a lo largo del tubo, se produce un goteo. Es un componente inofensivo de los gases de escape.

### **A.4. Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)**

Es un gas incoloro, no combustible, se produce al quemar un hidrocarburo, como es el caso de la gasolina. El carbono se combina durante esa operación con el oxígeno aspirado. El dióxido de carbono CO<sub>2</sub> a pesar de ser un gas no tóxico para la salud, reduce el estrato de la atmósfera terrestre que suele servir de protección contra la penetración de los rayos UV (la tierra se calienta). Las discusiones generales en torno a las alteraciones climatológicas producto de las emisiones de escape (efecto invernadero), se ha hecho consciente en la opinión pública.

### **A.5. Monóxido de carbono (CO)**

Es un gas incoloro, inodoro, explosivo y altamente tóxico, se produce con motivo de la combustión incompleta de combustibles que contienen carbono. Bloquea el transporte de oxígeno por parte de los glóbulos rojos. Es mortal, incluso en una baja concentración en el aire que respiramos. En una concentración normal en el aire ambiental se oxida al corto tiempo, formando dióxido de carbono CO<sub>2</sub>.

### **A.6. Óxidos nítricos (NO<sub>x</sub>)**

Son combinaciones de nitrógeno N<sub>2</sub> y oxígeno O<sub>2</sub>, por ejemplo NO, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O. Los óxidos de nitrógeno se producen al existir una alta presión, alta temperatura y exceso de oxígeno durante la combustión en el motor. El monóxido de nitrógeno (NO), es un gas incoloro, inodoro e insípido. Al combinarse con el oxígeno del aire, es transformado en dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), de color pardo rojizo y de olor muy penetrante, provoca una fuerte irritación de los órganos respiratorios. Las medidas destinadas a reducir el consumo de combustible suelen conducir lamentablemente a un ascenso de las concentraciones de óxidos nítricos en los gases de escape, porque una combustión más eficaz produce temperaturas más altas. Estas altas temperaturas generan a su vez una mayor emisión de óxidos nítricos.

### **A.7. Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)**

Es un gas incoloro, de olor penetrante, no combustible, que propicia las enfermedades de las vías respiratorias, pero interviene sólo en una medida

muy reducida en los gases de escape. Si se reduce el contenido de azufre en el combustible es posible disminuir las emisiones de dióxido de azufre.

### **A.8. Hidrocarburos**

Son restos no quemados del combustible, que surgen en los gases de escape después de una combustión incompleta. Esta combustión incompleta puede ser debido a la falta de oxígeno durante la combustión (mezcla rica) o también por una baja velocidad de inflamación (mezcla pobre), por lo que es conveniente ajustar la riqueza de la mezcla.

### **A.9. Las partículas de hollín**

Son generadas en su mayor parte por los motores diesel, se presentan en forma de hollín o cenizas. Los efectos que ejercen sobre el organismo humano todavía no están aclarados por completo.

## **B. Tipos de emisiones emitidas por la gasolina**

Las emisiones producidas por un vehículo que utilizan gasolina como combustible, se distribuyen entre dos categorías distintas:

### **B.1. Descripción de las emisiones evaporadas**

Estas son producidas por la evaporación del combustible, y son también otro gran factor para la creación del smog urbano puesto que sus moléculas son de un peso molecular alto y tienden a estar más cerca del nivel del suelo. La gasolina tiene a evaporarse en algunas de estas formas.

## **B.2. Ventilación del tanque de gasolina**

El proceso de calentamiento del vehículo y aumento de temperatura desde las bajas temperaturas de la noche hacia las más altas durante el día hacen que la gasolina en el tanque se evapore, aumentando la presión de vapor dentro del tanque para igualar la presión atmosférica. Esta presión debe ser liberada y antes de los controles de emisión de gases, estos gases eran simplemente liberados a la atmósfera.

## **B.3. Pérdidas y fugas**

El escape de los vapores de la gasolina desde el motor caliente.

## **B.4. Pérdidas de recargas**

Este causa especialmente una gran cantidad de emisiones de vapores de hidrocarburo. El espacio desocupado dentro del tanque del vehículo es ocupado por los gases, por lo tanto, a medida que el tanque se va llenando de gasolina, estos gases son desplazados y forzados a salir a la atmósfera. En adición a esto, hay pérdidas por evaporaciones posteriores y riegos de gasolina.

### **4.4.2. Emisiones producidas por el GNV**

#### **4.4.2.1. Descripción de las emisiones producidas en la tubería de escape**

La composición química del gas natural es la razón de su amplia aceptación como el más limpio de los combustibles fósiles. En efecto la

mayor relación hidrógeno/carbono en la composición del gas natural, en comparación con la de otros combustibles fósiles, hace que en su combustión se emita menos dióxido de carbono por unidad de energía producida.

La combustión del gas natural, compuesta principalmente por metano, produce un 25% de CO<sub>2</sub> que los productos petrolíferos y un 40% menos de CO<sub>2</sub> que la combustión del carbón por unidad de energía producida. Se atribuye al CO<sub>2</sub> el 65% de la influencia de la actividad humana en el efecto invernadero, y al metano el 20% de dicha influencia.

La mayor parte del CO<sub>2</sub> emitido (75%-90%) es producido por la combustión de combustibles fósiles. Sin embargo, las emisiones de metano, son producidas en su mayoría por la ganadería y la agricultura, las aguas residuales, y las actividades relacionadas con los combustibles fósiles. A las empresas que distribuyen gas natural les corresponde menos del 10% de las emisiones de metano a la atmósfera, cifra que cada año se va reduciendo por las medidas que han adoptado las empresas como renovación de tuberías antiguas, recuperación de venteo de gas, entre otros.

Durante la combustión de combustibles líquidos, se emanan residuos sólidos y gases tóxicos, como hollín, CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>. El sector de transporte es la principal fuente de estos gases y presentan un incremento continuo en partículas en las zonas urbanas, los cuales influyen directamente sobre la salud pública.

Estos gases propician la contaminación atmosférica, algunas áreas urbanas presentan la formación de niebla tóxica, en la época calurosa y lluvia ácida en la temporada húmeda. Además los gases como el CO<sub>2</sub> y el NO<sub>x</sub> han

sido clasificados como unos de los principales agentes en el calentamiento global.

La sustitución de la gasolina por otros combustibles fósiles para automóviles por el gas natural como carburante, disminuye en gran magnitud las emisiones tóxicas y la generación de partículas sólidas, como el hollín, son nulas, es decir, el empleo del GNV en el parque automotor minimiza las emisiones tóxicas, generando un impacto positivo en la calidad del aire de las ciudades con alta densidad automotriz.

#### **4.4.2.2. Emisiones de escape del GNV**

La última generación de kits de conversión (presión positiva) interactúan con el control del microprocesador del motor y los sistemas de control de emisiones, esto con el fin de modular la alimentación del gas natural dentro del motor para optimizar los niveles de potencia y emisiones, antes de sacar el vehículo convertido en circulación.

##### **A. Analizador de emisiones de gases después del proceso de conversión del vehículo**

El analizador de gases de escape es un instrumento para determinar las emisiones en forma conjunta de monóxido de Carbono (CO), dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Oxígeno (O<sub>2</sub>) e hidrocarburos (HC). Este equipo posee una punta de muestreo para recoger la muestra del gas de escape; una manguera conectada a una sonda de muestreo para permitir el transporte del gas a través del instrumento; una bomba para impulsar los gases a través del instrumento; un separador de agua para prevenir la condensación de agua en el instrumento; un filtro para remover las partículas que podrían

causar contaminación en los elementos sensitivos del instrumento; puertos y filtros para introducir aire ambiental y gas de calibración cuando es requerido por la tecnología utilizada.

Adicionalmente, posee dispositivos de detección para analizar la muestra de gases y obtener la fracción volumétrica de algunos de sus componentes; un sistema para procesar la señal y un dispositivo de indicación que permita visualizar los resultados de una medida; un dispositivo de control para iniciar y verificar la operación del instrumento y un dispositivo de ajuste manual, semiautomático o automático para fijar parámetros de funcionamiento del instrumento dentro de los límites preestablecidos

Este equipo permite realizar estudios para determinar si el auto convertido arroja emisiones por debajo del límite establecido en la norma COVENIN 3568-2, tal como se puede observar en la tabla 2.2, capítulo 2.

#### **4.4.2.3. Comparación de las emisiones del GNV y la gasolina**

En el mundo, la quema de combustibles fósiles es la causa principal de las emisiones de los gases de efecto invernadero, que en escala global provocan el calentamiento del planeta.

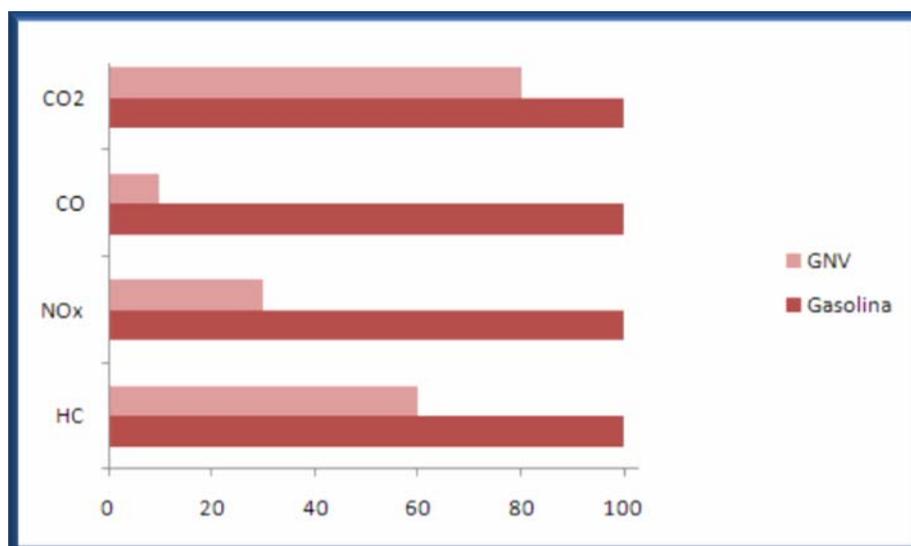
A la hora de seleccionar un combustible se deben considerar aspectos relacionados con la emisión de agentes polucionantes, de manera que luego del proceso de combustión se emitan menos contaminantes por unidad de energía producida.

La composición química del gas natural es la razón de su amplia aceptación como el más limpio de los combustibles fósiles. En efecto la

relación carbono/ hidrógeno en la composición del gas natural, en comparación con la de otros combustibles fósiles, hace que en su combustión se emita menos  $\text{CO}_2$ , quien es el principal contribuyente del efecto invernadero.

A continuación se presenta una comparación de la reducción de las emisiones del GNV respecto a las producidas por la gasolina.

El GNV como cualquier otro combustible produce  $\text{CO}_2$ , sin embargo debido a la alta proporción de hidrógeno/ carbono en sus moléculas, sus emisiones son entre 20% a 25% inferiores con respecto a las de los motores de gasolina, así como se muestra en la figura 4.27.



**Figura 4.27. Comparación de las emisiones del GNV con respecto a la gasolina.**

Cuando la combustión del carbono no es completa se produce monóxido de carbono (CO). Este efecto se pronuncia más cuando el

combustible posee un alto porcentaje del elemento carbono como es el caso de la gasolina; por el contrario el GNV al poseer un solo átomo de carbono, emite hasta un 80-90% menos del contaminante.

Si bien los vehículos a gas natural sí emiten metano, que es precursor de los gases de efecto invernadero, cualquier pequeño aumento en emisiones de metano estará más que compensado con la reducción sustancial de las emisiones de  $\text{CO}_2$  en comparación con otros combustibles.

La naturaleza gaseosa del GNV permite alcanzar una mezcla más perfecta con el aire de combustión, lo que conduce a procesos de combustión más completa con menores excesos de oxígeno, por lo que el GNV genera menos emisiones de  $\text{NO}_x$  en comparación con la gasolina.

A elevadas temperatura de la llama, el nitrógeno que forma parte del combustible y el nitrógeno del aire, pueden combinarse con el oxígeno para formar óxidos de nitrógeno. Así como se evidencia en la figura 4.27, las emisiones de óxidos de nitrógeno son aproximadamente 50 a 70% menores que cuando se utiliza la gasolina como combustible automotor.

Los óxidos de azufre son los principales causantes de la lluvia ácida, junto con los óxidos de nitrógeno. Según la norma COVENIN 3568-2, el contenido de azufre del GNV es inferior a 12 ppm, en forma de odorizante, por lo tanto la emisión del  $\text{SO}_x$  en su combustión es muchísimo menor al compararlo con el combustible líquido en estudio, es decir, en línea general no representa un peligro potencial en la generación de la lluvia ácida.

De igual manera, la cantidad de hidrocarburos sin quemar es relativamente pequeña al utilizar GNV como combustible, viéndose reducidas

notablemente entre un 30-40% en comparación con las emisiones generadas con el hidrocarburo líquido, esto debido a la formación de mezclas más homogéneas con el aire y como consecuencia combustiones mas completas.<sup>[11]</sup>

## CONCLUSIONES

1. Actualmente el gas natural vehicular no se considera como combustible preferencial en Venezuela.
2. El gas constituye un recurso energético que posee ventajas ambientales, técnicas y económicas con respecto a los combustibles líquidos.
3. El programa de sustitución de gasolina por gas natural en vehículos contribuirá a mejorar la calidad del aire en ciudades con alta densidad vehicular
4. El uso de GNV en el mercado interno, libera grandes volúmenes de combustibles líquidos que traerán ingresos al país, necesario para invertir en desarrollo social.
5. La abundancia de reservas de gas asegura la participación de Venezuela en el mercado energético, más allá del año 2050.
6. Venezuela usa tecnología de punta para realizar las conversiones de los automóviles al sistema dual.
7. El suministro de GNV es gratuito hasta que culmine el proyecto de conversión gratuita implementado por PDVSA.
8. La conversión de vehículos es gratis, para ello se dispone de centros de conversión a nivel nacional.
9. Por ser un combustible limpio no produce hollín ni mugre. Por lo tanto, los equipos en que se usa como combustible no requieren mantenimiento especial.
10. El GNV por tener una combustión más completa que la gasolina, se produce una reducción de emisiones de gases contaminantes a la atmósfera.
11. Los estudios de este proyecto, estimulan el alza del precio de la gasolina para incrementar el uso de esta tecnología en Venezuela.

12. A través de este estudio se determinó que el GNV es factible desde el punto de vista de eficiencia, seguridad y protección al ambiente.

## **RECOMENDACIONES**

13. Incrementar el número de estaciones de servicio que operen con GNV.
14. Establecer un plan de educación a la población, mediante campañas publicitarias que permita dar a conocer los beneficios del GNV como combustible automotor.
15. Se debe iniciar un aumento en el precio de la gasolina para estimular el uso de GNV.
16. Aumentar la demanda de gas a venta ya que actualmente hay déficit de gas en el país.
17. Explotar yacimientos de gas no asociado.

## BIBLIOGRAFIA

1. Mosquera J y Henao S. **“Análisis de emisiones de CO<sub>2</sub> para diferentes combustibles en la población de taxis en Pereira y Dosquebradas”**. Informe técnico presentado a: La universidad tecnológica de Pereira (2010).Disponible en: <http://www.utp.edu.co>
2. 2. Marín I y Rivero A. **“Estudio de la factibilidad basándose en un análisis técnico-económico, de impacto ambiental para la implementación de Gas Natural Vehicular (GNV) en el estado Anzoátegui”**. Trabajo de grado UDO, ingeniería de petróleo, Puerto La Cruz (2005).
3. 3. Rodríguez E y Mejías K. **“Situación actual del proyecto de gas natural par Vehículos y perspectivas de implantación en las diferentes regiones de país”**. Trabajo de grado UDO, ingeniería de petróleo, Puerto La Cruz (2005).
4. Pino, Fernando. **“Curso de Gasotecnia”**. Unidad I. Escuela de ingeniería de petróleo, UDO Monagas.
5. PDVSA. **“Capacitación para instaladores de equipos de conversión a gas natural”**. Editorial por la gerencia de gas natural vehicular región oriente (2001).
6. LAGOVEN S.A. **“El pozo ilustrado”**. Fondo editorial de centro internacional de educación y desarrollo (FONCIED).Cuarta edición. Caracas (1998).
7. Sena. **“Gas natural comprimido vehicular GNC, operador de estación de servicio”** (2002). Disponible en:

<http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/ciencias/sena/mecanica/gas-operador-de-estacion/gvasope3e.htm>

8. La prensa web. **“Venezuela y el protocolo de Kioto”** (2001).

Disponible en:

<http://www.mensual.prensa.com/mensual/contenido/2001/07/21/hoy/negocios/99168.html>

9. RADIO NACIONAL DE VENEZUELA. **“Venezuela se sumo al protocolo de Kioto”**. (2004). Disponible en:

<http://www.rnv.gob.ve/noticias/index.php?act?ST&f?2&t=10086>

10. Agas21. **“El GNC en el mundo”** (2011). Disponible en:

<http://www.agas21.com/spa/item/ART00082.html>

11. OilWatch Sudamérica. **“Proceso de ampliación del GNV (Gas Natural Vehicular) en America Latina”** (2010). Disponible en:

<http://www.oilwatchsudamerica.org/Lo-Nuevo/regional-proceso-de-ampliacion-del-gnv-gas-natural-vehicular-en-america-lati-na.html>

12. GNV Magazine. **“Situación actual del gas natural vehicular en Venezuela”** (2011). Disponible en:

<http://www.gnvmagazine.com/noticia-situacion-actual-del-gas-natural-vehicular-en-venezuela-1945>

13. Cámara Peruana de Gas Natural Vehicular. **“Desarrollo del GNV en el Mundo”**. Disponible en:

<http://www.cpgnv.org.pe/estadistic02.htm>

14. AGA. **“Límites de inflamabilidad”**. Disponible en:

[http://www.aga.com/International/SouthAmerica/WEB/sg/HiQGloss.nsf/Index/FLAMMABLE\\_LIMITS\\_?open&lang=en,es,pt](http://www.aga.com/International/SouthAmerica/WEB/sg/HiQGloss.nsf/Index/FLAMMABLE_LIMITS_?open&lang=en,es,pt)

15. Bien simple. “Emisiones de escape”

<http://comunidad.biensimple.com/automoviles/w/automoviles/Como-chequear-las-emisiones-de-escape.aspx>

16. Monografías. “**Emisiones peligrosas producidas por combustibles fósiles**”. Disponible en:

<http://www.monografias.com/trabajos12/contatm/contatm.shtml>

17. Mecánica virtual. “**Emisiones producidas por la gasolina**”.

Disponible en:

<http://www.mecanicavirtual.org/emision-gases-escape.php>

## METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

<b>TÍTULO</b>	<b>EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD DEL USO DEL GAS NATURAL VEHICULAR COMO UNA ALTERNATIVA ENERGÉTICA PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL POR EMISIONES PELIGROSAS.</b>
<b>SUBTÍTULO</b>	

### AUTOR (ES):

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>CÓDIGO CULAC / E MAIL</b>
Cáceres, Rilimar	CVLAC: 18.067.081 E MAIL: rilimarcaceres@gmail.com
Mallón M., Isabella M.	CVLAC: 18.211.182 E MAIL: isbellamallonm@gmail.com
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

### PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

GNV

Gas Natural

Vehículos.

Alternativa

Energética

Contaminación

## METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÀREA	SUBÀREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Química

### RESUMEN (ABSTRACT):

El Gas Natural Vehicular (GNV) es el combustible más económico que se conoce, ya que no requiere refinación como la gasolina. Desde el año 2006 en Venezuela se está reconsiderando el GNV como combustible alternativo, para proporcionar al usuario un sistema alternativo de combustible económicamente atractivo y menos contaminante. En este trabajo, se realizó un estudio sobre la situación actual de Venezuela con el uso de GNV como combustible con respecto a los demás países del mundo, resultando que el país cuenta con las mayores reservas probadas de gas en Latinoamérica y como octavo a nivel mundial. Siguiendo las expectativas de los países pioneros en la utilización del GNV, Venezuela cuenta con tecnología de punta para realizar el proceso de conversión de los vehículos al sistema dual (gasolina-GNV), esta tecnología se denomina quinta generación o presión positiva y trae beneficios como menor pérdida de potencia en el motor, ahorro de combustible y menos emisiones contaminantes en comparación con la tecnología de tercera generación. Para evaluar la factibilidad del uso del GNV se estudiaron las propiedades físicoquímicas tanto de la gasolina como del combustible gaseoso, resultando que el GNV proporciona mayor relación de compresión y un mayor octanaje y poder calorífico, haciéndolo más atractivo que el combustible líquido desde el punto de vista de eficiencia y seguridad. Con respecto a las emisiones de escape, el GNV resulta menos contaminante que los combustibles fósiles como la gasolina y el diesel, debido a que este está compuesto principalmente por metano, que es un gas por naturaleza y por ende le permite mezclarse más fácilmente con el aire para formar mezclas homogéneas, que al quemarse resultan más inocuas que las originadas por los carburantes líquidos.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

**CONTRIBUIDORES:**

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL</b>				
Avendaño, Isvelia	ROL	CA	AS(X)	TU	JU(X)
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				

**FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:**

<b>2011</b>	<b>04</b>	<b>15</b>
<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>DÍA</b>

**LENGUAJE. SPA**

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

**ARCHIVO (S):**

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
Tesis.Factibilidad.GNV.Emisiones.doc	Application/ msword

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H I J K  
L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z. 0 1  
2 3 4 5 6 7 8 9.

**ALCANCE**

ESPACIAL: \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)

TEMPORAL: \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)

**TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

Ingeniero Químico

**NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

Pregrado

**ÁREA DE ESTUDIO:**

Departamento de Ingeniería Química

**INSTITUCIÓN:**

Universidad de Oriente. Núcleo de Anzoátegui

## **METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

### **DERECHOS**

De acuerdo al artículo 41 del Reglamento de Trabajo de Grado:

“Los Trabajos de Grado son exclusiva propiedad de la Universidad y solo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario para su autorización”

Cáceres, Rilimar

**AUTOR**

Mallón M., Isabella M.

**AUTOR**

Ing. Isvelia Avendaño

**TUTOR/JURADO**

Ing. Yraima Salas

**POR LA SUBCOMISION DE TESIS**