

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



CONSIDERACIONES TÉCNICAS Y ECONÓMICAS DE VEHÍCULOS  
A GAS NATURAL

Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico

Presentado por:

SERGIO ANGEL ANTONIO LÓPEZ ROJAS

Abril, 2008  
Lima - Perú



© 2007, Sergio López Rojas

Se autoriza la reproducción total o parcial  
con fines académicos a través de cualquier  
medio o procedimiento, incluyendo la cita  
bibliográfica del documento.

## RESUMEN

En los últimos años se han unido esfuerzos en la búsqueda y el aprovechamiento de fuentes de energía alternativa para la realización de diversas actividades tanto en el ámbito industrial como doméstico. Fuentes de energía alternativa que brinden una energía de calidad pero con bajos costos de obtención y de operación; esto debido, básicamente, al escaseo de los combustibles que comúnmente conocíamos y que veníamos utilizando. En este documento, el tema tocado es referido a la utilización del gas natural vehicular.

El presente trabajo de tesis, está enfocado al proceso mismo de la conversión de los vehículos a gas natural, con la finalidad de presentar de manera ordenada los procedimientos de la misma, así como de los controles que deben realizarse antes de y luego de realizada la conversión. Este trabajo lo que busca es ser una base para iniciar, o continuar, ahondando en los efectos que produce sobre los diversos sistemas del vehículo convertido.

Para la realización de este trabajo fue necesario realizar visitas a talleres de conversión dentro de la ciudad para consultar con los dueños y/o jefes de tales talleres la manera cómo llevan a cabo sus conversiones y algunos inconvenientes que se presentan durante este proceso. De esta manera, se puede obtener una visión de campo sobre el proceso de conversión; sin embargo, también ha sido necesaria la investigación de publicaciones de los enterados sobre el tema, así como, obtener normativa y legislación para entender qué es lo que se permite y qué lo que no en una conversión, de lo cual, un jefe de taller generalmente no comenta.

Finalmente, se puede decir que, tanto el negocio de las conversiones como el de la utilización del gas natural en motores fabricados para tal, se les augura un buen futuro, por los ahorros percibidos por los usuarios, y por la calidad de las emisiones en los gases de escape; el único tema por resolver, es la manera en cómo se puede llevar a cabo una distribución masiva del gas para que no solamente usuarios de la ciudad de Lima puedan beneficiarse de su utilización. Asimismo, se puede decir que, finalmente la utilización del gas natural estaría destinada a aquellas personas cuyo recorrido anual sea un poco elevado debido a los costos que existen para la conversión y a que el ahorro de combustible es más percibido cuando se recorre más con el vehículo.

MCMXXVII



*Este documento está dedicado a mis padres, quienes con su esfuerzo me permitieron llegar hasta el final. A mis hermanos, familiares, que confiaron en mí. Y a mis amigos...que estuvieron en los momentos más duros de la carrera.*

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a las personas y empresas que, con su ayuda y guía, me permitieron llevar a la culminación este documento de tesis: AGN Ingenieros, Futurgas S.A., Automóviles Citroën (Pablo Sánchez), Indumotora del Perú S.A. y a J.H.O.



## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	i
APROBACIÓN TEMARIO DE TESIS.....	ii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
INTRODUCCIÓN.....	1
1. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE LOS MOTORES A GAS NATURAL.....	4
1.1. El gas natural y el gas natural vehicular.....	4
1.1.1. La combustión del gas natural.....	8
1.2. Vehículos con sistemas de gas natural vehicular.....	18
1.2.1. Funcionamiento de los motores bi-combustible.....	21
1.2.2. Particularidades del funcionamiento de los motores a gas natural.....	23
1.2.3. Ventajas y desventajas de los vehículos a gas natural.....	26
1.3. Tecnología para la conversión.....	30
1.3.1. Elementos para vehículos con sistemas carburados.....	30
1.3.2. Elementos para vehículos con sistemas inyectados.....	44
2. PROCEDIMIENTO DE LA CONVERSIÓN DE VEHÍCULOS.....	52
2.1. Ingreso al taller.....	53
2.2. Trabajo de taller.....	57
2.2.1. Depósito cilíndrico de gas natural.....	58
2.2.2. Electro válvula de alimentación.....	60
2.2.3. Regulador de presión.....	61
2.2.4. Indicador de nivel de gas.....	62
2.2.5. Emulador de inyección gasolina.....	63
2.2.6. Corrector de avance.....	64
2.2.7. Pico dosificador.....	65
2.2.8. Tuberías de conexión.....	65
3. PROCEDIMIENTOS POST-CONVERSIÓN.....	69
3.1. Operaciones post-conversión.....	70
3.1.1. Control sobre los elementos mecánicos gas natural.....	70
3.1.2. Control sobre los elementos eléctricos gas natural.....	72
3.1.3. Puesta a punto del encendido.....	73
3.1.4. Regulación de caudales.....	73
3.2. Cuadro de búsqueda de averías.....	75
3.3. Operación especial para mantenimiento.....	78

4. ASPECTOS ECONÓMICOS DE LA CONVERSIÓN DE VEHÍCULOS A GAS NATURAL.....	82
CONCLUSIONES.....	93
RECOMENDACIONES.....	95
BIBLIOGRAFÍA.....	97

## ANEXOS

A1. NTP 111.013. “Cilindros de alta presión para almacenamiento de gas natural utilizado como combustible para vehículos automotores”.

A2. NTP 111.014. “Componentes del equipo de conversión para vehículos que funcionan con gas natural vehicular”.

A3. NTP 111.015. “Montaje de equipos completos en vehículos con gas natural vehicular”.

A4. NTP 111.016. “Dispositivos de sujeción para cilindros en vehículos con gas natural vehicular”.

A5. NTP 111.026. “Inspección y pruebas en la preconversión y post-conversión de vehículos convertidos a GNV”.

A6. “Evaluación mecánica, energética y ambiental de vehículos a gas natural que operan a gran altitud” – José Ignacio Huertas.

A7. “Conversión de una planta eléctrica de gasolina a gas natural” – J.G. Fajardo & J.I. Huertas.

A8. “Conceptos sobre conversión de motores diesel pesados para latinoamérica y países en desarrollo”. - Ing. Alberto P. Garibaldi (Tomasetto Achille)

## INTRODUCCIÓN

A partir del año 2000 aproximadamente, en el Perú, existe una tendencia a utilizar fuentes de energía alternativas a las que comúnmente conocemos (y de las que dependemos) para realizar nuestras actividades diarias. Estas fuentes de energía alternativa, que se empezaron a utilizar con gran aceptación y demanda, corresponden a los combustibles gaseosos tales como: el gas licuado de petróleo, en un primer momento; y recientemente, el gas natural.

Estos combustibles alternativos vienen siendo utilizados en diversos campos de la industria debido a que los bajos costos para la obtención de los mismos, origina que los precios de distribución sean menores que el de los combustibles líquidos, para generar la misma cantidad (pero de mejor calidad) de energía. No obstante, la principal desventaja para la utilización de estos combustibles, es el costo de la implementación del sistema y la poca disponibilidad del mismo.

El rubro automotriz no podía quedarse de lado en esta nueva búsqueda y utilización de combustibles más baratos. La utilización de combustibles gaseosos está presente en la combustión de los motores que utilizaban gasolina y que, después de una conversión con kits especiales, realizan la combustión con gas natural (GNV o GNC). Estas conversiones se llevan a cabo en talleres que ofrecen estos servicios, con variaciones en los precios que dependen, básicamente, de la calidad de los kits utilizados y la clase y tamaño de los motores de los vehículos a convertir; pero siempre basados en leyes y normas técnicas aprobadas y publicadas por el Estado Peruano.

Es por esta razón que el presente trabajo se centrará en las características de la conversión a gas natural por parte de los talleres dentro de la ciudad de Lima, en búsqueda de la optimización de tales conversiones para su aplicación en la mayoría de vehículos ligeros que forman parte del variado parque automotor peruano.

El trabajo presentado lo que busca principalmente, es sintetizar y presentar la información sobre los procedimientos para la conversión a gas natural vehicular que cumpla las expectativas de calidad en la utilización de los equipos y en la instalación del sistema en vehículos ligeros con motores gasolineros, carburados e inyectados.

La finalidad de la conversión de los vehículos con motores a gasolina, es permitir que los vehículos realicen una combustión adecuada. Para ello, se medirá el valor del coeficiente que proporciona la cantidad real de aire consumido, llamado también lambda, muy cercano o igual a 1 (combustión normal en velocidad de crucero). Se hace énfasis en una combustión correcta porque esta reduciría los gases nocivos en las emisiones, y por tanto, la contaminación.

Se eligió realizar este trabajo para conocer la manera cómo se realizan las conversiones de los sistemas a gas de los vehículos en nuestro país, así como conocer los procesos y elementos involucrados en estos sistemas; al mismo tiempo que se desarrolla la industria de los vehículos impulsados a gas natural, dejando un poco de lado la dependencia sobre los combustibles líquidos derivados del petróleo que, en nuestro país, no son muy bien procesados, lo cual ocasiona alta contaminación ambiental.

Lo que motivó a la elección de este tema, es que es un tema muy de moda actualmente y que tiene alta proyección en nuestro país, debido al impulso por parte del Gobierno a la exploración y explotación de nuevos yacimientos de gas, convirtiéndose en una excelente oportunidad para invertir por parte de los nuevos profesionales en la materia.

Lo que se pretende al presentar este trabajo, es mostrar cómo se está utilizando al gas natural en los vehículos en nuestro país, y tal como viene sucediendo en diversos países, conocer las tecnologías y procedimientos empleados; lo que en el futuro, generaría que la dependencia respecto de los otros combustibles y la sensibilidad ante las variaciones de precios en el mercado internacional de los mismos, sean menores. Esto se traduce en ahorro para todos los usuarios que operen sus vehículos con este combustible y desarrollo de nuevas formas de energía.

La metodología que se plantea para este trabajo se iniciará con la búsqueda de la normatividad y legislación vigente referente a implementación de los talleres de conversión a gas natural vehicular, así como, la normatividad que regula los elementos

a utilizar para una instalación; información proveniente la biblioteca del INDECOPI, entidad encargada de publicar las normas técnicas referentes a las conversiones a gas natural. Una vez realizada la tarea de la recopilación de la legislación, se procederá a la visita de ciertos talleres que realicen las conversiones, en donde se realizarán entrevistas con los propietarios y/o encargados del taller, para aclarar dudas respecto a procedimientos de la conversión, demandas de trabajo y costos. Si existiera alguna información adicional será obtenida de algunos documentos que los fabricantes proporcionan a sus distribuidores.

Los resultados obtenidos a partir de la metodología mencionada se han distribuido en cuatro capítulos. El primer capítulo, comenzará con la presentación del marco teórico referente al gas natural y del principio de la combustión de este dentro del motor, para luego describir los elementos necesarios para la conversión y su mejor ubicación en el vehículo, tanto para vehículos carburados como inyectados.

En el segundo capítulo, se describirá al detalle el proceso correcto seguido para la conversión de los vehículos, se explicarán puntos tales como la inspección previa del motor del vehículo (valores aceptables de compresión del motor, estado de los componentes), basado en Normas Técnicas Peruanas, ya que de esta inspección depende mucho la eficiencia en la utilización del gas natural; inspección de la carrocería y de los elementos de suspensión.

En el tercer capítulo se podrá encontrar la manera de realizar una inspección posterior a la conversión con base en la NTP referida para este aspecto, así como un cuadro de problemas que se podrían presentar y la manera de solucionarlos.

Finalmente, en el cuarto capítulo, se presentan un análisis económico de los costos que representarían, para el usuario, la conversión de los vehículos con motores pequeños, del transporte ligero particular y de servicio público en nuestro medio.

## CAPÍTULO 1

### DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE LOS MOTORES A GAS NATURAL

#### 1.1. El Gas Natural y el Gas Natural Vehicular

Se puede comenzar definiendo al gas natural como un combustible fósil compuesto por una mezcla de hidrocarburos livianos, los cuales se componen entre 80% a 90% por metano ( $\text{CH}_4$ ). Este componente es el hidrocarburo más simple formado por un átomo de carbono, es el primer miembro de la familia de los alcanos que, en condiciones atmosféricas, se presenta en forma gaseosa y por lo general es hallado en depósitos subterráneos profundos.

El gas natural se formó hace millones de años cuando las plantas y los pequeños animales de mar fueron enterrados por arena y roca, los que se fueron acumulando hasta que la presión y el calor de la Tierra los convirtieron en gas natural que genera calor cuando las moléculas de hidrocarburo se queman en el aire.

A este gas se le denomina con el término "natural" porque en su constitución química no interviene ningún proceso; es limpio y sin color; en la naturaleza tampoco tiene olor, sin embargo, se le agrega un odorizante (para la distribución) como medida de seguridad.

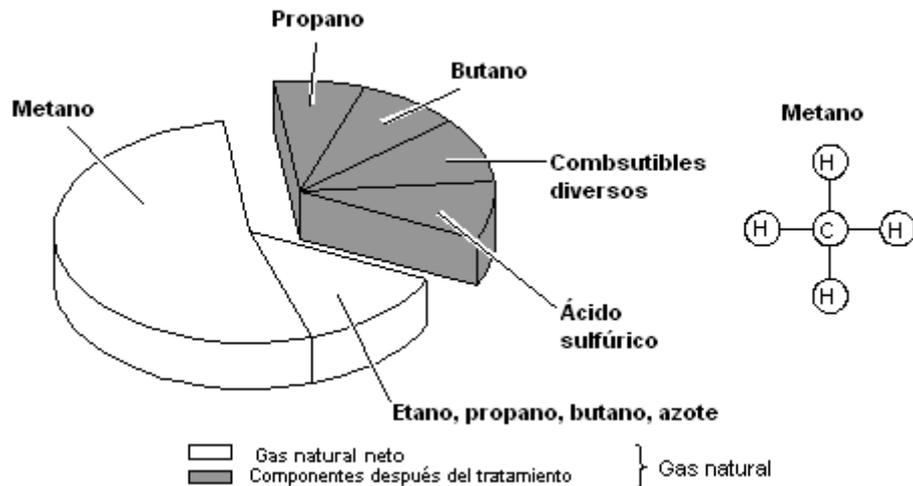


Figura 1. Productos obtenidos del gas natural [1]

A diferencia del GLP, el gas natural presenta esta característica básica de menor peso que el aire, por lo que en la atmósfera se dispersa rápidamente, disminuyendo el riesgo en su uso; esto, debido a que el metano, principal componente del gas natural, tiene una gravedad específica con relación al aire mucho menor.

El gas natural utilizado en los vehículos es lo que llamamos el Gas Natural Vehicular o Gas Natural Comprimido, traducción al español de NGV (Natural Gas for Vehicles), siglas utilizadas a nivel mundial para identificar al gas natural vehicular. Para el Perú, este gas natural proviene desde Camisea, luego de ser comprimido en las estaciones de servicio, es almacenado en los cilindros de los vehículos, diseñados especialmente para tal fin.

La utilización del gas natural vehicular presenta ventajas económicas, ambientales y de seguridad.

- Ventajas Económicas. Las reservas de petróleo crudo están disminuyendo, al no descubrirse nuevos yacimiento con valor comercial, mientras que las reservas de gas natural existen en abundancia y se espera que estas reservas se incrementen, especialmente de las zonas adyacentes a los lotes en etapa de explotación de Camisea; por tanto, es muy importante y beneficioso que se empiecen a utilizar sistemas, y combustibles, alternativos para la combustión. En países en los que el gas natural vehicular ha tenido un gran desarrollo, la diferencia de precios de este con los combustibles líquidos ha sido significativa. Para los precios actuales de los combustibles líquidos, la Cámara de Gas Natural Vehicular ha estimado que costarían un 65% menos que la gasolina de 90 octanos, 50% menos que el diesel y 48 % menos

que el gas licuado de petróleo. Además el usuario ahorraría mucho más ya que el motor extenderá su vida útil requiriendo menos gastos de mantenimiento por un alargamiento del periodo de cambio de aceite lubricante, de las bujías de encendido y de la necesidad de afinamiento [2].

A continuación se presenta una tabla comparativa de precios entre los diversos tipos de combustible.

SECTOR ECONÓMICO	Combustible Alternativo	Precio Comb. Alternat.	Precio Gas Natural	Precio GN / Comb. Altern. (%)	Ahorro (%)
Usuario Gener. Eléct.	Diesel 2	11.41	2.42	21%	79%
Residencial / Pequeño Comercio	GLP	22.25	8.98	40%	60%
	Kerosene	18.88	8.98	48%	52%
Comerc. / Pequeña Ind.	GLP	22.25	6.37	29%	71%
Mediana Industria	Residual 6	6.82	4.63	68%	32%
Gran Industria	Residual 6	6.82	4.33	64%	36%
Estaciones GNV (Vehículos)	Gasolina 84	23.68	7.33	31%	69%
	GLP Vehic.	18.97	7.33	39%	61%
	Diesel 2 Vehic.	18.07	7.33	41%	59%

Tabla 1. Cuadro comparativo costos entre combustibles en US\$/MMBTU (agosto 2004) [3]  
MMBTU: millones de BTU

- Ventajas Ambientales. La toma de conciencia de la degradación del medio ambiente causada por las emisiones de gases de escape de origen vehicular, ha inducido a la búsqueda de combustibles más limpios, y más aún en un país como el nuestro, en el que la calidad del combustible es una de las peores de América del Sur; es por ello, que el gas natural se convierte en una alternativa atractiva debido a que no posee aditivos en su composición, como el azufre y el plomo.

El contenido de azufre, es la masa de este cuerpo presente como mineral (o en los compuestos orgánicos) por unidad de combustible que se quema. Se expresa en  $\text{mg/m}^3$ , o en  $\text{mg/KWh}$ . y depende de la naturaleza del gas. El tratamiento de odorización puede traer cantidades muy pequeñas de azufre pero poco nocivas. En el gas natural vehicular, los efectos del azufre están muy por debajo de los valores admisibles por los organismos reguladores de emisiones ( $10 \text{ mg/m}^3$  de azufre total, en lugar de  $150 \text{ mg/m}^3$  del máximo admisible) [4].

La mezcla homogénea del gas con el aire permite una combustión casi perfecta, lo cual anula prácticamente la contaminación ambiental: reduce hasta un 97% las emisiones de monóxido de carbono (CO) y demás elementos contaminantes, con respecto a los combustibles líquidos; reduce hasta 100% las emisiones de particulado [2]. Los vehículos transformados a gas natural vehicular superan las normas EURO III vigentes actualmente e inclusive las normas EURO IV.

Combustible	MP Material Particulado	SO <sub>x</sub> Óxido de Sulfuro	NO <sub>x</sub> Óxido de Nitrógeno
Gas Natural	1	1	1
GLP	1,4	23	2
Kerosene	3,4	269	1,5
Diesel	3,3	1 209	1,5
Residual N° 5	15	4 470	4
Residual N° 6	39,4	4 433	4
Carbón	157	5 283	6

Tabla 2. Emisión de Contaminantes de Combustible [5]

CONTAMINANTE	EFECTOS SOBRE	
	las personas	el ambiente
MP (Material Particulado)	Disminución de la visibilidad. Aumento de afecciones respiratorias crónica, ronquera. Síntomas respiratorios nocturnos bronquitis. Acceso de asma bronquial.	Daño directo a la vegetación (dificultad en la fotosíntesis).
SO <sub>2</sub> (Dióxido de Sulfuro)	Altamente nocivo en presencia de humedad.	Lluvia ácida.
NO <sub>x</sub> (Oxido de Nitrógeno)	Irritante. Potencialmente cancerígeno.	Lluvia ácida Efecto invernadero.

Tabla 3. Efectos nocivos de contaminantes [5]

- Seguridad. Es importante tener presentes dos conceptos para tratar los problemas de ventilación en los lugares donde se instalan los elementos que operan con gas. Uno, es la densidad; la masa de 1m<sup>3</sup> de gas bajo una presión atmosférica de 1,013 bares y a una temperatura de 0°C. Se expresa en kg/m<sup>3</sup>. Otro, es la densidad respecto del aire; la relación entre la densidad de gas considerada sobre la del aire, a la misma temperatura y la misma presión. Esta relación se expresa sin unidades [6].

En la operación del gas natural, para el caso de las fugas, al ser más ligero que el aire ( $\rho=0.65 \text{ kg/m}^3$ ) [2], se disipa rápidamente en la atmósfera; únicamente se requiere tener una buena ventilación. Así mismo, el gas natural no es tóxico ni corrosivo.

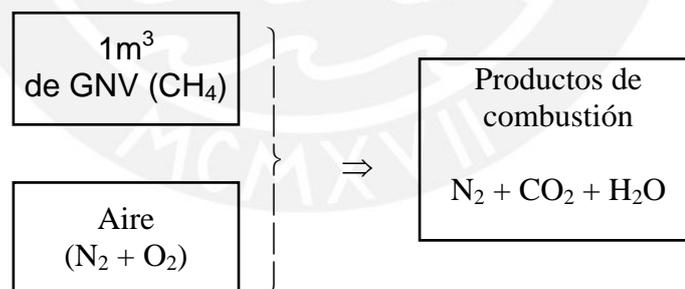
### 1.1.1. La combustión del gas natural.

En este apartado, para efectos de los cálculos presentados, se asume que el gas natural está conformado en su totalidad por metano ( $\text{CH}_4$ ).

Se define a la combustión como la reacción química de oxígeno + combustible que produce el calor como consecuencia de la descomposición de las moléculas originales y la formación de las moléculas de productos finales (productos de combustión). Como se mencionó, una de las ventajas principales que presenta la utilización del gas natural como combustible, es que los motores presentan menos emisiones contaminantes debido al bajo contenido de carbono de este gas.

Las emisiones están dadas por el tipo de mezcla realizada, como en todo motor de combustión interna, se tiene:

- Mezcla estequiométrica. Este tipo de combustión es difícil lograr porque es necesario suministrar el aire y el gas en la proporción estequiométrica. Una falta de homogeneidad de la mezcla puede traer consigo una combustión incompleta.



El equilibrio químico del gas natural es:



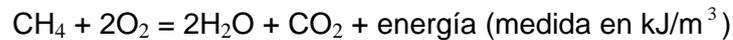
Por ejemplo, para quemar  $1\text{m}^3$  de metano, son necesarios  $2\text{m}^3$  de oxígeno. El aire, que contiene 21% de oxígeno, hay  $0,21\text{m}^3$  de oxígeno en  $1\text{m}^3$  de aire; entonces, para

quemar  $1\text{m}^3$  de metano, será necesario:  $\frac{2\text{m}^3\text{O}_2}{0.21\text{m}^3} = 9.53\text{m}^3$  de aire.

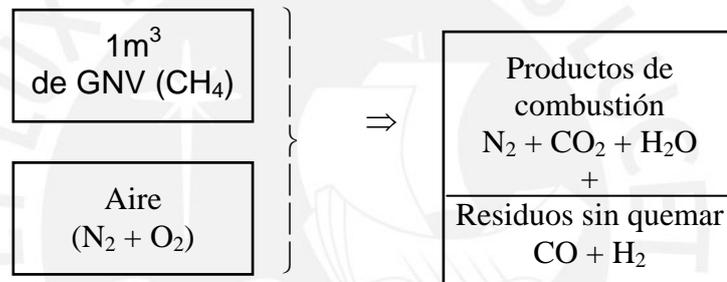
- Combustión completa con exceso de aire. Para  $1\text{m}^3$  de gas, se proporciona un volumen de aire superior al estequiométrico. La oxidación completa del carbono e

hidrógeno está asegurada por la parte de aire igual a la mezcla estequiométrica, y el aire en exceso se encuentra totalmente entre los productos de combustión, que contienen: anhídrido carbónico, vapor de agua, oxígeno y nitrógeno.

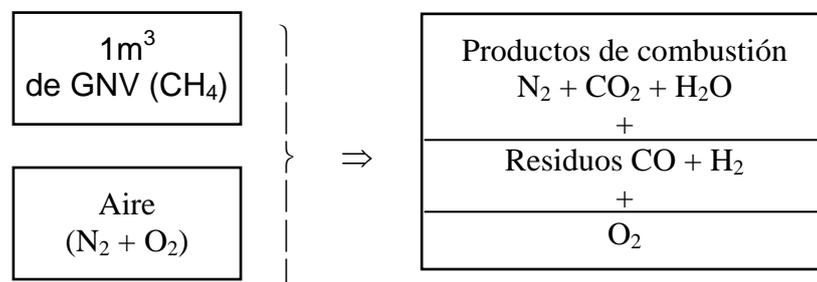
Este tipo de combustión presenta la siguiente expresión:



- Combustión incompleta con déficit de aire. Por  $1\text{ m}^3$  de gas, se proporciona un volumen de aire más bajo al estequiométrico; el uso del oxígeno es total. Se encuentra, por consiguiente, residuos de combustión sin quemar en los productos de combustión, como el monóxido de carbono e hidrógeno y, para una ausencia de aire importante, metano, carbono y hollín. También se encuentra nitrógeno, dióxido de carbono y vapor de agua. Este tipo de combustión es difícil lograr, no obstante, es utilizada en algunas aplicaciones industriales.



- Combustión incompleta. En este tipo de combustión,  $1\text{ m}^3$  de gas se asocia a cualquier cantidad de volumen de aire, y, debido a algunas condiciones desfavorables, una parte del gas no participa en la combustión. Los equilibrios químicos no se logran, porque el gas y el aire disponible no se combinan completamente en la zona de combustión. Se puede encontrar entre los productos de combustión el oxígeno y residuos de la combustión sin quemar.



La ausencia de enriquecimiento de la mezcla en el arranque en frío, y la baja temperatura en los productos de la combustión de las emisiones de escape, reduce la necesidad de enriquecimiento en condiciones de máxima aceleración, protegiendo la válvula de escape y favoreciendo las emisiones menos contaminantes. Los motores de

gas natural también son capaces de conseguir niveles de NO<sub>x</sub> tan buenos como los de los mejores motores de gasolina, y 50 a 80% más bajos que los niveles de NO<sub>x</sub> de los motores diesel. La emisión de partículas es extremadamente baja, y la emisión de formaldehídos es comparable a la de los motores de gasolina o diesel [7].

La emisión de hidrocarburos totales tiende a ser 2 ó 3 veces mayor que la de los motores a gasolina con control de emisiones, sin embargo una gran fracción de estas emisiones de hidrocarburos es metano, el cual no es activo fotoquímicamente. La medición de metano contra el total de hidrocarburos, realizada por EPA y Southwest Research, muestra fracciones de metano en el rango de 0.75 a más de 1, por volumen; mientras que el total de hidrocarburos no metano de los motores de gas natural está usualmente muy por debajo de los niveles de emisión de motores similares de gasolina [7].

El hidrocarburo no metano presente en las emisiones de los motores de gas natural, se estima que es, principalmente, etano, con algunos etilenos, acetilenos y pequeñas cantidades de hidrocarburos C<sub>3</sub> (propano), y trazas de formaldehídos y especies C<sub>4</sub>+ (butano). En las composiciones típicas del gas, la especie C<sub>2</sub> (etano) representa entre el 70 y 90% del total no metano. Todas las especies primarias presentes tienen muy baja reactividad fotoquímica.

Como información adicional a las emisiones del gas natural, debemos recordar que las emisiones de los motores se evalúan en base a masa, y los elementos que invariablemente están sometidos a regulación son los HC, CO y los NO<sub>x</sub>, con diferentes límites para cada país o ciudad. Para evaluar estas emisiones se han desarrollado métodos de prueba que permiten comparar los niveles de gases emitidos y crear un instrumento de legislación. Los métodos más empleados en el mundo son el U.S. Federal Test Procedure (FTP) y la Economic Commission for Europe Regulation 49 (ECE R49) [7].

#### 1.1.1.1. Diagramas de combustión.

1. El diagrama de Biard [8]. Este diagrama permite conocer la composición de los productos secos de combustión, según los cuatro tipos de combustión, para un gas determinado.

El eje de las abscisas, representa el volumen de oxígeno ( $O_2$ ), y el eje de las ordenadas, representa el volumen de dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Este diagrama consiste en un triángulo que incluye los puntos representativos de todos los tipos de combustión que se delimita por tres rectas:

- Una recta superior que conecta el punto de las coordenadas  $(0; [Y_{CO_2}] 0)$  al punto de las coordenadas  $(21; 0)$ ; da todos los puntos de combustión completa con exceso de aire. Esta recta se denomina recta de Guebel [8].

El punto  $(0; [Y_{CO_2}] 0)$  corresponde a una combustión completa sin exceso ni déficit de aire, es decir, al porcentaje máximo de anhídrido carbónico en los productos secos de combustión.

El punto  $(21, 0)$  corresponde a una dilución infinita de los productos de la combustión completa en el aire, en este caso, el volumen en oxígeno es igual al volumen en oxígeno de aire.

- El eje Y representa todos los casos de combustión completa con deficit de aire, con el uso total del oxígeno.
- Una recta más baja, cuyo punto de intersección con el eje Y, corresponde a un deficit de aire tal, que el contenido de gas en la mezcla, sería igual al límite de inflamabilidad. (Esta recta no se presenta en el diagrama).

Todos los puntos situados al interior de este triángulo representan los casos de combustión incompleta; la curva  $n = 1$  divide el diagrama en dos zonas: a la derecha, hay exceso de aire; a la izquierda, falta de aire [8].

Ejemplo de utilización: Un análisis de los productos secos de la combustión de gas arrojó los siguiente resultados:  $CO_2 = 10\%$ ;  $CO = 0$ ;  $O_2 = 3\%$ . Es suficiente con estos valores para ingresarlos en el diagrama de BIARD del Gas Natural y concluir entonces que está sobre una combustión perfecta con 15% de exceso de aire.

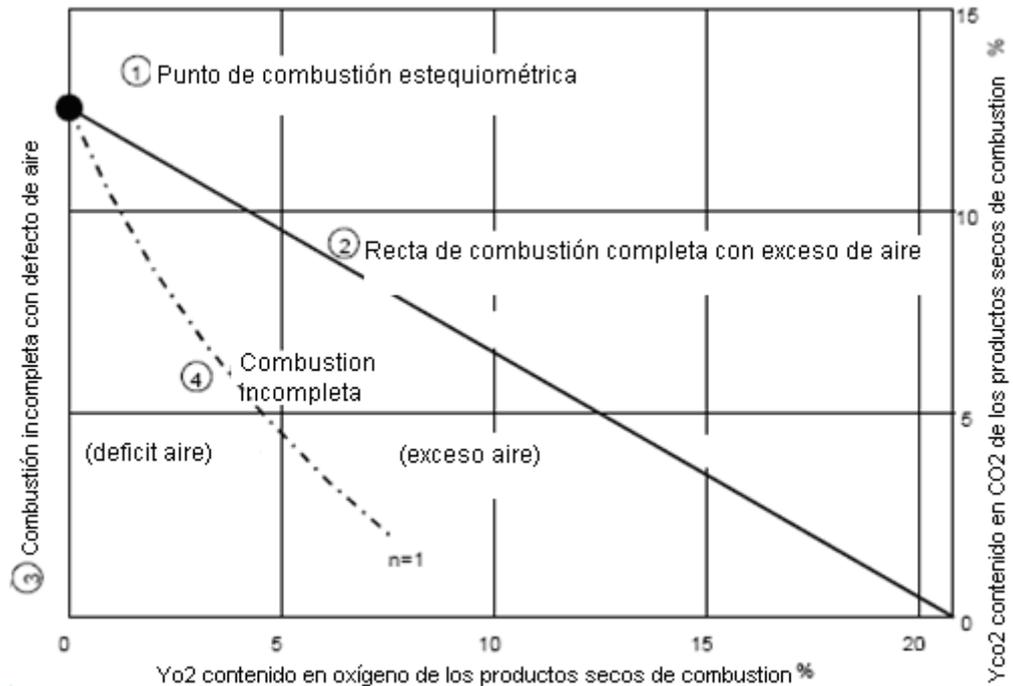


Figura 4. Diagrama de Biard [8]

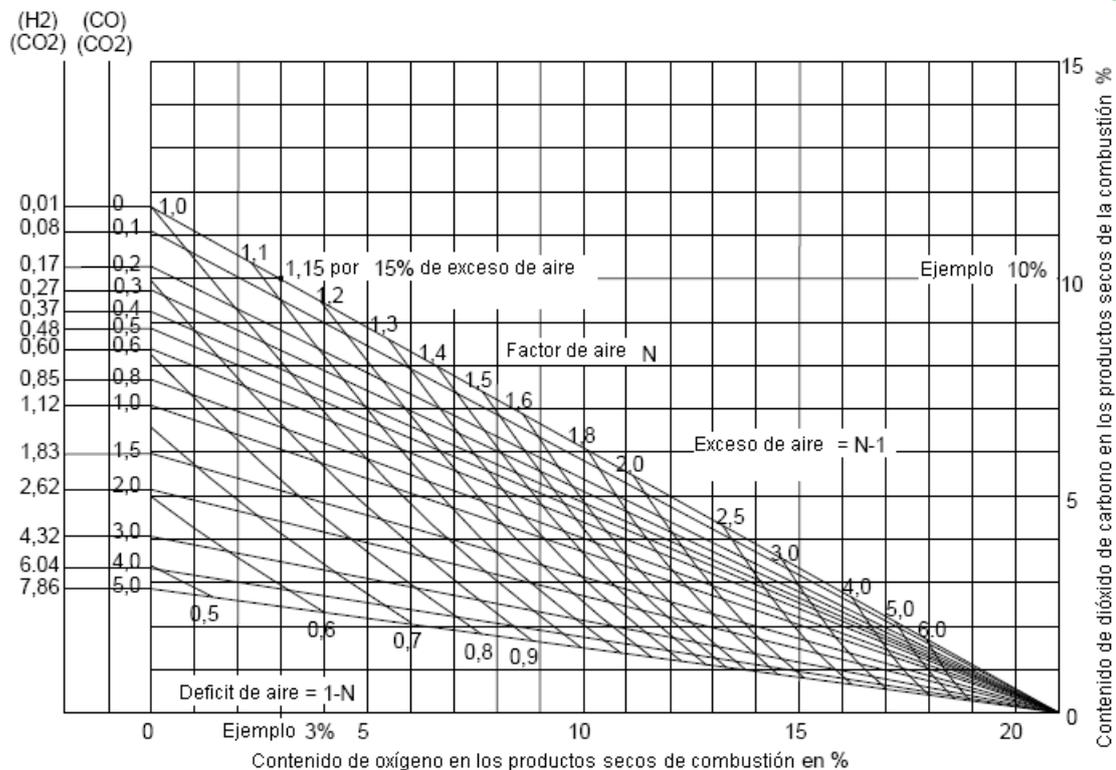


Figura 5. Diagrama de combustión del gas natural establecido para una temp. de reacción igual a  $1200^{\circ}C$  [8]

2. Diagramas de equilibrio. Permiten, según la relación aire - gas, prever la presencia de los siguientes elementos o compuestos en los productos de combustión: carbono,

monóxido de carbono, dióxido de carbono, metano, hidrógeno y vapor de agua, oxígeno y nitrógeno. A estos ocho constituyentes se añade el volumen de los productos de combustión.

Estos diagramas se calculan considerando una combustión completa y en las condiciones siguientes: 0°C, 1013 mbar, y 1m<sup>3</sup> de gas natural. Se trazan rectas para los productos de combustión húmedos; y otra para productos de combustión secos. Se pueden utilizar para temperaturas de combustión que van desde 1100°C hasta 1700°C.

Ejemplo de utilización: se mide en un recinto térmico tipo, un 5% de O<sub>2</sub>. Sobre el diagrama de productos de combustión secos, eso corresponde a un tipo de aeración n = 1,3 (es decir, 30% de exceso de aire). La composición real de la atmósfera, sobre el diagrama de los productos de combustión húmedos, es la siguiente:

- O<sub>2</sub>: 4,5%
- CO<sub>2</sub>: 7,5%
- H<sub>2</sub>O: 14,9%
- N<sub>2</sub>: 73,1%

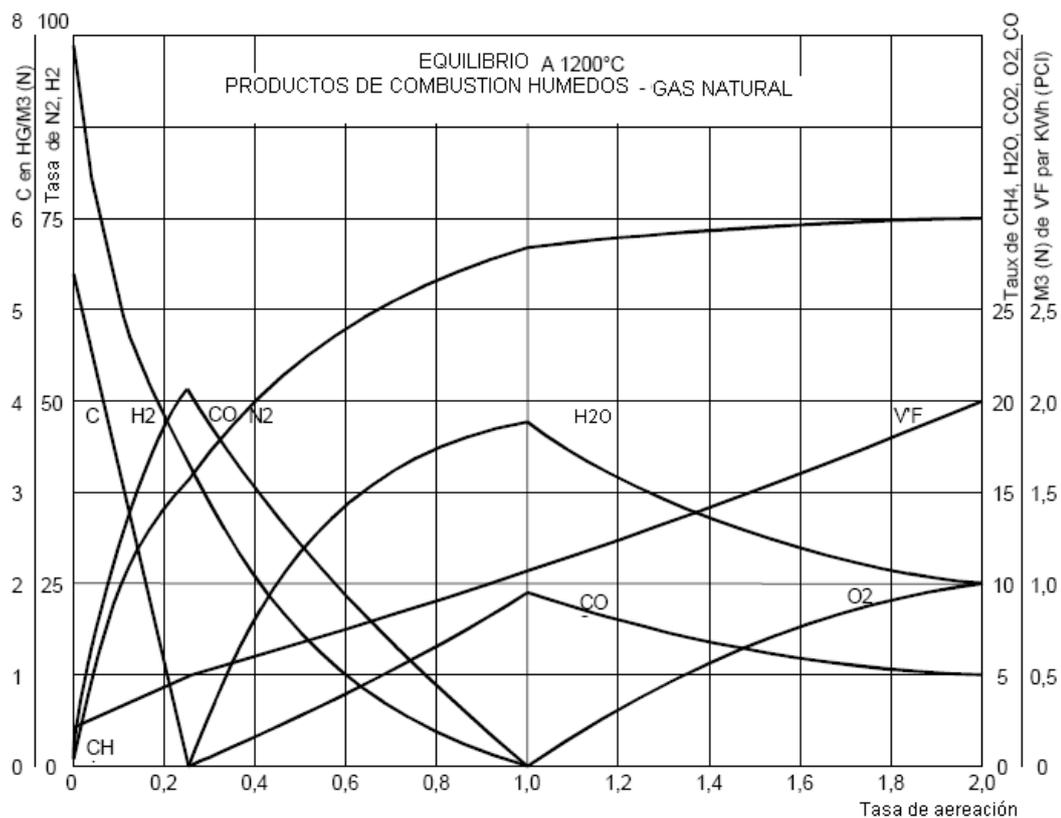


Figura 6. Diagrama de equilibrio a 1200 °C para productos de combustión húmedos [8]

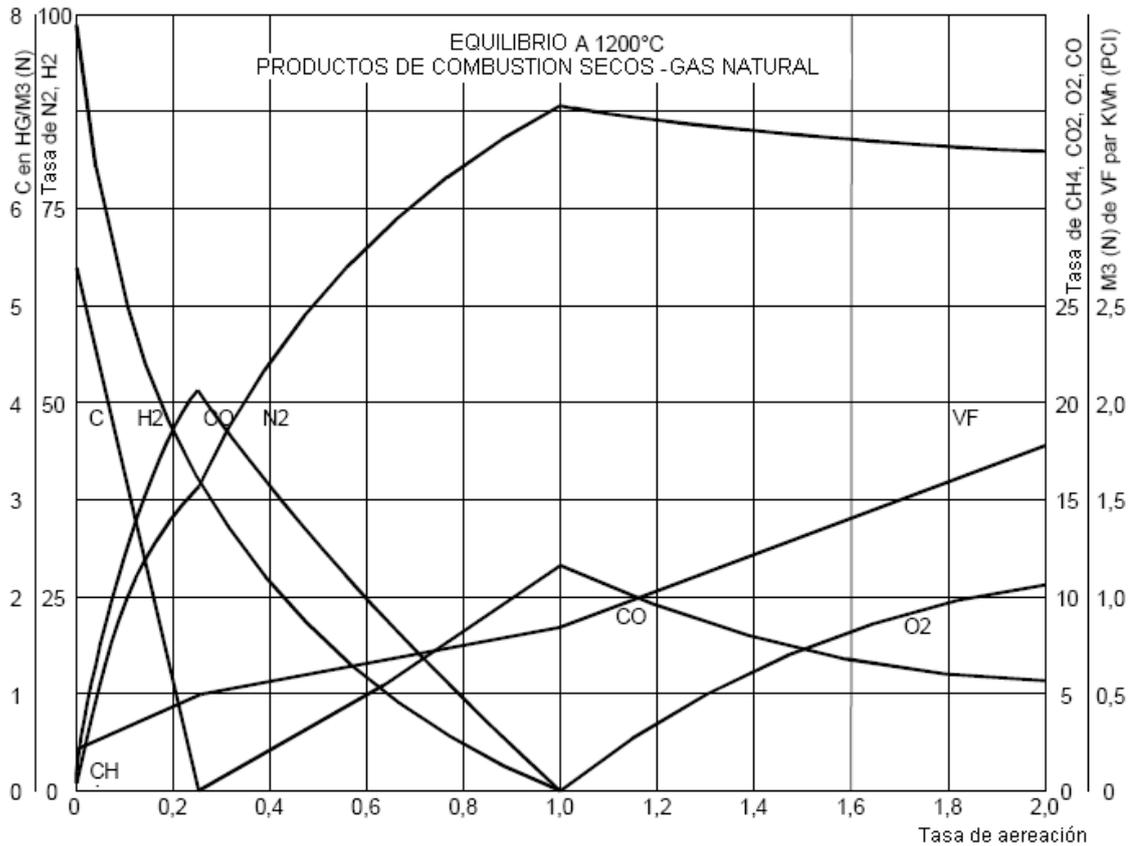


Figura 7. Diagrama de equilibrio a 1200 °C para productos de combustión secos [8]

3. Diagramas de combustión incompleta. Si se observan los productos del oxígeno residual y el combustible sin quemar (la presencia de CO), el diagrama de Biard no permite determinar la tasa de combustión y la tasa de aire sin utilizar. El diagrama de las combustiones incompletas permite determinar estos dos parámetros.

Las combustiones completas con exceso de aire se representan en el eje X; las combustiones completas con déficit de aire, en el eje Y.

Ejemplo de utilización: la composición de productos de combustión resultantes de un análisis de los productos secos es la siguiente:

- O<sub>2</sub> : 2,1%,
- CO<sub>2</sub> : 9,2%,
- CO: 21,3%.

Encontramos en el diagrama de Biard:  $\frac{CO}{CO_2} = 0.25$

Colocando estos valores en el diagrama podemos obtener:

- Tasa de combustión (tc) = 0,9
- Tasa de aire sin usar (ta) = 0,1

- Tasa de aire ingresado:  $n = t_c + t_a = 1,00$

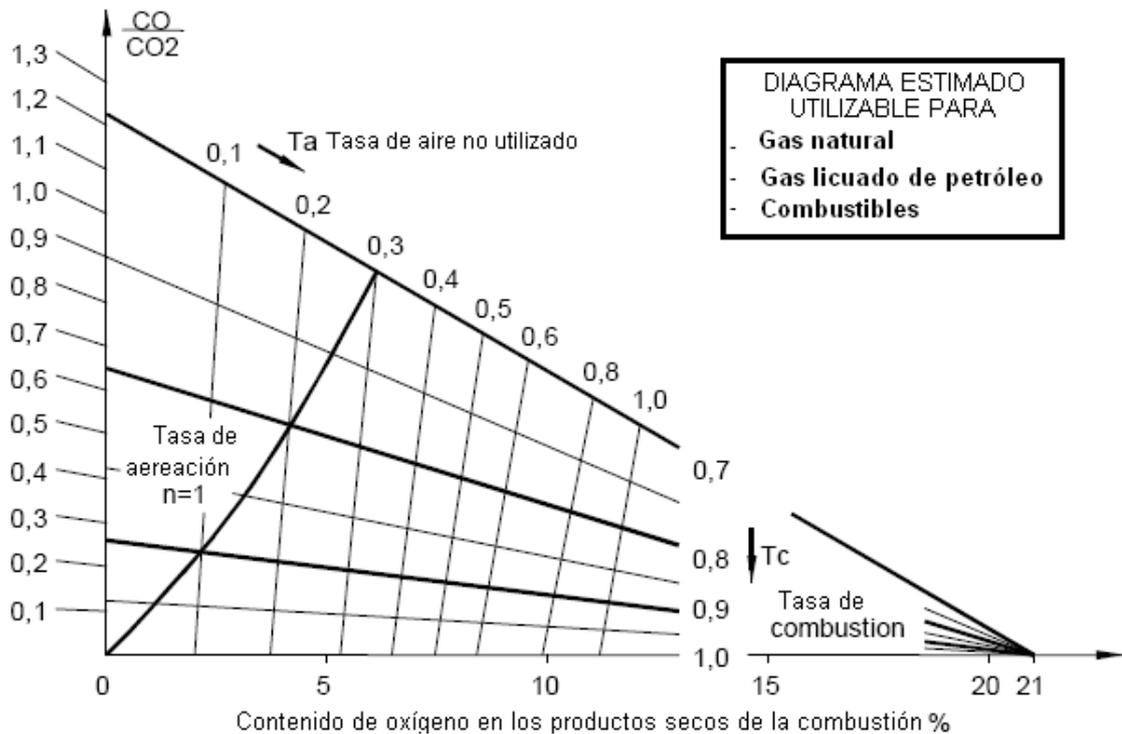


Figura 8. Diagrama de combustión incompleta [8]

### 1.1.1.2. Propagación de la flama.

1. Temperatura de ignición - límites de inflamabilidad. La temperatura de ignición es la temperatura mínima a la que debe llevarse un punto de una mezcla combustible aire/gas para que la combustión comience y se propague.

La dosificación aire/gas que requiere la flama, determina los límites inferiores y superiores de inflamabilidad, más allá de los cuales la combustión no puede comenzar. Estos límites se dan en porcentaje volumétrico:  $\frac{Vol.comb.gaseoso}{Vol.mezcla}$ .

Por otra parte, los dos parámetros que influyen en la temperatura de auto-ignición son:

- La presión; sobre la presión atmosférica, algunos gases como el metano tienen una temperatura de ignición que disminuye ligeramente cuando la presión aumenta.
- La temperatura; la zona de inflamabilidad aumenta cuando se incrementa la temperatura de la mezcla.

TEMPERATURA DE MEZCLA	LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
°C	% DE MEZCLA	
0	5,2	13,4
100	4,7	13,7
200	4,2	14,7
300	3,7	15,9
400	3,1	17,3

Tabla 4. Zona de inflamabilidad del metano en relación a la temperatura de mezcla [9]

2. Principio de la velocidad de deflagración. La combustión es una reacción en cadena que puede propagarse de dos maneras:

- La detonación.
- La deflagración; el cual es un fenómeno que tiene lugar en las llamas de la mezcla combustible.

La deflagración es producida, en particular, por un mecanismo de calentamiento por conducción; la capa de mezcla en reacción calienta a la capa vecina, y así sucesivamente. La velocidad de deflagración (velocidad de propagación del frente de llama) depende de la conductividad térmica y la temperatura de ignición de la mezcla.

El otro mecanismo, poco conocido aún, se llama “difusión de los radicales libres” de la capa en reacción hacia la capa no encendida. Los radicales libres son agrupaciones activas e inestables de átomos. La velocidad de deflagración depende, pues también, de su velocidad de difusión, así como de su aptitud para empezar las reacciones.

La velocidad de deflagración de una mezcla aire/gas combustible, se mide en m/s. Para el caso del metano, esta es 0.38 m/s. [9]

Para poder definir la estabilidad de la flama se puede decir que en una mezcla inflamable inmóvil, la velocidad de deflagración representa la velocidad de propagación del frente de llama. En cambio, cuando la mezcla está en movimiento, la

llama es estable, si en un solo punto de la base del frente de llama, hay igualdad entre la velocidad local de salida de la mezcla y la velocidad de deflagración, y, si en otro punto, la velocidad de salida es superior a la velocidad de deflagración.

Si la velocidad la deflagración es demasiado pequeña respecto a la velocidad de salida, se origina la separación de las llamas. Por el contrario, si se acelera demasiado la deflagración respecto a la velocidad de salida, se produce el retorno de llama.

Por tanto, la velocidad de deflagración de un gas va a determinar el diámetro del agujero del pulverizador, para, de esta manera, conseguir la velocidad de la salida adecuada.

	ORIGEN DEL GAS	LÍMITES DE INFLAMABILIDAD DE LAS MEZCLAS FRÍAS AIRE-GAS			
		EN PROPORCIÓN VOLUMÉTRICA DE GAS EN LA MEZCLA		EN FUNCIÓN DE LA TASA DE AEREACIÓN	
		INFERIOR	SUPERIOR	INFERIOR	SUPERIOR
		$L_i$ (vol.)	$L_s$ (vol.)	n	n
		% de mezcla	% de mezcla	-	-
GAS NATURAL	Lacq	5,1	14,0	1,92	0,63
	Algeria (Fos)	4,9	13,9	1,91	0,61
	Algeria (Montoir)	4,7	13,7	1,90	0,59
	Mar del Norte	5,2	14,5	1,90	0,61
	U.R.S.S.	5,1	14,1	1,92	0,63
	Groningue	5,6	15,4	1,89	0,62
GAS DE PETROLEO	Propano comercial	2,4	9,3	1,75	0,43
	Butano Comercial	1,8	8,8	1,67	0,42

Tabla 5. Límites de inflamabilidad de mezcla aire/combustibles gaseosos [9]

## 1.2. Vehículos con sistemas de gas natural vehicular.

El gas natural puede utilizarse en los vehículos de dos maneras: realizando conversiones a partir de los motores diseñados para operar con gasolina o diesel, o pueden ser diseñados directamente desde fábrica para que funcionen con tal combustible; en este último caso las eficiencias percibidas son mayores que en la de los motores convertidos. Así mismo, el gas natural puede usarse en toda clase de vehículos: las motocicletas de tres ruedas (moto-taxis), los vehículos ligeros, las camionetas, los camiones, los autobuses, los montacargas, las locomotoras, incluso lanchas y barcas.

A pesar de que el gas natural puede utilizarse en todos los vehículos mencionados, hay algunas restricciones de carácter de seguridad y recorrido. Para el caso de la utilización en las motocicletas de tres ruedas no es tan recomendable debido a que el tanque de gas no es tan grande como para que el ahorro por el costo de combustible sea apreciable; sin embargo, en lugares como Tailandia o la India, estos sistemas se han implementado con gran éxito y poco a poco van creciendo el número de conversiones a esta clase de vehículos. En el caso de los vehículos ligeros, son aplicables estos sistemas a aquellos vehículos que funcionan como taxis o alguna actividad parecida, debido a que el kilometraje que recorren es mayor al que recorrería un auto particular, y, por tanto, el ahorro es mayor, lo cual no signifique que este tipo de conversiones esté ajeno a usuarios particulares. En el caso de los montacargas, la utilización de gas natural es muy adecuada, debido a que este combustible al tener emisiones poco contaminantes, lo hace ideal para trabajos en lugares cerrados, que es donde generalmente trabajan los montacargas.

Los vehículos que operan con gas natural se pueden clasificar de acuerdo a la clase de motor que, generalmente, dependen de la manera en la que el sistema está instalado y estos pueden ser:

- *Dedicados, Mono-valentes o Monocombustibles.* Estos motores son para vehículos que operan solamente con gas natural como su fuente de energía. Algunos de estos motores, a veces son acondicionados con un pequeño tanque de gasolina de reserva para ser utilizado en situaciones de emergencia en las que al vehículo se le agote el gas. Un motor dedicado a gas natural no difiere mucho en cuanto a medidas, peso, construcción o requerimientos de materiales de un motor a gasolina.

Asimismo, los principales esfuerzos enfocados al desarrollo de estos motores están dirigidos hacia la optimización de las siguientes características:

- Incrementar la relación de compresión.
- Combustión con mezcla pobre.
- Control de la inyección de combustible y de la relación aire-combustible.
- Ajuste del tiempo de ignición.
- Control catalítico de emisiones.
- Sensores del contenido de oxígeno en el escape.

- *Bi-combustible*. Son los sistemas en los cuales los vehículos pueden operar con gasolina (o algún otro combustible) o gas natural alternadamente, sin necesidad de detener el motor. Los vehículos bi-combustible son el resultado de una conversión. La mayoría de estos vehículos utiliza la gasolina para encender el motor y una vez encendido, utilizan el sistema de gas. El concepto bi-combustible se basa del propio motor con un carburador para gas natural (generalmente llamado mezclador gas/aire) o un sistema de inyección de combustible gaseoso, en adición al carburador regular o sistema *Fuel Injection*, que son colocados en el proceso de conversión por el taller correspondiente, y que forman parte de los llamados kits de conversión.

Los kits de conversión para este tipo de motores presentan los siguientes elementos:

- Cilindros para almacenar el gas.
- Interruptor del selector de combustible.
- Transductor para el selector de combustible e indicador de combustible.
- Válvula de corte maestro del cilindro.
- Conexión para la recarga del gas.
- Mezclador aire-combustible o Sistema de inyección de combustible gaseoso.
- Módulo de control de encendido, que adapta la curva de encendido del vehículo a las características del gas natural en el sistema dual gasolina.
- Válvula solenoide para el control de la gasolina.
- Líneas de presión adecuadas.
- Sistema de alivio de presión.

La última generación de kits de conversión interactúa 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.

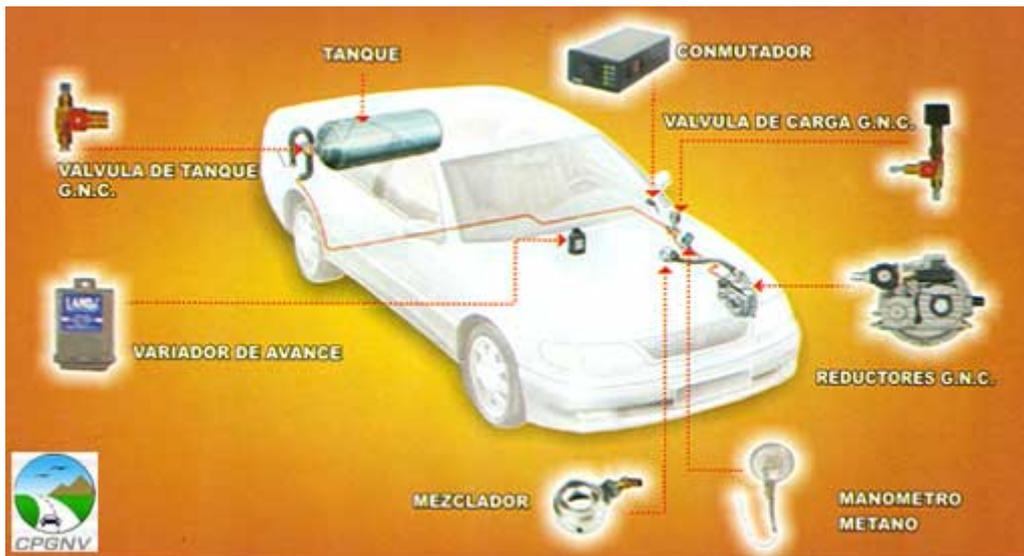


Figura 2. Sistema general de un vehículo convertido a GNV [10]

- *Sistema Dual.* Denominado también dual-fuel, es el conjunto de elementos (que constituyen un equipo completo de conversión) que hacen posible que el vehículo pueda operarse usando combustible líquido (diesel generalmente) y gas natural, simultáneamente. Un sistema dual utiliza una mezcla de gas/aire encendida por un “piloto o iniciador”, el cual lo constituye el diesel inyectado en la cámara. El diesel se inyecta directamente en la cámara de combustión, mientras el gas es introducido por el carburador o inyector de gas hacia la toma de aire [11].

La mezcla de gas natural y diesel varía según la carga y el ciclo recorrido del motor, con un rango que ocupa desde 80% a 0% de gas. A bajas cargas del motor, el uso del diesel tiende a ser superior, en vista de que a altas cargas del motor es posible utilizar una proporción mayor de gas [11]. Para ajustar dinámicamente las relaciones gas-aire-diesel se hace uso de tecnologías de control electrónico durante la operación del motor. Los sistemas duales, normalmente, son el resultado de una conversión de un motor diesel, y tienen la ventaja de no ser totalmente dependientes del gas natural como fuente de energía; así, si a un vehículo se le agotara el gas natural o estuviera distante de un centro de abastecimiento de gas natural, puede operar solamente con el diesel. Sin embargo, presentan la desventaja de que en estos motores el mantenimiento se realiza por separado de los dos sistemas de combustible.

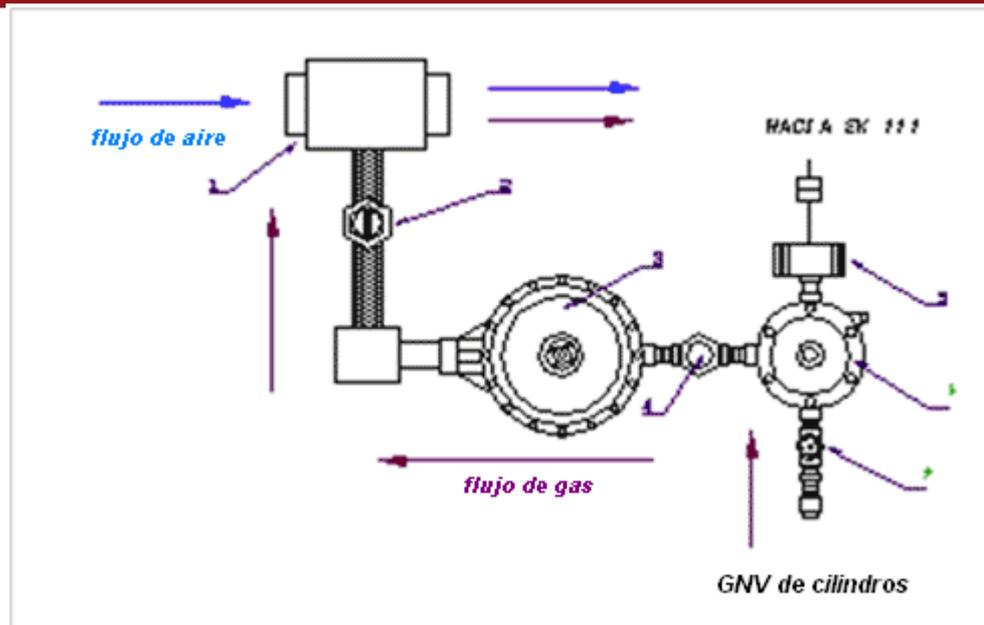


Figura 3. Esquema de instalación de sistema Dual [12]

- *Sistema Tri-combustible.* Este sistema es una tecnología nueva que se encuentra en proceso de desarrollo. Básicamente, este sistema combina el llamado “flex-combustible” y gas natural. El “flex-combustible” es un sistema que utiliza como combustibles a la gasolina y etanol por separado o juntos.

Un vehículo con este tipo de sistema puede operar con gasolina, etanol o gas natural. Esta clase de sistema, es usado en países como Brasil en donde el etanol es utilizado como una fuente energía principalmente para transporte.

- *Sistema de Inyección Directa a Alta Presión (HPDI).* Este sistema está siendo desarrollado en Canadá por Westport Innovations [11]. Este sistema se basa en el sistema dual para diesel pero se diferencia en que el gas y el diesel, ambos son inyectados directamente en la cámara de combustión, de manera que la combustión se da como si se estuviera en un motor diesel convencional. Este sistema está siendo extendido y aplicado en toda la región de Norteamérica.

#### 1.2.1. Funcionamiento de los motores bi-combustible.

Después de conocer los tipos de los motores a gas, se procederá a describir el proceso (en un motor bi-combustible) que sigue el gas desde su ingreso al sistema hasta su combustión en el motor.

El gas natural ingresa al sistema a través del pico de carga interno (o externo) a una presión aproximada de 200 bares, lo cual se comprueba con el manómetro instalado al lado de dicha válvula. Fluye por las tuberías, y pasa por la válvula de carga, la que corta o permite el paso del gas hacia el motor mediante un accionamiento manual. El gas natural es conducido por un conducto de alta presión hasta el cilindro de almacenamiento. Este cilindro de distintos diámetros y largos, según la cantidad de gas a almacenar, cuenta en su entrada con una válvula de cilindro o servicio que permite cerrar la entrada o salida del gas, también mediante accionamiento manual. Desde el cilindro de almacenamiento fluye a través de la tubería de alta presión y llega al compartimiento del motor. En el motor, el regulador de presión reduce la presión a un valor cercano a la presión atmosférica (0.3 - 0.5 bares), esta caída de presión produce temperaturas de congelamiento en el reductor, las cuales se aumentan utilizando el sistema de refrigeración del mismo vehículo.

Luego de que el gas ha pasado por el regulador de presión, se mezcla con aire en el mezclador y fluye a través del carburador al motor, pasando antes, por una válvula limitadora de caudal o válvula de máxima. En los vehículos carburados, el mezclador se instala en el tramo que va desde el filtro de aire hacia el carburador, o entre el carburador y el múltiple de admisión; en los vehículos con inyección electrónica, se instala en el tramo que va desde el filtro de aire a la mariposa del conjunto inyector, o entre la mariposa y el múltiple de admisión.

Un selector de combustibles o llave conmutadora se encuentra ubicado en el tablero de instrumentos y al alcance del conductor, este selector sirve para elegir el tipo de combustible que se desea utilizar, y además, posee un indicador de nivel de carga de los cilindros de almacenamiento.

En los kits de conversión más modernos, se dispone de un instrumento electrónico de variación de avance de encendido (y mecanismos auxiliares en algunos modelos) para prever el funcionamiento adecuado tanto en gasolina como en gas natural. Esto debido a que el vehículo cuando funciona con gas natural requiere de un avance al encendido mayor que con la gasolina. Este variador o corrector electrónico de avance corrige automáticamente los valores según el combustible que se este usando.

En los vehículos con inyección electrónica, además del mezclador, se deben agregar otros elementos, tales como emulador de inyectores monopunto o multipunto, emulador de sonda lambda, corrector de avance, etc.

### 1.2.2. Particularidades del funcionamiento del motor a gas natural.

Existen ciertos aspectos que presentan los motores operando con gas natural que deben ser tomados en cuenta para tener ciertas precauciones al momento de realizar las conversiones. Estos son:

#### 1.2.2.1. La Ignición.

Se debe partir del hecho de que el gas natural necesita de una mayor temperatura que la gasolina para iniciar la combustión debido a su alto octanaje.

La mezcla aire/gas natural es más aislante eléctricamente que la mezcla aire/gasolina; por este motivo, es necesario una mayor tensión de encendido entre los electrodos de las bujías para conseguir que se produzca la chispa. Al ser más aislante el medio, se incrementa la tensión de encendido y, consecuentemente, la corriente de mantenimiento. La corriente de mantenimiento es “aquella que hace posible que la corriente circule entre los electrodos de las bujías luego de producida la ruptura”; esto perjudica el tiempo de quemado, dado que la tensión de encendido siempre debe ser mayor cuando el motor funciona a gas natural.

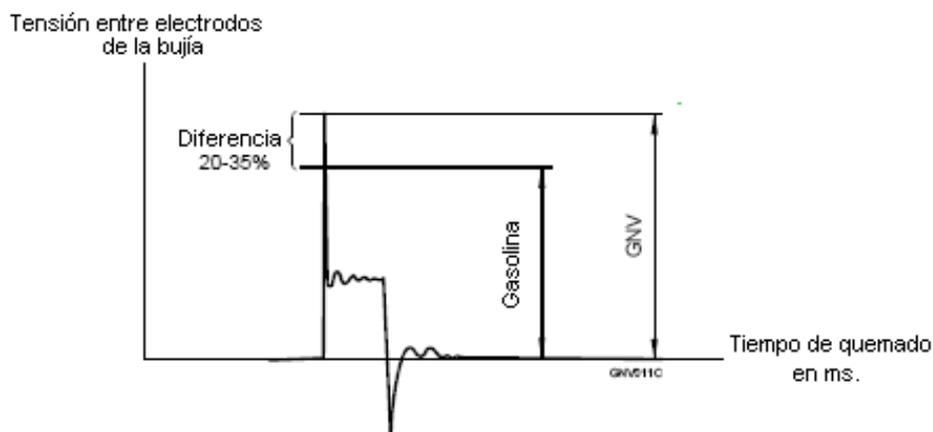


Figura 9. Comparación de tensión de la bobina para la ignición [13]

#### 1.2.2.2. El avance.

Debido a que la combustión del gas natural es más lenta que la combustión realizada con gasolina, es necesario adelantar el avance de la chispa; para, de esta manera, armonizar el momento de la presión en el ciclo de trabajo con el de la gasolina.

Los valores recomendados para el avance del encendido en relación al ajuste en gasolina son:

- 0°, en ralentí y con el motor caliente.
- +6°; al giro de la máxima potencia (de acuerdo a información de fabricante) [13].

#### 1.2.2.3. Las bujías.

Como se conoce, la distancia entre los electrodos aumenta con el uso de la bujía. El resultado es que la tensión de ionización se vuelve más elevada.

Se recomienda, por tanto, mantener el tipo de bujías recomendadas por el fabricante, pues de lo contrario pueden aparecer problemas en el arranque.

#### 1.2.2.4. Fenómeno de la detonación o del picado.

En un motor operando con gas, la combustión no se presenta inmediatamente en toda la mezcla aire/gas, como en un motor diesel, por ejemplo, en el que todas las gotas de combustible encienden debido a la presión y la temperatura de la cámara de combustión. La combustión de la mezcla aire/gas empieza por una chispa, y la llama toma un cierto tiempo para cruzar la cámara de combustión, encendiendo la mezcla, y aumentando la presión en la parte no alcanzada por el frente de llama.

Durante el fenómeno de detonación, una parte de la mezcla ya quemó, y una parte espera ser quemada. La parte no quemada, llamada “gas muerto”, es calentada por la compresión debida a la expansión de la parte de la mezcla que se quema, y por las radiaciones de calor del propio frente de llama. Si la temperatura y la presión exceden algunos valores críticos, la parte no quemada se enciende espontáneamente antes de que el frente de llama la alcance. Esta pre-ignición provoca ondas de presiones elevadas, que rebotan sobre las paredes, y dando el ruido característico de la detonación, golpeteo o picado. Este fenómeno trae consigo un rendimiento malo del motor, una pérdida de potencia y dificultades térmicas y mecánicas anormales y peligrosas para el mantenimiento del motor [13].

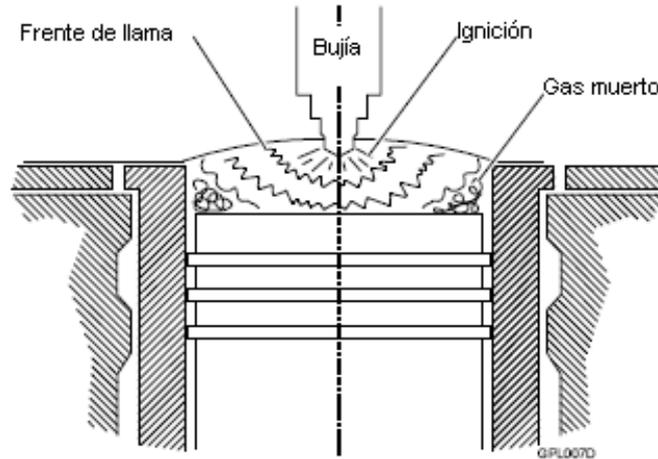


Figura 10. Representación del fenómeno de detonación [13]

La detonación se ve favorecida por un aumento de la temperatura más allá de un valor crítico, ya sea aumentando la relación de compresión o la temperatura del aire en la admisión; y, también, por el aumento del tiempo de reacción de la mezcla no quemada (baja velocidad del motor o trayecto de flama largo). Un motor detonará cuando el tiempo de reacción de los gases muertos es más corto que el tiempo puesto por el frente de llama para localizarlos.

El tiempo de reacción es el tiempo que la mezcla puede soportar en la cámara de combustión, bajo las presiones y las temperaturas crecientes dadas, sin encender automáticamente.

La detonación, como ya se mencionó, depende de la relación entre la temperatura, presión y tiempo que pasan la mezcla no quemada antes de la llegada del frente de llama. Existen diversos factores que influyen en la detonación: las características del gas, la relación de compresión, la temperatura de admisión, el calado de la ignición, la carga (PME) y la relación aire/combustible [13]. La detonación se caracteriza por "la indicación de octano". Mientras más elevado es, mejor es el combustible.

- Premium: 97 octanos.
- Sin plomo: 98 octanos.
- Gas licuado de petróleo: 102 octanos.
- Gas natural: 130 octanos. [13]

### 1.2.3. Ventajas y desventajas de los vehículos a gas natural.

El kit de conversión bi-combustible tradicional, si bien permite operar al motor con gas natural, no permite desarrollar todas las ventajas que el gas natural puede ofrecer como un combustible para motores de combustión interna. Sin embargo, un motor que se diseña específicamente para operar con gas natural ofrece una potencia y un desempeño igual que el de un motor a gasolina, con mejor eficiencia en la conversión del combustible y con la ventaja de la reducción de emisiones de escape.

Las desventajas incluyen una pérdida de potencia máxima de aproximadamente del 10 al 15 %, una reducción de la eficiencia del combustible como resultado de una menor eficiencia del ciclo. Sin embargo, la tecnología de conversiones de gasolina a gas natural ha logrado grandes avances en los últimos años. Las conversiones modernas tienen la capacidad de interactuar con los sistemas de control electrónico para adelantar el tiempo de chispa y lograr incrementar el tiempo de la combustión del gas. Los carburadores o mezcladores están siendo abandonados en favor de los sistemas de inyección, que son, en el concepto, similar a los utilizados en los motores modernos a gasolina. El proveer un control de combustible de mayor precisión conduce a un mejor desempeño, economía de combustible y reducción de emisiones. Esto puede ser aplicado tanto a motores bi-combustible (gas natural/gasolina) como a motores "dedicados" a gas natural.

Una gran ventaja que tiene el uso del gas natural como combustible, es que los motores no requieren grandes modificaciones; el sistema de suministro está constituido por cilindros de almacenamiento de aproximadamente 90 cm. de longitud por 20 cm. de diámetro, construidos de acero, aluminio o grafito, con espesores de pared de 3/4" a 1" (existe una gran variedad de capacidades adecuadas a cada tipo de vehículo), en los cuales se almacena el gas natural comprimiéndolo a presiones de 20.6 MPa o superiores [14]. Esta ventaja permite que en el sistema de conversiones se puedan reutilizar los equipos de gas natural en los vehículos nuevos al sustituir las unidades antiguas.

En cuanto a la operación y mantenimiento de los vehículos que operan con gas natural, se puede afirmar que existe un gran ahorro por estos conceptos. El gas natural tiene un octanaje de 130, característica que permite incrementar la potencia de los motores, propiciando que trabajen con mayor eficiencia, evitando dejar residuos de la combustión, desgastando menos los motores. Los costos de mantenimiento se ven

reducidos al poder espaciar los cambios de aceite y bujías a cada 20 000 y 120 000 km., respectivamente [5]. Así mismo, para realizar la conversión, uno de los principales requisitos es que el motor se encuentre en buen estado de funcionamiento (compresión en los rangos recomendados por el fabricante, bujías en buen estado, etc.) de manera que los beneficios puedan ser aprovechados de la mejor manera, caso contrario, estos beneficios no serán plenamente percibidos.

En lo que concierne al rendimiento del vehículo operando con gas natural, este es aproximadamente un 13% mayor que con la gasolina, lo que nos lleva a la equivalencia de que 1 m<sup>3</sup> (que es la unidad en la que se comercializara este producto) de GNV es equivalente a 1.13 litros de gasolina [2].

A continuación se presentan tablas comparativas entre gas natural y los combustibles utilizados comúnmente en vehículos:

Propiedad	Gas Natural	Gasolina	Diesel
Límites de Inflamabilidad (% volumen en aire)	5-15	1.4-7.6	0.6-5.5
Temperatura de Auto-ignición (°C)	450	300	230
Temperatura de frente de llama (°C)	1884	1977	2054

Tabla 6. Comparación de propiedades entre combustibles [11]

Combustible	Octanaje	Límite de relación de compresión	Poder calórico	Velocidad de propagación de llama a presión de compresión	Velocidad de propagación de llama a presión atmosférica
Gasolina	87/97	10,5:1	11700 Kcal/kg.	29 m/seg.	12 m/seg.
GNC	130	12:1	9300 Kcal/m <sup>3</sup>	12 m/seg.	1 m/seg.
GLP	109	11,5:1	11900 Kcal/kg.	18 m/seg.	
Alcohol met./etil.	130	12:1	5800 Kcal/kg.	40 m/seg.	
Alcohol etílico	95	10:1	8000 Kcal/kg.	30 m/seg.	11 m/seg.
Metanol	130	15:1	4800 Kcal/kg.	25 m/seg.	8 m/seg.

Tabla 7. Comparación de combustibles [15].

Uno de los obstáculos que se debe superar a fin de que el uso del gas natural vehicular sea atractivo, es la creación de una infraestructura de estaciones de servicio, que puedan proporcionar una amplia disponibilidad de combustible. También se debería analizar la manera de disminuir los costos de las conversiones, según la

información proporcionada por la Cámara Nacional de Gas Natural Vehicular, los costos para estas conversiones oscilan entre \$1250.00, para vehículos carburados; y \$1500.00, para vehículos con inyección.

En nuestro medio, los talleres de conversión dan créditos a los propietarios de los vehículos que realizan la conversión y cada vez que cargan con gas natural sus vehículos, van cancelando el crédito. Este mecanismo de pago es posible gracias a la instalación de los chips en uno de los picos de carga, una vez que se ha realizado la conversión del vehículo dentro de un taller de conversión y se procede la inspección por parte de la empresa certificadora. Este sistema también posee una base de datos centralizada que permite brindar información fidedigna a la entidad competente con la finalidad de permitir, o no, el despacho de gas natural en los vehículos a través de las estaciones de servicio, en función de la siguiente información:

- Datos del vehículo.
- Datos del equipo completo de conversión instalado en el vehículo.
- Conversión en un taller de conversión autorizado por la entidad competente.
- Validación de las revisiones anuales del equipo completo de conversión.
- Validación de las revisiones quinquenales del cilindro de almacenamiento de GNV.

Para que un vehículo homologado pueda cargar combustible, en el taller donde realizó la conversión, el certificador que será designado por el ente de fiscalización, verificará que el vehículo fue convertido a gas natural en un taller registrado en la entidad competente; que los equipos completos de conversión, incluyendo cilindros instalados, fueron registrados en el ente competente; que el montaje de los equipos fue realizado de acuerdo a las normas técnicas peruanas. Cumplidos los pasos anteriores, se procederá a instalar un microchip en el vehículo cerca a la boca de carga de gas natural. A su vez, todas las estaciones de servicios tendrán instalado el hardware y software que permita la comunicación de su computadora con los surtidores de gas natural y con la base de datos. Cuando llega un vehículo a cargar con gas natural, la persona que atiende en la isla, debe conectar tanto el pico de carga como el lector del microchip para permitir identificar el vehículo de manera que la computadora lo ubica en la base de datos, si el vehículo se encuentra en la base de datos por estar homologado, le permitirá accionar la válvula para inicio de la carga; caso contrario, no le permitirá cargar.

Además este sistema proveerá información necesaria para:

- Permitir la trazabilidad de los componentes del equipo completo de conversión de GNV.
- Elaborar información estadística.
- Proveer información para aplicaciones comerciales.



### 1.3. Tecnología para la conversión.

Para estudiar la tecnología de los vehículos que utilizan gas natural como combustible, es necesario resaltar que se pueden utilizar los tipos de motores existentes, encendidos por compresión y encendidos por chispa, inyectados o carburados. Por consiguiente, es necesario hacer una división entre los vehículos de servicio ligero y los vehículos de servicio pesado. En este documento de investigación, el tema central es el de los vehículos ligeros, carburados e inyectados.

Existen diversos fabricantes de vehículos y de motores que aplican la tecnología para el uso de gas natural, entre los que se pueden nombrar a Ford (General Motors), Volkswagen, Nissan, BMW, Citroën, Renault, Fiat, Honda, Caterpillar, John Deere, entre otros.

Para describir cada uno de los elementos presentes en un vehículo convertido a gas y sus funciones, es necesario diferenciar los sistemas de alimentación de los vehículos entre los que son alimentados mediante carburador y los que presentan inyección. Esta diferenciación es necesaria puesto que para los sistemas con inyección es necesario elementos electrónicos adicionales.

#### 1.3.1. Elementos para vehículos con sistemas carburados.

##### A. Regulador de presión.

La función del regulador de presión es lograr la despresurización del gas de los 200 bares, presión con la que está acumulado en el cilindro, a una presión de salida entre 0,3 a 0,5 bares, valor con el que ingresa al múltiple de admisión [16].

Debe asegurar el cierre y la liberación del gas, según se actúe sobre la electro-válvula correspondiente. En caso de fallas en la despresurización del gas, debe operar la válvula de seguridad que posee para tal fin, la que se activará entre 10 a 12 bares [16]. Otra de las funciones que tiene el regulador de presión es permitir que el sistema de regulación de marcha lenta actúe en forma progresiva, dosificando así la cantidad de gas requerida en cada caso; y asegurar que los circuitos gas/agua se mantengan estancos entre ellos y con el exterior.

El regulador dispone de un circuito calefactor que se conecta con el circuito de refrigeración del motor, para que de este modo, la disminución de presión en este elemento no produzca congelamiento dentro del regulador.

El regulador descomprime el gas proveniente del cilindro, en tres etapas. Actualmente, esta descompresión se puede realizar hasta en dos etapas:

- 1º Etapa. El gas ingresa al reductor por el conducto de entrada, pasando a través de un filtro hasta una válvula solidaria a un sistema de palancas con una membrana. Sobre la misma hay un resorte, que junto con las deformaciones de la membrana, se comprimirá y descomprimirá. La tensión del resorte regulará la presión que se acumulará en la primera cámara. Una vez alcanzada la presión de trabajo en la primera etapa (4.5 bares) [16], la válvula se cerrará. En esta etapa se encuentra una válvula de seguridad, la que una vez superada una presión establecida, descarga a la tercera etapa haciendo que el motor se detenga al ahogarse por exceso de combustible.

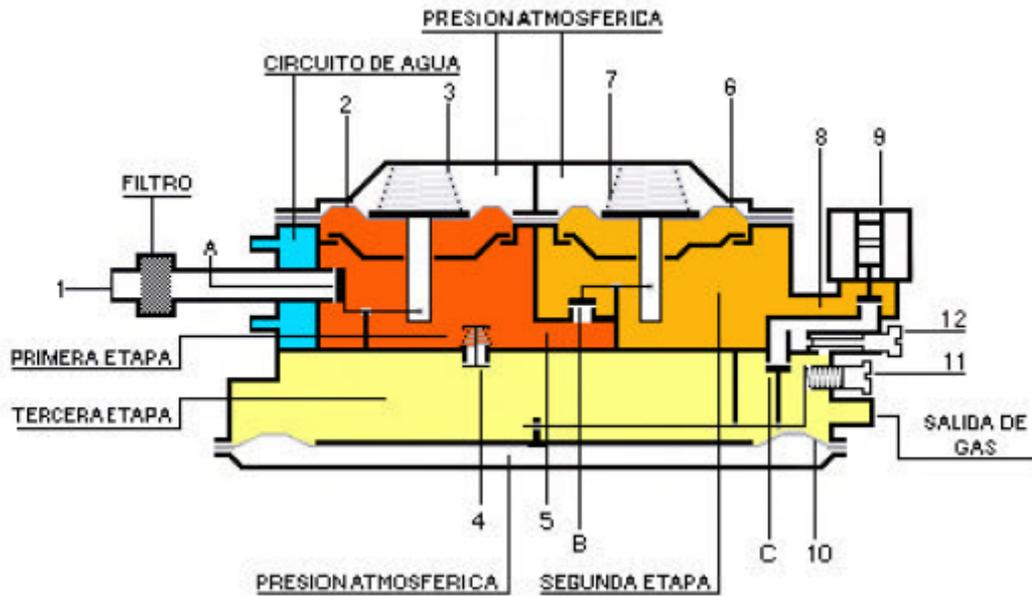
- 2º Etapa. Esta etapa se encuentra comunicada con la primera por medio de un pasaje en el interior del reductor. Al igual que en la primera etapa, existe una válvula de cierre, solidaria por medio de un sistema de palancas a otra membrana. Sobre la misma, actúa un resorte que junto con las deformaciones de la membrana se comprimirá y descomprimirá. La tensión del resorte regulará la presión que se acumulará en la segunda cámara. Una vez alcanzada la presión de trabajo en la segunda etapa (1.4 a 1.7 bares) [16], actuará la válvula de cierre. La mayor o menor presión en esta etapa definirá la potencia para la cual está diseñado el regulador; es decir, con mayor presión, posibilitará la entrega de mayor caudal de gas.

- 3º Etapa. La segunda y la tercera etapa se encuentran comunicadas por un orificio ubicado al interior del regulador. Entre estas dos etapas actúa la electro-válvula, que corta el paso de gas en caso de abrir el contacto o quedar sin energía, al indicar los sistemas de seguridad que el motor se ha detenido. Esta última etapa se encuentra dividida por medio de la membrana que separa la presión atmosférica de la depresión generada por el sistema de admisión del motor entre el filtro de aire y la mariposa, la que es sensada a través del mezclador o pico dosificador.

En esta etapa se encuentra el registro de mínima, el que actúa sobre el sistema de palancas que, en conjunto con la membrana, son los que mantienen la presión necesaria para lograr una buena alimentación al sistema de admisión del motor. También se encuentra la válvula de sensibilidad, que es la que permite un paso directo de gas entre la salida de la electro-válvula y la cámara de la tercera etapa. En algunos

vehículos, de gran cilindrada, es necesario actuar sobre esta válvula, aunque normalmente se encuentra cerrada, permitiendo que solo opere la válvula en función de la depresión en la admisión.

A continuación se presenta un corte del regulador de presión junto con sus partes.



Item	Elemento
1	Entrada al reductor
A	Válvula de 1º etapa
2	Membrana de 1º etapa
3	Resorte
4	Válvula de seguridad
5	Comunicación 1º-2º etapa
B	Válvula de cierre
6	Membrana de 2º etapa
7	Resorte
8	Comunicación 2º-3º etapa
9	Electroválvula
10	Membrana de 3º etapa
11	Registro de mínima
12	Válvula de sensibilidad

Figura 11. Croquis de un regulador de presión [16]

### B1. Pico de Carga Interno.

El pico de carga interno es la pieza por donde se introduce el gas al sistema. Posee un soporte específico y debe quedar montado en forma segura, pues es la parte del sistema sometida a mayor maltrato. Dispone de una válvula de retención para evitar el retorno de gas al exterior una vez realizada la carga del mismo en el vehículo.

Se localiza sobre uno de los laterales del compartimento del motor, lo más cercana posible al regulador de presión, y a la mayor altura, para un fácil acceso en caso de necesitar operarla; alejado de la batería y terminales que puedan producir corto circuito. El pico de carga interno está unido a la válvula de carga. Las cañerías de gas que vinculan la válvula de carga con los demás elementos deben estar dotadas de sus respectivos rulos anti-vibratorios.

Este elemento se utiliza aún cuando el vehículo disponga de pico de carga externo; sin embargo, este tipo de elemento ocasiona que sea necesario levantar el capó cada vez que se desea cargar de gas, así como un recorrido largo (depende del tamaño del vehículo) desde el punto de carga hasta el cilindro de almacenamiento, lo cual ocasiona pérdidas. Es recomendable utilizar el pico de carga externo que se menciona a continuación.



Figura 12. Picos de carga interno [16]

## B2. Pico de Carga Externo.

Este elemento es de uso optativo, se coloca adicionalmente al pico de carga interno y es de uso indistinto. Tiene como finalidad evitar la necesidad de abrir el capó del vehículo cada vez que sea necesario cargar de gas al vehículo. El recorrido que sigue el gas desde el punto de carga hasta el punto de almacenamiento es menor, por tanto, se producen menores caídas de presión por la tubería (pérdidas).

Se instala en la segunda salida de la válvula del cilindro y mediante cañería de alta presión se monta el pico de carga con acceso al exterior del vehículo. Normalmente en este caso, al no tener acceso directo a una válvula manual de cierre del circuito de alta presión, se coloca una válvula de retención en línea, conectada a la salida de la válvula de cilindro.



Figura 13. Picos de carga externo [16]

### C. Válvula de carga.

La válvula de carga tiene como función la restricción total, en forma manual, del paso de gas desde los cilindros al regulador y al pico de carga (circuito de alta presión). Se usa en forma manual en el caso de pérdidas por falla de la válvula de retención del pico de carga o en la zona del regulador.

Posee dos salidas donde se conectan dichos circuitos que terminan en los picos de carga interno y externo. 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 la temperatura. El sistema consiste en un disco de estallido que opera a 340 bares, con una tolerancia de +0 a -34 bares, y un fusible de temperatura que opera a 100° C con una tolerancia de  $\pm 4^\circ$  C. También cuenta con un dispositivo que, ante el caso de pérdida o rotura de la cañería de alta presión, limita la salida de gas del cilindro a un 10% [16].

Se debe instalar lo más cercana posible al regulador de presión, y a la mayor altura para un fácil acceso en caso de necesitar operarla.

Las cañerías de gas que vinculan la válvula de carga con los demás elementos deben estar dotadas de sus respectivos rulos anti-vibratorios.



Figura 14. Válvula de carga [16]

#### D. Manómetro.

Es el encargado de medir la presión existente en el cilindro contenedor y, por lo tanto, el nivel de carga del mismo. Cuenta con un dispositivo electrónico que envía la señal a la llave conmutadora en el interior del habitáculo del vehículo para indicar, por medio de leds (diodos luminosos), el estado de carga del cilindro.

El manómetro se monta sobre el regulador, en una "T" dispuesta para este fin. Se instala normalmente junto a la válvula de carga. Se debe colocar de modo tal que su lectura sea absolutamente fácil y cómoda, fundamentalmente durante la operación de carga.



Figura 15. Manómetro [16]

#### E. Electro-válvula.

Esta válvula tiene por función el cierre absoluto del paso de gasolina cuando así se le indique por medio de la llave conmutadora. Es activada por un solenoide y, si por fallas de la bobina del solenoide no opera, tiene un mando manual para poder hacerlo hasta realizar la reparación.

La ubicación de la electro-válvula no debe permitir, en caso de desperfectos en la misma o en sus conexiones al circuito, el derrame de combustible sobre el sistema de escape u otro elemento que pueda producir combustión.

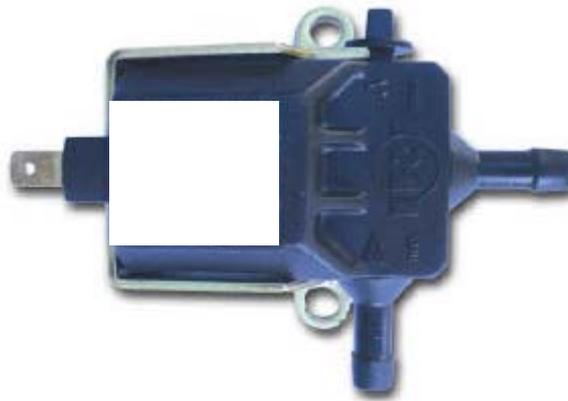


Figura 16. Electro-válvula [16]

#### F. Conjunto de Registro de máxima.

Este elemento se encarga de regular el caudal de gas que recibe el mezclador o el pico dosificador desde el regulador de presión. Dicha regulación se realiza por medio de un tornillo que se encuentra en la parte superior del cuerpo, el cual actúa atenuando el caudal de gas del reductor de manera de mantenga una proporción correcta entre la aspiración del motor y el gas entregado. Posee una contratuerca para fijar su posición. La regulación de este elemento es para el régimen de altas revoluciones del motor.

Existen tres tipos de registros de máxima:

- Registro de máxima simple. Este registro se usa en todos los mezcladores, o en los picos dosificadores.



Figura 17. Registro de máxima simple [16]

- Registro de máxima doble con doble regulación. Este registro es utilizado en vehículos con carburadores de doble boca. Los tornillos son regulados en función de cada boca del carburador. Se usa en los casos de carburadores de apertura progresiva.



Figura 18. Registro de máxima doble con doble regulación [16]

- Registro de máxima doble con regulación simple. Este registro es también utilizado en carburadores con dos bocas, pero de apertura simultánea, razón por la cual posee un solo regulador para ambas bocas.



Figura 19. Registro de máxima doble con regulación simple [16]

La instalación es común a todos los tipos de registros; se realiza interponiendo el registro, mediante su conexión con abrazaderas, en la manguera que une el regulador con el mezclador o el pico dosificador, en el denominado circuito de baja presión. Dentro de las posibilidades, el registro se deberá colocar a una distancia no mayor a los 200 mm. de la salida del regulador [16].

#### G. Mezclador.

La función del mezclador es dosificar el ingreso de la mezcla aire-gas a la admisión del motor en la proporción óptima requerida para una perfecta combustión. Actualmente se han desarrollado mezcladores estudiados y calculados dinámicamente para cada modelo de vehículo en particular y que poseen un sistema de flujo variable que permite calibrar el ángulo de dosificación para lograr la mezcla adecuada.

Este elemento se instala entre el filtro de aire y el múltiple de admisión del vehículo, variando su lugar específico en función de cada modelo de vehículo a instalar.



Figura 20a. Mezclador aire-gas natural [16]

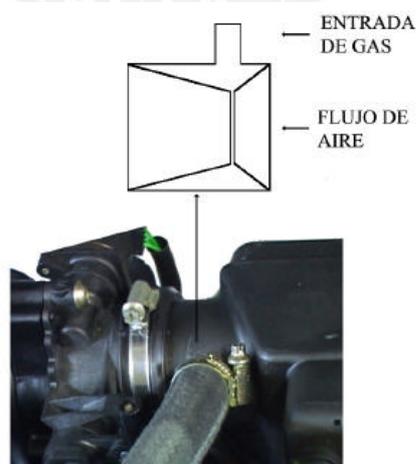


Figura 20b. Esquema de posición relativa del mezclador [16]

#### H. Pico dosificador.

Es un elemento que sustituye al mezclador para el caso de los vehículos carburados en los que se pueda perforar el carburador.

Se instala en el cuerpo del carburador practicando en el mismo un agujero roscado de medida tal que se corresponda con la rosca del inyector a colocar. Esta puede ser de 10, 12 o 14 mm. [16], en función de la cilindrada y tipo de carburador. El eje del agujero debe estar en un plano horizontal y pasar por el eje longitudinal (centro) del venturí.



Figura 21. Pico dosificador [16]

#### I. Cilindro contenedor.

La función del cilindro es la de almacenar el gas a una presión de 200 bares para lograr una autonomía aceptable. Consta de un orificio roscado de salida, donde se coloca la válvula de cilindro o de servicio.

El cilindro contenedor, es uno de los elementos más críticos del sistema de gas natural. El cilindro contenedor tiene su propia norma que rige los parámetros de su utilización, esta norma es la NTP 111.013. Los cilindros de almacenamiento se pueden encontrar en múltiples tamaños, pesos y diseños, pero como regla general se puede adoptar que mientras más liviano sea el cilindro más alto será su costo. Los cilindros, de acuerdo a la Norma Técnica 111.013, están divididos en:

- Tipo GNV 1. Cilindros metálicos, sin ningún tipo de recubrimiento especial.

Estos cilindros pueden ser fabricados de acero aleado con aluminio o con silicio, y de grano fino. La siguiente tabla presenta los contenidos máximos de azufre y fósforo que deben presentar los cilindros de este tipo.

Resistencia a la tracción		<950 MPa	≥ 950 MPa
Nivel de	<b>Azufre</b>	0,020 %	0,010 %
	<b>Fósforo</b>	0,020 %	0,020 %
	<b>Azufre + fósforo</b>	0,030 %	0,025 %

Tabla 8. Contenidos máximos de azufre y fósforo [17]

Para el caso de los cilindros de aluminio, el contenido de bismuto y plomo, no debe ser superior al 0.003% [17].

- Tipo GNV 2. Cilindros con filamento continuo impregnado de resina (recubrimiento circunferencial) con cilindro interno metálico.

La composición de estos cilindros es similar a la de los del tipo GNV 1; sin embargo, presenta materiales compuestos como resinas y fibras. Las fibras deben cumplir, como mínimo, los valores presentados en la siguiente tabla:

Clase de Fibra	Proporción de tensión	Presión de rotura, bar
Vidrio	2,75	500a
Aramida	2,35	470
Carbono	2,35	470
Híbrido	<b>b</b>	
a Presión mínima real de rotura. Además, se debe calcular de acuerdo con el apartado 7.2.3 para confirmar que también se cumplen los requisitos mínimos de relación de esfuerzos.		
b Las relaciones de esfuerzo y las presiones de rotura se deben calcular de acuerdo con lo establecido en el apartado 7.3.2.		

Tabla 9. Valores mínimos reales de rotura y relaciones de esfuerzos [17]

- Tipo GNV 3. Cilindros con filamento continuo impregnado de resina (recubrimiento total) con cilindro interno metálico.

Las fibras que forman parte de uno de los recubrimientos deben cumplir los siguientes valores mínimos:

Clase de Fibra	Relación de esfuerzos	de Presión de Rotura bares
Vidrio	3,65	700 <sup>a</sup>
Aramida	3,10	600
Carbono	2,35	470
Híbrido	<b>b</b>	
<b>a</b> Presión mínima real de rotura. Además, se debe calcular de acuerdo con el apartado 8.3.2 para confirmar que también se cumplen los requisitos mínimos de relación de esfuerzos.		
<b>b</b> Las relaciones de esfuerzo y las presiones de rotura se deben calcular de acuerdo con lo establecido en el apartado 8.3.2 .		

Tabla 10. Valores mínimos reales de rotura y relaciones de esfuerzos [17]

- Tipo GNV 4. Cilindros con filamento continuo impregnado con resina (totalmente compuesto) y cilindro interno no metálico.

Estos cilindros presentan una composición más compleja que los demás tipos de cilindros, debido a que se añaden algunos elementos que los otros cilindros no poseen. Además de las resinas y fibras, estos cilindros presentan en su composición elementos poliméricos para los cilindros internos y “calotas” metálicas en los extremos que se conectan al cilindro interior. Para estos cilindros la relación de esfuerzos es igual a la relación de rotura. La tabla siguiente muestra los valores mínimos para este tipo de cilindros:

Clase de fibra	Relación de esfuerzos	Presión de rotura Bar
Vidrio	3,65	730
Aramida	3,10	620
Carbono	2,35	470
Híbrido	<b>a</b>	
<b>a</b> Se deben calcular las relaciones de esfuerzos y las presiones de rotura acuerdo con lo establecido en el apartado 9.3.2.		

Tabla 11. Valores mínimos reales de rotura y relaciones de esfuerzos [17]

De acuerdo a la Norma Técnica 111.013, los fabricantes de los cilindros deben asegurar una vida útil de los mismos, en condiciones de servicio estándar, de un máximo 20 años. Para los cilindros metálicos y cilindros internos metálicos, esta vida útil se basa en la tasa de crecimiento de las fisuras por fatiga. Estas fisuras deben detectarse a través del ultrasonido o algún otro método de ensayo no destructivo.

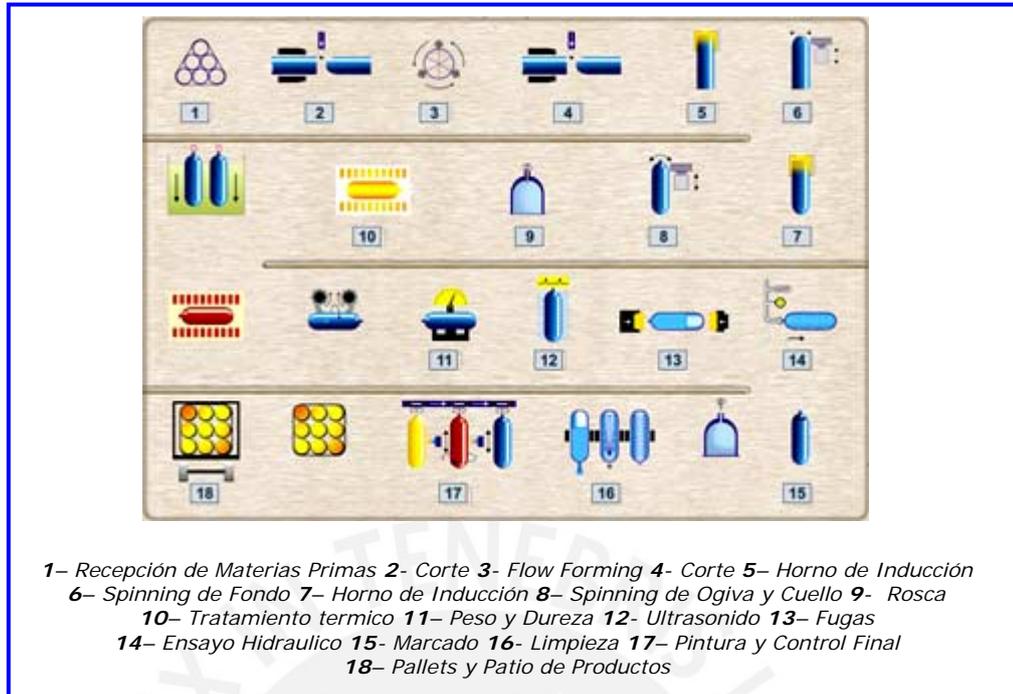


Figura 22. Esquema de la producción de cilindros de almacenaje de GNV [10]

Los cilindros contenedores deben quedar dentro del volumen del vehículo, de manera que estén protegidos aún en caso de accidente. Los lugares típicos de instalación son:

- En el compartimento baúl, en vehículos sedán.
- Detrás del asiento trasero, en vehículos rurales.
- En caja de carga o bajo piso, en vehículos comerciales.

La válvula de servicio debe quedar en una posición que permita un fácil acceso a la misma. Los cilindros deben estar instalados sobre cunas diseñadas especialmente para tal efecto, estas cunas deben estar fijadas al chasis y/o a la carrocería del vehículo, reforzando los anclajes en caso de ser necesario, para evitar deformaciones en la estructura del vehículo (piso, caja, etc.). La instalación del cilindro sobre los soportes se realiza intercalando entre ellos juntas de goma, a fin de evitar el deterioro del mismo. En el caso de los cilindros montados debajo del piso del vehículo, la válvula debe estar siempre orientada hacia atrás del mismo, y tener un despeje del piso no menor a 225 mm. Los cilindros montados dentro del baúl del vehículo, deben estar lo más alejados posible del parachoques trasero. Los soportes generalmente están contruidos de acero, soldado y pintado con antióxido color negro mate, y toda modificación que sea necesaria realizar, como corte, soldadura, etc., deberá ser pintada con antióxido negro mate [16].



*Figura 23. Cilindro de almacenamiento de gas natural con elementos de fijación [16]*

J. Válvula de cilindro.

La válvula de cilindro tiene por objeto el corte en forma manual, del suministro de gas a los circuitos de alta presión.

La válvula de cilindro se instala roscándola en la salida del cilindro de almacenaje. Previamente se deberá colocar aproximadamente 20 vueltas de cinta de teflón y sellador anaeróbico. El ajuste de esta válvula debe realizarse antes de la instalación del cilindro en el vehículo.

Para un correcto montaje debe colocarse el cilindro en una cama externa que lo sujete firmemente para aplicar, mediante un torquímetro, un torque de 15 Kgm [16].

K. Llave conmutadora.

Su función es cambiar el sistema de gasolina al de gas natural, y viceversa. Posee cuatro leds, que indican el nivel de gas restante en el cilindro de almacenamiento, y uno de estos destellará indicando que el vehículo está circulando en reserva, generalmente es de color rojo. La llave energiza las electro-válvulas de gasolina y avanza. El cambio de un combustible a otro debe hacerse necesariamente en forma manual, según las indicaciones del manual del fabricante.

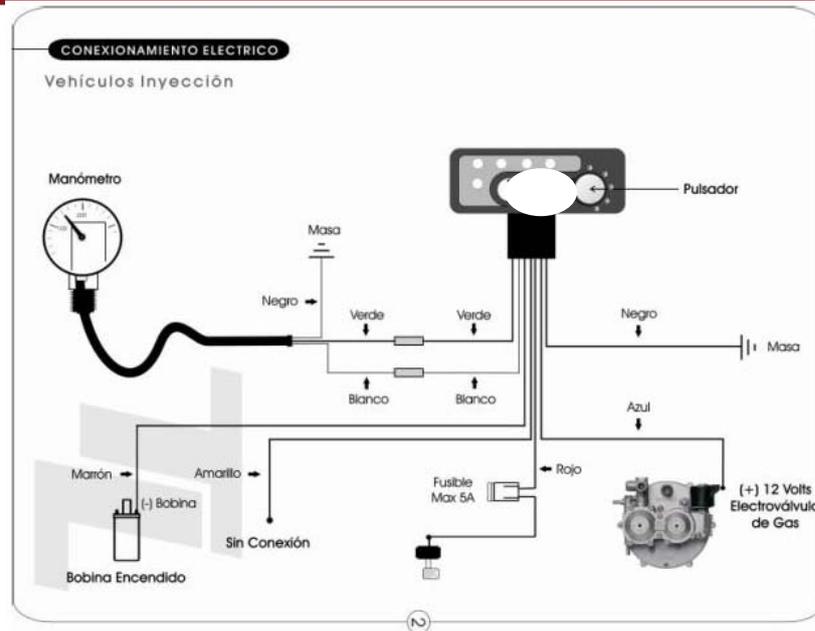


Figura 24. Esquema eléctrico de la llave conmutadora [16]

### 1.3.2. Elementos para vehículos con sistemas inyectados.

En los vehículos modernos, los motores presentan un sistema de alimentación a través de inyectores. Este tipo de alimentación, gobernada por medio de una computadora, que asegura el ingreso de la cantidad exacta de combustible de acuerdo a la condición en que se encuentre operando el motor, consiguiendo un menor consumo de combustible y emisiones un tanto más limpias que los sistemas carburados.

Para realizar las conversiones en este tipo de sistemas, es necesario adicionar una serie de elementos que interactúen con las unidades de control de los motores y emulen el comportamiento normal del motor del vehículo. Así mismo, se dejan de lado otros elementos que sólo son válidos para los sistemas de alimentación con carburadores, tales como: la electro-válvula y el pico dosificador que va directamente al carburador.

A excepción de los dos elementos nombrados anteriormente, el sistema de gas natural para un vehículo alimentado mediante inyectores, como su funcionamiento, es similar al de los vehículos carburados. Por tanto, se procederá a describir los elementos nuevos presentes en este sistema y que están más ligados a la parte electrónica del vehículo. Los elementos del sistema de gas natural para un vehículo con inyección son:

- A. Regulador de presión.
- B1. Pico de carga interno.
- B2. Pico de carga externo.
- C. Válvula de carga.
- D. Manómetro.
- E. Registro de máxima.
- F. Mezclador.
- G. Cilindro contenedor.
- H. Válvula de cilindro.
- I. Llave conmutadora. A diferencia de los vehículos carburados, la conmutación de gasolina a gas natural, puede realizarse de manera automática o manual.

J. Corrector de avance.

La velocidad de propagación de llama del gas es menor que la de la gasolina, esto quiere decir que el gas necesita más tiempo para realizar una combustión completa y lograr el máximo rendimiento posible en el motor. Por tal motivo, el avance al encendido se debe adelantar aproximadamente  $10^\circ$  respecto al vehículo funcionando a gasolina, por lo que el avance al encendido con el vehículo a gas natural, deberá ser de aproximadamente  $22^\circ$  inicial [16].

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

El corrector de avance cuenta con una calibración para asegurarse que, inmediatamente el motor salga del estado de ralentí, se active, comenzando la corrección.

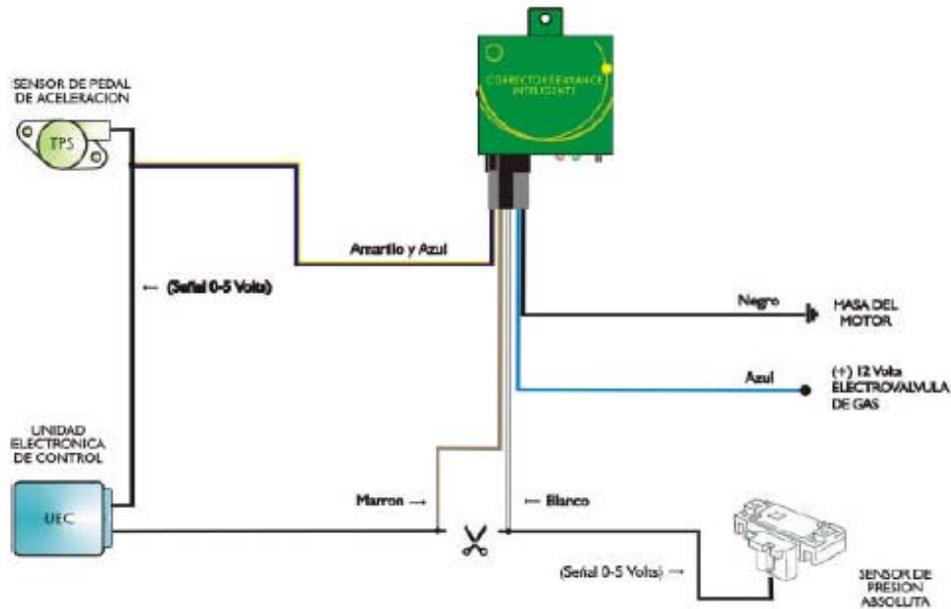


Figura 25. Ejemplo de verificación de tensión con MAP [16]

#### K. Emulador de inyectores.

Cuando el vehículo opera con gas natural, es necesario cortar y emular el funcionamiento de los inyectores, para no acumular códigos de fallas en la unidad electrónica de control, y permitir que el motor continúe operando de manera correcta.

En el momento de la conmutación de gasolina a gas natural, 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 dentro de la cámara. 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 cuando se efectúan las pruebas de funcionamiento del sistema a gas natural.

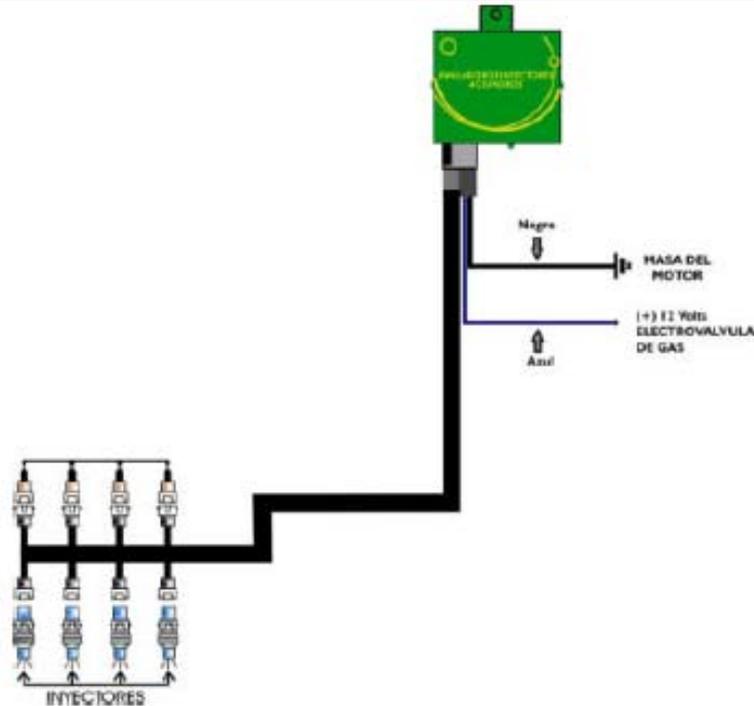


Figura 26 . Esquema de conexión de un emulador multipunto [16]

#### L. Emulador sensor de oxígeno.

En el funcionamiento con gasolina, el sensor de oxígeno le indica a la computadora central del vehículo 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 V., según el defecto o exceso de oxígeno. La computadora central, en ausencia de esta señal enviará una indicación de falla que quedará memorizada con un código correspondiente y que le será notificado al conductor mediante una señal en el tablero de instrumentos.

En el funcionamiento con gas natural, al no modificar el ingreso de gas al motor por medio del sensor de oxígeno, se intercala un emulador que le entrega a la computadora central una señal que varía entre 0 y 1 V., para que no aparezca la indicación de falla al conductor.

El emulador del sensor de oxígeno se coloca en el cable que va desde la sonda hasta la computadora central, y la identificación de este cable se realiza con el multi-tester, debiendo detectar una señal variable que oscila entre 0 y 1 V. La conexión es sencilla y está indicada en el respectivo manual de instrucciones de montaje del fabricante.

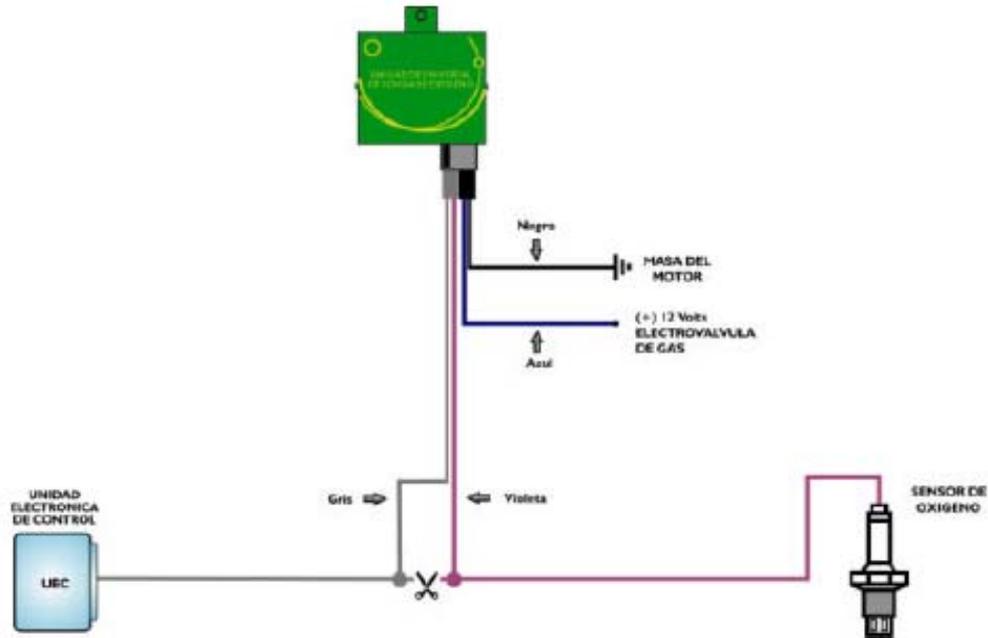


Figura 27. Conexión del emulador de sensor de oxígeno [16]

#### M. Controlador de sonda lambda.

Este elemento toma los valores de la sonda lambda, la posición del acelerador y el tiempo de inyección calculado por la computadora central del vehículo, y determina la correcta relación de mezcla aire/gas natural a ser utilizada por el motor en cada momento, independientemente del estado de carga, la velocidad, etc.

Esa mezcla estequiométrica es la que permite al motor desarrollar toda su potencia, permitiendo, a la 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.

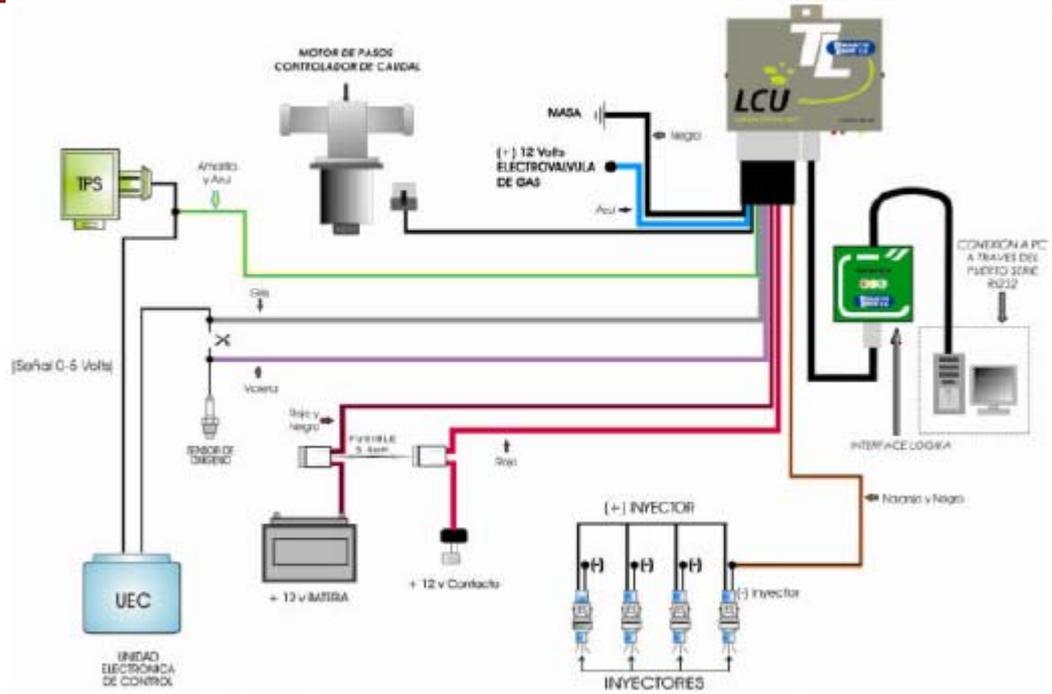


Figura 28. Esquema de instalación de controlador de sonda lambda [16]

**Referencias bibliográficas del capítulo 1.**

- [1] INSTITUTO CITROËN. Sistemas bi-combustible gasolina/gas natural para vehículos. Capítulo I: Generalidades del Gas Natural. Nanterre. Marzo 2000. pp. 7.
- [2] CPGNV Cámara Peruana del Gas Natural Vehicular. ABC del GNV – Ventajas de la utilización del GNV. [fecha de consulta: 22 de mayo del 2007]  
Disponible:  
<<http://www.cpgnv.org.pe>>
- [3] INSTITUTO PERUANO DE ECONOMÍA. (1º: Agosto 2004: Lima: Perú). Camisea. pp. 17.
- [4] INSTITUTO CITROËN. Op Cit. pp. 9.
- [5] MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. Ventajas del uso del gas natural en la industria. Capítulo 5: Ventajas del gas natural. Lima. pp. 19.
- [6] INSTITUTO CITROËN. Op Cit. pp. 8.
- [7] COMISIÓN NACIONAL PARA EL AHORRO DE ENERGÍA – MÉXICO. Vehículos movidos por gas natural. México. pp. 6.
- [8] INSTITUTO CITROËN. Op Cit. pp. 24.
- [9] INSTITUTO CITROËN. Op Cit. pp. 33.
- [10] CPGNV Cámara Peruana del Gas Natural Vehicular. Tecnología – Componentes de equipos de conversión. [fecha de consulta: 06 de junio del 2007]  
Disponible:  
<<http://www.cpgnv.org.pe>>
- [11] ANGV International Association for Natural Gas of Vehicles. Natural gas vehicles– Engine types. [fecha de consulta: 04 de junio del 2007]  
Disponible:  
<<http://www.iangv.org>>
- [12] CPGNV Cámara Peruana del Gas Natural Vehicular. Tecnología – Sistema dual de conversión diesel - gnv. [fecha de consulta: 04 de junio del 2007]  
Disponible:  
<<http://www.cpgnv.org.pe>>
- [13] INSTITUTO CITROËN. Op Cit. pp. 36.
- [14] COMISIÓN NACIONAL PARA EL AHORRO DE ENERGÍA – MÉXICO. Vehículos movidos por gas natural. Ventajas y desventajas. pp. 9.
- [15] TOMASETTO LOVATO. Manual de instalación de equipos de gnc para automotores. Capítulo 1: Introducción. 1º ed. Argentina. pp.7.

[16] TOMASETTO LOVATO. Manual de instalación de equipos de gnc para automotores. Capítulo 3: Características de cada componente. 1º ed. Argentina. pp. 12.

[17] INDECOPI. NTP 111.013-2004. GAS NATURAL SECO. “Cilindros de alta presión para almacenamiento de gas natural utilizado como combustible para vehículos automotores”. Lima, Perú, 2004. pp. 6.  
ICS: 75.180.01



## CAPÍTULO 2

### PROCEDIMIENTO DE LA CONVERSIÓN DE VEHÍCULOS

En este capítulo se describirá el proceso que debe seguirse para la conversión de los vehículos a gas natural, tomando como base las normas técnicas peruanas NTP. 111.013, NTP. 111.015 y NTP. 111.016, desde su ingreso al taller hasta que se culmina la conversión.

La NTP. 111.013 nos presenta a los cilindros de almacenamiento del gas. Este elemento es tan crítico en el sistema de gas natural vehicular (por la presión con la que trabaja), que esta norma se centra en este elemento desde su proceso de producción hasta las pruebas que se deben realizar para que pueda ser lanzado al mercado y comercializado. Esta norma es muy completa, por lo que su extensión es mayor que las otras normas presentadas, inclusive también se puede encontrar los distintos tipos de cilindros que existen, de acuerdo a su composición estructural y que son los tipos de cilindros que se comercializan y utilizan a nivel mundial.

En la NTP. 111.015 podemos encontrar normativa sobre la instalación de cada uno de los componentes del kit de instalación del sistema de gas natural vehicular. Nos indica las distancias mínimas permitidas que deben respetarse para la instalación de los cilindros y los lugares donde deben ir ubicados los elementos del kit; todas estas indicaciones deben cumplirse con la finalidad de que el vehículo pueda aprobar la inspección del ente certificador y se le pueda colocar el chip al vehículo para que se abastezca de gas en los gasocentros.

Se mencionó que el cilindro es la parte más crítica del sistema de gas natural, es por esta razón que existe una norma que regla la forma de sujetar los cilindros a la estructura del vehículo de manera que su tiempo de vida útil no se vea afectado, esta

es la NTP. 111.016. Esta norma trata sobre los materiales que deben emplearse en los sunchos de fijación que forman parte de la cuna donde se aloja el cilindro de almacenamiento de gas, también indica la forma en cómo deben aislarse de tal manera que no entren en contacto con el cilindro pues sería una vía libre para iniciar una corrosión en el cilindro. Así mismo, en esta norma se indica, la medida de los pernos que deben utilizarse para la fijación de las cunas en el vehículo tanto si se instala sobre (interior) el vehículo o en la parte baja del mismo.

Las normas enunciadas tienen base en normas extranjeras de países que tienen la industria de la conversión a gas natural muy avanzada respecto a nosotros, tales como: Argentina, Colombia. En nuestro país esta industria se encuentra poco desarrollada y se espera que con el transcurrir de los años se pueda seguir investigando y ahondando más en el tema de las conversiones para no reproducir normas extranjeras sino poder establecer nuestras propias normas que vayan más acorde con nuestra realidad. El método de instalación de cada uno de los elementos que componen el kit de conversión de gas natural está determinado por los manuales de los mismos fabricantes y que deben respetarse; el espacio disponible dentro de los vehículos a instalar juega un papel fundamental en la ubicación de tales elementos.

### **2.1. Ingreso al taller.**

Antes del montaje del equipo se deberá verificar que las condiciones mecánicas y eléctricas del vehículo aseguren un funcionamiento aceptable con gasolina. Las unidades que no cumplan con las condiciones señaladas, deberán ser reparadas en forma previa a la instalación del equipo.

Se debe verificar el estado general de la estructura del vehículo, asegurando que la misma garantice robustez y permita la fijación segura de los distintos componentes del kit de instalación. En caso de que sea necesario, habrá que reforzar los lugares de la estructura donde se fijen elementos del sistema que no queden firmes y seguros teniendo en cuenta las condiciones de vibraciones y posible mal trato a que puedan estar sometidos.

La norma técnica peruana recomienda realizar inspecciones previas a los siguientes sistemas del vehículo:

## 1. Sistema eléctrico.

- a) Batería. La batería es muy importante que se encuentre en buen estado y con buena carga, ya que de ella depende que proporcione un voltaje adecuado a las bobinas para propiciar el arranque correcto del motor.
- b) Bobina, el cableado y las bujías. Al solicitarle a la bobina de encendido una tensión mayor, esta podrá mantenerlo por un menor tiempo, por lo que, el tiempo de quemado (tiempo que “la chispa” está fluyendo entre electrodos de las bujías) disminuye; por lo tanto, el cableado de las bujías y las bobinas deben estar en buen estado, sin la presencia de elementos innecesarios que aumenten la resistencia del cableado y provoquen pérdidas de energía apreciables. Para este efecto, deben inspeccionarse la entrada de las bobinas, su funcionamiento y su polaridad; el estado de los cables y de las bujías. Si cualquiera de estos elementos presentara deficiencias debe procederse a su sustitución de acuerdo a las normas proporcionadas por el fabricante del vehículo.

Una forma de comprobar si la bobina funciona correctamente, es mediante un osciloscopio y la forma de onda del primario. La forma de onda del primario se obtiene conectando la entrada del osciloscopio al negativo de la bobina de encendido. El tiempo de quemado esta representado por el tiempo que puede observarse entre el final del pico de extra tensión (entre 180 - 260 V) y el comienzo de las oscilaciones. Debe observarse un mínimo de tres oscilaciones al finalizar cada zona de tiempo de quemado; la ausencia de oscilaciones se puede deber a una bobina defectuosa, situación que se combina con un tiempo de quemado reducido [1].



Figura 29. Comprobación con osciloscopio [1]

Para un adecuado funcionamiento del sistema a gas natural es recomendable cambiar las bujías y regular la luz entre los electrodos a la mínima medida recomendada por el fabricante, debido que al disminuir la distancia entre electrodos, la tensión necesaria para que se produzca la chispa será menor y por consiguiente, con la energía disponible en la bobina, se incrementará el tiempo de quemado. Así mismo, medir la resistencia de los cables de bujías y observar que los valores medidos no se encuentren superiores a  $15K\Omega$ . Lo ideal es que la resistencia de la bujía más la resistencia del cable correspondiente esté comprendida entre  $8K\Omega - 15K\Omega$  [1], esto por cada conjunto cable-bujía. (Siempre verificar con el manual del fabricante).

**Resistencia Cable + Resistencia Bujía =  $10K\Omega$**

2. Sistema de alimentación. Debe comprobarse el adecuado funcionamiento de los elementos que componen la entrada de la mezcla aire/gas a la cámara de combustión. Los elementos en cuestión son el filtro de aire, filtro de combustible y el carburador o los inyectores. El filtro de aire y el filtro de combustible debe encontrarse en buen estado, libre de impurezas, de manera que facilite y favorezca la realización de una mezcla lo más cercana a la estequiométrica; muchas veces el origen de algunos inconvenientes en la combustión se deben a causas tan sencillas como un filtro de aire sucio.

Para el caso de los carburadores, es necesario realizar una inspección visual para detectar algún desperfecto, si es posible, comprobar valores con un analizador de gases. Para los inyectores, realizar pruebas de medida de presión de los inyectores en banco, los valores deben estar en el rango recomendado por el fabricante; no deben presentar rasgos de hollín. En ambos casos, se debe observar el adecuado funcionamiento de los mismos.

No debe dejarse de lado la inspección del múltiple de admisión, tales como las empaquetaduras y los conductos mismos.

3. Sistema de escape. Esta inspección está relacionada con el nivel de emisiones que pueda presentar un vehículo convertido a gas natural. Todo el trayecto del tubo de escape debe encontrarse bien sujetado y sin signos de corrosión o picaduras. Las empaquetaduras del múltiple de escape deben ser capaces de asegurar la hermeticidad del mismo.

4. Sistema de enfriamiento. Debe verificarse el estado del radiador y el funcionamiento de todo el conjunto sistema en sí. Asegurarse de que no se presenten pérdidas en los alrededores del recipiente de reposición de líquido refrigerante, así como, en los alrededores del radiador y de la bomba de agua del vehículo.
5. Carrocerías y chasis. Debe inspeccionarse completamente cada una de las zonas del chasis y la carrocería con la finalidad de detectar algún indicio de corrosión o debilitamiento del material que impida la colocación correcta del cilindro y sus abrazaderas.
6. Motor. La inspección más importante de realizar. Se debe medir la compresión de cada uno de los cilindros del motor para conocer el estado en que se encuentra el motor. Este valor de compresión está predeterminado por el fabricante; sin embargo, la norma admite una tolerancia de  $\pm 20\%$  del valor nominal para la compresión del motor; y de  $\pm 10\%$ , entre los cilindros [2].

Luego de que se han realizado todas estas inspecciones y se han registrado los resultados, se le permite al propietario realizar el cambio al gas natural, ya que se pueden sustituir algunos componentes para el correcto funcionamiento del vehículo con este combustible. Si el resultado de esta inspección es desfavorable para el vehículo, lo más conveniente es que no se le permita realizar la conversión puesto que el funcionamiento del vehículo con gas natural sería inadecuado.

## 2.2. Trabajo de taller.

El trabajo de taller consiste en la instalación de cada uno de los componentes del kit de conversión a gas natural. La ubicación de cada uno de los componentes, depende, principalmente, del espacio con que se cuente en el vehículo y de las indicaciones del fabricante, así como, de las normas técnicas (NTP 111.015 y NTP 111.013), que deben ser respetadas; sin embargo, se pueden establecer algunos lineamientos generales que podrían ser útiles para mejorar las conversiones.

Algunos de los trabajos realizados durante el montaje de los componentes del kit de conversión, pueden requerir efectuar algunas soldaduras sobre el chasis del vehículo, por lo que antes de empezar los trabajos de soldadura deben tomarse ciertas precauciones:

- Protección de los equipamientos eléctricos y electrónicos contra las corrientes inducidas de los aparatos de soldadura (calculadores, batería, elementos pirotécnicos...). Cualquiera que sea el sistema de soldadura, si utiliza la electricidad como energía, desconectar la batería o las baterías de los vehículos con motor térmico o eléctrico.
- Protección contra la proyección de chispas. Proteger los equipos con riesgo y la pintura de eventuales proyecciones de chispas utilizando fundas ignífugas.
- Protección contra el calor. Los elementos que pueden sufrir daños a causa del calor o la llama producidos por la soldadura, deben estar protegidos con fundas o pantallas ignífugas o ser desmontados. Las piezas o parte de una pieza que pueden deteriorarse a causa de la conducción térmica, deben ser protegidas con pasta de protección.
- Nunca dejar abiertos un depósito o una canalización de combustible.
- No efectuar nunca una operación de soldadura cerca de conductos o depósitos de líquidos inflamables, incluso si están vacíos (combustibles, aditivos de combustibles, líquidos de dirección, de frenos o de suspensión). Según la proximidad, utilizar pantallas protectoras para proteger estos órganos del calor y de las chispas, o en todo caso, desmontar estos equipamientos.

Una advertencia muy importante a considerar es que el contacto de gas natural con la piel puede provocar quemaduras graves debidas al frío; por ello, hay que llevar guantes y lentes de protección para evitar todo riesgo de congelación. En conclusión, eliminar en la proximidad del vehículo los siguientes riesgos:

- Chispas.

- Llamas (utilización de un soplete).
- Combustión lenta (cigarrillo encendido).

### 2.2.1. Depósito cilíndrico del gas natural.

Antes de realizar cualquier instalación, se debe inspeccionar la zona donde se sujetará este elemento. Este depósito se presenta de forma cilíndrica y generalmente todos coinciden en que debería ir ubicado en la parte del maletero, puesto que por ser grande y un tanto pesado, no existe otro lugar mejor que el mencionado. Su temperatura de uso oscila entre los  $-40^{\circ}\text{C}$  y los  $80^{\circ}\text{C}$  [3].

En algunos casos, se ha visto que el cilindro se coloca en la parte de abajo del vehículo, detrás del eje trasero. Esto está permitido siempre y cuando cumpla con los requerimientos mínimos de distancia que estipula la norma, entre 200 mm. y 1125 mm. medidos a partir del punto más bajo del vehículo con la carga máxima que establece el fabricante. Se ha observado, que cuando se colocan los cilindros de esta manera se refuerzan los elementos elásticos de suspensión de los vehículos, lo cual puede ser un tanto perjudicial para la vida útil de los amortiguadores y de los neumáticos.

Un cilindro de gas natural se sujeta al vehículo mediante sunchos, y se soporta en la cuna. Estos elementos, tanto los sunchos como las cunas son de acero con un tratamiento anticorrosión y aislados del contacto con el cilindro mediante unos cauchos. Los sunchos deben de tener un ancho superior a los 30 mm. El espesor depende del ancho utilizado, pero debe ser capaz de tener una resistencia igual a la de una barra de acero St37 de  $90\text{ mm}^2$  [4].

Los cilindros se sujetan a sus bases mediante 4 pernos M10 de resistencia equivalente; cuando estén colocados en el maletero del vehículo. Cuando el cilindro se encuentra debajo del vehículo, se deben colocar pernos M12 y colocar un suncho adicional.

Los cilindros deben presentar un sistema de venteo hacia el exterior del vehículo, en caso de que se produzca alguna falla de su válvula anti-retorno o alguno de sus accesorios. El sistema de venteo debe impedir que el gas se introduzca hacia el habitáculo y debe ir hacia la parte inferior del vehículo y no hacia el guardafango.

Montaje del cilindro. Es necesario, como mínimo, contar con 2 personas para que puedan centrar el depósito de gas natural en el lugar que le corresponde en el vehículo. Se deben seguir las siguientes recomendaciones:

- Manipular el cilindro con cuidado.
- No rayar el depósito de gas natural.
- No dejar caer el cilindro de gas natural al suelo, ni desplazarlo rodando por el suelo.
- En caso de utilización de un medio de elevación, utilizar correas adaptadas con el fin de no deteriorar el depósito de gas natural.

Una vez que se ha centrado el cilindro y se ha fijado su posición final, se deben ajustar lentamente las tuercas correspondientes a la válvula del cilindro y colocar las mangueras de ventilación. A continuación, colocar las bridas a las mangueras.

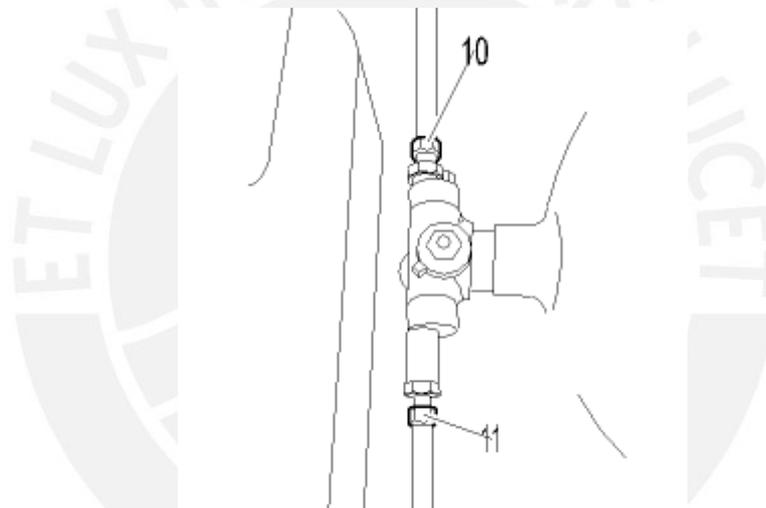


Figura 30. Tuercas de la válvula de cilindro [5]

Luego de haber realizado la conexión de la válvula de cilindro, se debe conectar la electro-válvula del depósito de gas natural y proceder a conectar la batería. Abrir la válvula manual de seguridad situada en el depósito de gas natural (sentido anti-horario) y llenar el tanque. Poner el motor en marcha y acelerar a un régimen de 3000 rpm; finalmente, colocar el conmutador gasolina/GNV en modo gas natural y apretar los tornillos interiores (13, figura 32) de fijación del cilindro (22.02 N.m) y los tornillos exteriores (14, figura 32) (40.4 N.m)

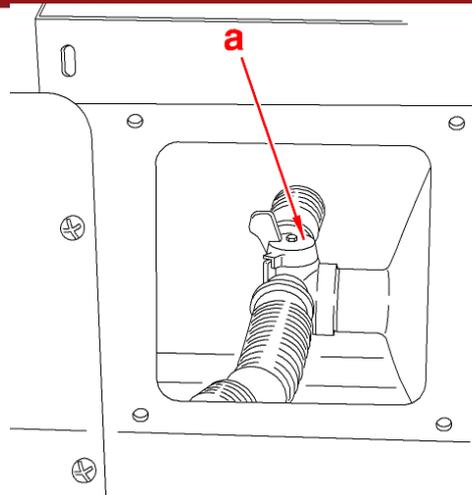


Figura 31. Válvula manual de seguridad (a) [5]

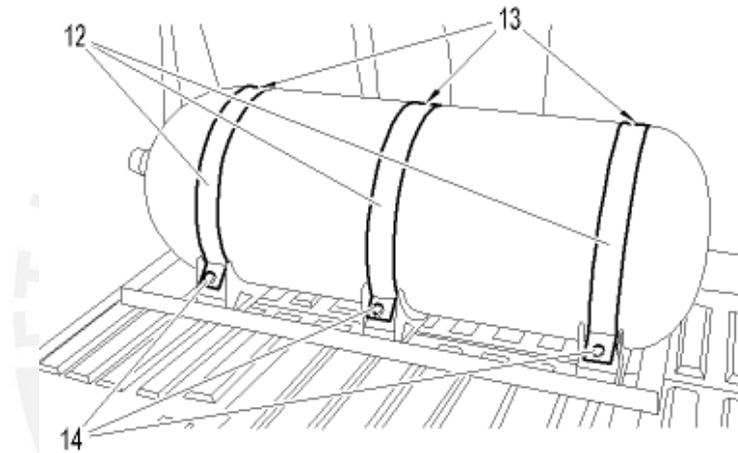


Figura 32. Esquema de cilindro de gas natural colocado [5]

### 2.2.2. Electro-válvula de alimentación.

No deberá instalarse **nunca** sobre el motor, ya que la vibración del mismo puede provocar un efecto de goteo con la consecuente falla en el funcionamiento, al ingresar en la admisión en forma simultánea los combustibles.

La electro-válvula debe instalarse entre la bomba y el carburador, respetando el sentido de circulación del combustible que se encuentra indicado en la misma. Debe colocarse en un lugar de fácil acceso, generalmente se coloca en el lado lateral del compartimento del motor, lo más cercano posible a la bomba de combustible y al carburador. Hay que tener en cuenta de respetar una distancia mínima de 150 mm. de la parte frontal o trasera del vehículo [6], según corresponda, y, asegurarse de realizar una buena conexión a masa para evitar posibles fallas eléctricas.

Según NTP. 111.015, toda conexión eléctrica debe presentar mínimo un cable de 2.5 mm<sup>2</sup> de sección y contar con conectores adecuados, tratando de utilizar lo menos posible los empalmes con cintas aislantes que resultan inadecuados [7].

Debe respetarse la siguiente codificación por colores estipulada por la norma técnica peruana 111.015, tanto para la electro válvula como para cualquier elemento eléctrico que se pretenda instalar:

Color	Corresponde a:
Azul	Línea de gas
Rojo	Ignición
Verde	Gasolina
Negro	Puesta a tierra.

Montaje de la electro-válvula. Para realizar el montaje de la electro-válvula de manera adecuada, se debe seguir el procedimiento.

Se debe colocar la electro válvula en el espacio del motor asignado para tal. Una vez colocado en su posición, se debe colocar el tornillo de fijación de la electro válvula y realizar las conexiones de la misma. Finalmente, se abre la válvula manual de seguridad, se conecta la batería y se realiza la puesta a presión del sistema de gas natural del vehículo.

### 2.2.3. Regulador de presión.

El regulador de presión se instala en lo posible, en uno de las partes laterales del compartimento del motor, de forma tal que su plano frontal quede en posición vertical y paralela al eje longitudinal del vehículo. Esto es para que la acción del aire en el avance del vehículo no incida sobre la membrana de la tercera etapa [6], que debe estar expuesta a la presión atmosférica en su cara externa, y que el efecto de la inercia en la acción de frenado y aceleración del vehículo, no actúe sobre la misma, para lograr la correcta regulación de la presión de salida.

El regulador de presión debe poseer un sistema de fijación propio sin que se apoye en cualquier línea flexible o rígida del sistema del vehículo. Cuando se use una platina, la

norma recomienda que se utilice una de un espesor mínimo de 1/8" ó 3mm [8]. Debe estar protegido de los golpes y en un lugar de fácil acceso.

Así mismo, hay que tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Debe estar a no menos de 60 mm. del sistema de escape.
- Debe estar a no menos de 40 mm. de la batería.
- Debe estar a no menos de 150 mm. de la línea frontal o trasera del vehículo, según corresponda [6].
- La manguera que une el regulador con la admisión debe ser lo mas corta posible, para asegurar una correcta depresión en todo su trayecto.
- Debe tenerse en cuenta que la altura del regulador no supere el nivel del radiador ni el del deposito de expansión para que siempre tenga circulación de agua.

Montaje del regulador de presión. El procedimiento general para el montaje del regulador de presión en el vehículo, depende del fabricante del kit a instalar. Primero, se debe montar el regulador de presión en el compartimento del motor, según recomendaciones del fabricante del equipo, y sujetarlo con los tornillos. Luego, acoplar la manguera correspondiente al circuito de refrigeración del regulador, proveniente del circuito de entrada al radiador; y, finalmente, acoplar la cañería de tubo de alta presión y la cañería de alimentación al mezclador.

#### 2.2.4. Indicador de nivel de gas (Conmutador gasolina / GNV)

La instalación se realiza en el habitáculo del vehículo, lo más cercano y accesible posible al conductor para su visualización y operación. Esta llave debe ser alimentada con 12 V provenientes del contactor de la llave de contacto. Después de la instalación, se deberán verificar en el manual de instrucciones de montaje las distintas configuraciones y regulaciones que son necesarias de realizar para cada tipo de vehículo.

El procedimiento para identificar el cable que se conectará al conmutador, es el siguiente:

- Identificar el mazo saliente de cables correspondientes a la chapa de contacto.
- Con la chapa de contacto en la posición contacto +, identificar los cables que indiquen 12 V en el multímetro.

- Una vez localizados estos cables verificar cuál de ellos, durante el momento de arranque, mantiene 12 V; dicho cable será el positivo, quien suministra la tensión a la llave conmutadora y a todo el equipo de gas natural.
- La alimentación de 12 V llevará un fusible de 5 A. que protege a todo el equipo.

#### 2.2.5. Emulador de inyección gasolina.

En el caso de vehículos con inyección monopunto, se utilizan emuladores de inyección y sensor de oxígeno, que están unificados en un solo elemento. En este caso, hay que interceptar la alimentación al inyector para que este no opere cuando el motor funciona con gas natural, así como, interceptar la señal al testigo luminoso de indicador de fallas de la computadora central del vehículo.

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.

Montaje del emulador de inyección. Para realizar el montaje del emulador, se debe colocar primero el emulador de inyección de gasolina y el tornillo (9, en la figura 33) que fija al emulador; posteriormente, conectar el conector que va a la computadora central (retirar su tapa). Finalmente, montar el filtro de aire y su caja protectora, y conectar la batería. Una vez realizado el montaje, efectuar una prueba en carretera.

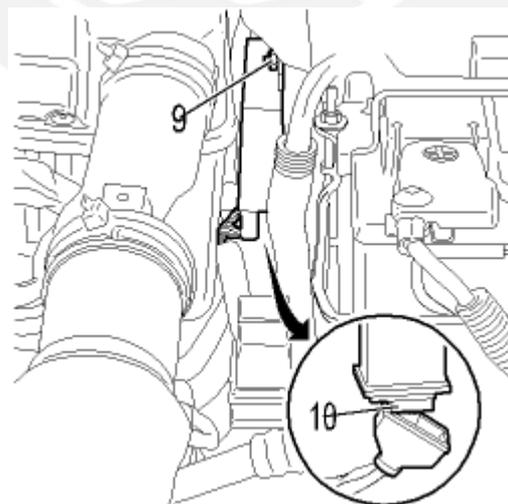


Figura 33. Esquema de montaje emulador de inyección [5]

#### 2.2.6. Corrector de avance.

Este dispositivo debe instalarse en lugares aislados del calor y libres de goteo de cualquier líquido, así como de vibraciones propias del motor y del golpe con cualquier elemento exterior; por lo que una recomendación es que sea instalado, de ser posible, dentro del habitáculo del vehículo sin que obstruya la visión del conductor. Esta instalación dentro del vehículo asegura que no se sufra de corto-circuitos por humedad. En caso de no colocarse en este espacio, lo recomendable es colocar un elemento de protección por corto-circuito (fusible).

Para la instalación de este corrector va a ser necesario realizar algunas inspecciones previas en el cableado del vehículo. En el caso del sensor de la mariposa (TPS) existen normalmente tres cables, donde uno es la masa; otro el positivo (5 V); y el tercero, que va a tener una señal variable de 0 a 5 V, dependiendo del estado de aceleración del vehículo, este es el que hay que conectar al corrector de avance. Otro de los cables a interceptar, es el que proviene del sensor de caudal de aire (MAF o MAP), que puede tener señal de tensión o de frecuencia, dependiendo del vehículo en el cual se esté trabajando. Todos estos sensores se encuentran en el sistema de aspiración del motor, y la forma de conexión se encuentra indicada en el manual de instalación del fabricante.

En cualquiera de los casos, se verificará igual que se hizo con el TPS, ya que la señal es variable (0-5V) y se interceptará el cable de la señal variable. En el caso del MAP con señal de frecuencia, se recomienda medir la frecuencia con un osciloscopio o un multi-tester que presente esa opción. En caso de no tener un multi-tester con osciloscopio, la medición debe hacerse en la escala de tensión; donde encontraremos un cable con 0 V (masa), otro con 5 V y el tercero que, por tratarse de una onda constante que varía entre 0 y 5 V, el valor testeado será el promedio, es decir, aproximadamente 2,5 V [9]. Este es el cable a interceptar.

La otra verificación depende de la transmisión (mecánica o electrónica) del acelerador. Esto servirá para realizar la configuración del corrector, el cual está indicado en el manual de instrucciones del mismo.

### 2.2.7. Pico dosificador.

Se debe recordar que el pico dosificador sólo debe instalarse en vehículos que cuenten con un sistema de alimentación por carburadores, y en caso de que el carburador admita perforaciones. Este elemento reemplaza al mezclador.

El pico dosificador debe instalarse de modo que:

- La zona más elevada del dosificador (lomo) debe quedar en la posición de menor diámetro del venturí, con una tolerancia de  $\pm 1$  mm. en su altura.
- El extremo del dosificador debe quedar en el eje longitudinal del venturí con una tolerancia de  $\pm 0.5$  mm.
- El corte a  $45^\circ$  del extremo del dosificador debe quedar con el chaflán hacia abajo, de modo de facilitar el paso del gas hacia el múltiple de admisión.

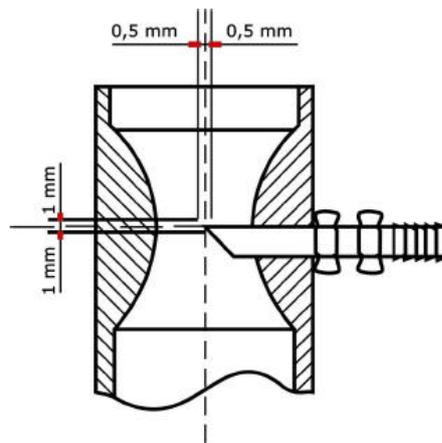


Figura 34. Esquema de colocación de pico dosificador en el carburador [6]

Una vez colocado el dosificador en su posición correcta, se asegura el mismo por medio de la contratuerca de anclaje

### 2.2.8. Tuberías de conexión.

Para definir las tuberías que deben instalarse en todo el circuito del sistema de gas natural, se pueden clasificar en circuitos, los cuales presentan características distintas por las presiones de operación y por el fluido que transportan.

Como reglas generales para los circuitos se deben adoptar las siguientes recomendaciones:

- Debe tenerse especial cuidado con que las tuberías no presenten ningún rastro de suciedad ni de rebabas o recortes que puedan ocasionar puntos críticos en altas presiones.
- Las tuberías deben montarse en forma segura y firme, de manera que no se vean afectadas por vibraciones. La distancia máxima recomendada entre abrazaderas será de 600 mm [10].
- Las tuberías deben seguir el recorrido más corto posible entre el cilindro y el mezclador; deben ser encamisadas cuando sea necesario, y debe tratarse en lo posible que la tubería recorra las líneas originales del freno o de gasolina.
- Los materiales utilizados para las tuberías deben ser capaces de resistir la corrosión o debe ser tratados para resistirla.

Los circuitos en los se pueden clasificar las tuberías son:

#### 1. Circuito de gas a baja presión.

Este circuito va desde el regulador hasta el mezclador o el pico dosificador. Está constituido por manguera de goma y tela de diámetro interior de 19 mm [11]. La manguera es ignífuga y todos sus extremos van asegurados con abrazaderas de ajuste variable. Como en todos los casos, debe evitarse el roce entre mangueras o con otros elementos del vehículo, lo cual se logra con una instalación adecuada, y fijando las mangueras entre sí o con otros elementos. En el recorrido se intercala un regulador de caudal (registro de máxima), que tiene como función limitar el caudal de gas para lograr la adecuada mezcla aire/combustible en los regímenes de altas revoluciones.

Los vehículos a inyección electrónica se instalan siempre con mezclador y se utiliza una sola manguera con un único regulador de caudal. En los vehículos carburados que se instalen con pico dosificador, según las bocas del carburador que posea, este regulador de caudal puede tener una o dos salidas, por lo que a partir del mismo el circuito puede continuar con una o dos mangueras hasta el carburador.

#### 2. Circuito de agua.

El circuito de agua tiene como función mantener una temperatura ideal en el regulador de presión, circulando a través de éste. Está compuesto por mangueras de goma y tela no conformadas de diámetro interior de 9 mm [11]. Se conecta al circuito original del vehículo por medio de dos uniones en T de material sintético intercaladas en las mangueras de entrada y salida del calefactor, para asegurarse un flujo constante de agua. Una vez realizada la conexión, **siempre** purgar el circuito de agua.

### 3. Circuito de gasolina.

En los vehículos carburados, el circuito de gasolina sólo se modifica respecto del original para intercalar la electro-válvula. Se utiliza manguera de goma y tela con un diámetro interior de 10 mm [11]. Las conexiones se aseguran por medio de abrazaderas de ajuste variable. En los vehículos inyectados no es necesaria la electro-válvula ya que cuando operan con gas, se anula (mediante emuladores electrónicos) el inyector o los inyectores de gasolina, según se trate de vehículos monopunto o multipunto.

### 4. Circuito de gas a alta presión.

El circuito de gas a alta presión (200 bares) se vincula desde el pico de carga hasta el regulador de presión pasando por los cilindros contenedores y elementos intermedios tales como la válvula de carga, el manómetro y la válvula de servicio.

Está compuesto por cañería de alta presión (debe ser capaz de soportar cuatro veces la presión de trabajo) de diámetro exterior de 1/4 de pulgada, siendo los nipples, virolas y conectores, de acero zincado [11]. Los tramos de cañería de alta presión entre componentes deben ser enteros, y las virolas deben ser preajustadas para evitar que las mismas se desplacen en el momento de la instalación en el vehículo. El recorrido por debajo de la carrocería debe estar ubicado de modo que quede protegido de posibles impactos por irregularidades del camino u objetos sueltos levantados por el vehículo en movimiento. Debe estar a una distancia no menor a los 50 mm. del tubo de escape, y con sus correspondientes grapas de sujeción, de preferencia, cada 300 mm. La distancia mínima del circuito de gas al suelo con el vehículo en condiciones de carga máxima es de 175 mm [11].

Asimismo, las cañerías deben tener rulos protectores que las aislen de vibraciones; los rulos amortiguadores de vibraciones o movimiento se deben realizar de modo que queden en la posición más cercana posible a los extremos de la conexión. Los mismos se conformarán de manera tal que ante casos de impacto tiendan a abrir su radio. El diámetro del rulo será no menor de 70 mm., y tendrá como mínimo una espira y media con un arrollado de paso abierto, dejando entre espiras una separación mínima de 2 mm [11].

## Referencias bibliográficas del capítulo 2.

- [1] MIRANDA C., Rubén y CASTRO T., Tilso. Motores convertidos a gnv: explosiones en el múltiple de admisión. CISE Electronics Corp.
- [2] INDECOPI. NTP 111.015 - 2004. GAS NATURAL SECO. “Montaje de Equipos Completos en Vehículos con Gas Natural Vehicular (GNV)”. Anexo A: Formato para evaluación de preconversión; pág. 17. Lima, Perú, 04 de agosto del 2004. 17p.
- [3] INDECOPI. NTP 111.013 - 2004. GAS NATURAL SECO. “Cilindros de Alta Presión para Almacenamiento de Gas Natural Utilizado como Combustible para Vehículos Automotores”; pág. 17. Lima, Perú, 2004. 123p.
- [4] INDECOPI. NTP 111.016 - 2004. GAS NATURAL SECO. “Dispositivos de sujeción para cilindros en vehículos con gas natural vehicular”; pág. 4. Lima, Perú, 2004. 9p.
- [5] Citroën Service. Página de servicio Citroën. Documentación técnica – Manuales de reparación. [fecha de consulta: 15 de agosto del 2007]  
Disponibile con clave de usuario en:  
<<https://networkservice.citroen.com>>
- [6] TOMASETTO LOVATO. Manual de instalación de equipos de GNC para automotores. Capítulo 3: Características de cada componente. 1º ed. Argentina. pp. 15.
- [7] INDECOPI. NTP 111.015 - 2004. Op Cit. pp. 12.
- [8] INDECOPI. NTP 111.015 – 2004. Op Cit. pp. 11.
- [9] TOMASETTO LOVATO. Manual de instalación de equipos de GNC para automotores. Capítulo 4: Componentes electrónicos. 1º ed. Argentina. pp. 33.
- [10] INDECOPI. NTP 111.015-2004. Op Cit. pp. 9.
- [11] TOMASETTO LOVATO. Manual de instalación de equipos de GNC para automotores. Capítulo 5: Descripción por circuitos. 1º ed. Argentina. pp. 44.

### CAPÍTULO 3

#### PROCEDIMIENTOS POST-CONVERSIÓN

En el presente capítulo se presentarán los controles que realizan (o que son recomendables realizar) después de que se ha efectuado la conversión en los vehículos, de acuerdo a algunas especificaciones de la Norma Técnica Peruana referida a este tema (NTP 111.026). Los controles presentados comprenden las acciones realizadas inmediatamente después de la conversión en el taller, y las acciones que se deben tomar en cuanto aparezca una fuga. También se aborda el tema de la puesta a punto y regulaciones del sistema de gas natural una vez realizada la conversión.

Es recomendable utilizar detectores de fuga homologados, sin embargo, considerando la carencia de recursos de muchos talleres, la aplicación de agua jabonosa es suficiente para detectar las fugas en el sistema.

Dentro de los procedimientos de post-conversión se incluyen a las revisiones periódicas anuales obligatorias que deben realizarse a todos los vehículos convertidos con la finalidad de que renueven su autorización para abastecerse con gas natural. En la inspección anual se debe verificar que todos los componentes instalados y registrados sigan en su lugar, que no presenten fugas o algún signo de corrosión, que los elementos electrónicos funcionen adecuadamente; en caso de que se presente algún problema, debe de sustituirse el elemento defectuoso, con la finalidad de que el vehículo sea certificado y autorizado durante 1 año más para abastecerse con gas natural.

Finalmente, como información complementaria, se presenta un cuadro de síntomas y causas más comunes en los vehículos convertidos a gas natural para poder detectar de manera rápida la falla y proceder a su corrección sin pérdida de tiempo.

### **3.1. Operaciones post-conversión.**

#### **3.1.1. Control sobre los elementos mecánicos gas natural.**

Luego de realizar la instalación de cada uno de los elementos que forman parte del kit de gas natural, según la NTP. 111.014, deben realizarse ciertos controles por parte de las personas (de las empresas) encargadas de otorgar la certificación de manera de que se compruebe la ausencia de fallas en la instalación, ya sea por defecto del equipo utilizado o por una instalación mal efectuada. Estos controles deben ser lo más estrictos y exactos posibles debido a las altas presiones con las que trabaja este sistema de gas natural para, de esta manera, evitar accidentes. Una vez realizadas estas verificaciones ya se encuentra en condiciones técnicas de cargar con gas natural al sistema.

Después de que se realiza la conexión de todos los elementos, y antes de realizar las pruebas, el personal a cargo de la instalación debe encargarse de realizar la puesta a presión del circuito de gas natural, cerrando el circuito de alimentación de gas natural y reajustando los acoples correspondientes.

Luego de realizar la puesta a presión del circuito de gas natural, se realiza el control de estanqueidad en tres etapas:

#### **Etapa 1: Control baja presión.**

Según la norma técnica el control de este tramo del circuito de gas natural debe realizarse al doble de la presión con la que trabajará [1]. Para llevar a cabo este control se debe abrir y cerrar rápidamente la válvula manual de seguridad del cilindro de gas natural para obtener una presión parcial en el circuito gas natural; luego, efectuar un control de estanqueidad sobre los acoples, con la ayuda de un producto de detección de fuga de gas, durante 3 minutos [2].

En caso de fuga de gas por el acople, vaciar parcialmente el circuito gas natural; cambiar el acople y efectuar las operaciones de puesta a presión del circuito de alimentación gas natural.

### Etapa 2: Control alta presión.

Esta verificación es sumamente importante y debe realizarse mediante un cilindro de prueba conectado al pico de carga para presurizar el sistema con 200 bares de gas inerte (según la norma, este gas puede ser nitrógeno ( $N_2$ ) o dióxido de carbono ( $CO_2$ )) [1].

Para llevar a cabo este control se debe abrir la válvula de carga del circuito de gas natural y cerrar la(s) válvula(s) de cilindro. Cuando ya se haya realizado esta manipulación de las válvulas, recién se puede abrir el cilindro de prueba; y así controlar posibles pérdidas en conexiones de válvula de cilindro, válvula de carga, manómetro y reductor de presión, principalmente. Efectuar los controles con la ayuda de un producto de detección de fuga de gas durante 3 minutos [2].

### Etapa 3: Prueba en carretera.

Efectuar una prueba en carretera y a continuación efectuar un nuevo control de estanqueidad.

Muchas veces durante el funcionamiento del circuito a gas natural, se llega a percibir cierto olor a gas (tal como sucede en los sistemas estándares de gasolina) producto de un elemento omitido en el control o de una tubería en mal estado. Por tal motivo, se detalla la manera cómo se debe proceder a la búsqueda del origen de dicha fuga. Se debe tener presente que esta operación se efectúa **obligatoriamente** al aire libre, lejos de cualquier fuente de ignición y delimitando un perímetro de seguridad (cinta bicolor o cadena).

Para iniciar la detección de la fuga se debe abrir el contacto (apagar el motor) y cerrar la válvula manual de seguridad del cilindro de gas natural. Es recomendable abrir las puertas del vehículo a fin de ventilar su interior.

Después de ello, se procede a desconectar el cable negativo de la batería y a abrir la válvula manual de seguridad del cilindro de gas natural. Finalmente, buscar la fuga

sobre cada acople del circuito, así como sobre los elementos de expansión con la ayuda de un detector de fuga.

Cuando la fuga ha sido localizada, efectuar las siguientes operaciones:

- Cerrar la válvula manual de seguridad del cilindro de gas natural.
- Purgar las canalizaciones haciendo funcionar el motor en modo gas natural hasta la conmutación automática en modo gasolina (para el caso de vehículos a inyección).
- Realizar las reparaciones necesarias.

Es importante considerar que **nunca** se debe reapretar un acople estando bajo presión. Cualquier pieza defectuosa sometida a alta presión, debe de ser sustituida y no reparada. Después del apriete del acople, si todavía existe fuga, efectuar su sustitución. Después de una fase de reposo de al menos de 3 horas, efectuar una última detección de fugas antes de la entrega al cliente.

Para evitar todo riesgo de corrosión al utilizar un detector de fugas, enjuagar los acoples con agua clara y secarlos con aire a presión.

Para el caso del cilindro de gas natural, un control adicional que debe realizarse es el de estanqueidad de sus válvulas y acoples, controlar que no exista ningún contacto metal contra metal entre el cilindro de gas natural y el chasis del vehículo.

### 3.1.2. Control sobre los elementos eléctricos gas natural.

En un sistema bi-combustible, no solamente se debe controlar el sellado de los acoples y de los elementos, también es necesario controlar el funcionamiento de la parte eléctrica del circuito principalmente de las electro válvulas de gas y de nafta.

Este control se realiza colocando la llave conmutadora en una u otra posición.

En los vehículos con inyección electrónica se puede poner en marcha el vehículo, antes de ser cargado con gas natural, y pasar la llave a posición GNC debiéndose parar el motor en forma inmediata. De no ser así, deberá realizarse el control de las conexiones realizadas. En los carburados, en posición de gas natural, poner el contacto y verificar que la electro válvula de gas se activa y luego de algunos segundos se vuelve a desactivar.

### 3.1.3. Puesta a punto del encendido.

En los vehículos con inyección electrónica no es necesario realizar ninguna modificación, ya que el corrector de avance electrónico es el encargado de modificar la puesta a punto.

En el caso de los vehículos carburados, existen también correctores electrónicos de avance, pero en general la puesta a punto se realiza en forma manual. Este registro es particular en cada vehículo, pero se debe adelantar el avance al encendido entre 8 a 10° sobre el avance con funcionamiento a gasolina [3].

### 3.1.4. Regulación de caudales.

#### A. Regulación del caudal máximo.

Para la regulación del equipo de gas natural primero se regula el caudal máximo admisible o regulación de máxima. Para realizar la regulación el motor debe estar en la temperatura normal de funcionamiento; una vez alcanzada esta temperatura, se pasa a funcionamiento con gas natural mediante la llave conmutadora. Luego, acelerar el motor entre 2500 y 3000 RPM, y mantener fija la posición de la mariposa durante toda la regulación; girar el tornillo de regulación de la válvula de máxima para lograr una aceleración del motor, y seguir girando mientras las revoluciones siguen aumentando. Cuando las revoluciones comiencen a descender, en este punto se habrán logrado la regulación de máxima, y es aquí donde se debe fijar la posición con la contratuerca. Puede darse la situación en que al ir en busca del máximo régimen de giro, las revoluciones aumentan en forma riesgosa, sin modificar las condiciones de gasificación logradas hasta el momento; en estos casos, reducir las revoluciones hasta las 2500 a 3000 RPM accionando sobre la mariposa del acelerador y proseguir con la regulación.

En un motor carburado, con un carburador de dos bocas de apertura progresiva, habrá que hacer la regulación dos veces empezando por la boca que primero abre su mariposa. Una vez logrado el punto de máxima aceleración regular la segunda boca.

#### B. Regulación del caudal mínimo.

Esta regulación se realiza después de que se ha realizado la regulación de máxima. Para poder llevar a cabo esta regulación, necesariamente, se debe llevar el motor a la temperatura normal de funcionamiento y pasar a funcionamiento de gas natural si es

que no estuviera operando con este combustible. Luego, dejar la mariposa en posición de reposo y mantenerla así hasta realizar la regulación. Finalmente, girar el tornillo de regulación de mínima que se encuentra en el regulador de presión hasta lograr el régimen deseado.



### 3.2. Cuadro de búsqueda de averías

En esta sección se presenta un cuadro con síntomas de los problemas más comunes que se pueden presentar en un sistema de gas natural durante su operación. Así mismo, se presentan las causas y las posibles soluciones a tomar o inspecciones a realizar para corregir el mal funcionamiento del sistema.

Síntomas	Causa	Control
Ralentí inestable.	El motor funciona con los dos combustibles.	Comprobar si todos los inyectores están cortados.
		Caso contrario, controlar la cablería y el relé de conmutación gasolina/gas.
	Inyectores gasolina.	Realizar un test de régimen colocando una pinza en los conductos de inyección, uno a uno, con el fin de cerrarlos.
		Cambiar el cilindro que no funciona, con uno que funcione correctamente.
		Si la perturbación está invertida :
		Controlar o cambiar el inyector y el conducto de inyección.
Circuito de alimentación de gas.	Verificar el nivel de gas.	
El regulador de presión congela.	Circuito de refrigeración.	Controlar la estanqueidad del circuito de refrigeración (fugas, nivel, grado de congelación, etc...).
		Comprobar las conexiones hacia el regulador de presión.
El motor no enciende, cualquiera que sea la posición de	Circuito de gasolina.	Comprobar el nivel del combustible, controlar el funcionamiento de la bomba

conmutador gasolina/gas.		de combustible.
		No hay inyección de gasolina porque la bomba de combustible se bloquea al vaciarse el depósito.
	Circuito de corte de inyección de gasolina.	Controlar la cablería y el relé de conmutación gasolina/gas.
El testigo de control motor permanece encendido permanentemente. El motor continúa funcionando con gasolina.	Conmutador gasolina/gas.	Verificar el cableado.
	Calculador inyección.	Comprobar la ausencia de defecto en el calculador.
El sistema conmuta automáticamente al modo gasolina en las siguientes condiciones :	Sonda de oxígeno.	Controlar la masa y aislante.
• Después de un breve momento.	Circuito de alimentación.	Comprobar el nivel del combustible.
• Después de una conducción prolongada.	Regulador de presión.	Control y reglaje de la presión de la 1ª fase.
		Control y reglaje de la presión de la 2ª fase.
• Después de una carga de combustible, encontrándose el depósito totalmente vacío.	Electro válvula.	Controlar si el circuito de limitación de caudal pasa a su situación normal transcurrido unos minutos.
El motor cambia a modo gas y se apaga.	Circuito de alimentación de gas.	Controlar la masa y aislante. Verificar el nivel de gas.
	Electro válvula.	Controlar la tensión de alimentación del elemento. Comprobar el funcionamiento del elemento.
	Filtro de gas.	Verificar el filtro de combustible.
El sistema no cambia a modo gas.	Información régimen motor.	Comprobar todas las conexiones de los hilos del

		régimen motor.
		Controlar la resistencia del captador de régimen motor.
El testigo de control se apaga y permanece apagado mientras el conmutador está en posición gas.	Alimentación de gas.	Controlar el estado de los fusibles.
		Controlar el circuito de alimentación.
La potencia disminuye en aceleración.	Depósito de gas vacío.	Llenar el depósito de gas.
A carga constante, el sistema vuelve al modo de funcionamiento con gasolina.	Reglaje incorrecto de la presión de la 1ª y 2ª fase.	Regular la tensión desde la 1ª y 2ª fases y verificarla durante la conducción conectando el indicador
	Suciedad en la caja de distribución.	Limpiar la caja de distribución.
	Diafragma de la electroválvula de gas defectuoso (rajado).	Sustituir el diafragma de la electroválvula de gas.

Tabla 12. Cuadro de síntomas – causa [2]

### 3.3. Operación especial para mantenimiento.

En esta parte se describirá la manera de realizar el vaciado del circuito de gas natural, cuando se requiere realizar una reparación en cualquiera de estas 3 situaciones:

- Caso N° 1: El motor del vehículo funciona en modo gasolina y en modo gas natural.
- Caso N° 2: El motor del vehículo no funciona, pero sí la electro-válvula de alimentación de gas natural.
- Caso N° 3: El motor del vehículo y la electro-válvula de alimentación de gas natural no funcionan.

#### Caso N° 1: El motor del vehículo funciona en modo gasolina y en modo gas natural.

Para realizar el vaciado del circuito de alimentación de gas natural, se debe poner en marcha el motor, luego, colocar el conmutador gasolina/GNV en modo gas natural y cerrar la válvula manual de seguridad situada en el cilindro de gas natural.

Después de que se han realizado esas operaciones se debe esperar a que el sistema bi-combustible conmute automáticamente a modo gasolina o a que el motor se apague. Cuando esto suceda, abrir el contacto (apagar el motor) y colocar una brida rilsan en la válvula manual de seguridad con el fin de impedir cualquier maniobra; así mismo, eliminar en la proximidad del vehículo cualquier posibilidad de inicio de chispa. Finalmente, aflojar los acoples necesarios para la operación de mantenimiento.

Hay que tener mucho cuidado de que durante el desmontaje de los órganos del sistema de gas natural, todos los orificios de exposición a la presión atmosférica sean obturados con tapones, con el fin de evitar la entrada de impurezas en el circuito.

#### Caso N° 2: El motor del vehículo no funciona, pero sí la electro-válvula de alimentación de gas natural.

En este caso es muy importante que antes de realizar el vaciado del sistema de gas natural, se lleve el vehículo al exterior del taller, con la finalidad de evitar alguna acumulación peligrosa de gas.

Después de llevar el vehículo fuera del taller, proceder a realizar el vaciado del sistema, cerrando la válvula manual de seguridad situada en el cilindro de gas natural y colocando una brida rilsan en la válvula manual de seguridad con el fin de impedir

cualquier maniobra. Luego, aflojar lentamente la brida (1, en la figura 35) y desacoplar el tubo de alimentación (2, en la figura 35).

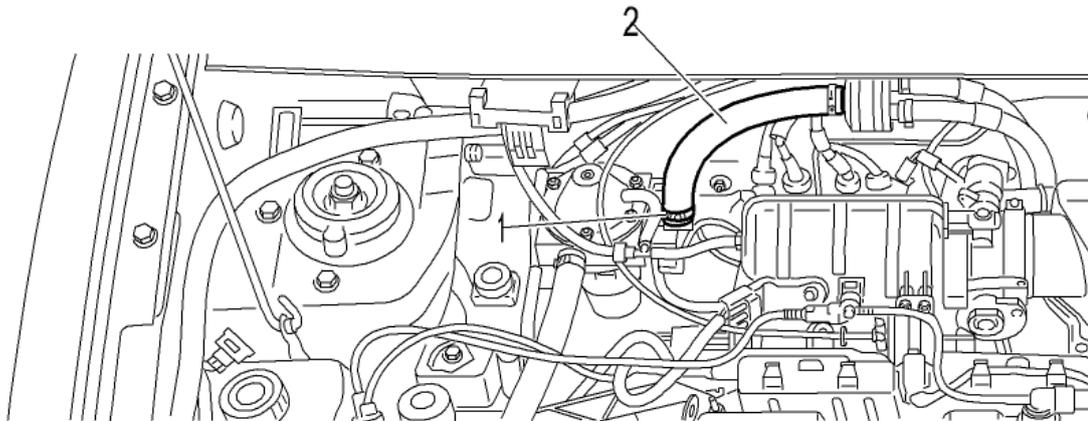


Figura 35. Esquema del sistema de alimentación [2]

Desconectar el conector de la electro-válvula y alimentarlo con 12 V exterior al vehículo. La alimentación 12 V debe estar suficientemente alejada del vehículo para evitar el riesgo de chispas. Se debe dejar la alimentación 12 V unos minutos hasta que el circuito se vacíe completamente. Finalmente, aflojar los acoples necesarios para la operación de mantenimiento.

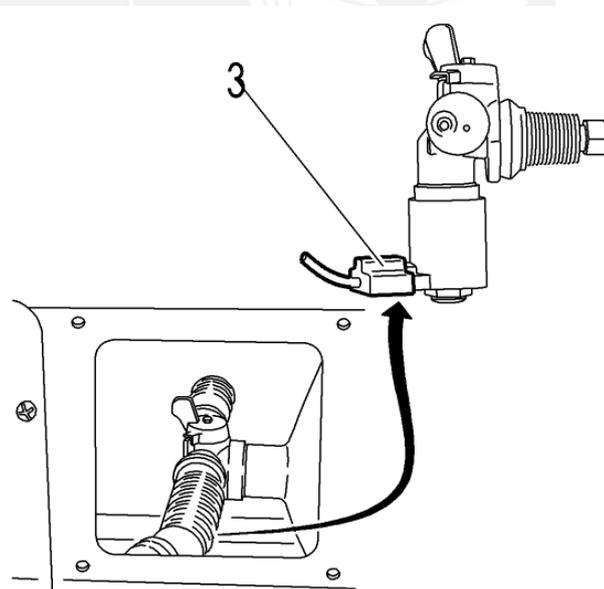


Figura 36. Desmontaje de conector de la electro-válvula [2]

Caso N° 3: El motor del vehículo y la electro-válvula de alimentación de gas natural no funcionan.

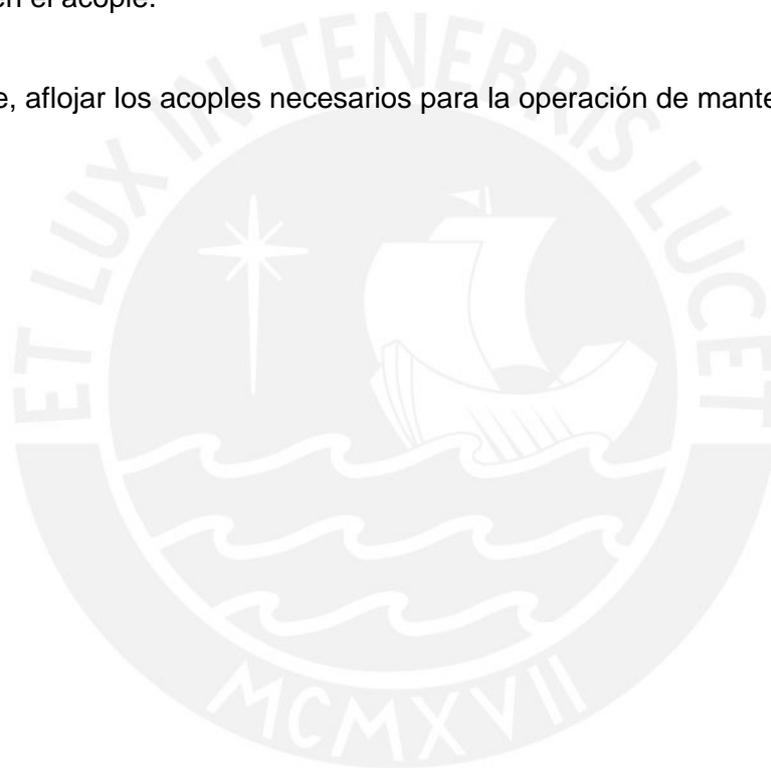
Este método es el último recurso y requiere tomar las máximas precauciones. Este método debe realizarse únicamente si el motor del vehículo y la electro válvula de

alimentación de gas natural no funcionan. En este caso, también es importante y necesario colocar el vehículo en el exterior del taller.

Para proceder al vaciado del sistema de gas natural se debe cerrar la válvula manual de seguridad situada en el cilindro de gas natural, y colocarle una brida rilsan con el fin de impedir cualquier maniobra.

Luego, se debe pulverizar el acople del reductor de presión con agua jabonosa; proceder a aflojar (con prudencia) el acople (1/4 vueltas) [2] y esperar el final de la emulsión del producto. Se debe repetir la operación hasta que desaparezca la emulsión en el acople.

Finalmente, aflojar los acoples necesarios para la operación de mantenimiento.



### Referencias bibliográficas del capítulo 3.

[1] INDECOPI. NTP 111.015-2004. GAS NATURAL SECO. “Montaje de Equipos Completos en Vehículos con Gas Natural Vehicular (GNV)”. Lima, Perú, 04 de agosto del 2004. pp. 16.

[2] Citroën Service. Página de servicio Citroën. Documentación técnica – Manuales de reparación. [fecha de consulta: 15 de setiembre del 2007]  
Disponibile con clave de usuario en:  
< <https://networkservice.citroen.com> >

[3] TOMASETTO LOVATO. Manual de instalación de equipos de GNC para automotores. Capítulo 6: Pruebas, puesta a punto y regulaciones del motor. 1º ed. Argentina. pp. 49.



## CAPÍTULO 4

### ASPECTOS ECONÓMICOS DE LA CONVERSIÓN DE VEHÍCULOS A GAS NATURAL

Cuando se trata de costos de conversión, se debe definir qué costos son los que se deben de tomar en cuenta al momento de decidirse a convertir un vehículo a gas natural.

En el primer capítulo de este documento, se ha hablado de que la ventaja principal de utilizar gas natural en un vehículo, es la económica; y esta es la que motiva, principalmente a propietarios de vehículos destinados al transporte público a realizar la conversión.

Ahora cabe la pregunta, ¿cuánto realmente se ahorra con una conversión? El costo de una conversión oscila entre \$ 1000 y \$ 2000, inversión que muchas veces supera el costo del vehículo, solamente en el kit. Estos precios de la conversión dependen por lo general de:

- La cilindrada del vehículo.
- El sistema de alimentación de combustible (carburación o inyección).
- Cantidad y capacidad del cilindro(s) instalados (autonomía del vehículo).
- Sensor de oxígeno (control de mezcla).
- La calidad y tecnología del kit de conversión.

En el siguiente cuadro se presenta una tabla con precios estimados que se manejan en el mercado internacional con cilindros pequeños, intermedios y muy grandes. En el mercado local, el cilindro que más se utiliza es de 65 litros que tiene un peso aproximado de 70 kilos. Con los tanques de 34 litros, el costo de la instalación se reduce a \$790, aproximadamente.

Tipo de auto	Costo con tanque de 65 lt.
Carburador	\$1,180
Inyección monopunto	\$1,340
Inyección multipunto	\$1,450

Tabla 13. Lista de precios de conversión según el tipo de alimentación [1]

En el mercado extranjero, donde las tecnologías aplicadas a las conversiones de gas natural están más avanzadas, se pueden encontrar precios como los que se muestran en la tabla siguiente. Como se puede observar, estos precios son mayores debido a las mejoras de la calidad de los cilindros y de los kits empleados.

Categoría	Cilindro	Carburado	Inyección Lazo	
			Abierto	Cerrado
< a 2500 cc	65 litros	\$ 2.975.000	\$ 3.230.000	\$ 3.485.000
2500 a 4500 cc	83 litros	\$ 3.305.000	\$ 3.510.000	\$ 3.715.000
> a 4500 cc	100 litros	\$ 4.370.000	\$ 4.570.000	\$ 4.670.000

Tabla 14. Lista de precios según el tipo de kit utilizado [2]

En términos muy generales, mientras más pequeño el vehículo mayor será el período de amortización del costo de la inversión. Esto se debe a que el consumo de combustible en un vehículo pequeño es menor y el costo de la conversión no disminuye mucho con el tamaño del vehículo. El costo del sistema de control de combustible se mantiene esencialmente igual y el precio de un cilindro de almacenamiento más pequeño no será mucho menor y, además, en vehículos pequeños, es mucho más difícil encontrar espacio para el cilindro.

En algunos casos puede ser difícil justificar la conversión sobre una base económica, ya que esto depende fundamentalmente del kilometraje anual. En general, se puede

esperar, sobre una base económica, un período de amortización algo inferior a dos o tres años.

Consideremos a un propietario de un vehículo que se dedica al servicio de transporte público, con su motor operando por 10 horas (como mínimo) a una velocidad promedio de 30 Km/h (se considera el tráfico de las horas punta), el kilometraje recorrido sería de 300 Km por cada jornada de trabajo. El consumo de un vehículo promedio oscila por los 35 Km/gal., entonces, para cada jornada de trabajo consumirá 9 galones de combustible. Cabe resaltar que el consumo en gas natural y en combustible líquido es el mismo, en teoría. Estos vehículos por lo general, utilizan combustible de 90 octanos con un costo de aprox. de S/. 13.00 nuevos soles / gal. (diciembre 2007), con lo que cada jornada diaria gastarían S/. 117 nuevos soles. En cambio, con gas natural en un tanque de 65 litros (ó 17 galones) y un costo aproximado de S/. 6.00 nuevos soles / galón (diciembre 2007), llenar su tanque le costaría aproximadamente S/. 102 nuevos soles por cada 2 jornadas. Con estos valores, se puede realizar la siguiente tabla:

GASTO CONSUMO	MES		
	1	6	12
Combustible 90 octs.	S/. 3.510,00	S/. 21.060,00	S/. 42.120,00
Gas natural	S/. 1.530,00	S/. 9.180,00	S/. 18.360,00
<b>Ahorro</b>	<b>S/. 1.980,00</b>	<b>S/. 11.880,00</b>	<b>S/. 23.760,00</b>

Tabla 15. Tabla comparativa gas natural vs. combustible 90 octs. para vehículo de servicio público

Como se puede observar, el ahorro es significativo incluso al 6to. mes de la utilización de este combustible con lo que la inversión se recupera notoriamente con el ahorro percibido por combustible. Este cuadro, sólo refleja el ahorro por combustible, los aspectos de mantenimiento y la eficiencia no son tomados en cuenta.

Debido a que la mayoría de las conversiones en nuestro país son realizadas por propietarios de vehículos dedicados al servicio público; estas conversiones, pueden ser vistas como un negocio, en el cual, se realiza una inversión y se espera un retorno y ganancias; entonces, se podría realizar un análisis económico, para determinar la tasa de retorno y la rentabilidad del “negocio”.

A continuación se muestra el análisis económico realizado.

En conclusión, se puede decir que para una persona que recorre varios kilómetros por día, el negocio de la conversión le resultaría bastante beneficioso, tanto en el ahorro de combustible como en la inversión inicial de su dinero. Ahora, también se podría analizar el caso de una persona particular que desea convertir su vehículo a este sistema de gas natural y poder determinar si esta conversión es así de rentable como lo fue para el propietario del taxi.

Se parte del supuesto que esta persona recorre un kilometraje anual de 16,000 Km., cantidad de kilómetros para vehículos de turismo que se podría decir es estándar a nivel internacional de acuerdo a los estudios realizados sobre este tema. En algunos países serán 10,000 millas, que a la conversión viene a ser lo mismo. Esta persona recorre 16,000 Km. anuales, esto quiere decir que al mes su recorrido promedio será de 1,333 Km., y su recorrido diario, de 45 Km. aproximadamente. Este recorrido, como se puede observar, es extremadamente menor que el de su par taxista. Asumiré que son vehículos de las mismas características de consumo, entonces, así como en el caso anterior, la autonomía del vehículo particular será de 35 Km/gal. y que opera con combustible de 90 octs.; por tanto, la cantidad de combustible que utiliza por mes será de 40 galones, aproximadamente, y a un precio por galón de S/. 13.00 nuevos soles, se obtiene el gasto por concepto de combustible mensual: S/. 520.00 nuevos soles. Considerando las mismas condiciones pero ahora operando con gas natural, el cual tiene un costo por galón de S/. 6.00 nuevos soles, se obtiene que el gasto mensual por combustible se reduce a más del 50%. En la tabla siguiente se puede analizar el ahorro a través de un horizonte de tiempo de 1 año; no es tanto como en el caso del taxista pero de todas maneras se percibe un ahorro en cuanto a combustible.

GASTO CONSUMO	MES		
	1	6	12
Combustible 90 octs.	S/. 520,00	S/. 3.120,00	S/. 6.240,00
Gas natural	S/. 240,00	S/. 1.440,00	S/. 2.880,00
<b>Ahorro</b>	<b>S/. 280,00</b>	<b>S/. 1.680,00</b>	<b>S/. 3.360,00</b>

*Tabla 16. Tabla comparativa gas natural vs. combustible 90 octs. para vehículos particulares*

Para proseguir con el análisis del propietario particular, se evaluará la rentabilidad de realizar la conversión aún cuando el kilometraje recorrido por mes sea menor en comparación con el que realiza una persona dedicada al servicio público. En esta parte, como en la parte anterior, se encontrará la tasa de rentabilidad así como el valor presente neto. Este procedimiento es que el se detalla a continuación:

Otro aspecto fundamental que determina el costo de un kit de conversión y, por ende, el costo de la conversión, es la tecnología aplicada en el kit y el tipo de motor al cual irá instalado el kit. Obviamente, los costos se elevan cuando se trata de vehículos con kits de última generación (5ta.) e inyectados.

Los recientes adelantos en la tecnología de vehículos a gas natural fortalecerán a la industria de las conversiones a gas natural, y del uso mismo del gas como combustible, viniendo la tecnología más avanzada de los principales fabricantes automotrices. La industria de los vehículos a gas natural se ha enfocado principalmente en la investigación y el desarrollo de las áreas de infraestructura, tecnología de vehículos y motores, y la reducción de las emisiones de los vehículos a gas natural.

Los aspectos mecánicos de la conversión de los vehículos a gas natural son compatibles con los motores de carburadores e inyección múltiple de combustible. Actualmente, se están desarrollando y comercializando kits de conversión de circuito cerrado compatibles con computadoras centrales del vehículo. Estos mejorarán el comportamiento de los vehículos a gas natural y reducirán, aun más, sus ya bajas emisiones.

Sobre el tema del control de las emisiones, los países están aprobando leyes cada vez más exigentes en cuanto al límite permitido de emisiones de los vehículos, lo cual favorece la utilización del gas natural por su conocida particularidad de que las emisiones que presentan los vehículos que lo utilizan, son menos contaminantes. En Europa, los fabricantes de vehículos están dejando de lado la norma EURO III y adoptando la EURO IV, en nuestro país, la homologación aún se mantiene en EURO III.

Una muestra de la preocupación de los Gobiernos por la preservación del medioambiente y de la disminución de los niveles de emisiones contaminantes de los vehículos, es la enmienda a la ley de aire limpio, promulgada por el presidente George Bush en noviembre de 1990, contiene numerosas disposiciones que afectan a los vehículos, principal origen de contaminación del aire en muchas zonas urbanas; incluye nuevos estándares de emisiones para automóviles de pasajeros, camiones y buses, como también motores y vehículos *off-road*. Tiene también nuevos requisitos para los combustibles, la inspección y el mantenimiento para las zonas más contaminadas de Estados Unidos. Es importante señalar que la tecnología de

vehículos con tecnologías limpias generadas por la enmienda promulgada permitirá que nuevos vehículos de estas características lleguen a Sudamérica.

Si bien la ley no exige que los fabricantes produzcan vehículos de combustible alternativo, la cantidad de vehículos a gas natural comprimido está aumentando significativamente debido a los estándares de emisiones más severas de la ley. Se piensa que la introducción de tecnologías de reducción de emisiones para vehículos a gasolina más caras, harán que los vehículos a gas natural sean más económicos, ya que en general se espera que cumplan con los nuevos estándares con pocas o ningunas modificaciones mayores. Las leyes que se centran en la reducción de emisiones de vehículos han servido para educar a millones de personas sobre la importancia de controlar la contaminación de los vehículos a motor. Muchos funcionarios encargados del control de calidad del aire están buscando ahora la forma de aumentar la cantidad de vehículos a gas natural en sus estados; de ahí que la utilización del gas natural tenga una presencia mayor en el futuro.

Hasta el momento, solamente los vehículos a gas natural han sido certificados de acuerdo con los estándares de emisiones requeridas para los vehículos de ultra bajas emisiones, con lo cual se deja claro que el gas natural es un combustible muy limpio y que protege el ambiente.

Sin embargo, la utilización del gas natural puede encontrar algunos detractores; y más aún en nuestro país, en donde las condiciones adecuadas para su utilización no están tan bien definidas en lo que respecta obtención, transporte y distribución.

Las desventajas (digamos) que puede poner en tela de juicio realizar una conversión a gas natural tienen que ver con aspectos secundarios, que necesariamente son acarreados luego de realizada la conversión, entre los que se puede mencionar:

- Peso de los cilindros (para vehículos livianos, reduce la capacidad de carga).
- Ubicación de los cilindros (reducción del espacio para vehículos livianos que tienen una maletera pequeña).
- Cobertura de estaciones de servicio a nivel distrital e incluso nacional.
- Desconocimiento general del uso y las bondades del gas natural en los vehículos.

Esta última, es la causa por la que mucha gente descarta y no recomienda la utilización del gas natural en los vehículos; sin embargo, hay efectos que no se pueden negar, sobre el funcionamiento y comportamiento del motor.

Uno de los primeros efectos que se presenta una vez que se realiza la conversión, es una **pequeña disminución de la potencia de los vehículos**. Esta pérdida está alrededor del 5 % al 8% [1], y se presenta porque el gas natural desplaza oxígeno en la cámara de combustión del motor; sin embargo, los vehículos diseñados específicamente para operar con gas natural no tienen pérdida de potencia y pueden incluso tener mayor potencia y eficiencia, ya que estos motores operan con una relación de compresión mayor que los de gasolina por el alto índice de octano (130) del gas natural, comparado con índices de octano de 84 a 97 de la gasolina. Si el vehículo a gas natural es un modelo de equipo de fabricación original, habrá sido diseñado para aprovechar lo mejor de las excelentes propiedades del gas natural, o sea, tendrá una puesta a punto distinta y podrá esperar una mejora en comportamiento y consumo de combustible sobre una base energética. Esto podría alcanzar a un 5 % o más.

La pérdida de potencia relacionada a la conversión misma afectará la autonomía del vehículo, obligándolo a consumir mayor cantidad de combustible para obtener la misma potencia que tuviera si estuviera operando con el combustible de diseño. Considerando nuevamente un vehículo dedicado al transporte público, digamos que esa pérdida de potencia origina que el consumo varíe hasta 30 Km/gal. Ahora necesitará 10 galones de combustible, lo cual no reducirá significativamente el ahorro de combustible, pero sí los períodos de mantenimiento de los componentes de su motor, debido a la operación fuera de condiciones estándar. Algunos componentes sometidos a fricción y a rotación en su motor deberán ser cambiados mucho antes de su tiempo programado como válvulas, anillos de pistón, cabezas de pistón, reparación general de motor.

Si el automóvil ha sido convertido de gasolina a gas natural y puede optar por operar con cualquiera de ellos, entonces no será posible aprovechar el mayor índice de octano del gas natural. En este caso, el cambio en consumo de combustible dependerá en gran medida del diseño del vehículo, del motor, del equipo de conversión usado y de cómo está ajustado.

En un motor más pequeño puede haber una baja notoria de potencia aunque los motores de cuatro cilindros funcionan exitosamente a altas y bajas alturas y en todos los extremos de temperatura; sin embargo, el consumo puede aumentar si trata de igualar el comportamiento original que el vehículo tenía en carretera.

En relación al **comportamiento de los vehículos en grandes alturas** se puede decir que existe un problema con el carburador mecánico estándar de gasolina cuando se conduce a grande alturas, donde la densidad del aire es más baja, y es que el motor opera con una mezcla progresivamente más rica. La potencia disminuye tanto porque el motor está aspirando menos oxígeno (debido a la densidad decreciente del aire con la altura), como también porque un carburador actuado por venturi proporcionará una mezcla más rica a medida que disminuye la densidad del aire. Una conversión a gas natural, usando un carburador mecánico típico con un dosificador tipo venturi tendrá el mismo problema, de modo que en este sentido la situación no será ni mejor ni peor.

Es importante recordar que, en estas condiciones, la potencia de un motor a gas natural también decrecerá alrededor de 12 a 14 % porque el gas ocupa alrededor del 12 % del volumen de la admisión y, por lo tanto, se tendrá menos aire u oxígeno. Por otro lado, existe la posibilidad de usar un sistema de dosificación de gas natural electrónico operado por un sensor de oxígeno, que mantendrá una relación aire/combustible constante con la altura y esto resolvería el problema del enriquecimiento, pero no la pérdida del 12 % [1].

Todos los combustibles alternativos (gas natural, LPG, electricidad y alcoholes) presentan problemas asociados con el **tamaño y peso del cilindro de almacenamiento** de combustible. Para los vehículos a gas natural, el tamaño del cilindro es un factor en el proceso de conversión. La instalación de los cilindros en automóviles con espacio muy limitado inhibe la conversión. El peso adicional constituye también un factor, especialmente donde el peso bruto del vehículo es motivo de preocupación, pero existen muchas opciones para la instalación de los cilindros y la industria está obteniendo una valiosa experiencia de terreno, lo que le permite mejorar la instalación de los cilindros en los vehículos.

El desarrollo de "paquetes de cilindros" para instalar debajo de los vehículos también ha llevado a mejoras en el sistema de almacenamiento en los vehículos; sin embargo, puede comprometer la vida útil de los componentes de suspensión del vehículo. La conversión de automóviles grandes, no está limitada por el tamaño de los cilindros.

Un cilindro de gas presurizado constituye probablemente el componente más firme del vehículo. Vehículos que han sido totalmente destruidos en colisiones muestran como único componente intacto al cilindro de gas. Es improbable que se rompan los cilindros con el impacto de una colisión. Con respecto al peligro de fuego derivado de un

cilindro con filtraciones, todo lo que existe es la experiencia a la fecha que indica que tal evento es poco probable. En Norteamérica, hubo un problema con un fabricante específico que tenía filtraciones, pero nunca se ha producido un incendio. El riesgo de fuego derivado de cilindros con filtraciones debe ser bajo ya que existe bastante más de un millón y medio de instalaciones de vehículos de gas natural comprimido en el mundo y que no han experimentado dicho problema.

Debido a que el gas natural es más liviano que el aire y, en la improbable eventualidad de una filtración de tubería o de un contenedor, el gas se disipará rápidamente hacia arriba. En el caso de gasolina y gas licuado de petróleo, el vapor emitido es más pesado que el aire y tenderá a acumularse cerca del suelo. Aquí es donde existe un fuerte riesgo de una fuente de ignición. En términos generales, al diesel se le califica excelente en términos de seguridad, pero la mayor parte de la gente califica el gas natural seguido de éste.

Finalmente, para determinar los factores que determinan la eficiencia de un motor a gas natural, se hace un listado de los poderes caloríficos inferiores de gasolina, diesel, gas licuado de petróleo y gas natural, lo cuales son aproximadamente 45, 43, 46 y 44, respectivamente, empleando unidades de MJ por kilogramo; el poder calorífico inferior no incluye el contenido de calor del vapor de agua de los productos de combustión. Si se buscan los valores de poder calorífico superior, los que sí incluyen esto, los valores son distintos (mayores). De modo que, las diferencias entre los distintos combustibles no son grandes, pero los valores variarán apreciablemente dependiendo de la composición de los combustibles, especialmente para el caso del gas natural y el gas licuado de petróleo.

Considerando la forma en que los distintos motores usan los combustibles, la eficiencia térmica del motor es una función de muchos factores distintos, pero tal vez el más importante es la relación de compresión del motor. Mientras más alta sea la relación de compresión más alta es la eficiencia teórica, y también la real. La máxima relación de compresión (RC) que pueden tolerar los distintos combustibles define, en efecto, la eficiencia. Ya que el diesel usado en un motor de ignición por compresión puede operar a 14:1, se puede esperar que el diesel tendrá la eficiencia más alta (40 % como límite máximo). La siguiente eficiencia más alta de los combustibles proviene del gas natural comprimido, que puede operar a 12:1, con una eficiencia del 35 %. Es posible operar un motor con gas natural licuado a 14:1, pero esto constituye el máximo límite superior. No podríamos operar motores a gasolina y gas licuado de petróleo a

mucho más de 9:1, y una eficiencia de 30 %. La razón principal de las diferencias es la variación en las RC limitantes para los distintos combustibles. De modo que aquí tenemos un punto de partida para una discusión sobre las diferencias de eficiencia.

En lo que se refiere a las comparaciones entre la energía de los combustibles (y esto no toma en cuenta las diferentes eficiencias de los motores), 1 kg de gas natural es equivalente a alrededor de 1,33 litros de gasolina o 1,22 litros de diesel, pero, por supuesto, ocupa un volumen mayor. O bien, 1 metro cúbico de gas natural a presión atmosférica equivale a 1,10 litros de gasolina y 1,00 litros de diesel [3]. Nótese que una diversidad de otros factores no está considerada, por ejemplo, el motor Diesel será mucho más pesado que los otros motores, y los combustibles gaseosos requieren recipientes presurizados para guardarlos. En muchos países el gas natural comprimido resultará ser el combustible más económico, seguidos por gas licuado de petróleo, diesel y luego la gasolina. Sea dicho de paso, si se tiene un motor a gasolina que ha sido convertido para usar gas natural, no logrará una alta eficiencia porque la relación de compresión estará al nivel requerido por la gasolina y solamente se logrará la ventaja de la mayor eficiencia con un equipo de fabricación original.

Se puede decir entonces, después de todo lo expuesto, que la relación costo – beneficio de realizar la conversión, no solamente es el de la inversión inicial y el tiempo de recuperación de la misma, sino que también de los efectos secundarios que son inherentes a la conversión y que se presentan generalmente en el motor; aunque también, puede observarse en elementos de suspensión y más aún si transitan por caminos ondulatorios y mal conservados como los nuestros.

#### Referencias bibliográficas del capítulo 4.

[1] GNC: Conversión necesaria. Entrevista a Juan Carlos Facchia-Presidente de la ALGNV. Bolivia. pp. 42-45.

[2] MARTINEZ E., Jorge. Conceptos del gas natural vehicular-gnv. Bogotá, Colombia. Noviembre, 2005. pp. 18.

[3] CPGNV Cámara Peruana del Gas Natural Vehicular. ABC del GNV. [fecha de consulta: 07 de octubre del 2007]

Disponible:

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



## CONCLUSIONES

1. El principal incentivo para buscar un crecimiento de la conversión vehicular es el económico, por el costo inferior del gas natural respecto a los demás combustibles; sin embargo, existen otras ventajas:
  - 1) La menor contaminación ambiental, debido a la ausencia total de plomo y benceno en el gas natural.
  - 2) La mayor duración del motor (algunos sostienen hasta 10 años).
  - 3) Mayor duración del aceite, debido a la menor carbonización (cada 15,000 km.).
  
2. En términos de km por litro, un vehículo a gas natural de servicio liviano obtendrá aproximadamente el mismo rendimiento o ligeramente mejor en km/m<sup>3</sup> cuando opere con gas natural. El radio de autonomía de cada vehículo dependerá, por lo tanto del comportamiento de un vehículo (km/lt) y de la cantidad de tanques de almacenamiento a bordo.
  
3. En términos de aceleración, el índice de octano de 130 del gas natural contribuye a asegurar un comportamiento cercano al de un vehículo a gasolina normal. En los motores de servicio pesado, el comportamiento es levemente mejor cuando operan con gas natural, debido a su mayor índice de octano y a la mayor relación de compresión.

Nuevos enfoques que usan mezcla pobre (menos combustible/más aire) o inyección de combustible a alta presión están contribuyendo a mejorar el comportamiento de estos motores más grandes. Como sucede con el desarrollo de tecnologías con motores diesel, los motores de servicio pesado a gas natural siguen mejorando a medida que se refina más la tecnología.

4. Se pueden convertir a gas natural los automóviles alimentados con gasolina, ya sea que tengan carburador o posean sistema de inyección. Es importante que el automóvil que se pretenda transformar a gas natural esté en buenas condiciones de funcionamiento, especialmente en lo que respecta a encendido e instalación eléctrica.

5. En cuanto a la seguridad de la utilización del gas natural comprimido, las normas de seguridad garantizan, generalmente, que el riesgo de un incendio bajo condiciones normales de operación sea realmente muy bajo. Como sucede con la mayoría de los combustibles, el principal riesgo proviene de una filtración, ya sea durante la operación de llenado, durante la operación del equipo, en una colisión, etc. En cualquiera de estas situaciones debe existir la concatenación de tres requisitos para que exista el potencial de un incendio o una explosión. Primero, la filtración del combustible, segundo la situación donde la mezcla del combustible con aire sea una mezcla inflamable y, tercero, que exista una fuente de ignición.

En todos los casos se requiere una falla del equipo o un accidente para que se presenten las condiciones para un incendio. Las medidas de seguridad incluyen un estricto cumplimiento con las normas para la instalación y operación de los equipos y la aplicación de cuidado y sentido común.

6. Los cilindros se fabrican y prueban de acuerdo con normas de seguridad muy estrictas y han aprobado ensayos de resistencia severas, bajo condiciones mucho más exigentes que los tanques diseñados para almacenar gasolina. Se usan cilindros de aluminio reforzado de paredes gruesas, cilindros de acero o materiales 100 % compuestos para almacenar gas natural comprimido como combustible automotriz. Ensayos con fuego y dinamita han llevado a los cilindros hasta temperaturas y presiones que exceden los límites especificados, demostrando que los cilindros para gas natural comprimido son duraderos y seguros. Naturalmente, como todo sistema de combustible, estos cilindros no son indestructibles y deben inspeccionarse periódicamente para asegurar que no han sufrido daños superficiales.

## RECOMENDACIONES

Las conversiones a gas natural, si bien ofrecen las ventajas enunciadas a lo largo de este documento, también ofrecen desventajas que no pueden ser despreciadas, puesto que comprometen de manera directa el desempeño del vehículo en general. Debe adicionarse a esto, la dificultad por parte de los propietarios de estos vehículos por abastecerse de gas natural, formando muchas veces interminables filas que incomodan y molestan a estos propietarios; así como, la poca capacidad de los cilindros y la ausencia del gas natural a nivel nacional que condiciona a estos vehículos a circular sólo por la ciudad de Lima.

Para masificar la utilización del gas natural vehicular se deben tomar ciertas medidas que favorezcan las conversiones y las animen. Para tal efecto, y corrigiendo la experiencias en otros países, la conversión debería encaminarse también a los vehículos que actualmente se movilizan a diesel. Por dos razones:

- 1.- Porque Perú es deficitario en diesel
- 2.- Porque, para los grandes consumidores de diesel, resultará un combustible mucho más barato lo que repercutirá positivamente en la disminución de sus costos.

Unir a quienes tienen conocimientos, interés y autoridad para coordinar cómo fijar el tema, es el primer paso.

Crear un objetivo es importante, porque ayuda a que se alineen todos los esfuerzos y a que se fijen las reglas de juego para que cada interesado pueda aportar la parte que le corresponde.

Así mismo, es imperativo que se busquen mecanismos para el acceso fácil de los equipos de conversión, con bajo costo y con sistemas de pago accesibles para los

usuarios, principalmente el transporte público. Implementar estrictos sistemas de calidad y supervisión de la instalación de los equipos en centros autorizados que cumplan con las condiciones para el objetivo. Implementar campañas de información masiva, ofreciendo las bondades prácticas de la conversión, con el objetivo de que la gente produzca un efecto multiplicador en la sociedad, al ver las ventajas del sistema y la disminución de los costos. Fomentar impositivamente la importación de los equipos de conversión, con la liberación del pago de impuestos. Fomentar la implementación y construcción de estaciones de servicio para gas natural, creando redes de carga, en la mayor cantidad de poblaciones y ciudades del país. Y por último, implementar un plan para priorizar la conversión a gas natural de los vehículos que actualmente funcionan a gas licuado de petróleo.

Por otro lado, se debe responder la pregunta cómo “mejorar” la combustión del gas natural en un vehículo convertido. A lo que se podría responder que es un poco difícil tratar de “mejorar” la combustión de gas natural con un aditivo; quema muy bien de por sí cuando está mezclado con la cantidad correcta de aire. Esta relación varía con la composición del gas pero es de 10 a 1 (aire a combustible o relación aire - combustible) para un gas natural típico.

Otra forma de tratar de “mejorar” la combustión podría ser tratando de aumentar la velocidad de combustión, particularmente si se usa en una situación de quemado pobre (la que reduce la velocidad de combustión). En este caso existe una variedad de técnicas que se pueden emplear. Generalmente, puede ser posible tener una mezcla más rica cerca del punto de ignición (la bujía) y tener una mezcla más pobre más lejos de la bujía, podría decirse una carga estratificada. En general, a medida que se hace más pobre la mezcla se reduce la velocidad de la llama y, en este caso, se puede quedar con gas sin quemar en las partes más remotas del cilindro. De modo que el sistema requiere mucha investigación y desarrollo para poder optimizarse. Una operación con mezcla pobre puede aumentar la eficiencia del motor y en algunos casos, con un diseño de cámara de combustión especial, se puede obtener un valor lambda de 1,5 (lo que implica un exceso de aire de 50 %), con un aumento significativo en la eficiencia térmica del motor.

**BIBLIOGRAFÍA.**

CPGNV Cámara Peruana del Gas Natural Vehicular.

Disponible en:

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

CDGAS - GNC.

Disponible en:

<<http://www.cdgas.com>>

DECRETO SUPREMO 058-2003-MTC. Modificatoria del Reglamento Nacional de Vehículos. Diario Oficial El Peruano. Lima, Perú, 12 de octubre del 2003.

DIRECTIVA Nº 001-2005-MTC/15. "Régimen de Autorización y Funcionamiento de las Entidades Certificadoras de Conversiones y de los Talleres de Conversión a GNV". Lima, Perú, 25 de agosto del 2005.

IANGV International Association for Natural Gas Vehicles

Disponible en:

< <http://www.iangv.org>>

INSTITUTO CITROËN. Sistemas bi-combustible gasolina/gas natural para vehículos. Nanterre. Marzo 2000. 95p.

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. Ventajas de la utilización del gas natural en la industria.

Disponible en:

<<http://www.minem.gob.pe>>

INDECOPI. NTP 111.013 - 2004. GAS NATURAL SECO. "Cilindros de Alta Presión para Almacenamiento de Gas Natural Utilizado como Combustible para Vehículos Automotores". Lima, Perú, 2004. 123p.

INDECOPI. NTP 111.014 - 2004. GAS NATURAL SECO. "Componentes del Equipo Conversión para Vehículos que Funcionan con Gas Natural Vehicular (GNV)". Lima, Perú, 20 de agosto del 2004. 39p.

INDECOPI. NTP 111.015 - 2004. GAS NATURAL SECO. "Montaje de Equipos Completos en Vehículos con Gas Natural Vehicular (GNV)". Lima, Perú, 04 de agosto del 2004. 22p.

INDECOPI. NTP 111.016 - 2004. GAS NATURAL SECO. "Dispositivo de Sujeción para Cilindros en Vehículos a Gas Natural Vehicular (GNV)". Lima, Perú, 04 de agosto del 2004. 14p.

INDECOPI. NTP 111.018 - 2004. GAS NATURAL SECO. "Taller de Montaje y Reparación de Equipos Completos para Gas Natural Vehicular (GNV)". Lima, Perú, 04 de agosto del 2004. 15p.

INDECOPI. NTP 111.026 - 2004. GAS NATURAL SECO. "Inspección y pruebas en la preconversión y postconversión de vehículos convertidos a GNV". 1º edición. Lima, Perú, 21 de febrero del 2007. 18p.

PROYECTO CAMISEA. Página oficial del proyecto Camisea.

Disponible en:

<<http://www.camisea.com.pe>>

RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 3990-2005-MTC/15. “Régimen de autorización y funcionamiento de las Entidades Certificadoras de Conversiones y Talleres de conversión de GNV”. Lima, Perú, 19 de agosto de 2005. 24p.

