

Efecto sobre la potencia y emisiones de escape en vehículos con sistemas bi-combustibles, GNV y Gasolina

Villegas M., Carlos G.

PDVSA Intevep, Los Teques, Venezuela, villegascg@pdvsa.com

Hernández, Ludwig

PDVSA Intevep, Los Teques, Venezuela, hernandezlix@pdvsa.com

Esteves M., Jonathan J.

PDVSA Intevep, Los Teques, Venezuela, estevesjs@pdvsa.com

Vera G., Mario G.

PDVSA Intevep, Los Teques, Venezuela, veramx@pdvsa.com

Oropeza M., Juan C.

PDVSA Intevep, Los Teques, Venezuela, oropezajjw@pdvsa.com

Goncalves de S, David E.

PDVSA Intevep, Los Teques, Venezuela, goncalvesds@pdvsa.com

RESUMEN

El Gas Natural Vehicular (GNV) es el combustible más económico que se conoce, ya que no requiere refinación como la gasolina. Desde el año 2006 en Venezuela se está reconsiderando el GNV como combustible alternativo, para proporcionar al usuario un sistema alternativo de combustible económicamente atractivo y menos contaminante. Esta iniciativa obedece a un programa inscrito en las políticas públicas energéticas del Estado Venezolano, que impulsa el uso racional de los combustibles líquidos destinados al mercado interno. Para el uso del GNV en los vehículos, se deben realizar ajustes sobre el motor como adelanto del encendido de la chispa en las bujías y ajustes del caudal de combustible para garantizar una óptima mezcla y garantizar la menor pérdida posible de potencia en todo el rango de operación del motor. En este trabajo, se realiza un estudio sobre la pérdida de potencia y emisiones de escape en dos vehículos iguales representativos del parque automotor venezolano, en condiciones de preconversión, postconversión y GNV. Estos vehículos fueron convertidos con equipos de lazo cerrado y presión positiva. Se determinó la pérdida porcentual en comparación al vehículo original. Los resultados indicaron reducciones en las emisiones de escape y pérdidas de potencia, cumpliendo con las normas COVENIN.

Palabras clave: Gas Natural Vehicular (GNV), emisiones de escape, equipos de conversión.

ABSTRACT

The Compressed Natural Gas (CNG) is the most economic fuel known due to the fact that does not require any further refining process as the gasoline and Diesel fuel. From the year 2006 Venezuela is considering the CNG as an alternative fuel to offer the user with an alternative fuel system economically attractive and less polluting. For the use of CNG on spark ignition internal combustion engines certain adjustments have to be made. The ignition timing has to be delayed, the fuel flow has to be adjusted in order to optimize the mixture and to achieve the highest power as possible in the entire engine operating range. In this work, a study of the power loss and exhaust emissions on two equal vehicles representative of Venezuelan fleet was made, in preconversion, postconversion and CNG conditions. These vehicles were converted with closed-loop and positive pressure equipments. The loss percentages were compared to the original vehicles. The results showed reductions in exhaust emissions as well as power losses, and the limits were in accordance with the Venezuelan COVENIN standards.

Keywords: Natural Gas Vehicles (NGV), exhaust emissions, NGV Equipment.

1. INTRODUCCIÓN

Venezuela posee importantes reservas de gas en el subsuelo, ubicándose éstas sobre los 170 billones de pies cúbicos. Este hidrocarburo es una fuente de energía versátil que puede ser utilizada en variados ámbitos, desde la generación de electricidad hasta combustible para vehículos. El desarrollo del negocio del gas es una de las principales metas de PDVSA, considerándose como un plan estratégico para incrementar su producción y masificar su uso en distintas áreas.

El Gas Natural Vehicular (GNV) es el combustible más económico que se conoce, ya que no requiere refinación como la gasolina. Es por ello, que desde el año 2006 en Venezuela se está reconsiderando el GNV como combustible alternativo, con la finalidad de proporcionar al usuario un sistema alternativo de combustible económicamente atractivo y menos contaminante. Esta iniciativa obedece a un programa inscrito en las políticas públicas energéticas del Estado Venezolano, que impulsa el uso racional de los combustibles líquidos destinados al mercado interno y estimula el procesamiento de materias primas susceptibles de ser aprovechadas en beneficio de los proyectos estratégicos del Estado, permitiendo la creación y uso de nuevas tecnologías.

El GNV es una mezcla de hidrocarburos parafínicos compuesta, en mayor proporción, por metano (CH_4) y en proporciones menores por otros hidrocarburos. Esta mezcla contiene, generalmente, impurezas tales como vapor de agua, sulfuro de hidrógeno, dióxido de carbono y otros gases inertes. Una vez separado el gas natural del petróleo crudo, se somete a un proceso de extracción de líquidos obteniéndose el Gas Metano, el cual se transporta hacia los centros de consumo a través de la red de gasoductos. El GNV posee un octanaje igual a 130 (RON), lo que quiere decir, que tiene una resistencia antidetonante mayor que la mejor gasolina automotriz, trayendo como consecuencia el uso de este combustible, un funcionamiento más suave del motor, con posibilidades muy remotas al pistoneo, con una duración mayor del motor. Por estas razones, se deben realizar ajustes sobre el motor tales como adelanto del encendido de la chispa en las bujías y ajustes del caudal de combustible para garantizar una mezcla estequiométrica y garantizar la menor pérdida posible de potencia en todo el rango de operación del motor.

Por otra parte, para permitir el uso de este combustible alternativo en los vehículos, es necesario la instalación de una serie de elementos que componen el equipo de conversión, entre los principales se destaca el cilindro de almacenamiento, regulador, inyectores o mezclador, tuberías de alta y baja presión, componentes electrónicos, válvulas y conexión de llenado. Las especificaciones mínimas de los componentes del sistema de GNV y los requisitos para su instalación se establecen en las normas venezolanas (COVENIN 3227, 1998 y COVENIN 3228, 1999).

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

Muchos desarrollos tecnológicos se han llevado a cabo para mejorar la eficiencia de los equipos de conversión en los vehículos, como los sistemas con control electrónico de GNV integrados al OEM (por sus siglas en inglés Original Equipment Manufacturer) del vehículo capaces de controlar el flujo de combustible, tiempo de inyección y válvula de recirculación de gases de escape, cuando opera con GNV o gasolina (Sun et al, 1998). Otros autores han trabajado en evaluaciones a vehículos con diferentes relaciones de compresión y diferentes composiciones de gas natural en el motor para estudiar el efecto sobre las emisiones de gases de escape, potencia y torque en diferentes condiciones de operación del motor (Jaaskelainen y Wallace, 1993) y (King Steven, 1992).

En este trabajo de investigación, se realiza un estudio sobre la pérdida de potencia y emisiones de escape en dos (2) vehículos iguales representativos del parque automotor venezolano, motor 1.8 L, potencia y torque máximo de

121 HP a 5800 rpm y 16,8 Nm a 4000 rpm, respectivamente. Estos vehículos fueron convertidos con equipos de lazo cerrado y presión positiva. Se utiliza un chasis dinamométrico para medir la potencia del vehículo entregada en las ruedas, en los regímenes de máxima potencia y máximo torque del motor reportado por el fabricante, en condiciones de preconversión, postconversión y GNV, determinándose la pérdida porcentual en comparación al vehículo original (COVENIN 3228,1999). Por último, se evalúan las emisiones de gases de escape vehiculares en condiciones de preconversión, postconversión y GNV (COVENIN 2227, 2002).

2. VENTAJAS DEL GNV

ECOLÓGICOS

- El GNV contribuye a evitar el efecto invernadero, porque su combustión produce menos dióxido de carbono que otros combustibles.
- Por su forma de transporte y almacenamiento no hay derrames que afecten el agua o la tierra.

SEGURIDAD

- El GNV es más liviano que el aire, haciendo que se disipe fácilmente en la atmósfera, caso contrario a lo que ocurre con los vapores de la gasolina y el GLP.
- El GNV es menos inflamable y más seguro que la gasolina.
- Los cilindros de almacenamiento de GNV son más seguros que los tanques de combustible líquidos, debido a que están diseñados para soportar fuertes impactos y altas temperaturas.

COSTOS

- Es el combustible más económico, ofreciendo ahorros substanciales con respecto a otros combustibles.
- En nuestro país el precio de la gasolina es de 0,09 Bs/l, el del GNV es de 0,00067 Bs/m³.
- Con el dinero utilizado para llenar un tanque de gasolina se pueden llenar 134 tanques de GNV de la misma capacidad y el mismo rendimiento para ambos combustibles.
- Con un tanque de gasolina se recorren 450 km aproximadamente, con 134 tanques de GNV se recorren 60.440 Km aproximadamente.

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

EQUIPOS DE CONVERSIÓN

EQUIPOS DE CONVERSIÓN LAZO CERRADO

Los equipos de lazo cerrado constan principalmente de uno o varios cilindros de almacenamiento, válvulas, regulador de presión, conexión de llenado, canalizaciones rígidas y flexibles, sensor lambda, motor paso a paso, corrector de avance, selector de combustible, tal como se muestra en la Figura 1.

El GNV contenido a presión en el tanque (3000 psi) llega a un regulador mediante canalizaciones rígidas de dos o tres etapas con diafragmas. En el regulador la presión del tanque desciende hasta la presión de salida. Posteriormente, ocurre la mezcla del gas con el aire en un mezclador, similar al de los motores carburados, mediante la aspiración de gas por el múltiple de admisión, desconectándose los inyectores cuando el vehículo opera a GNV. En este sistema se emula la sonda de gases engañando a la computadora original del vehículo mediante la modificación del programa o la inserción de emuladores.



1. Cilindros de almacenamiento

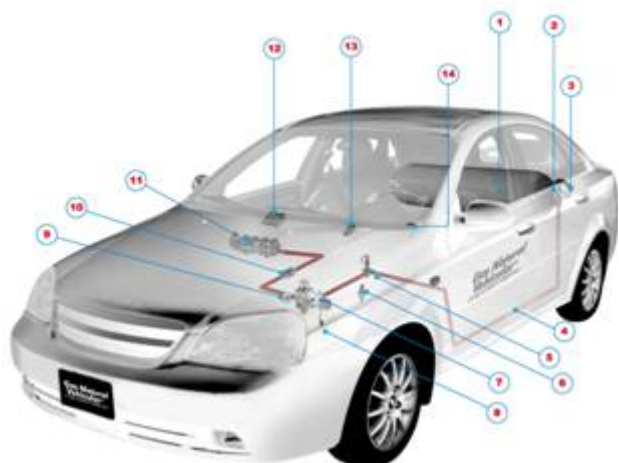
2. Válvula del cilindro
3. Sistema de ventilación.
4. Canalización de alta presión.
5. Conexión de llenado.
6. Sensor Lambda.
7. Regulador de presión.
8. Manómetro.
9. Motor paso a paso.
10. Mezclador.
11. Corrector o variador de avance.
12. Emulador de inyectores.
13. Sistema de control de lazo cerrado.
14. Selector de combustible.

Figura 1: Equipo de conversión de lazo cerrado

El mezclador es instalado en el ducto de admisión del motor produciendo obstrucción del paso del aire, afectando la potencia a gasolina en la condición original del vehículo. El control de las emisiones se realiza por medio de una electroválvula o motor paso a paso, recibiendo una señal electrónica de cerrar o abrir, permitiendo que las variaciones de las lecturas modifiquen el flujo y caudal de gas, garantizando el ahorro de combustible con el vehículo en bajas revoluciones y dando más flujo de gas según el régimen de operación del motor.

EQUIPOS DE CONVERSIÓN PRESIÓN POSITIVA

El equipo de presión positiva consta principalmente de uno o más cilindros de almacenamiento, válvulas, canalizaciones rígidas y flexibles, sensores de temperatura del refrigerante, sensor lambda, filtro de gas, regulador de presión, inyectores de gas, central electrónica y variador de avance, tal como se muestra en la Figura 2.



1. Cilindros de almacenamiento.
2. Válvula del cilindro.
3. Sistema de ventilación.
4. Canalización de alta presión.
5. Conexión de llenado.
6. Sensor Lambda.
7. Regulador de presión.
8. Sensor de temperatura del refrigerante.
9. Manómetro.
10. Filtro de gas.
11. Inyectores de gas.
12. Central electrónica.
13. Variador de avance.
14. Selector de combustible.

Figura 2: Equipo de conversión de presión positiva

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

El sistema de presión positiva mantiene el lazo cerrado modificando el caudal y el flujo para obtener una óptima mezcla aire-combustible, el cual es inyectado de forma independiente justo antes de la apertura de las válvulas. Este sistema garantiza un mayor ahorro de combustible en un rango amplio de condiciones de operación del motor, y menores pérdidas de potencia a GNV en comparación al vehículo original cuando opera con gasolina.

Adicionalmente, la potencia del vehículo en la condición original permanece igual a la potencia en la condición post-conversión del vehículo puesto que no hay restricción de aire en la admisión.

GAS NATURAL VEHICULAR (GNV) UTILIZADO EN LOS VEHÍCULOS DE PRUEBA

CALIDAD DEL GAS NATURAL VEHICULAR (GNV)

El gas natural que se le suministra a los vehículos debe cumplir con algunos requisitos según la norma (COVENIN 3568-2, 2000), tal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Límites de componentes mayoritarios y minoritarios

Nombre	Límite	Valor % molar
Metano (C1)	mín.	80,0
Etano (C2)	máx.	12,0
Propano (C3)	máx.	3,0
Butanos y más pesados (C4+)	máx.	1,5
Dióxido de Carbono (CO ₂)	máx.	8,5
Nitrógeno (N ₂)	máx.	1,0
Hidrógeno (H ₂)	máx.	0,1
Oxígeno (O ₂)	máx.	0,1
Monóxido de carbono	máx.	0,1

En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos de la cromatografía realizada al gas utilizado en los vehículos evaluados. Nótese que los valores de metano, etano, propano, butanos, compuestos más pesados y otros elementos como el Nitrógeno, Hidrógeno, Oxígeno y Monóxido de Carbono cumplen con lo establecido en la norma venezolana (COVENIN 3568-2, 2000).

Tabla 2: Valores obtenidos de la cromatografía de gases

Nombre	Valor % molar
Metano (C1)	84,10
Etano (C2)	6,51
Propano (C3)	0,60
Butanos y más pesados (C4+)	0,52
Dióxido de Carbono (CO ₂)	8,05
Nitrógeno (N ₂)	0,22
Hidrógeno (H ₂)	0,00
Oxígeno (O ₂)	0,00
Monóxido de carbono	0,00

EQUIPOS DE LABORATORIO UTILIZADOS

CHASIS DINAMOMETRICO

Se utilizó un chasis de rodillo simple de 40" de diámetro, 30" de ancho, una distancia entre rodillos de 38", potencia máxima del motor DC de 150 HP a 130 kph, simulación electrónica inercial de 1500 a 9999 libras, ancho máximo en eje de tracción de 2,40 metros. Peso máximo en el eje de tracción de 2268 Kg. Distancia máxima entre extremo del vehículo y eje de tracción: 6,0 metros, y altura máxima del vehículo de 3,90 metros.

El banco simula la carga por carretera de un vehículo, incluyendo las pérdidas por fricción y viento y la inercia del vehículo. Los valores de los coeficientes de carga por carretera se pueden seleccionar desde el panel frontal del sistema de control antes del inicio de la prueba. Durante la configuración de la prueba, un valor de inercia del vehículo (igual al peso del automóvil) se introduce en un registro digital en el sistema de control.

El chasis dinamométrico está equipado con un modo de velocidad constante, lo que permite operar a una condición de operación constante, ya sea con o sin un vehículo colocado sobre los rodillos. El banco mantiene la velocidad con precisión en todo el rango de capacidad del torque. El modo de operación de velocidad constante es útil para realizar pruebas de rendimiento de los vehículos a diferentes velocidades y condiciones de carga. Las mediciones de fricción en el motor y el tren pueden ser simuladas en varias velocidades.



Figura 3: Chasis dinamométrico

ANALIZADOR DE EMISIONES DE GASES

El analizador de gases de escape es un instrumento para determinar las emisiones en forma conjunta de monóxido de Carbono (CO), dióxido de Carbono (CO₂), Oxígeno (O₂) e hidrocarburos (HC). El equipo a utilizar en este ensayo es un analizador de emisiones de gases, de marca comercial conocida, que posee una punta de muestreo para recoger la muestra del gas de escape; una manguera conectada a una sonda de muestreo para permitir el transporte del gas a través del instrumento; una bomba para impulsar los gases a través del instrumento; un separador de agua para prevenir la condensación de agua en el instrumento; un filtro para remover las partículas que podrían causar contaminación en los elementos sensitivos del instrumento; puertos y filtros para introducir aire ambiental y gas de calibración cuando es requerido por la tecnología utilizada.

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

PROCEDIMIENTOS DE PRUEBA

MEDICION DE POTENCIA EN LAS RUEDAS EN CHASIS DINAMOMETRICO

Las pruebas en chasis dinamométrico se basan en la medición de la potencia (Kw) entregada a las ruedas en diferentes regímenes de operación con el vehículo funcionando a gasolina (preconversión y postconversión) en las condiciones de potencia y torque máximo reportado por el fabricante del motor, y la medición de la potencia (Kw) con el vehículo funcionando a GNV. Se calcula la media aritmética de tres mediciones en cada régimen y condición del vehículo, y se determinan las pérdidas porcentuales en las condiciones de pruebas postconversión y a GNV en comparación al vehículo en su condición original o preconversión.

El control del chasis dinamométrico se realiza mediante una aplicación desarrollada con un paquete matemático comercial, con la capacidad de establecer diferentes rangos de operación del vehículo, simulando la carga por carretera de un vehículo, las pérdidas por fricción y viento y la inercia del vehículo. Antes de iniciar las pruebas, se realiza un precalentamiento del chasis dinamométrico para calcular las cargas parásitas, y se preconditiona el motor del vehículo a una temperatura entre 80 °C y 110 °C. El vehículo es anclado en diferentes puntos del piso mediante guayas de acero de 3/8 in., asegurándose que las ruedas del eje de transmisión se ubiquen sobre los rodillos.

Las mediciones de potencia se realizaron con las condiciones ambientales de temperatura entre 20 y 25 °C, humedad relativa entre 60 y 70 % y presión atmosférica de 670 mm Hg.

MEDIDOR DE EMISIONES DE GASES

La medición se realizó según el procedimiento descrito en la norma (COVENIN 2168, 2002). Se calentó el motor del vehículo hasta que alcanzó su temperatura normal de operación (entre 80°C y 110°C), esto se logró con su funcionamiento durante 15 minutos con un recorrido aproximado de 5 km. Se aceleró el vehículo a 3000 ± 100 rpm durante un minuto, y se desaceleró hasta la condición de velocidad mínima (marcha mínima o al ralentí). Posteriormente, se insertó la sonda en el escape del vehículo.

En un tiempo suficiente, que no excedió los 30 segundos, se registraron las concentraciones máximas y mínimas de los gases (CO, CO₂, O₂ y HC) de escape, calculándose la media aritmética de los gases medidos, y la relación aire-combustible Lambda (λ).

Posteriormente, se repitieron los pasos anteriores pero con el vehículo acelerado hasta 2000 y 3000 rpm. Se tomaron los valores de las emisiones y lambda para estos rangos de operación.

Las pruebas se realizaron con las siguientes condiciones ambientales: 25 °C de temperatura ambiental, 50 % de humedad relativa y 25,25 in Hg de presión ambiental.

4. RESULTADOS

Como se mencionó anteriormente, se realizó la medición de la potencia entregada a las ruedas de dos vehículos con motores de características similares convertidos a GNV, se realizaron las curvas de potencia para ambos combustibles y se tomó el valor con la mayor diferencia de pérdida entre ambos combustibles; ésto se hizo para tomar dicho valor como referencia de comparación entre los equipos de conversión.

ENSAYOS EN CHASIS DINAMOMÉTRICO

En las tablas 3 y 4 se muestran los valores de las potencias en las ruedas obtenidas al evaluar el vehículo en las diferentes condiciones de preconversión, postconversión y GNV tanto en la condición de máxima potencia como en la de máximo torque del vehículo reportado por el fabricante.

Tabla 3: Potencia medida en la condición de máxima potencia de los vehículos (kw)

		Preconversión	Postconversión	GNV
Vehículo con equipo de	1	43,70	42,50	35,80

conversión lazo cerrado	2	43,70	42,30	35,60
	3	43,70	42,40	35,20
	Media	43,70	42,40	35,50
Vehículo con equipo de conversión presión positiva	1	No aplica	47,80	40,90
	2	No aplica	47,60	40,50
	3	No aplica	47,30	40,60
	Media	No aplica	47,60	40,70

Tabla 4: Potencia medida en la condición de máximo torque de los vehículos (kw)

		Preconversión	Postconversión	GNV
Vehículo con equipo de conversión lazo cerrado	1	32,00	32,80	26,20
	2	31,80	32,50	26,00
	3	31,80	32,40	26,00
	Media	31,90	32,60	26,10
Vehículo con equipo de conversión presión positiva	1	No aplica	37,30	33,60
	2	No aplica	37,20	33,60
	3	No aplica	36,80	33,40
	Media	No aplica	37,10	33,50

En las tablas 5 y 6 se muestran los resultados de las pérdidas de potencia obtenidas al evaluar el vehículo en las diferentes condiciones de preconversión, postconversión y GNV, tanto en la condición de máxima potencia como en la de máximo torque del vehículo reportado por el fabricante.

Tabla 5: Pérdida de potencia en la condición de máxima potencia de los vehículos

	Vehículo con equipo de conversión lazo cerrado	Vehículo con equipo de conversión presión positiva
Velocidad (rpm)	5800	5800
Pérdida en post conversión (%)	-3,1	No aplica
Pérdida en GNV (%)	-18,8	-14,5

Tabla 6: Pérdida de potencia en la condición de máximo torque de los vehículos

	Vehículo con equipo de conversión lazo cerrado	Vehículo con equipo de conversión presión positiva
Velocidad (rpm)	4000	4000
Pérdida en post conversión (%)	0,0	No aplica
Pérdida en GNV (%)	-18,2	-9,7

Como se puede observar, el vehículo que tiene instalado el equipo de conversión presión positiva posee pérdidas de potencia menores que la del vehículo que posee equipo de conversión lazo cerrado. Sin embargo, los dos vehículos poseen pérdidas inferiores al 20% cuando se comparan las potencias a GNV con la obtenida a gasolina en la condición original del vehículo, cumpliendo con las especificaciones exigidas en la norma venezolana (COVENIN 3228, 1999).

Las pérdidas postconversión para el caso del vehículo con el equipo de conversión lazo cerrado fue de -3,06 %, cumpliendo con las especificaciones exigidas en la norma venezolana (COVENIN 3228, 1999). Tal como se mencionó anteriormente, las pérdidas en vehículos cuando operan a gasolina con equipos de conversión presión positiva no existen, puesto que no hay restricción de aire en la admisión.

MEDICIÓN DE EMISIONES DE ESCAPE

En la tabla 5 y 6 se muestran los resultados de las emisiones de escape de los vehículos en las diferentes condiciones de preconversión, postconversión y GNV, para la condición de marcha ralenti, 2000 y 3000 revoluciones por minuto (rpm).

Tabla 5: Emisiones de escape del vehículo con equipo de conversión lazo cerrado

	RPM	CO₂ %	CO %	HC ppm	O₂ %	LAMBDA
PRE	RALENTI	14,42	0,01	54,00	0,05	1,00
	2000	14,42	0,00	54,00	0,03	1,00
	3000	14,42	0,00	49,00	0,01	1,00
POS	RALENTI	14,71	0,06	117,00	0,05	1,00
	2000	14,57	0,00	95,00	0,04	1,00
	3000	14,72	0,00	79,00	0,03	1,00
GNV	RALENTI	11,49	0,01	99,83	0,03	1,00
	2000	12,43	0,00	89,83	0,02	1,00
	3000	12,37	0,00	85,00	0,05	1,00

Tabla 6: Emisiones de escape del vehículo con equipo de conversión presión positiva

	RPM	CO₂ %	CO %	HC ppm	O₂ %	LAMBDA
PRE	RALENTI	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
	2000	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
	3000	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
POS	RALENTI	14,20	0,17	52,00	0,35	1,01
	2000	14,19	0,21	52,00	0,33	1,01
	3000	14,24	0,18	46,00	0,27	1,01
GNV	RALENTI	11,84	0,15	84,00	0,57	1,03
	2000	11,79	0,10	68,00	0,47	1,02
	3000	11,73	0,14	63,00	0,36	1,02

Como se puede observar, para las diferentes condiciones de prueba la mezcla aire combustible fue óptima, obteniéndose valores de Lambda de 1,00 para el vehículo con el equipo de lazo cerrado, y entre 1,01 y 1,03 con el equipo de presión positiva, demostrándose un buen ajuste de la mezcla en diferentes condiciones de operación del motor. Los valores de Lambda cumplieron con lo establecido en la norma (COVENIN 3228, 1999).

Con relación a las mediciones de gases de escape cuando se emplea GNV como combustible en comparación a la gasolina, se observa una disminución (en ambos vehículos) de CO₂, demostrando que el GNV es un combustible amigable a medio ambiente. Las concentraciones medidas de CO y HC no son consideradas importantes por ser valores muy bajos.

5. CONCLUSIONES

Se determinaron los valores de potencia entregadas en las ruedas de dos (2) vehículos con diferentes tecnologías de equipos de conversión a GNV, en los regímenes de potencia y torque máximo reportado por el fabricante del motor, en las condiciones preconversión, postconversión y a GNV.

Se midieron las emisiones de gases de escape de dos (2) vehículos con diferentes tecnologías de equipos de conversión a GNV, en regímenes de ralentí, 2000 y 3000 revoluciones del motor, en condiciones de preconversión, postconversión y GNV.

Los resultados de la medición de la potencia para el vehículo con el equipo de lazo cerrado indicaron una pérdida en comparación al vehículo original de 3,1 % para la condición de postconversión, y de -18,8 % en la condición a GNV, en régimen de máxima potencia. Para la condición de máximo torque, las pérdidas de potencia estuvieron entre 0 y 18,2 para las condiciones de postconversión y a GNV, respectivamente.

Los resultados de la medición de la potencia para el vehículo con el equipo de presión positiva indicaron una pérdida en comparación al vehículo original de 14,5 % cuando se utiliza GNV como combustible, en régimen de máxima potencia. Para la condición de máximo torque, la pérdida de potencia fue de 9,7 con el combustible GNV. Las pérdidas postconversión no existen cuando se usa esta tecnología.

Los resultados de las mediciones de las emisiones de gases de escape en los vehículos con tecnologías de equipos de conversión de lazo cerrado y presión positiva indicaron reducciones de CO₂ cuando se utiliza el GNV como combustible. Las concentraciones medidas de CO y HC no son consideradas importantes por ser valores muy bajos.

La mezcla aire combustible para las diferentes condiciones de prueba fue óptima, obteniéndose valores de Lambda de 1,00 para el vehículo con el equipo de lazo cerrado, y entre valores entre 1,01 y 1,03 para el vehículo con presión positiva, demostrándose un buen ajuste de la mezcla en diferentes condiciones de operación del motor.

Los resultados obtenidos en las mediciones de potencia y los valores de Lambda medidos cumplen con los límites establecidos por la norma venezolana (COVENIN 3228, 1999), demostrándose que los ajustes realizados en las evaluaciones en chasis dinamométrico garantizan un buen rendimiento del vehículo con sistemas bi-combustibles.

6. REFERENCIAS

- COVENIN 2168:2002. "Calidad del aire. Instrumentos para la medición de las emisiones de gases de los vehículos".
- COVENIN 2227:2002. "Calidad de aire. medición de emisiones de monóxido de carbono, dióxido de carbono, oxígeno e hidrocarburos provenientes del escape de fuentes móviles en condiciones de velocidad mínima (marcha mínima o al ralentí).
- COVENIN 3227:1998. "Gas natural para vehículos. Componentes del sistema".
- COVENIN 3228:1999. "Gas natural para vehículos. Instalación y prueba del sistema".
- COVENIN 3568-2-00. "Gas natural. Características mínimas de calidad. Parte 2: Gas de uso general para sistemas troncales de libre acceso".
- Jaaskelainen, H.E., Wallace, J.S. (1993). "Effect of increasing compression ratio in a Light-duty natural gas-fueled engine on efficiency and emissions.", SAE 932746.
- King, Steven R. (1992). "The impact of natural gas composition on fuel metering and engine operational characteristics.", SAE 920593.
- Sun, X., Toth, R., Wiedmann, T. (1998). "Development of the GM 5.7L CNG Bi-Fuel pickup trucks" SAE 980817.

Autorización y Renuncia

Los autores autorizan a LACCEI para publicar el escrito en los procedimientos de la conferencia. LACCEI o los editores no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que esta expresado en el escrito

Authorization and Disclaimer

Authors authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.