



JOURNAL OF THE
*Selva Andina
Biosphere.*
Official Journal of the Selva Andina Research Society.

Journal of the Selva Andina Biosphere
ISSN: 2308-3867
directoreitorbiosphere@gmail.com
Selva Andina Research Society
Bolivia

Flores-Meneses, Oscar Febo
Medición de emisiones vehiculares y de desempeño de potencia
de un motor dedicado a gasolina convertido a gas natural vehicular
Journal of the Selva Andina Biosphere, vol. 5, núm. 1, 2017, pp. 39-50
Selva Andina Research Society
Bolivia

DOI: <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2017.050100039>

- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org





Medición de emisiones vehiculares y de desempeño de potencia de un motor dedicado a gasolina convertido a gas natural vehicular
Measurement of vehicle emissions and power performance of an engine dedicated to gasoline converted to natural gas vehicular

Flores-Meneses Oscar Febo*

Datos del Artículo

Instituto de Investigaciones Mecánicas y Electromecánica. Facultad de Ingeniería Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Estado Plurinacional de Bolivia. Teléfono: +591-2 2770477, 2205000

***Dirección de contacto:**

Oscar Febo Flores-Meneses
Ingeniería Mecánica y Electromecánica. Facultad de Ingeniería. Universidad Mayor de San Andrés Telf: +591-2 2775044, +591 791 53789

E-mail: febolflores@hotmail.com
offlores@umsa.bo

Palabras clave:

Emisiones, gases de efecto invernadero, conversión vehicular, gas natural vehicular, potencia.

J Selva Andina Biosph.
2017; 5(1):39-50.

Historial del artículo.

Recibido diciembre, 2016.
Devuelto enero 2017
Aceptado marzo, 2017.
Disponible en línea, mayo 2017.

Editado por:
**Selva Andina
Research Society**

Key words:

Emissions, Greenhouse gas (GHG), vehicle conversion, compressed natural gas natural gas vehicular, power.

Resumen

El presente trabajo de investigación, reporta el experimento factorial realizado en el Instituto de Investigaciones Mecánicas y Electromecánica (IIME) de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), el propósito fue evaluar potencia vehicular y emisión del gas de efecto invernadero dióxido de carbono, así como otros gases con efectos nocivos para la salud humana, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno e hidrocarburos totales generados por un motor de combustión interna dedicado a gasolina y convertido a bi-fuel GNV. Para la experimentación, se armó un caballete de prueba con un motor de uso común en vehículos de transporte liviano en la ciudad de La Paz, y convertido a GNV en dos tipos de tecnología de transformación, tercera y quinta generación, siendo la primera subvencionada por el Estado boliviano. Los resultados permitieron determinar que las emisiones dependen del régimen de operación y que los vehículos convertidos a GNV no reducen significativamente la emisión de GEI emitidos por unidad de tiempo con relación a funcionamiento original con gasolina, ello debido a que generan caudales más elevados de gases de emisión en mismos regímenes de operación. Emisión de otros gases nocivos para la salud son significativamente superiores al convertir al motor con tecnología de 3ra generación sin uso de mezclador. Siendo además su desempeño de potencia menor, ésta cae entre 87 al 75% del valor original. Se evidenció que el tipo de tecnología y modo de conversión aplicado influye en las emisiones y potencia vehicular.

© 2017. *Journal of the Selva Andina Biosph. Bolivia. Todos los derechos reservados.*

Abstract

The present research work reports the factorial experiment carried out in the Institute of Mechanical and Electromechanical Research (IIME) of the Major Saint Andrew University (UMSA), the purpose was to evaluate vehicle power and emission of greenhouse gas carbon dioxide, as well as other gases with harmful effects on human health, carbon monoxide, nitrogen oxides and total hydrocarbons generated by an internal combustion engine dedicated to gasoline and converted to bi-fuel CNG. For experimentation, a test stand was assembled with a motor commonly used in light transport vehicles in the city of La Paz, and converted to CNG in two types of transformation technology, third and fifth generation, the first being subsidized by the Bolivian State. The results allowed to determine that emissions depend on the operating regime and that the vehicles converted to CNG do not significantly reduce the emission of GHG issued per unit time in relation to original operation with gasoline, this is because they generate higher emission gas flows in the same operating regimes. Emission of other gases harmful to health are significantly superior when converting to the engine with technology of 3rd generation without use of mixer. Being also its performance of lower power, it falls between 87 and 75% of the original value. It is evident that the type of technology and mode of conversion applied influences the emissions and vehicular power.

© 2017. *Journal of the Selva Andina Biosph. Bolivia. All rights reserved.*



Introducción

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) se han convertido en un problema internacional, como dicta el Acuerdo de París (AP), adoptado el 12 de diciembre de 2015 en la 21 Conferencia de las Partes de la Convención de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CC). Este acuerdo tiene los siguientes objetivos, i) mantener el aumento de la temperatura media mundial por debajo de dos grados centígrados con respecto a los niveles preindustriales, ii) aumentar la capacidad de adaptación a los efectos adversos del cambio climático promoviendo la resiliencia al clima y un desarrollo con baja emisión de gases de efecto invernadero, (Pareja *et al.* 2012) iii) situar los flujos financieros en un nivel compatible para alcanzar estos fines. El presidente boliviano señaló en la Organización de Naciones Unidas (ONU) que con la ratificación del acuerdo Bolivia cumple, con los compromisos ante la comunidad internacional y especialmente ante los pueblos del mundo (Cambio 2016), con ello el país adquiere un compromiso para evaluar y reducir los GEI.

El 20 de octubre de 2010 se crea la Entidad Ejecutora de Conversión a Gas Natural Vehicular (EEC-GNV), mediante Decreto Supremo N° 0675, con la finalidad de Contribuir al Cambio de la Matriz Energética a través de la Ejecución de los Programas de Conversión a gas natural vehicular (GNV). El compromiso de la EEC-GNV es reducir el alto consumo de gasolina especial y Diésel oíl, que ocasiona la importación de los carburantes y por ende el costo de la subvención otorgada por el Estado a través de la conversión de vehículos de combustibles líquidos a GNV (Flores-Meneses 2004).

Es necesario obtener una evaluación acerca del impacto que significa la conversión vehicular de uso de combustible gasolina a GNV a fin de obtener el

Inventario de Emisiones Atmosféricas (IEA) Lizarazu & Aliaga-Lordemann. 2013, Villegas-Mendivil 2012, pues el Director General de la Entidad Ejecutora de Conversión a GNV (EEC-GNV), informó en fecha Abril 29, 2016, unos 132717 vehículos se convirtieron gratuitamente a GNV desde el año 2011 a la fecha” (ANH 2016).

En general, la denominación utilizada en nuestro medio para denominar a los equipos de conversión es la misma que se emplea en la Argentina (Quiroga 2012) y es nombrada de la siguiente forma:

Equipos aspirados	3 ^{ra} Generación
Equipos aspirados con control Lambda	4 ^{ta} Generación
Equipos de inyección secuencial multipunto	5 ^{ta} Generación

Esta denominación no concuerda con la de la Asociación Europea del Gas Vehicular, ya que en Europa no existe la 5^{ta} Generación y la inyección secuencial de gas se denomina 4^{ta} generación. Tampoco está claro en nuestro país, cuales fueron la 1^{ra} y 2^{da} Generación. Para EEUU por ejemplo, existen equipos de lazo abierto, lazo cerrado y de inyección secuencial. Más allá de las denominaciones, está claro que la inyección secuencial de gas resulta hoy la tecnología más avanzada en el mundo para el GNC (Timothy *et al.* 2008).

El sistema de conversión que el Estado está subvencionando corresponde al tipo de equipo aspirado o más conocido en nuestro medio como “kit de 3^{ra} generación” de los sistemas bi-fuel, dispositivos en los que se emplea un mezclador aire-GNV. Los kits de conversión que adquiere la EEC-GNV, deben cumplir con especificaciones técnicas de contratación directa de bienes y servicios, mismas que no incluyen la importación del mezclador, que debe ser fabricado localmente, diseño simple, construcción sencilla, lo fabrican de aluminio o plástico en torne-

rías locales, en lo sucesivo lo llamaremos “mezclador convencional”.

Con el propósito de reducir los costos y tiempos de instalación, en algunos talleres de conversión se omite la instalación del mezclador introduciendo mediante un tubo inyector gas natural a la manguera de entrada de aire al motor, al parecer, por referencia de los mismos usuarios, esta forma de conversión no ha provocado deficiencia en el desempeño de los vehículos.

Los equipos de inyección secuencial multipunto, o más conocidos en nuestro medio como “kits de 5^{ta} generación” aparecieron en Bolivia al iniciarse la década del 2010, luego que ya fueran utilizados en Argentina con tecnología Italiana venía aplicándose desde la década del 2000. Estos equipos se caracterizan por introducir el gas al motor sobre la válvula de admisión a través de un inyector controlado electrónicamente. La inyección de gas es habilitada en forma secuencial durante un tiempo similar al de inyección de gasolina. Los pulsos de inyección son corregidos por la sonda lambda según sea necesario. El propósito de la presente investigación fue de evaluar el desempeño de potencia del motor y emi-

siones generadas por unidad de tiempo en mismos regímenes de operación, específicamente de los gases dióxido de carbono, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno e hidrocarburos totales, haciendo hincapié en el primero de ellos por ser GEI, con el motor funcionando en modo original a gasolina, convertido con equipo de 3^{ra} generación con y sin empleo de mezclador, así como cuando es convertido con equipo de quinta generación.

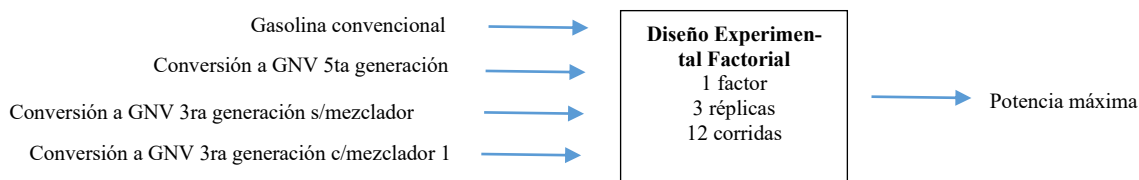
Materiales y métodos

La prueba experimental, se realizó en el Instituto de Investigaciones Mecánicas y Electromecánica dependiente de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), entre 2015 y 2016, los predios del Instituto se encuentra en el campo universitario de Cota Cota, a 3400 m.s.n.m.

Para la evaluación de potencia, se aplicó el diseño factorial representado en la figura 1, mientras que para el estudio de emisiones, el diseño factorial mostrado en la figura 2.

Los registros fueron procesados con “Design Expert”.

Figura 1 Esquema del diseño factorial para evaluación de la potencia



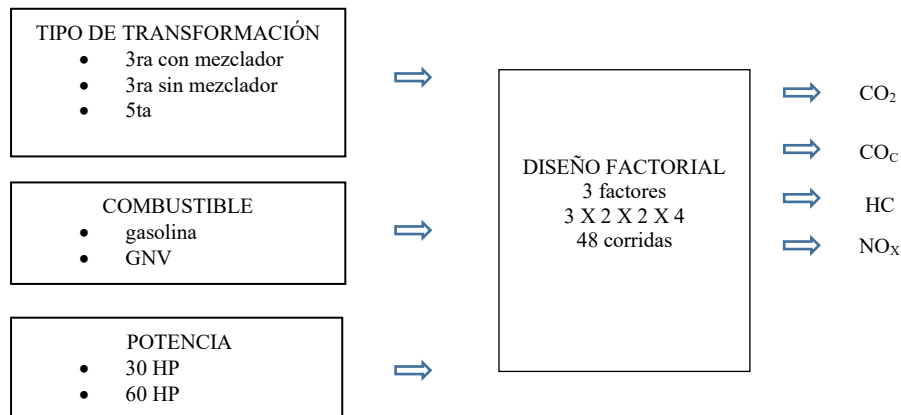
Se seleccionó un motor a gasolina marca Toyota 1NZ-FE de cuatro cilindros, cilindrada de 1497 cm³, una potencia máxima norma SAE J1349 de 106 HP, ello porque dicho motor es utilizado en vehículos modelo PROBOX, YARIS, COROLLA AXIO y otros de la familia TOYOTA, (Toyota NZ series engines 2016) su presencia en la zona

urbana de la ciudad de La Paz es elevada, sobre todo en el transporte público de taxis y trufis, por ese motivo las pruebas realizadas en dicho motor serán representativas del parque automotor de esta ciudad, especialmente en lo que se refiere al transporte público liviano. Las mediciones se realizaron en el motor sin empleo de catalizador, a

fin de determinar emisiones de motores de vehículos, tal como operan en nuestra ciudad, la mayor parte de los

vehículos que trabajan en el servicio público carecen de catalizador.

Figura 2 Esquema del diseño factorial para evaluación de emisiones



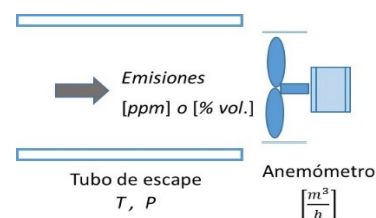
Se realizaron pruebas preliminares para determinar la influencia de variadores de avance en motores convertidos a GNV en operación, sin embargo no se encontró diferencia significativa en las emisiones como señalan muchos autores (Cruz-Rodriguez & Garcia-Gil 2005), por otra parte, estos dispositivos no están incluidos en la subvención del Estado, motivo por el cual no se empleó variador de avance en las pruebas reportadas en este trabajo de investigación.

El registro que se obtiene con los equipos analizadores de gases de emisiones vehiculares, porcentaje volumétrico (% vol.) o partes por millón volumétrico (ppmv o simplemente ppm), sin embargo dicha unidad de medida solo da idea de la proporción que ocupa dicho gas con respecto al total de las emisiones. Siendo más útil conocer la cantidad emitida de un determinado gas a la atmósfera, dígame por ejemplo, kg/h de dióxido de carbono, más aun, acorde a la unidad de medida que usan normas internacionales en emisiones, será preferible medir en kg/km de aporte de dióxido de carbono emitido por un vehículo en determinada distancia recorrida, para ello, las normas establecen qué tipo de régimen de operación debe cumplir el vehículo sujeto a evaluación.

En el presente experimento se realizaron pruebas en regímenes permanentes y midiendo además de los porcentajes volumétricos, también caudales en m³/h en el tubo de escape en distintos regímenes de potencia, que permitieron calcular la emisión en kg/h en tales regímenes de operación.

Para ese fin, además de utilizar los equipos analizadores de gases de emisiones vehiculares, se emplearon, un dinamómetro de banco DYNomite - Land & Sea para realizar operaciones en función de potencia, un anemómetro para medir el caudal o velocidad de los gases de emisiones en el tubo de escape, una termocupla y RTD para medir la temperatura del motor y de los gases de emisión.

Figura 3 Esquema de medida de caudal de gases en el tubo de escape



En la figura 3 se muestra el esquema de magnitudes físicas involucradas:

- los equipos de mediciones de emisiones miden [ppm vol.] y [% vol.],
- con un anemómetro se mide el caudal [m^3/h] de los gases en la salida del tubo de escape,
- con una termocupla se mide la temperatura T a la salida del tubo de escape,

$$\frac{mg}{m^2} = ppmv \times \frac{M}{0.08205 \times T}; \text{ Ecuación de estado de los gases ideales a presión atmosférica.}$$

$$C_h = C \times \left(\frac{288 - 6.5 \times h}{288} \right)^{5.2558}; \text{ Factor de corrección de la presión atmosférica debido a la altura sobre el nivel del mar.}$$

$$\frac{mg}{m^2} = ppmv \times \frac{M}{0.08205 \times T} \times \left(\frac{288 - 6.5 \times h}{288} \right)^{5.2558}; \text{ Ecuación de estado con corrección respecto a altura sobre nivel del mar } h.$$

$$\frac{mg}{h} = ppmv \times \frac{M}{0.08205 \times T} \times \left(\frac{288 - 6.5 \times h}{288} \right)^{5.2558} \times Q; \text{ Ec. (1) caudal másico a partir de ppm.}$$

Por otra parte $10\,000\text{ ppmv} = 1\% \text{ vol.}$

$$\frac{mg}{h} = 10000 \times \%vol. \times \frac{M}{0.08205 \times T} \times \left(\frac{288 - 6.5 \times h}{288} \right)^{5.2558} \times Q; \text{ Ec. (2) caudal másico a partir de \% vol.}$$

- T : Temperatura ambiente en $^{\circ}K = 273 + ^{\circ}C$
- $ppmv$: partes por millón del contaminante
- M : peso molecular del contaminante en gramos por mol
- h : altitud del sitio de prueba en km sobre el nivel del mar
- v : velocidad de los gases emitidos por el escape en metros por segundo
- D : diámetro interior del tubo de escape en metros
- Q : caudal volumétrico en metros cúbicos por hora

La Ley de Amagat “establece que en una mezcla de gases, cada gas ocupa su volumen como si los restantes gases no estuvieran presentes”. Por tanto se aplicará esta ecuación a cada uno de los gases componentes de las emisiones vehiculares.

También puede utilizarse el convertidor de unidades, NIOSH 2016 mismo que debe ajustarse a caudal de gases de emisión, presión y temperatura en la salida del tubo de escape.

Las ecuaciones (1) y (2) pueden escribirse más cortas si reemplazamos en altura sobre el nivel del mar el valor $h = 3.4$ pues, Cota Cota se encuentra a 3.4 km sobre el nivel del mar, obtenemos:

$$\frac{mg}{hr} = ppmv \times \frac{0.65729 \times M}{0.08205 \times T} \times Q; \text{ ec. (3)}$$

$$\frac{mg}{hr} = 10000 \times \%vol. \times \frac{0.65729 \times M}{0.08205 \times T} \times Q; \text{ ec. (4)}$$

- presión P atmosférica en la zona de Cota Cota,
- peso molecular M del gas en cuestión.

De dichos registros, se determina caudal másico del gas contaminante en [kg/h] o [mg/h], de acuerdo al siguiente tratamiento de ecuaciones:

La temperatura T se mide en grados kelvin, y en el punto en el que se coloca la sonda del analizador de gases, es decir a la salida del tubo de escape, en el experimento se empleó alternativamente una termocupla y un RTD conectado a un “data logger”.

El caudal Q se mide en m^3/h también a la salida del tubo de escape con el empleo de un anemómetro con diámetro similar al diámetro del escape. M es peso molecular de los gases analizados, según se muestra a continuación

Tabla 1 Pesos moleculares de gases vehiculares

CO ₂	CO	HC (hexano equivalente)	O ₂	NO
44.01	28.01	86.2	32	30.02
uma	uma	uma	uma	uma

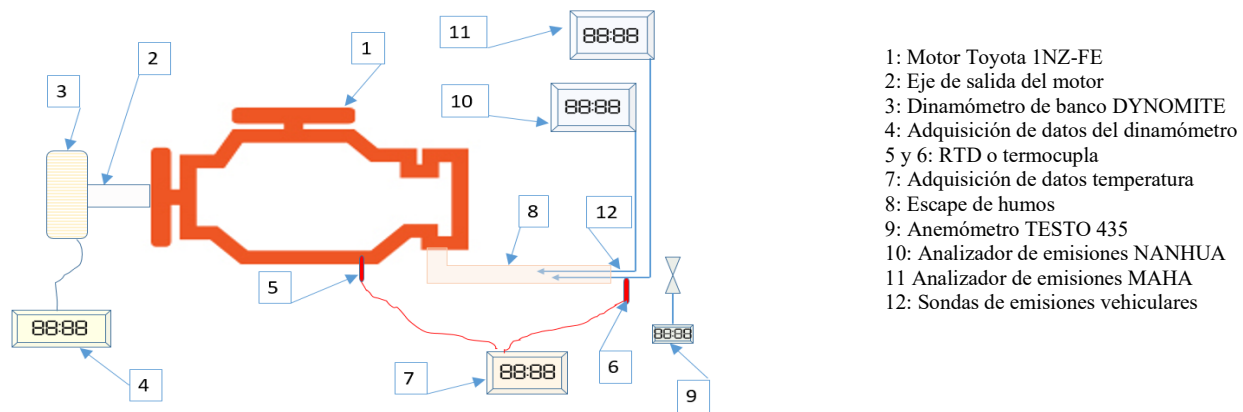
Si además hacemos una estimación de la velocidad promedio a la que circularía el vehículo en [km/h]

en el régimen de potencia analizado, se puede obtener una idea de las emisiones en [kg/km] de gases contaminantes emitidas por dicho vehículo, ello se consigue al dividir kg/h entre km/h, dicha velocidad promedio puede ser estimada en función de la potencia de carga medida al motor, por ejemplo, para 60 HP de potencia, una velocidad de 70 km/h, para

50 HP de potencia, una velocidad de 60 km/h. Ésta no es más que una estimación puesto que un registro más realista se obtiene mediante medición de emisiones en un ciclo de trabajo especificado por normas internacionales como se indicó en el acápite anterior.

- ANALIZADOR DE CH, CO₂, CO, O₂ y λ: Marca Maha met 6.1. Equipo utilizado para la medición de CO₂, CO, HC, O₂ y lambda.
- ANALIZADOR DE NO: Marca Nanhua NHA-506EN. Este equipo se utilizó para la medición de NO_x
- ANEMÓMETRO TESTO 435. Equipo utilizado para medir el caudal volumétrico de los gases de emisión mediante el tubo de escape.
- DINAMÓMETRO AMORTIGUADOR FRENO DE AGUA, MARCA DYNOMITE, Land & Sea. Equipo utilizado para medir la potencia en el eje cigüeñal del motor.

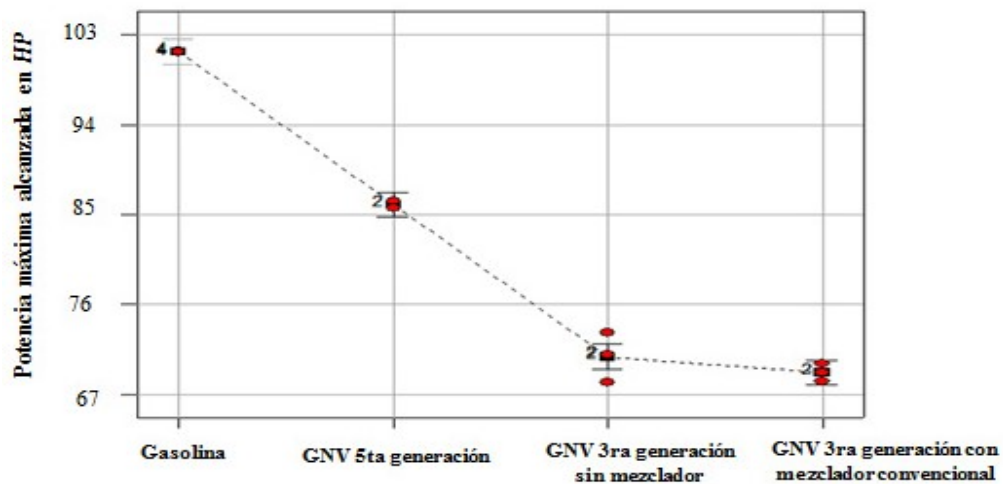
Figura 4 Esquema de las mediciones experimentales



- 1: Motor Toyota 1NZ-FE
- 2: Eje de salida del motor
- 3: Dinamómetro de banco DYNOMITE
- 4: Adquisición de datos del dinamómetro
- 5 y 6: RTD o termocupla
- 7: Adquisición de datos temperatura
- 8: Escape de humos
- 9: Anemómetro TESTO 435
- 10: Analizador de emisiones NANHUA
- 11: Analizador de emisiones MAHA
- 12: Sondas de emisiones vehiculares

Resultados

Figura 5 Medida comparativa de la potencia máxima evaluando combustible y modo de conversión



La potencia del motor con GNV 3^{ra} generación sin mezclador es menos estable que operando en las otras modalidades.

Tabla 2 ANOVA Emisiones de CO₂ en función de factores potencia, tipos de régimen y combustible

Response 1 CO2

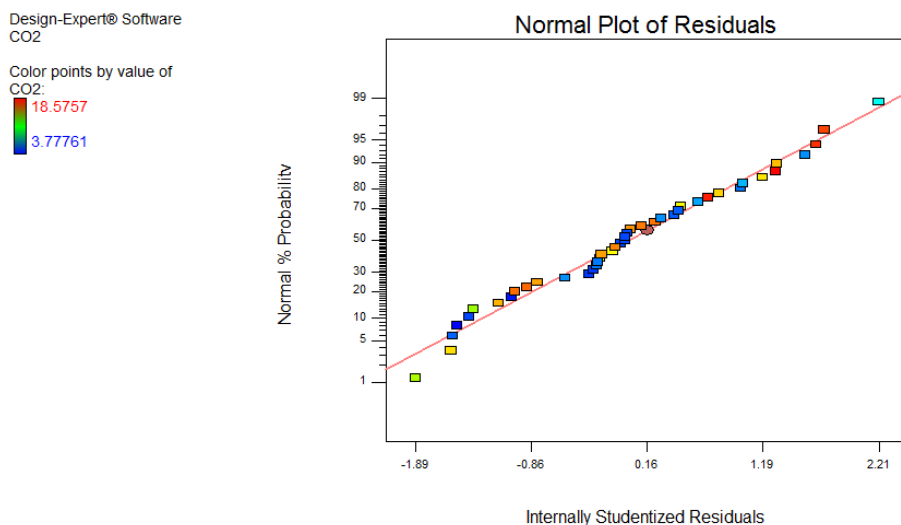
These Rows Were Ignored for this Analysis.
41, 25, 4, 44, 2

ANOVA for selected factorial model

Analysis of variance table [Classical sum of squares - Type II]

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	1293.31	9	143.70	242.93	< 0.0001	significant
A-POTENCIA	1245.08	1	1245.08	2104.87	< 0.0001	
B-RÉGIMEN	17.38	2	8.69	14.69	< 0.0001	
C-COMBUSTIBLE	6.63	1	6.63	11.21	0.0020	
AB	1.40	2	0.70	1.19	0.3180	
AC	5.24	1	5.24	8.85	0.0054	
BC	3.03	2	1.51	2.56	0.0926	
Residual	19.52	33	0.59			
Lack of Fit	5.667E-003	2	2.834E-003	4.502E-003	0.9955	not significant
Pure Error	19.51	31	0.63			
Cor Total	1312.83	42				

Figura 6 Distribución de probabilidad normal de residuos de emisiones CO₂ en kg/h con motor operando en función de factores potencia, tipos de régimen y combustible



El factor influyente de emisiones más importante es la potencia de operación, por lo que se evidencia que el tipo de ciclo de operación es determinante en cómo serán las emisiones.

No se aprecia diferencia significativa en las emisiones en función a si se usa gasolina o GNV, sobre todo para condiciones de operación de baja potencia, en cambio para potencias mayores, como

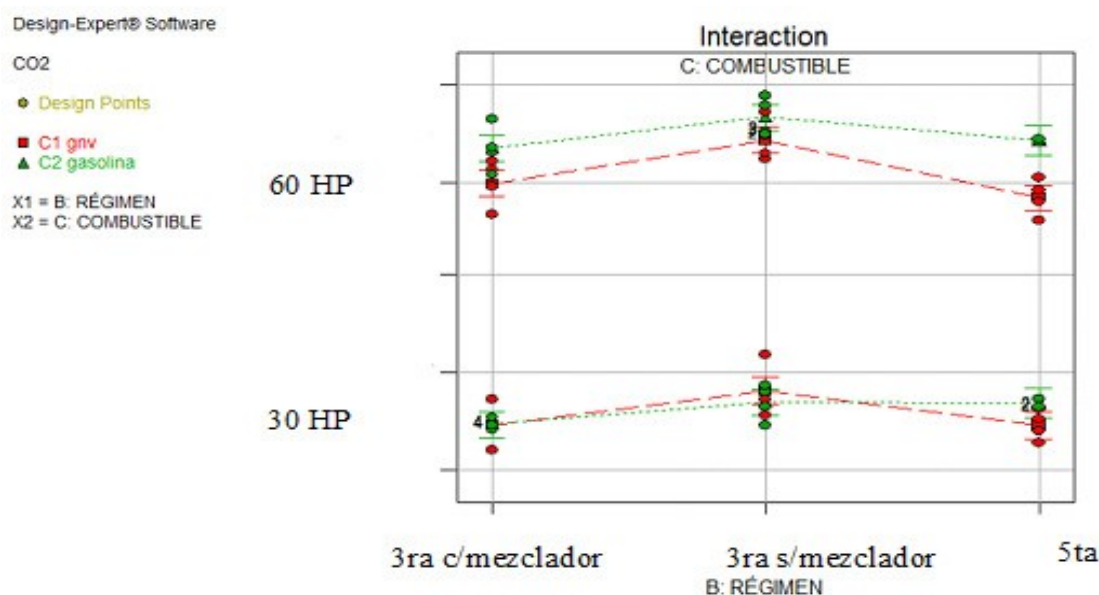
el caso de 60 HP, recién se observa una ligera diferencia significativa a favor del GNV con equipo de conversión de quinta generación que a su vez también muestra menores emisiones que cuando se emplea kit de tercera generación sin mezclador.

Evaluación de otros gases contaminantes:

La evaluación de CO₂ no es completa si es que no se analizan paralelamente los registros de CO, pero

mejor CO_e o monóxido de carbono corregido, es decir, contenido de monóxido de carbono no diluido en los demás productos de la combustión, esta corrección es realizada por el mismo equipo de medición. En la figura 8 se aprecia que al no usar mezclador en el equipo de tecnología de tercera generación, se consigue combustión más completa, ello se debe a que en esta modalidad se favorece el ingreso de aire al motor.

Figura 7 Emisiones de CO₂ en kg/h en función de factores: potencia, tipos de régimen y combustible



Para tener una idea aproximada de emisiones por km de recorrido, como se indica en el acápite de método, para operación de 60 HP, se estima el vehículo a 70 km/h, de manera que con el registro de 0.175 kg/h, (dividiendo 0.175 entre 70) se tiene 2.5 g/km, menor que los 2.72 que especifica la EURO 1, pero más que los 2.13 que especifica la norma americana.

No debe olvidarse que dicho cálculo solo da una aproximación, por otra parte, volver a indicar que el motor de prueba no cuenta con catalizador, en presencia de este dispositivo, las emisiones registradas serían menores.

Figura 8 Emisiones de COc en kg/h en función de factores potencia, tipos de régimen y combustible

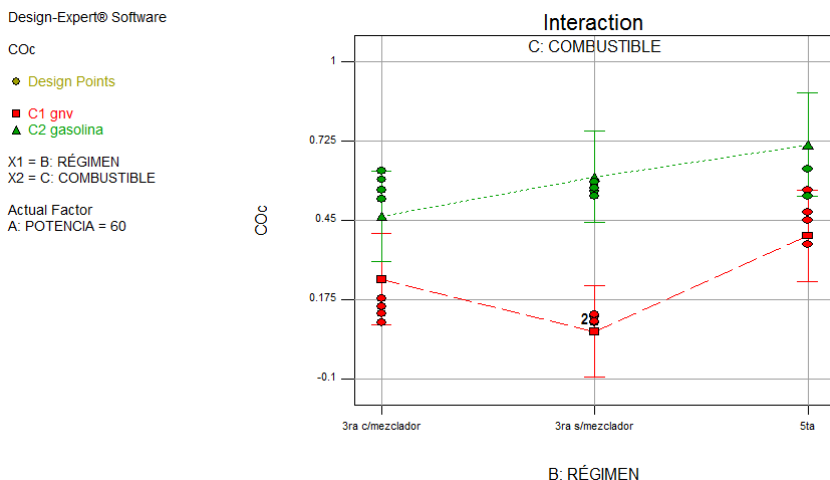
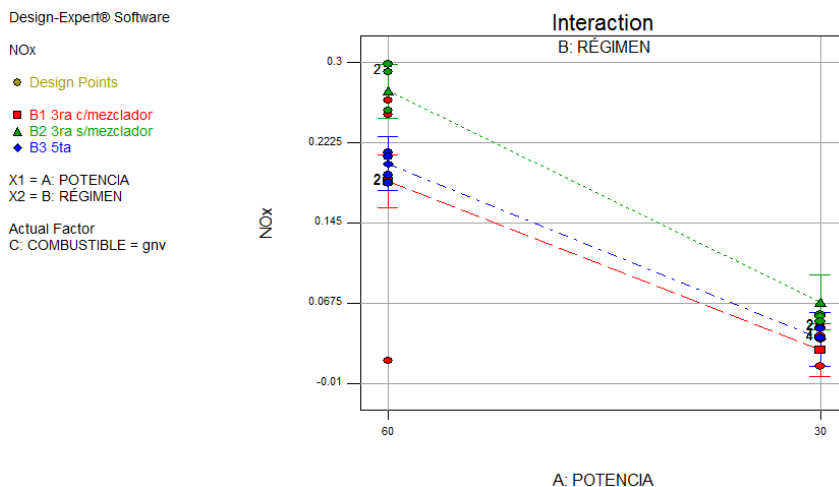


Figura 9 Emisiones de NOx en kg/h en función de factores potencia, tipos de régimen y combustible

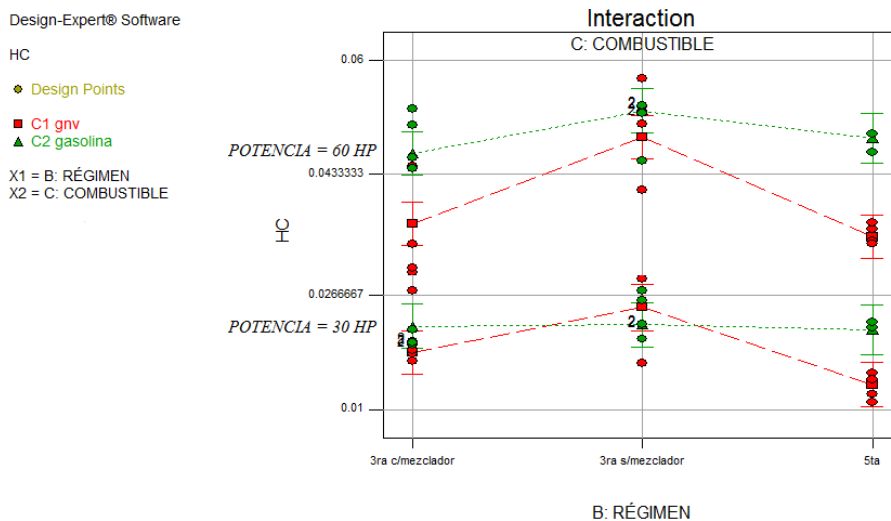


Las emisiones de óxidos de nitrógeno dependen significativamente de la potencia aplicada, eso porque la emisión de estos gases está en función de la temperatura del motor, es interesante notar que el no uso de mezclador en el kit de tecnología de 3^{ra} generación provoca mayores emisiones significativas de NO_x con el motor con carga.

Las emisiones de óxidos de nitrógeno dependen significativamente de la potencia aplicada, eso por

que la emisión de estos gases está en función de la temperatura del motor, es interesante notar que el no uso de mezclador en el kit de tecnología de 3^{ra} generación provoca mayores emisiones significativas de NO_x con el motor con carga.

Figura 10 Emisiones de HC en kg/h en función de factores potencia, tipos de régimen y combustible



Discusión

Se evidenció que un motor dedicado a gasolina y convertido a GNV, reduce su potencia aunque, con empleo de tecnología de conversión de quinta generación esta pérdida es menor (Ministerio de Medio Ambiente Colombia 2001).

Las emisiones vehiculares en general, dependen significativamente de la potencia, motivo por el cual, la selección del ciclo de operación es completamente determinante con respecto a los niveles de emisión.

El empleo del anemómetro permitió conocer que, el motor de gasolina convertido a GNV genera mayor caudal de gases de emisión a través de su escape que cuando opera en su modo original a gasolina, ello cuando se compara para mismos regímenes de operación, de manera que al emplear las ecuaciones 3 y 4, valores menores de % volumétrico de CO₂ con el motor empleando GNV, resultan generando prácticamente el mismo nivel de kg/h de este gas a la atmósfera, que cuando el motor funciona a gasolina, siendo esta última unidad de medida la que determina el nivel de contaminación ambiental.

Por ese motivo, es que en cuanto a emisiones de gases de efecto invernadero, en general, no se aprecia diferencia significativa entre el uso de gasolina y GNV en un motor convertido.

De modo similar, en la evaluación de gases de efecto invernadero, tecnología de conversión de 5^{ta} generación y 3^{ra} generación con uso de mezclador convencional no muestran diferencia entre sí, siendo en cambio significativamente diferentes entre tecnología de 3^{ra} generación sin uso de mezclador con la de 5^{ta} generación, sobre todo al funcionar en niveles de potencia mayores.

Con el kit de 3^{ra} generación y sin uso de mezclador, se aprecia un incremento significativo de emisiones NO_x y HC, esto porque ingresa al motor una mala mezcla de aire GNV aunque en mayor volumen, mezcla pobre porque a su vez se reduce la emisión de CO, lo que produciría mayores temperaturas de combustión (por el registro mayor de NO_x), esto estaría provocando un mayor desgaste del motor y por ende reducción de su tiempo de vida. Situación por la que algunos autores indican “se deterioran las válvulas de escape y destruyen los catalizadores aumentando las emisiones de NO_x, pueden incluso

producir un daño serio al motor.” (Quiroga-Ramos 2012) Los gases NO_x y HC son muy nocivos para la salud humana.

Si bien, la presente investigación incluyó la medición de metano, poderoso gas de efecto invernadero, ésta se realizó con un cromatógrafo de gases con rango de medida a partir de 100 ppm, mismo que no detectó presencia de este gas en pruebas realizadas con el motor operando con gasolina como con GNV, sin embargo es recomendable en un futuro, realizar medidas con un instrumento de mayor resolución y sensibilidad para determinar si las emisiones de metano son realmente relevantes.

Para realizar ciclos de operación según pruebas normadas, (IBNORCA 2005, Worldwide Emissions Standards 2014) es requerido el empleo de bancos de ensayo apropiados para ese tipo de aplicación, debido a que actualmente en nuestro medio no se dispone de dichos equipos, no es posible ejecutar dichos estudios, por ese motivo, es recomendable la implementación de dicho equipamiento y actualización de las normas nacionales en emisiones vehiculares.

Conflictos de intereses

A pesar de estar involucradas otras instituciones como la EEC-GNV y talleres de conversión además de la UMSA, la investigación no presenta conflicto de interés.

Agradecimientos

Este proyecto se realizó con financiamiento de “fondos concursables IDH, para proyectos de investigación e interacción social” con el apoyo de la Facultad de Ingeniería, la Carrera de Ingeniería

Mecánica e Instituto de Investigaciones Mecánicas y Electromecánica de la UMSA.

Literatura citada

Agencia Nacional de Hidrocarburos. Memoria institucional ANH 2015. Acceso junio 2016. Citado 2016 diciembre 16]. Disponible en: <http://www.anh.gob.bo/>.

Cambio. Periódico de Estado Plurinacional de Bolivia. Bolivia deposita en la ONU Ley que ratifica Acuerdo de París; 2016. Sep 23: 1-2.

Cruz-Rodriguez M, García-Gil F. Metodología para el montaje y mantenimiento de equipos para conversión a gas natural en motores de inyección electrónica de gasolina OBDII. Proyecto de grado Ingeniero Mecánico, Universidad Tecnológica de Bolívar, Facultad de Ingeniería Mecánica Cartagena de Indias; 2005. p 52.

Flores-Meneses F. Prueba piloto de conversión al modo bi-combustible gas natural-diésel (oil), realizada en la altura para un motor estacionario de encendido por compresión. [Tesis de Maestría]. Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia; 2004. p. 30-60.

IBNORCA Instituto Boliviano de Normalización y Calidad, NB 62 002 Calidad del Aire, Emisiones de fuentes móviles, 2005; 1-15.

Lizarazu R, Aliaga-Lordemann J. Escenarios de emisión de gases de efecto invernadero CO₂ en el sector energético en Bolivia. RLDE. 2013; 19: 77-98.

Ministerio de Medio Ambiente Colombia. Evaluación del programa de conversión a GNV de vehículos de la flota de empresas públicas de Medellín (EE.PP.MM.). Septiembre 2001. Informe No 1. 2001 Sep; 1-211.

- NIOSH. The National Institute for Occupational Safety and Health. The conversion equation is based on 25 °C and 1 atmosphere: Disponible en <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2004-101/calc.html>, acceso diciembre 2016).
- Pareja A, Hinojosa M, Luján M. Inventario de Emisiones Atmosféricas Contaminantes de Cochabamba, Bolivia, año 2008. *RevActaNova*. 2012; 5(3), 344-73.
- Quiroga-Ramos E. Una solución tecnológicamente viable para la reducción de las emisiones en vehículos de inyección electrónica secuencial, propulsados a gas natural. [Tesis de Maestría]. Universidad Tecnológica Nacional. Argentina, 2012; p. 182.
- Timothy W, Sullivan J, Hurley M. Emissions of CO₂, CO, NO_x, HC, PM, HFC-134a, N₂O and CH₄ from the global light duty vehicle fleet. *Meteorol Z*. 2008; 17(2):109-115.
- Toyota NZ series engines. 2016. Disponible en http://toyota-club.net/files/faq/05-07-10_faq_nz_eng.htm).
- Villegas-Mendivil W. Impuesto Municipal a la Contaminación Vehicular “IMCV” - caso ciudad de Santa Cruz de la Sierra. *Perspectivas*. 2012; 30: 7-70.
- Worldwide Emissions Standards, Passenger Cars and Light Duty Vehicles - DELPHI, 2014.
-