

Estudio de un Motor a Gasolina en Condiciones de Altura con Mezclas de Aditivo Orgánico en el Combustible

Juan C. Rocha-Hoyos¹, Luis E. Tipanluisa², Víctor D. Zambrano³, Ángel A. Portilla⁴

(1) Univ. Internacional SEK, Fac. de Arquitectura e Ingenierías, Casilla 17-03-02, Quito-Ecuador
(e-mail: carlos.rocha@uisek.edu.ec)

(2) Escuela Politécnica Nacional, Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Invest. en Control de Emisiones Vehiculares, Casilla 17-01-2759, Quito-Ecuador (e-mail: luis.tipanluisa@epn.edu.ec)

(3) Univ. de las Fuerzas Armadas ESPE, Dpto. de Energía y Mecánica, Casilla 171-5- 231B, Sangolquí-Ecuador (e-mail: vdzambrano@espe.edu.ec)

(4) Escuela Politécnica Nacional, Fac. de Ingeniería Mecánica, Dpto. de Ingeniería Mecánica, Casilla 17-01-2759, Quito-Ecuador (e-mail: angel.portilla@epn.edu.ec)

Recibido Dic. 21, 2017; Aceptado Mar. 5, 2018; Versión final May. 8, 2018, Publicado Oct. 2018

Resumen

En este artículo, se evaluó el comportamiento del vehículo Volkswagen 1,8 L., en condiciones de gran altitud, a través de las emisiones de escape y la autonomía del vehículo. Se realizaron dos pruebas estáticas de emisiones y consumo de combustible en una ruta ciudad-autopista de 27,95 km en la ciudad de Quito-Ecuador a 2850 m sobre el nivel del mar. Se usó mezclas de gasolina de 87 octanos con aditivos organometálicos; el sólido a base de hierro y el aditivo líquido está compuesto de fósforo y calcio. El comportamiento con gasolina de 87 octanos era la línea de base de comparación. En emisiones estáticas a 900 rpm el aditivo sólido produce una disminución en la concentración de hidrocarburos no quemados y un aumento en el dióxido de carbono; En las emisiones estáticas a 2500 rpm, el aditivo líquido produce una disminución en la concentración de hidrocarburos no quemados y un aumento en el dióxido de carbono; La prueba de consumo de combustible en una ruta mixta ciudad-carretera muestra un incremento en el rendimiento del motor al aplicar los aditivos.

Palabras clave: aditivo orgánico; consumo de combustible; emisiones contaminantes; motor de encendido provocado; condiciones de altitud

Study of a Gasoline Engine in Altitude Conditions with Mixtures containing Organic Additive in the Fuel

Abstract

In this article, the behavior of the Volkswagen 1, 8 L. vehicle at altitude conditions was evaluated. This was done by analyzing the exhaust emissions and the autonomy of the vehicle. Two static tests emissions and fuel consumption were done on a city-highway route of 27, 95 km in the city of Quito-Ecuador at 2850 m sobre el nivel del mar. Gasoline mixtures of 87 octanes with organometallic additives were employed; the solid is an iron-based substance and the liquid additive is composed of phosphorus and calcium. The behavior with 87 octane gasoline was the base line used for comparison. In the static emissions at 900 rpm the solid additive produces a decrease in the concentration of unburned hydrocarbons and an increase in carbon dioxide. In the static emissions at 2500 rpm, the liquid additive produced a decrease in the concentration of unburned hydrocarbons and an increase in carbon dioxide; The test of fuel consumption in a mixed city-highway route shows and increase of car's autonomy with the use of additives.

Keywords: organic additive; fuel consumption; polluting emissions; spark ignition engine; height conditions

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas la problemática de la contaminación del aire ha sido de primordial interés, en el nivel local, regional y global, desde el punto de vista ambiental y de la salud humana. Hoy en día, Estados Unidos es una de las naciones más motorizadas, con 821 vehículos por cada 1000 personas en 2015 (OICA, 2018). El stock mundial de vehículos en carretera llegó a casi 1300 millones de vehículos en 2015 (Frey, 2018). A nivel mundial representan cerca del 19% del consumo global de energía y el 23% de las emisiones relativas de dióxido de carbono (CO₂) (Querol et al., 2001; Tinaut y López, 2013). En cuanto al consumo de la gasolina en el Ecuador, el sector transporte llegó al 75% en el 2015. Además, la relación de contaminación del sector transporte es el 41% del total del sector productivo que emite Gases de efecto Invernadero según el Balance Energético (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2016). De acuerdo a los análisis de la Organización Mundial de la Salud (OMS) 2012-2013, las ciudades del Ecuador sobrepasan los niveles internacionales de contaminación de 10 ug/m³ perjudiciales para la salud, Quito, Milagro y Santo Domingo tienen 18 ug/m³, 32 ug/m³ y 33 ug/m³ de material particulado 2,5 (PM_{2,5}) respectivamente (OMS, 2016; Rocha et al., 2017).

La principal característica del motor de encendido provocado (MEP), es que el inicio de la combustión se da por medio de una chispa eléctrica entre los dos electrodos de una bujía. El instante en el que se debe hacer saltar la chispa deberá ser el adecuado para obtener el proceso de combustión más eficiente (Benajes y Navarro, 2013; Mendoza et al., 2012). Las normas ambientales, han obligado a las empresas automotrices a desarrollar sistemas de combustión y postcombustión, más eficientes, y a las empresas petroleras a mejorar la calidad de sus combustibles para disminuir las emisiones (Lapuerta y Hernández, 2013; Tinaut y López, 2013). Los precursores de combustibles derivados de la biomasa a menudo tienen un alto contenido de oxígeno que se origina en los grupos hidroxilo, y éter. El oxígeno generalmente se elimina mediante un proceso de hidroxigenación a través de la división de los enlaces C-O, pero sin división de los enlaces C-C. Se puede lograr utilizando catalizadores bifuncionales adecuados y condiciones de operación. Los catalizadores más frecuentemente estudiados para la hidroxigenación de precursores de combustible han sido metales Pd, Pt, Ru, Ni y Cu y carburos metálicos soportados, y demás, sobre carbón activado, sílice, sílice-alúmina, zeolitas, fosfato de zirconio y ácidos sólidos basados en niobio (Hronec, et al., 2015).

Las emisiones y el consumo de combustible se han reducido significativamente en virtud de los esfuerzos en el diseño del motor. Sin embargo, es difícil alcanzar los estándares de emisión requeridos únicamente a través del diseño del motor (Çelik, M., et al. 2015). El manganeso es un material atractivo como aditivo de combustible. Geng y Zhang evaluaron el metilciclopentadienil manganeso tricarbonilo (MMT) como aditivo de gasolina para mejorar el índice de octano y la resistencia al golpeteo del combustible. Los combustibles de prueba se prepararon mezclando MMT en un volumen de 8, 12 y 18 mg / l a gasolina. Los resultados de la prueba mostraron que las relaciones crecientes de la MMT causaban un aumento en la presión del cilindro y en las tasas máximas de liberación de calor. También se informó que las emisiones de CO, NO_x y PM aumentaron con el aumento del porcentaje de MMT (Geng y Zhang, 2015). Según Topgül (2015) en su estudio, presenta el aditivo para la gasolina al metilo terciario el butil éter (MTBE), un compuesto oxigenado bien conocido.

Los efectos de MTBE-mezclado combustibles con varias tasas de mezcla (0, 5, 10, 20 y 30% vol.) del rendimiento del motor y las emisiones de escape fueron investigados con un motor de inyección de combustible Ricardo / Hydra de un solo cilindro y encendido de chispa de cuatro tiempos. El resultado de las pruebas del motor indicó que el torque del motor era similar o cercano a la gasolina sin plomo (MTBE0) con porcentajes de MTBE de hasta 10%. Además, el MTBE combina una mejor eficiencia térmica de los frenos y un menor consumo de energía de los frenos. Con respecto a las emisiones de escape, las emisiones de CO y HC se redujeron con el aumento del contenido de MTBE en el combustible mezclado, pero las emisiones de HC no disminuyeron tanto como las emisiones de CO. Además, la concentración de NO aumentó para las mezclas de MTBE debido al enriquecimiento de oxígeno (Andrada et al., 2005). El incremento acelerado del parque automotor en el Ecuador, en especial en la ciudad de Quito, ocasiona el incremento de los gases contaminantes al medio ambiente. En los últimos años, el uso de aditivos se ha convertido en el punto focal de los estudios en este campo (Çelik et al., 2015). En la presente investigación, se evalúa el comportamiento de dos aditivos orgánicos, uno de tipo sólido y otro de tipo líquido a través de las emisiones y el consumo de combustible de forma experimental, con la finalidad de validar su impacto en el ambiente, a una condición de altura mayor a los 2850 msnm.

METODOLOGÍA

La metodología se desarrolla en base a las siguientes características que son: combustibles evaluados, caracterización de emisiones contaminantes y consumo de combustible, además de los respectivos protocolos de pruebas en emisiones y consumo de combustible.

Evaluación de combustibles aplicados

En el presente estudio se evalúan las propiedades del combustible con y sin aditivos para caracterizar bajo la norma INEN 935:2012 y la ASTM D4814:2010. Los aditivos organometálicos se mezclan para que reaccionen con el combustible de 87 octanos, el aditivo sólido se compone de un total de 141038,09 mg/kg donde su componente relevante es el hierro con 98,5% y el 1,5% incluye los 28 metales restantes; el aditivo líquido se compone de un total 2082,92 mg/kg donde el 36% es fósforo, 21.33% calcio, 22% zinc, 8% hierro, 6% aluminio, y el 6% restante incluye los 25 metales, estos fueron procesados mediante el Método de Inducción de Plasma Acoplada de Masas (ICPM). La figura 1 se presenta todos los metales de cada aditivo.

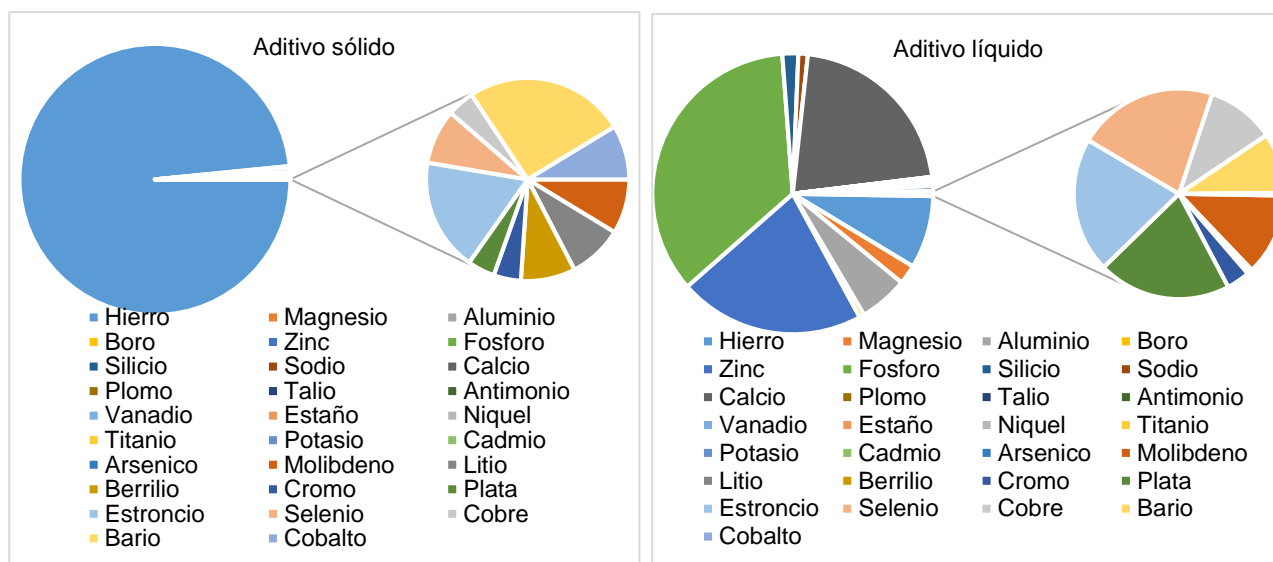


Fig. 1: Proporciones de aditivo organometálico sólido y líquido.

Las características de aplicación para el aditivo sólido denominado MPG-CAPS (Pastillas Ahorro Combustible) fueron 0,05 gramos por cada galón de combustible; mientras que el aditivo líquido denominado R-1 plus Premium fueron 12 mililitros por cada galón, de acuerdo a las recomendaciones del fabricante del producto.

Caracterización de emisiones contaminantes y consumo de combustible

Se ha realizado una investigación de campo, de carácter exploratoria, en la cual se busca determinar la diferencia en el nivel de emisiones de gases contaminantes, en la combustión de un motor de Ciclo Otto, entre la gasolina de 87 y mezclas de gasolina de 87 octanos con los aditivos descritos. Para cada tipo de combustible, se ha efectuado cinco mediciones, la evaluación de las emisiones se realiza mediante la prueba de ralentí de dos velocidades TIS por sus siglas en inglés (Two-Speed Idle). La prueba TIS consiste en una prueba de las emisiones de escape del vehículo en ralentí y a 2500 rpm mientras el selector de marchas del vehículo esté en punto muerto o estacionado. Se evalúan cuatro parámetros fundamentales que son hidrocarburos no combustionados HC (ppm), monóxido de carbono CO (%V), dióxido de carbono CO₂ (%V) y oxígeno O₂ (%V), más la relación lambda; en un vehículo Volkswagen con motor 1,8 L, en la ciudad de Quito a una altura de 2850 m. El combustible es alimentado al motor desde un recipiente externo presurizado similar al del motor (344,74 kPa), las pruebas se realizaron en el Laboratorio del CCICEV de la Escuela Politécnica Nacional, en la tabla 1 se presenta las condiciones atmosféricas promedio de la ciudad (Tipanluisa et al., 2017).

Tabla 1: Condiciones atmosféricas de la ciudad de Quito

Ciudad	Condición Atmosférica				
	Presión atm.	Temperatura	Humedad	Altura	Viento
Quito	72852 Pa	15 °C	60 %	2850 m	16 km/h

Equipos utilizados en evaluación de emisiones

Se utilizó un vehículo Volkswagen con cilindrada 1,8 L., de inyección electrónica año 2009, con 105.344 km de recorrido, en la tabla 2 se describen las características del motor del vehículo. Previo a las pruebas experimentales, al vehículo se realizó el mantenimiento preventivo esto consistió en cambio de aceite, cambio filtros de combustible, limpieza de inyectores y cambio de micro filtro; cambio de cables de bujías y bujías del sistema de encendido. El vehículo considerado es de frecuente uso en la zona montañosa de Ecuador por la

variabilidad geográfica y vías de tercer orden, además la marca se posiciona dentro de las 10 marcas más vendidas del parque automotor nacional siendo influyente en el estudio (AEADE, 2015), respecto a su cilindrada es el promedio de motorizaciones para este tipo de vehículos, además posee catalizador exigido para reducir los gases contaminantes. Para la medición de las emisiones se utiliza un analizador de gases MAHA MGT-5 con modulo fijo de control, los rango de medición se visualizan en la tabla 3 (Maha, 2016).

Tabla 2: Características principales del motor

<i>Modelo:</i>	Saveiro, Pick up
<i>Tipo:</i>	16 válvulas, 4 cilindros en línea, DOHC
<i>Cilindrada:</i>	1781 cm ³
<i>Potencia:</i>	73 kW @ 5250 rpm
<i>Torque:</i>	152 Nm. @ 3000 rpm
<i>Relación de compresión:</i>	9,1:1

Tabla 3: Rangos de medición del analizador de gases MAHA MGT-5 (Adaptada de MAHA, 2016)

<i>Gases analizables</i>	CO	CO ₂	HC	O ₂
Rango de medición	0 – 15,00 Vol. %	0 – 20,0 Vol. %	0 - 2000 ppm (Hexano) 0 - 4000 ppm (Propano)	0 – 25,00 Vol. %
Precisión de medida	0,06 Vol. %	0,5 Vol. %	12 ppm vol.	0,1 Vol. %
Principio de medida	Infrarrojo	Infrarrojo	Infrarrojo	Electro-químico
Resolución valores de medida	0,001 Vol. %	0,01 Vol. %	0,1 ppm vol.	0,01 Vol. %

En la figura 2, se visualiza el recipiente externo presurizado, consta de una bomba manual con la que presuriza el sistema de combustible del vehículo, en este caso 344,74 kPa y así garantizar el flujo constante de combustible; su presión es revisada en cada prueba. Después del cambio de combustible el vehículo permanece encendido durante 5 minutos, acelerándolo a 4000 rpm para procurar consumir cualquier residuo del combustible de distinta mezcla.



Fig. 2: Recipiente Externo Presurizado

Protocolo de pruebas en emisiones

El tiempo de medición es aproximadamente 30 segundos en cada prueba, para asegurarse de que el vehículo esté estable. La secuencia de realización de las pruebas se describe en los siguientes nueve puntos: 1) comprobar que el motor haya pasado por un período de calentamiento y estabilización (5 minutos); 2) verificar que el sistema de escape del automotor no presente fugas ni salidas adicionales a las del diseño; 3) revisar que accesorios del vehículo tales como luces, aire acondicionado, etc., no estén funcionando; 4) verificar que el motor se encuentre a la temperatura normal de funcionamiento; 5) verificar que la transmisión del vehículo se encuentre en neutro en caso de tener transmisión manual o en parqueo en caso de ser de transmisión automática; 6) conectar la pinza trigger al cable de una de las bujías de encendido, para conocer el número exacto de revoluciones; 7) introducir totalmente la sonda en el tubo de escape, verificando previamente la limpieza de la misma y asegurarse que quede fija dentro del sistema de escape durante la medición; 8) La medida en marcha mínima o ralentí, caso contrario la prueba no podrá realizarse; 9) acelerar hasta 2500 rpm al efectuar la medición en altas revoluciones, mantener estable el acelerador y tomar la medida.

Se realizó cinco mediciones con cada tipo de combustible, a bajas revoluciones (ralentí: 900 rpm) y altas revoluciones (2500 rpm). (Rocha-Hoyos y Zambrano, 2015; Tipanluisa et al., 2017)

Protocolo del consumo de combustible

La evaluación en ruta aporta a determinar el rendimiento del vehículo en kilómetros recorridos por galón de combustible, para las distintas mezclas utilizadas, visto en la figura 3. En la tabla 4, se describen las características del ciclo mixto para la prueba en ruta, considerando la distancia y tipo de trayecto (Rocha-Hoyos y Zambrano, 2015).



Fig. 3: Ruta de prueba combinada, recorrido Ciudad-Carretera (Adaptada de Google Maps: <http://bit.ly/2K0z6Ug>)

Tabla 4: Descripción del circuito mixto

Tramo	Distancia [km]	Ciclo
Laboratorio CCICEV-EPN- al sector de Guápulo sobre la Av. Simón Bolívar	11,65	Carretera
Av. Simón Bolívar subida a Guápulo y recorrido dentro de la ciudad de Quito	16,30	Ciudad
	27,95	Total

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presenta la discusión de resultados de las propiedades de los combustibles, la influencia de las emisiones contaminantes y el rendimiento del combustible en el motor, de las mezclas de aditivos aplicados.

Propiedades fisicoquímicas de los combustibles

Las propiedades de los combustibles utilizados se presentan en la Tabla 5. La adición de los aditivos aumentó el número de octano y disminuyó el valor de calentamiento de las mezclas, como se esperaba (Hernandez et al., 2014). El aumento relativo en el contenido de octano fue mayor para la gasolina con menor índice de octano inicial, como ha sido observado por otros autores (Frey y Eichenberger, 1997), bajo ese precepto según Prakash et al., (2016) con un combustible de octanaje más alto, es posible avanzar la sincronización de la chispa aún más para conseguir un par más alto para la misma cantidad de combustible inyectado. El par de torsión aumentado podría utilizarse ya sea hacia una aceleración más rápida o una economía de combustible mejorada en un punto de funcionamiento de motor dado.

La presión de vapor de Reid disminuyó cuando se añadió el aditivo líquido a gasolina extra, pero se mantiene cuando se añadió aditivo sólido a gasolina extra. Este comportamiento no ideal de las mezclas en función de la composición ha sido informado por otros también (Hernandez et al., 2014; Schifter et al., 2011). En general, las curvas de destilación se desplazaron a temperaturas más altas con la presencia de los aditivos, pues es normal que exista un cambio marginal.

Tabla 5: Propiedades físico químicas de los combustibles utilizados

Propiedades del combustible	Norma	Gasolina 87 octanos	Gasolina 87 octanos y aditivo sólido	Gasolina 87 octanos y aditivo líquido	Norma NTE INEN: 935:2012
Numero de octanos	ASTM D2699	88,3	88,4	89,7	87 min.
Curva de destilación	ASTM D88				
T ₁₀ – 10% evap., °C		50	52	56	70 max.
T ₅₀ – 50% evap., °C		99	98	100	77 – 121
T ₉₀ – 90% evap., °C		163	161	165	189 max.
Residuo %		98,5	99,4	98,8	98 min.
Presión vapor Reid, KPa	ASTM D4953	58,6	58,6	57,9	60 max.
Corrosión a la lámina de cobre (3h at 50°C)	ASTM D130	1	1	1	1
Contenido de azufre (ppm)	ASTM D7220	169	165.3	193.9	650 max.
Contenido de gomas (mg/cm ³)	ASTM D381	1	0,9	1	3 max.

Emisiones contaminantes

Los datos se procesan, tabula y analiza con la finalidad de determinar la validez de los datos y por ende de la prueba, mediante el uso de las ecuaciones 1, 2 y 3:

$$\chi = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{N} \quad (1)$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \chi)^2}{N} \quad (2)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \chi)^2}{N}} \quad (3)$$

Donde χ es la media aritmética o promedio; σ^2 es la varianza; σ es la desviación estándar; y N es el número de valores a ser analizados. Además, una vez realizados los cálculos, se utiliza las Gráficas de Control de Shewart para pocos datos, a fin de determinar si los valores obtenidos obedecen a un patrón, o son datos que se consideran “al azar” debido a factores externos a la prueba (Universidad Rovira I Virgili, 2015). Para el cálculo de los límites superior e inferior de la tolerancia de los valores, son utilizadas las ecuaciones 4 y 5, respectivamente; donde LS es el límite superior de tolerancia; y LI es el límite inferior de tolerancia:

$$LS = \chi + \frac{3\sigma}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

$$LI = \chi - \frac{3\sigma}{\sqrt{n}} \quad (5)$$

Las pruebas iniciales se realizan en condiciones de marcha mínima, requerida para mantenerlo funcionando sin carga, en neutro (para cajas manuales) y en parqueo (para cajas automáticas). Cuando no se disponga de la especificación del fabricante o ensamblador del vehículo, la condición de marcha mínima o ralentí se establecerá en un máximo de 1100 rpm (NTE INEN 2204, 2002); y la siguiente etapa de prueba se realiza con el motor acelerado en 2500 rpm de forma instantánea.

De las cinco repeticiones para cada condición de la prueba TIS se presenta el análisis de resultados de cada contaminante:

El monóxido de carbono (CO) se forma cuando un motor funciona con insuficiente oxígeno para convertir el carbono en dióxido de carbono, es decir, no existe la relación aire-combustible adecuada (Ramadhas et al., 2016). La concentración másica de oxígeno en el aire admitido disminuye con la altitud (Lapuerta et al., 2006). En la figura 4 se nota claramente las concentraciones de CO, en ralentí el aditivo sólido provoca una disminución de las emisiones respecto a la gasolina de alrededor del 41%, pero a 2500 rpm por el contrario se incrementan las emisiones alrededor de un 17 %; el aditivo líquido en ralentí reduce las emisiones respecto a la línea base de 59%, pero a 2500 rpm se comporta de forma similar a la línea base.

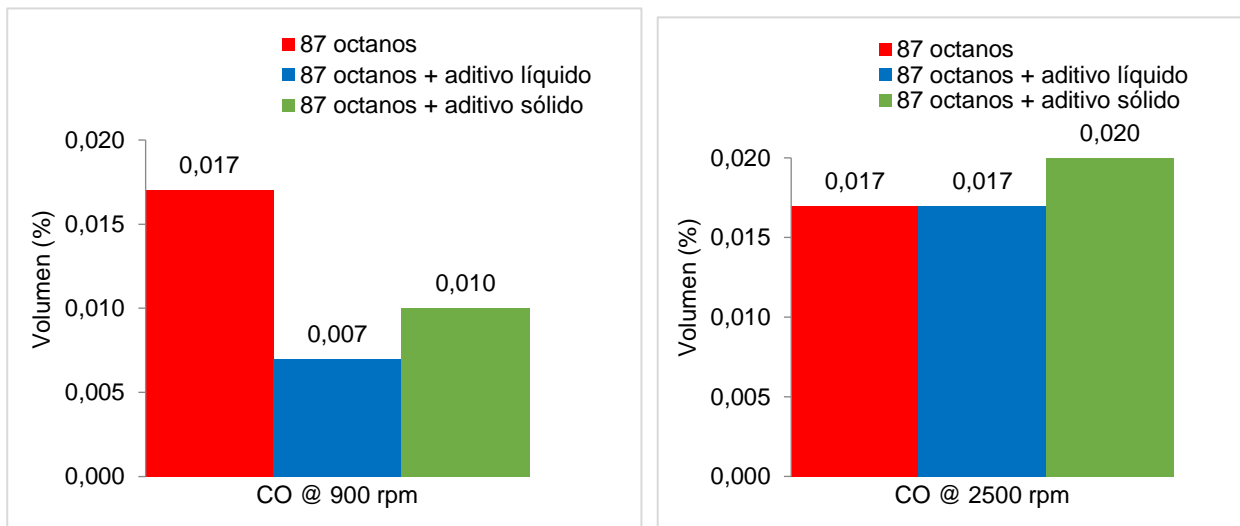


Fig. 4: Resultado del monóxido de carbono de las muestras

Los hidrocarburos (HC) son provocados por las siguientes causas: la combustión incompleta, el apagado de la llama cerca de las superficies de la cámara de combustión y la formación de depósitos en las paredes interiores de la cámara de combustión (Ramadhas et al., 2016). En la figura 5 se muestra las emisiones de HC, donde los valores en ralentí están en el rango de 6,667 ppm hasta 15,333 ppm; a estas revoluciones se evidencia una reducción de los HC, en el aditivo líquido 52,19 % y en el aditivo sólido 56,51 %. A 2500 rpm los valores están en el rango de 26,330 ppm hasta 29,330 ppm; el aditivo líquido presenta una reducción de 5,96 % y el aditivo sólido por el contrario presenta un incremento de 4,75 % en los HC. La norma NTE INEN 2204:2002, que especifica 200 ppm de HC como valor máximo en condición de ralentí.

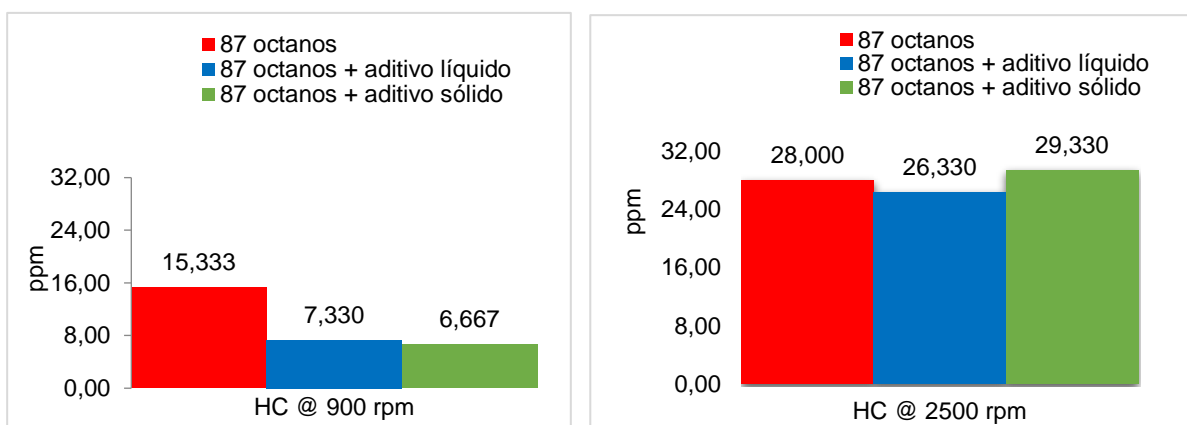


Fig. 5: Resultado de hidrocarburos de las muestras

Las emisiones de CO₂ del tubo de escape se considera como la energía de salida del motor, donde el funcionamiento del motor con combustibles que contienen carbono conducirá a emisiones de CO₂ (Tuner, 2016). En la figura 6 se muestra las emisiones de CO₂, donde los valores en ralentí están en el rango de 14,067 ppm hasta 14,800 ppm; a estas revoluciones se evidencia un incremento de CO₂, en el aditivo líquido 5,2 % y en el aditivo sólido 4,97 %. A 2500 rpm los valores están en el rango de 14,067 ppm hasta 14,767 ppm; el aditivo líquido presenta un incremento de 4,97 % y en el aditivo sólido de 4,5 % en los CO₂.

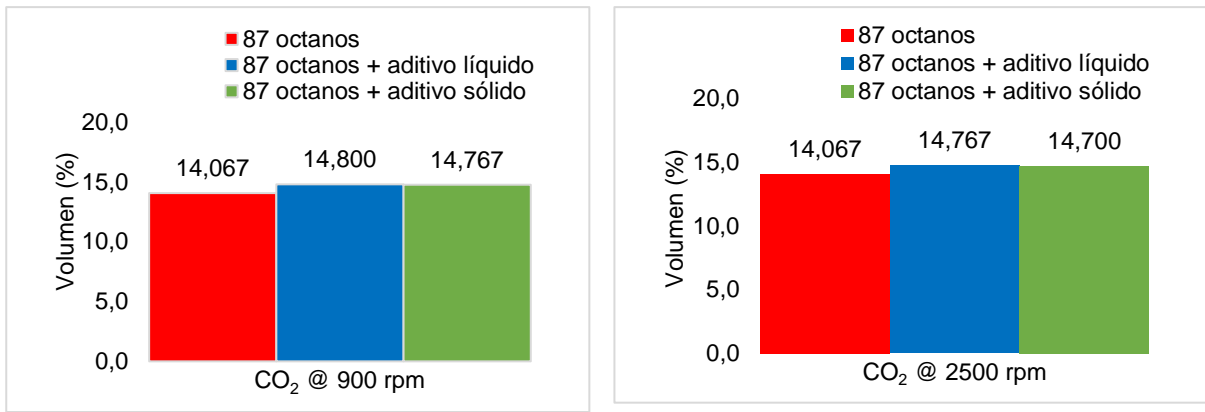


Fig. 6: Resultado del dióxido de carbono de las muestras

En la figura 7 se muestra las emisiones de O₂, donde los valores en ralentí están en el rango de 0,087 % V., hasta 0,233 % V., a estas revoluciones se evidencia un incremento de O₂ en el aditivo líquido de 52,28 % y por el contrario en el aditivo sólido una reducción de 43,13 %. A 2500 rpm los valores están en el rango de 0,133 % V. hasta 0,293 % V; el aditivo líquido presenta un incremento de 41,54 % y en el aditivo sólido una reducción de 35,75 % en el O₂.

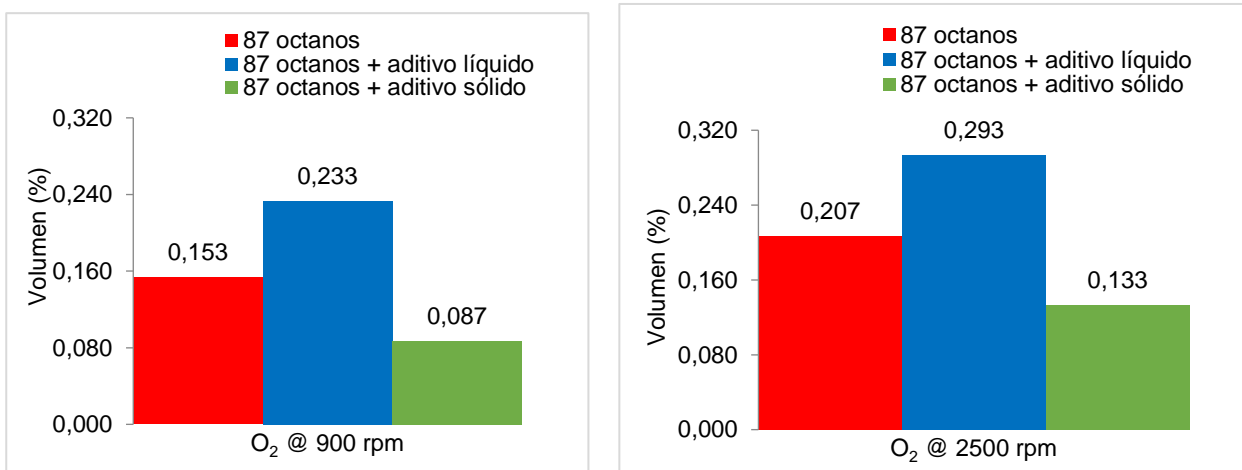


Fig. 7: Resultado de oxígeno en la prueba

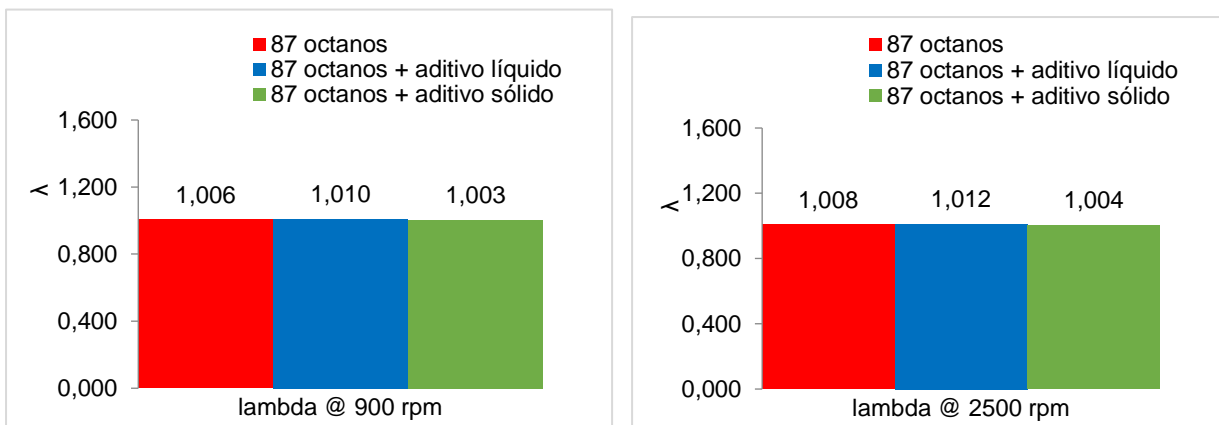


Fig. 8: Resultado del valor lambda de las muestras

El motor del vehículo tiende a mantener un valor de lambda muy cercano a 1, lo que explica que la mezcla estequiométrica de aire – combustible, se encuentra en la proporción correcta de 14,7:1, el sistema de inyección del vehículo está trabajando correctamente, y el uso de aditivos en el combustible no altera la operación normal del motor. En la figura 8, se observa el resultado de la relación estequiométrica, lambda para cada condición de prueba con cada muestra de combustible.

Consumo de combustible evaluado

En la figura 9, se indica consumo de combustible en las pruebas realizadas, en la mezcla con aditivo líquido, se obtiene 41,246 km/galón, de autonomía; mientras que en la mezcla con aditivo sólido, se presenta un valor de 41,878 km/galón, de autonomía. Se muestra un mejor desempeño del motor cuando trabaja con los aditivos en general.

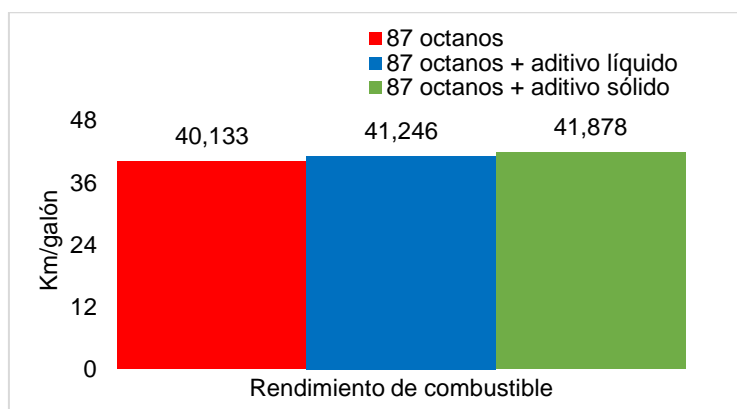


Fig. 9: Variación del consumo de combustible

CONCLUSIONES

De los resultados mostrados, de su análisis y de su discusión, se pueden obtener las siguientes conclusiones, sobre las emisiones y el consumo de combustible a 2800 m: 1) El aditivo líquido presenta el mayor efecto significativo para el CO a la condición de ralentí. Se obtiene una menor emisión de CO con el aditivo líquido de 59%, obteniendo una mejor combustión del motor en la mezcla de combustible de 87 octanos y aditivo líquido. Mientras para la mezcla con aditivo sólido a 2500 rpm presenta un incremento del 17%; 2) Respecto al oxígeno con el aditivo líquido a las dos condiciones de prueba existe incremento de 52,28 % y 41,54 % respectivamente. En la mezcla con aditivo sólido se evidencia una reducción a las condiciones de prueba de 43,13 % y 35,75 % en ralentí y a 2500 rpm respectivamente; 3) En las emisiones de HC se evidencia una reducción superior al 50% al usar los aditivos en la condición a ralentí. A 2500 rpm el aditivo líquido presenta una reducción de 5,96 % y el aditivo sólido por el contrario presenta un incremento de 4,75 % en los HC; 4) la prueba de consumo de combustible en una ruta mixta ciudad-carretera, se evidencia un incremento en el rendimiento del motor al aplicar los aditivos.

REFERENCIAS

AEADE, Anuario 2014, AEADE, EC (2014)

Andrada, P., M. Torrent, B. Blanqué y J.I. Perat, Accionamientos de Reluctancia Autoconmutados para Vehículos Eléctricos, *Información Tecnológica*, 16(5), 79-87 (2005)

Benajes, J. y E. Navarro, Clasificación de los MCIA. En: Payri, F.; Desantes, J. (Eds.), *Motores de combustión interna alternativos*, 1ª Edición, 3ª Reimpresión, 24-42, Editorial Reverté, Barcelona, España (2013)

Çelik, M., H. Solmaz y H.S. Yücesu, Examination of the effects of organic based manganese fuel additive on combustion and engine performance, *Fuel Processing Technology*, 139, 100-107 (2015)

Frey, H.C., Trends in onroad transportation energy and emissions, *Journal of the Air & Waste Management Association*, just-accepted (2018)

Frey, H.C. y D. Eichenberger, Remote Sensing of Mobile Source Air Pollutant Emissions: Variability and Uncertainty in On-Road Emissions Estimates of Carbon Monoxide and Hydrocarbons for School and Transit Buses. No. FHWA/NC/97-005. Center for Transportation Engineering Studies, Department of Civil Engineering, North Carolina State University, USA (1997)

Geng, P. y H. Zhang, Combustion and emission characteristics of a direct-injection gasoline engine using the MMT fuel additive gasoline, *Fuel*, 144, 380-387 (2015)

Google Maps, Ruta en carretera y ciudad, Google Maps, EC (2017)

Hernandez, M., L. Menchaca y A. Mendoza, Fuel economy and emissions of light-duty vehicles fueled with ethanol-gasoline blends in a Mexican City, *Renewable Energy*, 72, 236-242 (2014)

Hronec, M., K. Fulajtárova, T. Liptaj, N. Prónayová y T. Soták, Bio-derived fuel additives from furfural and cyclopentanone, doi:10.1016/j.fuproc.2015.06.036, *Fuel Process. Technol.*, 138, 564-569 (2015)

Lapuerta, M., O. Armas, J. Agudelo y C. Sánchez, Estudio del Efecto de la Altitud sobre el Comportamiento de Motores de Combustión Interna, *Información Tecnológica*, 17(5), 21-30 (2006)

- Lapuerta, M. y J. Hernández, Combustibles. En: Payri, F.; Desantes, J. (Eds.), Motores de combustión interna alternativos, 1ª Edición, 3ª Reimpresión, 390-413, Editorial Reverté, Barcelona, España (2013)
- Maha, Emission Tester; MGT5 Stand Alone, Maha, ES (2016)
- Mendoza, J.M., A.J. Bula, R.D. Gómez y L.A. Corredor, Análisis Exergético de la Gasificación de Biomasa, Información Tecnológica, 23(5), 85-96 (2012)
- Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, Balance Energético 2016, Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, Ecuador (2017)
- NTE INEN 2204:2002, Gestión Ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites Permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina, 1ª Ed., Instituto Ecuatoriano de Normalización (2002)
- OICA, Vehicles in Use, International Organization of Motor Vehicle Manufacturers, OICA, USA (2018)
- OMS, Fichas de las ciudades más contaminadas del Ecuador, El comercio, EC (2016)
- Prakash, A., R. Cracknell y otros seis autores, Understanding the octane appetite of modern vehicles, SAE International Journal of Fuels and Lubricants, 9(2016-01-0834), 345-357 (2016)
- Querol, X., A. Alastuey y otros cuatro autores, Monitoring of PM10 and PM2.5 around primary particulate anthropogenic emission sources, Atmospheric Environment, 35(5), 845-858 (2001)
- Ramadhass, A.S., P.K. Singh, P. Sakthivel, R. Mathai y A.K. Sehgal, Effect of Ethanol-Gasoline Blends on Combustion and Emissions of a Passenger Car Engine at Part Load Operations, SAE Technical Paper, 2016-28-0152 (2016)
- Rocha-Hoyos, J. y V. D. Zambrano, Análisis del funcionamiento del motor de encendido provocado, debido a la presencia de aditivos, Tesis de Magister, Dpto. Ing. Mecánica, EPN, Quito, Ecuador (2015)
- Rocha-Hoyos, J., L.E. Tipanluisa, S.W. Reina y C.R. Ayabaca, Evaluación del Sistema de Tracción en un Vehículo Eléctrico Biplaza de Estructura Tubular, Información Tecnológica, 28(2), 29-36 (2017)
- Schifter, I., L. Díaz, R. Rodríguez y L. Salazar, Oxygenated transportation fuels. Evaluation of properties and emission performance in light-duty vehicles in Mexico, doi: 10.1016/j.fuel.2010.09.034, Fuel, 90(2), 779-788 (2011)
- Tinaut, F. y J. López, Combustión en MEP. En: Payri, F., Desantes, J. (Eds.), Motores de combustión interna alternativos, 1ª Edición, 3ª Reimpresión, 538-577, Editorial Reverté, Barcelona, España (2013)
- Tipanluisa, L.E., A.P. Remache, C.R. Ayabaca y S.W. Reina, Emisiones Contaminantes de un Motor de Gasolina Funcionando a dos Cotas con Combustibles de dos Calidades, Información Tecnológica, 28(1), 03-12 (2017)
- Topgül, T., The effects of MTBE blends on engine performance and exhaust emissions in a spark ignition engine, Fuel Processing Technology, 138, 483-489 (2015)
- Tuner, M., Review and Benchmarking of Alternative Fuels in Conventional and Advanced Engine Concepts with Emphasis on Efficiency, CO₂, and Regulated Emissions. SAE Technical Paper, 2016-01-0882 (2016)
- Universidad Rovira I Virgili, General, Gráficas de Control de Shewart, Universidad Rovira I Virgili, ES (2015)