

Evaluación en ruta de las emisiones vehiculares en frío a 2850 msnm con oxigenación de gasolina a base de etanol

Edison Wilmer Calero^{a,b}, Helmer Edison Campoverde^b, Edilberto Llanes Cedeño^a, Santiago Celi^a, Diana Peralta^a, Juan Rocha-Hoyos^a

^a Facultad Arquitectura e Ingenierías /Carrera de Ingeniería Automotriz, Universidad Particular Internacional SEK

^b Tecnología/Escuela de Tecnología en Medición y Monitoreo Ambiental, Instituto Tecnológico Martha Bucaram de Roldos. ecalero.mdm@uisek.edu.ec, eddy_jaramillo1989@hotmail.com, antonio.llanes@uisek.edu.ec, santiago.celi@uisek.edu.ec, diana.peralta@uisek.edu.ec, carlos.rocha@uisek.edu.ec

Resumen—En la actualidad el uso de combustibles convencionales en el transporte es una de las causas fundamentales de la contaminación atmosférica. El objetivo de la investigación consistió en evaluar las emisiones vehiculares en frío en condiciones de altura (2 580 m) a partir de una ruta predeterminada con equipo de medición on board para la determinación del efecto oxigenación de gasolina a base de etanol sobre el factor de emisión. Se determinó el factor de emisión para tres vehículos (MAZD_2.2, CHER_2.0 y VOLK_1.8) con dos combustibles (extra y ecopais), en una prueba en ruta en condiciones de arranque en frío. Los resultados obtenidos demuestran que el uso del combustible etanol mejora el comportamiento referente al factor de emisión de CO y HC, pero no en relación a los NOx. Se concluye que existe diferencia significativa en el factor de emisión CO tanto para los vehículos como entre el uso de los combustibles, mientras que los HC y NOx no existe diferencia significativa en el uso del combustible, pero si entre los vehículos.

Palabras Claves—condiciones en frío, gases contaminantes, etanol, factor de emisión, altitud.

Abstract—Nowadays, a fundamental causes of air pollution is the use of conventional fuels in transport. The main purpose of research was aimed at evaluating the vehicle emissions in cold at (2 580m) altitude condition from a predetermined route, through on board measuring equipment is determined the oxygenation effect of ethanol based petrol over the emission factor. The emission factor was determined for three vehicles such us (MAZD_2.2, CHER_2.0 and VOLK_1.8) with two fuels (extra and ecopais), in road test under cold start conditions. The results show the use of ethanol fuel improves CO and HC emission factor performance, but not in relation to the NOx. In conclusion, is a significant difference in CO emission factor between the vehicles such us the use of fuels, meanwhile HC and NOx is not significant differences in the fuel use but, is meaningful between the vehicles.

Keywords—Cold conditions, polluting gases, ethanol, emission factor, altitude.

I. INTRODUCCIÓN

El bioetanol, conocido como etanol o alcohol etílico es proveniente de la caña de azúcar, ha sido ampliamente utilizado como combustible o como potenciador de la gasolina ya que mejora la oxidación de los hidrocarburos y con ello la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Este es un aditivo que aumenta el octanaje en la gasolina [1]. Etanol mezclado con la gasolina aumenta el consumo linealmente a la mezcla utilizada y la emisión de CO₂ a la atmósfera decrece cúbicamente con el aumento de

la proporción de etanol en la mezcla utilizada [2, 3, 4].

Sierra [5] obtiene que los mayores consumos de combustibles en el Ecuador se concentran en el transporte de carga de mercancías pesadas, seguida de los vehículos livianos, incidiendo en las emisiones de gases de efecto invernadero con 14.3 millones de toneladas de CO₂ en el 2012. En este mismo año se reporta que la contaminación atmosférica causó la muerte prematura de aproximadamente 3.7 millones de personas a nivel mundial [6, 7, 8].

Hernández [3] en su investigación sobre la evaluación de la economía del combustible y emisiones en ruta en la ciudad de México, aporta a la metodología para la determinación de los factores de emisiones, sin embargo, en Quito – Ecuador por sus condiciones de altura no se reportan trabajos sobre emisiones en ruta con gasolina a base de etanol y su efecto en los catalizadores de los vehículos durante el funcionamiento en frío. Por lo tanto, constituye la primera aproximación sistemática al problema, midiendo las emisiones en el camino y procesándolas para obtener factores de emisión de diversos contaminantes [9]. Esto en un ciclo de conducción en ruta durante las condiciones reales de conducción, algunas de las cuales son muy difíciles de reproducir a nivel de laboratorio [10]; los resultados obtenidos de estos ciclos de conducción, suponen una gran influencia sobre el vehículo, a grandes alturas como es la ciudad de Quito.

La determinación de los factores de emisión vehicular se ha basado en experimentos dinamométricos siguiendo ciclos de conducción estándar [11]. Estos experimentos permiten estudiar factores de emisión en varias condiciones experimentales: tipos de vehículos (ligeros y pesados), características (marca, edad, kilometraje, etc.), combustible (gasolina y diesel), entre otros. Esto ha permitido la determinación de una amplia gama de factores de emisión para contaminantes individuales y su dependencia con las condiciones de operación [12, 13, 14].

Guasgua, Campaña, y Paredes [15], en su investigación experimentaron varias gasolinas comercializadas en la Comunidad Andina en un vehículo Chevrolet modelo Sail, determinado la medición de los gases de combustión por medio de pruebas estáticas bajo la norma NTE INEN 2203:1999 y pruebas dinámicas según los ciclos americanos ASM 25/25 y 50/15, concluyéndose que para los combustibles analizados todos cumplen con la normativa.

La norma ecuatoriana NTE INEN 2204:2002, establece

los límites para factores de emisión de fuentes móviles para autos livianos con motor a gasolina (prueba dinámica) en modelos de auto a partir del 2000 con el ciclo americano (FTP – 75) de: 2.10 g/km CO, 0.25 g/km HC y 0.62 g/km NOx [16]. Sin embargo, estos métodos no reproducen la realidad en la circulación del vehículo sometido a los cambios de temperatura, humedad, presencia de lluvias, entre otros.

Por lo expuesto se ha planteado evaluar las emisiones vehiculares en frío en condiciones de altura (2 580 m) a partir de una ruta predeterminada con equipo de medición *on board* para la determinación del efecto oxigenación de gasolina a base de etanol sobre el factor de emisión.

II. MÉTODO

En el estudio se aplica una investigación cuantitativa para evaluar el comportamiento de los gases producto de la combustión y la comparativa de los factores de emisión para la gasolina extra como línea base con la gasolina ecopaís en la ciudad de Quito en condiciones de ruta.

A. Caracterización del combustible

Las mezclas de combustibles utilizados en el experimento fueron dos, gasolina extra y ecopaís (etanol 5%). En la Tabla I se muestra el número de octanos de las mismas.

TABLA I
NÚMERO DE OCTANOS COMBUSTIBLES APLICADOS

Propiedad combustible	NTE INEN:935:2012	Gasolina Extra	Gasolina Ecopaís
Número de octanos	87 mín.	88.3	85.1
Densidad (kg/m ³)	-	748	745

B. Caracterización de los vehículos

En la Tabla II, se muestran los 3 vehículos utilizados, estos responden a una muestra de los vehículos más representativos del parque automotor de la ciudad de Quito. Se realizan 10 pruebas por cada vehículo en frío por la ruta definida (5 pruebas con extra y 5 pruebas con mezcla de combustible etanol), considerando que para esta prueba los vehículos van a estar en reposo entre 10 y 12 horas para que los sistemas del motor y el catalizador se encuentren completamente fríos.

TABLA II
CARACTERIZACIÓN DE LOS VEHÍCULOS

Marca	Modelo	c.c.	Potencia (hp@rpm)	ϵ
VOLKSWAGEN	Gol	1.8	99 @ 5 250	10.8:1
CHEVROLET	Gran Vitara	2.0	126 @ 6000	9.3:1
MAZDA	BT-50	2.2	101 @ 4500	9.2:1

C. Caracterización de la ruta.

La característica principal de la ruta escogida inicia en el puente 5 ubicado en la Av. Rumiñahui para continuar a través de Av. Rumiñahui, Pichincha, Av. Gran Colombia, Av. 12 de octubre, Av. Patria, Av. Pérez Guerrero, Av. América, Av. Colón finalizando en el redondel de la Plaza

Artigas. Recorriéndose una distancia de 7 993 m de parte suburbana y 7 680 m de parte urbana, con una longitud total de 15 673 m. Se obtienen alrededor de 63 detenciones, una velocidad promedio de 19.2 km/h, y un tiempo total de 2 889 s. Cuando se trata de grandes alturas sobre el nivel del mar es importante señalar que se inicia a una altura de 2 619 m, mientras que en el sector del trébol punto intermedio de la ruta se está a 2 755 m, señalándose que el punto más alto en la ruta es de 2 877 m [17]. En la Fig. 1 se presenta el perfil de la ruta.



Fig. 1. Ejemplo Perfil de elevación de la ruta recorrida en Quito [17].

D. Caracterización de las emisiones

Para la medición de los gases de escape se emplea el equipo *on-board* de marca Axion modelo OEM-2100AX, el cual brinda información sobre las concentraciones volumétricas producidas, a través de la conexión al vehículo por el puerto de datos OBD2. Al obtener los volúmenes de contaminantes, se procede a la determinación de los factores de emisión, este se puede expresar en términos frecuentemente utilizados como: gr/kWh o gr/km [18]. Para el cálculo de los factores de emisión se utiliza la siguiente ecuación general [9].

$$EF = EF' \cdot \delta_{COMB} \cdot FC \quad (1)$$

donde EF' es el Factor del contaminante en gramos, δ es la densidad del combustible (kg/m³), FC es el Consumo de combustible por distancia recorrida L/km.

Se realizan comparativas estadísticas de los resultados obtenidos, para lo cual se emplea el software STATGRAPHICS Centurion XVI, formándose un diseño multifactorial.

III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Según González y Fernández [19], establece que el valor límite del CO₂ es del 13 % con el factor lambda ($\lambda = 1$) hasta que el convertidor catalítico llegue a su temperatura óptima de 400 °C. En el caso del vehículo MAZD_2.2 se estabiliza en el rango eficiente cercano al 13 % CO₂ con el uso de los dos combustibles como se visualiza en la Fig. 2.

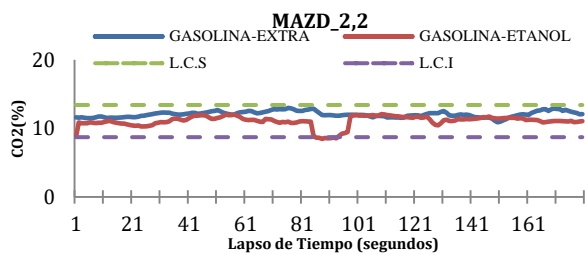


Fig. 2. Gas de escape (%) durante la prueba en frío usando combustible de etanol-gasolina extra

A. Factor de emisión de combustible extra y etanol en frío.

El factor de emisión CO, entre los dos combustibles y los tres vehículos de estudio, manifiesta que el uso del combustible con mezclas de etanol en el vehículo MAZD_2.2 tiene el valor más alto en emisiones de CO, “las lecturas elevadas de CO indican una situación de mezcla rica y son un indicador de combustión incompleta atribuible al estado de mantenimiento de los vehículos automotores” [20], pero tiene un mejor resultado en los vehículos CHER_2.0 y VOLK_1.8 frente al uso del combustible extra. En todos los casos se sobrepasan los valores máximos de 2.10 g/km estipulado por la norma INEN [16].

En la Tabla III, se verifica que existe diferencia significativa entre los tres vehículos y los dos combustibles siendo el CHER_2.0 el de mejor comportamiento, estos resultados coinciden con estudios realizados por D’Angelo [9] donde menciona que existe diferencia significativa de factores de emisión CO, en el uso de combustible de etanol y extra.

TABLA III
PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS EN FACTOR DE EMISIÓN DE CO

Vehículos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
CHER_2,0 ETAN CO	5	5,456	X
MAZD_2,2 EXT CO	5	11,555	X
CHER_2,0 EXT CO	5	14,861	X
VOLK_1,8 ETAN CO	5	24,960	X
VOLK_1,8 EXT CO	5	27,047	X
MAZD_2,2 ETAN CO	5	33,046	X

El factor de emisión de NOx más bajo con etanol se tiene en el vehículo CHER_2.0 y la más alta en el vehículo VOLK_1.8, por otro lado, la emisión de NOx más baja con extra en frío la tiene el vehículo CHER_2.0 y la más alta el vehículo VOLK_1.8. El uso de combustible etanol aumenta el factor de emisión en los vehículos CHER_2.0 y VOLK_1.8 en comparación con el uso de gasolina extra, mientras que en el vehículo MAZD_2.2 provoca una disminución. Respeto a lo establecido por la norma INEN [16], que para el NOx es de 0.25 g/km solo cumple el CHER_2.0 con extra.

En la Tabla IV, se aplica un procedimiento de comparación múltiple de media, donde se observa que el catalizador de los vehículos se comporta con respecto al factor de emisión del NOx de igual manera, indistintamente del combustible empleado, sin embargo, existe diferencia significativa entre los modelos de los vehículos obteniéndose los mejores resultados en el CHER_2.0; estos resultados están alineados al estudio realizado por

Hernández, et al. [3], donde menciona que no existe diferencia significativa de factores de emisión NOx, en el uso de combustible de etanol y extra.

TABLA IV
PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS EN FACTOR DE EMISIÓN DE NOX

Vehículos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
CHER_2,0 EXT NOx	5	0,179	X
CHER_2,0 ETAN NOx	5	0,323	X
MAZD_2,2 ETAN NOx	5	0,644	X
MAZD_2,2 EXT NOx	5	0,672	X
VOLK_1,8 EXT NOx	5	0,939	X
VOLK_1,8 ETAN NOx	5	1,081	X

Los valores de HC de la prueba en frío con mezcla de combustible etanol y extra presentan los mejores resultados en CHER_2.0 y VOLK_1.8 al usar combustible etanol, mientras el vehículo MAZD_2.2 tiene mejor resultado al usar combustible extra. Se observa que el vehículo con mayores emisiones es el VOLK_1.8 con combustible extra. El CHER_2.0 cumple con lo establecido por la INEN [16] para ambos combustibles obteniéndose los mejores resultados con el etanol, el resto de los vehículos no cumplen por superar los 0.62 g/km referido por la noma.

En la Tabla V, se muestra el resultado al aplicar el Test LSD (*Least significant difference*) de Fisher, en referencia al factor de emisión HC de los tres vehículos de muestra, utilizando los combustibles de etanol y extra en pruebas en frío, se observa que entre CHER_2.0 ETAN HC y CHER_2.0 EXT HC no existe diferencia significativa, de la misma forma que para el VOLK_1.8 ETAN HC y VOLK_1.8 EXT HC; finalmente la evaluación en referencia al catalizador MAZD_2,2 EXT HC y MAZD_2,2 ETAN HC si existe diferencia significativa. Schifer et al. [20] menciona que al utilizar mezclas de etanol las emisiones de HC tienen una disminución del 25 al 35 %, coincidiendo con los resultados obtenidos en la investigación.

TABLA V
PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS EN FACTOR DE EMISIÓN DE HC

Vehículos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
CHER_2,0 ETAN HC	5	0,207	X
CHER_2,0 EXT HC	5	0,457	XX
MAZD_2,2 EXT HC	5	0,689	X
MAZD_2,2 ETAN HC	5	1,071	X
VOLK_1,8 ETAN HC	5	1,493	X
VOLK_1,8 EXT HC	5	1,655	X

IV. CONCLUSIONES

Se concluye que existe diferencia estadísticamente significativa en el factor de emisión CO tanto para los vehículos como entre el uso de los combustibles, mientras que los HC y NOx no existe diferencia significativa en el uso del combustible, pero si entre los vehículos. Los resultados indican que no se cumple con la normativa NTE INEN 2204:2002. Se determinó que los mejores resultados entre los tres vehículos experimentados es el CHER_2.0 con los factores de emisión CO y HC para la gasolina ecopaís, mientras que para el NOx fue con el uso de la gasolina extra. En el estudio realizado se determinó que el combustible etanol (ecopaís) tiene mejores resultados en

factores de emisión CO y HC en comparación con la gasolina extra, mientras la gasolina extra mantuvo mejor resultado referente a los NOx medidos en frío.

REFERENCIAS

- [1] H.A. Dabbagh, F. Ghobadi, M.R. Ehsani, y M. Moradmand, "The influence of ester additives on the properties of gasoline", *Fuel*, vol. 104, pp.216-223, Jun. 2013.
- [2] J.C. Solís Ávila, y C. Sheinbaum Pardo, "Consumo de energía y emisiones de CO₂ del autotransporte en México y escenarios de mitigación", *Revista internacional de contaminación ambiental*, vol. 32, no. 1, pp.7-23. 2016.
- [3] M. Hernandez, L. Menchaca, A. Mendoza, "Fuel economy and emissions of light-duty vehicles fueled with ethanol-gasoline blends in a Mexican City", *Ren. Energy*, vol.72 pp. 236-242, Dec. 2014.
- [4] J.E. Pachon, H. Sarmiento, y T. Hoshiko, "Temporal and spatial variability of particle-bound polycyclic aromatic hydrocabons in Bogota, Colombia", *Air Quality, Atmosphere & Health*, vol. 7, no. 4, pp. 567-576, 2014.
- [5] J.C. Sierra. "Estimating road transport fuel consumption in Ecuador," *Energy Policy*, vol 92, pp. 359-368, 2016.
- [6] D. Vega, L. Ocaña, R.P. Narváez, "Inventario de emisiones atmosféricas del tráfico vehicular en el Distrito Metropolitano de Quito. Año base 2012," *A. Ciencias e Ing.*, vol. 7, no. 2, Dec. 2015.
- [7] S. Wang, C. Ji, B. Zhang, X. Cong, and X. Liu, "Effect of CO₂ dilution on combustion and emissions characteristics of the hydrogen-enriched gasoline engine," *Energy*, vol. 96, pp.118-126, 2016.
- [8] J.C. Rocha-Hoyos, L. Tipanluisa, S.W. Reina, & C.R. Ayabaca, "Evaluación del Sistema de Tracción en un Vehículo Eléctrico Biplaza de Estructura Tubular," *Info. Tecn.*, vol. 28, no. 2, pp.29-36, Apr. 2017.
- [9] M. D'Angelo, A.E. González, N.R. Tizze, "First approach to exhaust emissions characterization of light vehicles in Montevideo, Uruguay", *Science of The Total Environment.*, Nov. 2017.
- [10] V. Franco, F.P. Sánchez, J. German, P. Mock, "Real-world exhaust emissions from modern diesel cars", *Communications*, vol. 49, no. 30, pp. 847129-102, 2014.
- [11] WEISS, Martín, et al. "On-road emissions of light-duty vehicles in Europe," *Environmental science & technology*, vol. 45, no 19, p. 8575-8581, 2011.
- [12] AIT-HELAL, W., et al. "On-road measurements of NMVOCs and NOx: Determination of light-duty vehicles emission factors from tunnel studies in Brussels city center," *Atmospheric Environment*, vol. 122, p. 799-807, 2015.
- [13] PARK, Seong Suk, et al. "Emission factors for high-emitting vehicles based on on-road measurements of individual vehicle exhaust with a mobile measurement platform". *Journal of the Air & Waste Management Association*, vol. 61, no 10, p. 1046-1056, 2011.
- [14] WU, Ye, et al. "On-road vehicle emissions and their control in China: A review and outlook". *Science of The Total Environment* , vol. 574, p. 332-349, 2017.
- [15] GUASGUA, Jaime Fernando Antamba; CAMPAÑA, Guillermo Gorky Reyes; PAREDES, Miguel Estuardo Granja. "Estudio comparativo de gases contaminantes en un vehículo M1, utilizando gasolina de la Comunidad Andina," *Enfoque UTE*, vol. 7, no 3, p. 110-119, 2016.
- [16] INEN, N. Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina. 2002.
- [17] E.F. Pisuña, J.M. Solís, "Desarrollo de ciclos de conducción en ciudad, carretera y combinado para evaluar el rendimiento real del combustible de un vehículo con motor de ciclo Otto en el Distrito Metropolitano De Quito", Master's thesis, EPN, Quito, 2017.
- [18] H.C. Frey, A. Unal, N.M. Roupail, J.D Colyar, "On-road measurement of vehicle tailpipe emissions using a portable instrument" *J. Air & Waste Ma. Assoc.*, vol. 53, no. 8, pp. 992-1002, Aug. 2003.
- [19] F.P. González, J.M. Fernández, Motores de combustión interna alternativos. Universitat Politècnica de València, 1st Ed., 2011.
- [20] I. Schifter, L. Díaz, R. Rodríguez, L. Salazar, "Assessment of Mexico's program to use ethanol as transportation fuel: impact of 6% ethanol-blended fuel on emissions of light-duty gasoline vehicles" *Environ. Monit. Assess.*, vol. 173, no. 1-4, pp. 343-360, Feb. 2011.