

## **Evaluación de emisiones de gases en un vehículo liviano a gasolina en condiciones de altura. Caso de estudio Quito, Ecuador**

### **(Evaluation of gas emissions in light gasoline vehicles in height conditions. Case study Quito, Ecuador)**

Edilberto Antonio Llanes Cedeño<sup>1</sup>, Juan Carlos Rocha-Hoyos<sup>1</sup>, Diana Belén Peralta Zurita<sup>1</sup>, Julio César Leguísamo Milla<sup>1</sup>

#### **Resumen:**

En la actualidad es muy importante estimar la aportación del parque vehicular en los inventarios de emisiones contaminantes para la ciudad de Quito debido a su característica geográfica que la ubica en una altura sobre los 2810 m. En esta investigación se evalúan los factores de emisión en ruta de tres combustibles utilizados principalmente por vehículos livianos en el Ecuador; gasolina Súper con 93 octanos; gasolina Extra con 87 octanos; y gasolina Ecopaís (gasolina Extra y un 5 % de bioetanol). Se utilizó un vehículo Chevrolet Aveo 1.6 L instrumentado con un sistema *on-board* para obtener información de las emisiones contaminantes y el consumo total de combustible en una ruta predeterminada de 12 km, a velocidad promedio de 40 km/h. Se utilizó el modelo simplificado de combustión para desarrollar un balance de masa respecto a la cantidad de carbono presente en el combustible, y así obtener los factores de emisión ( $FE_i$ ) en gramos de contaminante por kilómetro recorrido. Los resultados obtenidos son: gasolina Extra: CO 3.194 g/km, HC 0.060 g/km y NOx 0.142 g/km; gasolina 92 Súper: CO 4.770 g/km, HC 0.099 g/km y NOx 0.281 g/km; y gasolina Ecopaís: CO 5.939 g/km, HC 0.082 g/km y NOx 0.279 g/km.

**Palabras clave:** altura; consumo de combustible; emisiones contaminantes; factor de emisión; en ruta.

#### **Abstract:**

At present it is very important to estimate the contribution of the vehicle fleet in the inventories of polluting emissions for the city of Quito due to its geographical characteristic that places it at a height above 2810 m. In this research, the emission factors en route of three fuels used mainly by light vehicles in Ecuador are evaluated; Super gasoline with 93 octane; Extra gasoline with 87 octanes; and Ecopaís gasoline (Extra gasoline and 5% bioethanol). A Chevrolet Aveo 1.6 L vehicle was used, instrumented with an on-board system to obtain information on pollutant emissions and total fuel consumption in a pre-determined route of 12 km, at an average speed of 40 km/h. The simplified combustion model was used to develop a mass balance with respect to the amount of carbon present in the fuel, and thus obtain the emission factors ( $FE_i$ ) in grams of pollutant per kilometer traveled. The results obtained are: Extra gasoline: CO 3.194 g/km, HC 0.060 g/km and NOx 0.142 g/km; Gasoline 92 Super: CO 4.770 g/km, HC 0.099 g/km and NOx 0.281 g/km; and Ecopaís gasoline: CO 5.939 g/km, HC 0.082 g/km and NOx 0.279 g/km.

**Keywords:** height; fuel consumption; pollutant emissions; emission factor; on road.

---

<sup>1</sup> Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador ( {antonio.llanes, carlos.rocha} @uisek.edu.ec ).

## 1. Introducción

Las emisiones vehiculares contribuyen sustancialmente a los inventarios nacionales y locales de emisiones de hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y monóxido de carbono (CO), tienen un serio impacto en la salud pública por su concentración de contaminantes atmosféricos en el aire capitalino. En el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) en el Ecuador, lo anteriormente referenciado se puede relacionar a un mayor efecto de los arranques en frío, pues las mayores concentraciones se las encuentran en las horas y meses con menores temperaturas (WHO, 2016). Una de las principales fuentes de contaminantes atmosférico son las fuentes móviles (vehículos a gasolina y a diésel), lo cual ha motivado que a nivel mundial se establezcan normas que regulan el nivel de contaminación vehicular según su año de fabricación, sistema de alimentación y tipo de combustible.

La contaminación aérea por material particulado afecta negativamente la calidad del aire y la salud de las personas (Rojano, Mendoza, Arregoces, y Restrepo, 2016). De hecho, tal como lo señalan las investigaciones, esta contaminación en las ciudades está ligada directamente a las actividades antropogénicas donde se conjugan el transporte vehicular, la actividad y el microclima característico de las urbes (Belis et al., 2013). Además, de acuerdo con los análisis de la Organización Mundial de la Salud (OMS) 2012 - 2013, las ciudades del Ecuador sobrepasan los niveles internacionales de contaminación (El comercio, 2016; Rocha-Hoyos, Tipanluisa, Reina, y Ayabaca, 2017). En el informe de calidad del aire en Quito, se plantea que no se han registrado superaciones a la Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire (NECA) durante el año 2015, sin embargo, la concentración máxima promedio de 1 hora fue de 10 mg/m<sup>3</sup> en febrero en la estación Los Chillos, 60 % mayor a la máxima alcanzada en el 2014; la máxima promedio en 8 horas fue de 3.7 mg/m<sup>3</sup> registrada en la estación Centro en febrero con un 15 % mayor a la alcanzada en el 2014 (Rocha et al., 2017; Secretaria del Ambiente DMQ, 2016).

Los factores de emisión del automóvil se han basado en experimentos dinamométricos siguiendo ciclos de conducción estándar (Weiss, Bonnel, Hummel, Provenza, y Manfredi, 2011). Estos experimentos permiten estudiar factores de emisión en varias condiciones experimentales: tipos de vehículos (ligeros y pesados), características (marca, edad, kilometraje, etc.), combustible utilizado (gasolina y diesel), entre otros. Esto permitió la determinación de una amplia gama de factores de emisión para contaminantes individuales y su dependencia con las condiciones de operación (Ait-Helal et al., 2015; Park et al., 2011; Wu et al., 2017).

Guasgua, Campaña, y Paredes (2016), experimentan varias gasolinas comercializadas en la Comunidad Andina en un vehículo Chevrolet modelo Sail, efectuando la medición de los gases contaminantes 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, determinándose que para los combustibles analizados todos cumplen con la normativa. 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.

En el Ecuador, se emplean diferentes gasolinas las cuales se designan en función de su número de octano como la denominada Extra (87 octanos) y la gasolina Súper, equivalente al combustible Premium con 93 octanos, no obstante, existe actualmente en el país un biocombustible a base de combustible Extra y 5 % de bioetanol a base de caña de azúcar, denominado Ecopaís. Este combustible tiene las propiedades similares a la base del Extra salvo por la adición del bioetanol como alternativa a combustibles no fósiles; el mismo se comercializa en zonas a nivel del mar.

A partir de los antecedentes ya mencionados, la presente investigación tiene como objetivo principal, evaluar los factores de emisión en ruta de tres combustibles utilizados principalmente por vehículos livianos en el Ecuador (gasolina Súper con 93 octanos; gasolina Extra con 87 octanos y gasolina Ecopaís) mediante la instalación de estación *on-*

*board* de emisiones y ruta de carretera para la determinación del comportamiento de cada combustible a 2610 msnm.

## 2. Metodología

Para la realización del estudio fue necesario seleccionar previamente el vehículo, para lo cual se tuvo como referencia la estadística del Anuario de la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador- AEADE (2017), donde el vehículo AVEO EMOTION 1.6 L 4P GLS es el más vendido (70 % de ventas) en la provincia de Pichincha, Quito. Se seleccionó una ruta de carretera previamente caracterizada, para luego proceder a la toma de emisiones *on-board*.

### 2.1. Vehículo de prueba

La selección del vehículo es en base a las características del parque automotor del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), que se considera el más representativo en automotores. En la *Tabla 1* se detallan las características del vehículo seleccionado, el mismo posee sistemas de inyección electrónica multipunto. Para determinar el consumo de combustible, se emplea un tanque de presión de combustible que consta de mangueras de ingreso y retorno.

**Tabla 1.** Características del vehículo de prueba

Modelo del vehículo	Transmisión	Kilometraje	Cilindrada [L]	Potencia kW/rpm	Relación de Compresión
2011 Chevrolet Aveo emotion 1.6L 4P GLS	Manual	109730	1.6	76.81@6000	9.5:1

### 2.2. Estimación de factores de emisión

#### 2.2.1. Circuito carretera

Para la realización del experimento se selecciona la ruta de carretera por la avenida Simón Bolívar en Quito, Ecuador; el punto de partida comienza en el redondel de Llano Chico sentido norte circunvalando el redondel de Carapungo hacia el redondel de Zámiza para finalmente retornar al punto de inicio, con un recorrido total de 12 kilómetros. Se realiza un levantamiento completo de altura, distancias y tiempos característicos de la ruta para mantener la velocidad promedio de 40 kilómetros por hora (Hernández, Menchaca, y Mendoza, 2014).

En la *Figura 1*, se muestra el levantamiento del mapa satelital con escala 1000:2 de la ruta seleccionada, donde el promedio de elevamiento es de 2 610 msnm.

#### 2.2.2. Sistema de adquisición de datos de emisión portable

Para la medición de los gases de escape se emplea el equipo *on-board* de marca Axion modelo OEM-2100AX (ver *Tabla 2*), el cual brinda información sobre las concentraciones volumétricas producidas a través de la conexión al vehículo por el puerto de datos OBD2.

En la *Figura 2*, se muestra el equipamiento empleado y su instalación en el vehículo experimental.



**Figura 1.** Recorrido de la prueba de carretera

**Tabla 2.** Características técnicas del equipo 2100AX (Global MRV, 2017)

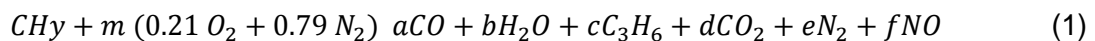
TIPO	RANGO DE MEDICIÓN	PRECISIÓN	RESOLUCIÓN
Medición de O2 (Sensor)	Mayor o igual de (0.01 a 25% Vol.)	Mayor o igual a $\pm 0.1\%$ abs.	Mayor o igual a 0.01% Vol.
Medición de CO (NDIR)	Mayor o igual de (0.001 a 10% Vol.)	Mayor o igual a $\pm 0.02\%$ abs.	Mayor o igual a 0.001% Vol.
Medición de NOx (Sensor)	Mayor o igual de (0 a 4000 ppm)	Mayor o igual a $\pm 25$ ppm abs.	Mayor o igual a 1 ppm
Medición de CO2 (NDIR)	Mayor o igual de (0.01-16% Vol.)	Mayor o igual a $\pm 0.30\%$ abs.	Mayor o igual a 0.01% Vol.
Medición de HC (NDIR)	Mayor o igual de (1 a 15000 ppm)	Mayor o igual a $\pm 4$ ppm abs.	Mayor o igual a 1 ppm



**Figura 2.** Instalación *on-board* del equipo de medición de emisiones Axion OEM-2100AX

### 2.2.3. Estimación de factores de emisión

El modelo simplificado de combustión representa la conversión de la mezcla aire-combustible en sus principales productos según la *Ecuación 1*, donde las variables a, b, c, d, e, f y m son coeficientes estequiométricos desconocidos y definidos en moles formados por mol de combustible consumido; en vista que el CO<sub>2</sub>, CO y HC son resultados de la combustión que contienen carbono, es posible desarrollar un balance de masa respecto a la cantidad de carbono presente en el combustible y en estos tres productos de la combustión. Los productos se consideran como base para el análisis de las emisiones y las características medias de los combustibles, por tanto, del balance de masa para el carbono se puede escribir como la *Ecuación 1 y 2* (Frey, Unal, Roupail, y Colyar, 2003; Frey y Eichenberger, 1997).



$$1 = a + 3c + d \quad (2)$$

Los contaminantes genéricos son medidos en el tubo de escape y se analizan según la *Ecuación 3*, donde: R<sub>CO</sub> es la relación de CO respecto a CO<sub>2</sub> en porcentaje y R<sub>HC</sub> es la relación de HC respecto a CO<sub>2</sub> en porcentaje. El equipo de medición de gases entrega datos segundo a segundo sobre una base de volumen de todos los resultados de la combustión, y aplicando las relaciones anteriores se obtiene la porción de CO<sub>2</sub>, presentada en la *Ecuación 3*:

$$d = \frac{1}{R_{CO} + 3R_{HC} + 1} \quad (3)$$

Mediante la *Ecuación 4* se determinan los factores de emisión ( $FE_i$ ) en gramos de contaminante por kilómetro recorrido, donde el subíndice  $i$  se relaciona con los contaminantes CO, HC y NO<sub>x</sub>,  $MW_{comb}$  al peso molecular equivalente del combustible,  $MW_i$  al peso molecular equivalente de los contaminantes,  $\rho_{comb}$  es la densidad del combustible en g/m<sup>3</sup> y  $c.c.$  es el consumo de combustible por distancia recorrida en m<sup>3</sup>/km (Frey y Eichenberger, 1997; Franco et al., 2013).

$$FE_i = \frac{R_i}{R_{CO} + 3R_{HC} + 1} \times \frac{MW_i}{MW_{comb}} \times \rho_{comb} \times c.c.; [g/km] \quad (4)$$

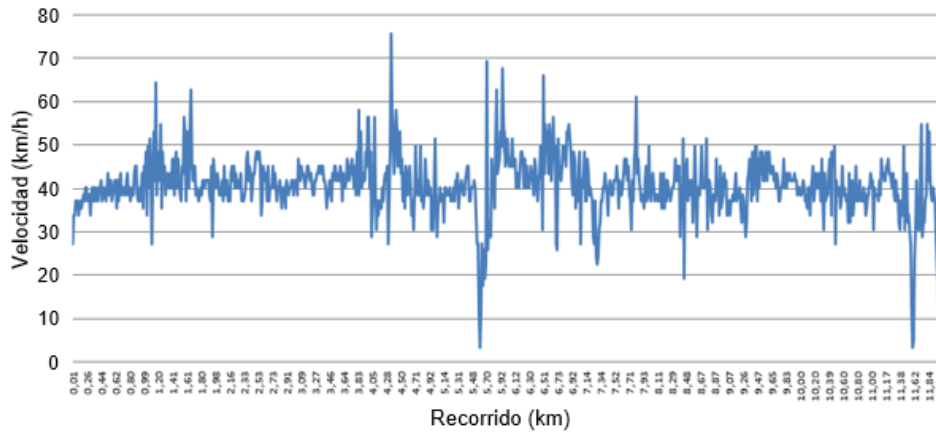
## 3. Resultados y Discusión

A partir de las mediciones en la ruta seleccionada, se obtuvo el perfil de velocidad el cual permitió evaluar que las condiciones asignadas al experimento fueran cumplidas.

En la *Figura 3*, se presentan los datos de velocidades por distancia de la ruta, donde se observa la variación de la velocidad debido a las condiciones externas como son: tráfico, redondeles o eventos en la ruta no programados. Estos se ven reflejados en la variación de la figura con máximos y mínimos entre 70 y prácticamente 0 km/h. Sin embargo, se observa una línea de tendencia adecuada alrededor de los 40 km/h velocidad ideal de la prueba.

### 3.1. Propiedades físico químicas de los combustibles

En la *Tabla 3* se presentan las propiedades de los combustibles experimentados para su aplicación en el vehículo de prueba.



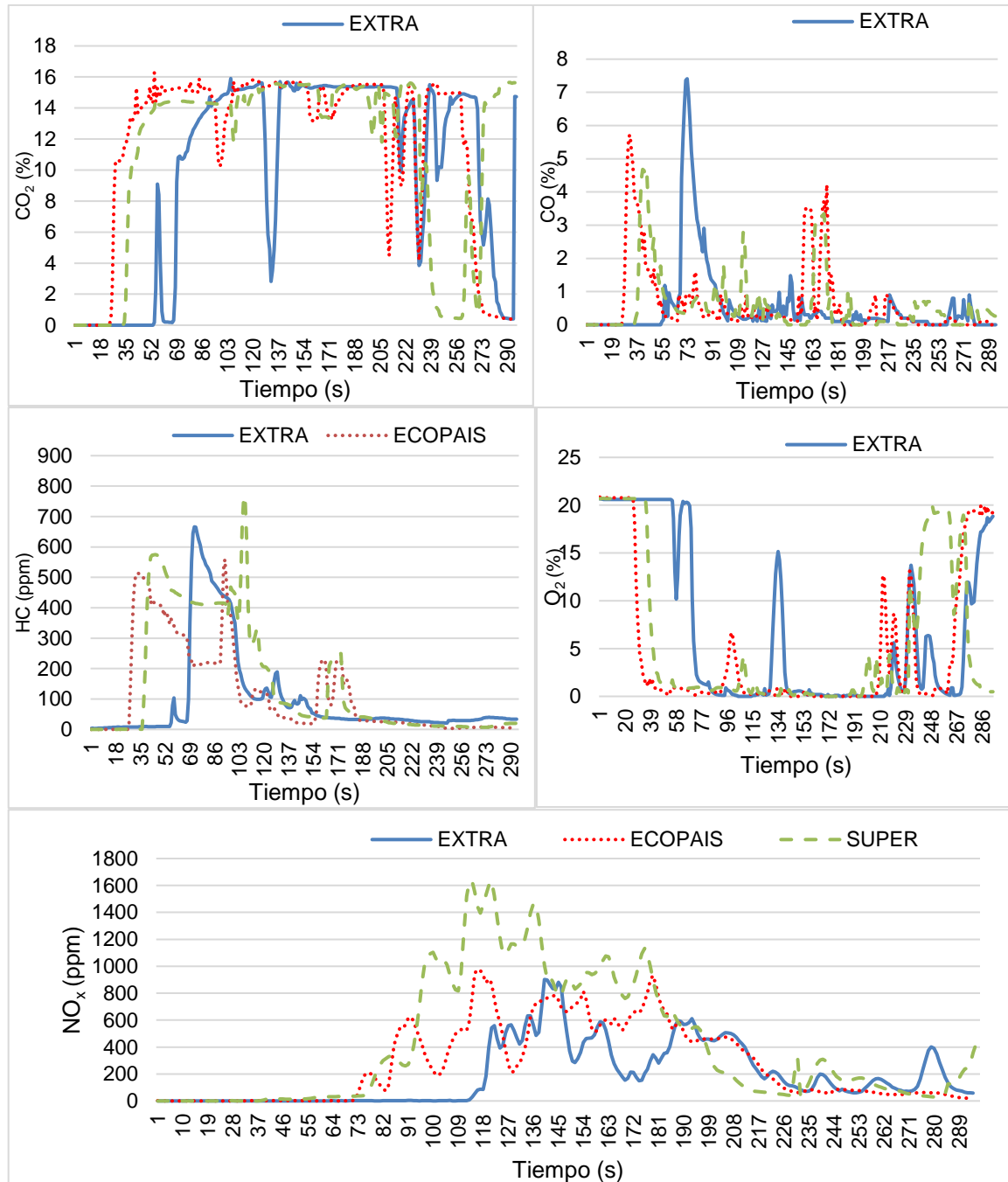
**Figura 3.** Análisis de la velocidad respecto a la distancia recorrida en la prueba

**Tabla 3.** Propiedades de los combustibles (Rocha y Zambrano, 2015)

Propiedades del combustible	Norm NTE INEN: 935:2012	Gasolina 87 octanos	Gasolina con 5% de Etanol
Números de octanos	87 min.	88.3	85.1
Curva de Destilación			
T <sub>10</sub> – 10% evap., °C	70 max.	50	56
T <sub>50</sub> – 50% evap., °C	77 – 121	99	105
T <sub>90</sub> – 90% evap., °C	189 max.	163	167.5
Residuo de destilación %	98 min.	98.5	98.5
Presión de vapor de Reid, kPa	60 max.	58.6	50
Corrosión a la lámina de cobre (3h at 50°C)	1	1	1
Contenido de azufre	650 max.	169	190
Contenido de gomas (mg/cm <sup>3</sup> )	3 max.	1	1

El contenido de CO<sub>2</sub> aumentó durante los primeros segundos y luego se estabilizó, el O<sub>2</sub> siguió exactamente el comportamiento opuesto. El CO, HC y NO<sub>x</sub> alcanzaron su punto máximo al comienzo de la prueba y luego la concentración disminuyó hasta su estabilización; una vez que se alcanzó la temperatura óptima (alrededor de 400 °C) para el convertidor catalítico las emisiones disminuyeron y se estabilizaron, este comportamiento coincide con los estudios realizados por Lee, et al. (2012) y Hernández et al. (2014).

En la *Figura 4*, se muestran los resultados de las pruebas referentes a los gases de emisión. El CO<sub>2</sub> evidencia una tendencia similar para los tres combustibles en el período de prueba, con un promedio del 13 % CO<sub>2</sub>; el gas de emisión CO experimenta oscilaciones en los primeros segundo y mientras transcurre la prueba decrece hasta valores del 1 % CO para luego estabilizarse, estos resultados en ruta muestran variaciones superiores a la obtenidas por Guasgua, Campaña, y Paredes (2016) las cuales no superan 0.13 % en situaciones controladas; las partes por millón de gas de escape HC inicialmente oscilan alrededor de 500 ppm y terminan por debajo de los 50 ppm hasta que el factor Lambda es igual a 1. El comportamiento del NO<sub>x</sub> debe mantenerse por debajo de los 100 ppm, sin embargo, se observa que el componente oscila permanentemente identifico una operación normal pero para la gasolina Súper se presenta un ligero incremento en esta etapa, finalmente el O<sub>2</sub> debe mantenerse por debajo del 2 % observándose que el componente oscila permanentemente identifico una operación normal. En ninguno de los casos se superan los valores establecidos en la NTE INEN 2204 (2002) luego de que se estabiliza el flujo de gases.



**Figura 4.** Comportamiento de los gases de escape durante los 300 segundos para los tres combustibles.

### 3.2. Análisis de la variabilidad en los factores de emisión

Para determinar si entre los grupos experimentales existe diferencia significativa o no en cuanto al factor de emisión, se aplica el análisis ANOVA (*Tabla 5*).

Como el valor P es inferior al 0.05, entonces se rechaza la hipótesis nula del test F del análisis de la varianza, o sea, aquella que plantea que entre las medias no hay variación.

Con el objetivo de determinar cuáles de las medias son significativas, es necesario aplicar pruebas de comparación múltiple de medias, para este caso se aplica la LSD (*Least Significant Difference*).

**Tabla 5:** ANOVA aplicado a los grupos experimentales

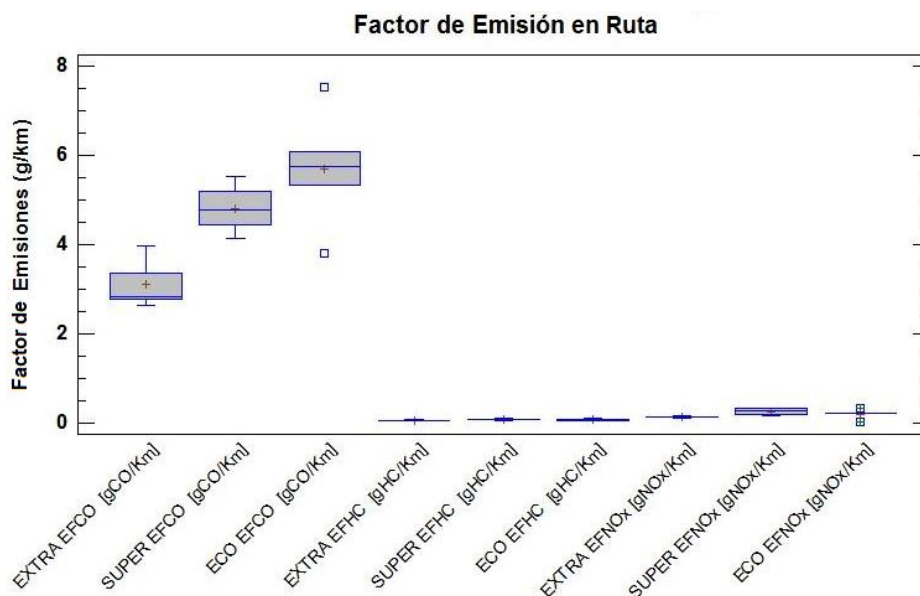
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	211.623	8	26.459	97.66	0.0000
Intragrupos	9.75154	36	0.270876		
Total (Corr.)	221.375	44			

En la *Tabla 6*, se muestra el resultado al aplicar la prueba LSD, se puede contractar que para el caso de las emisiones de HC y NO<sub>x</sub> en ruta, la gasolina Extra, Súper y Ecopaís no poseen diferencia significativa, en el caso de las emisiones de CO existe diferencia significativa entre las 3 gasolinas experimentadas, teniéndose los mejores resultados para la gasolina Extra.

**Tabla 6:** Pruebas de múltiples rangos de los factores de emisión (Método: 95.0 porcentaje LSD)

Factores de emisión	Casos	Media	Grupos Homogéneos
EXTRA EFHC [gHC/km]	5	0.0606	X
ECO EFHC [gHC/km]	5	0.0766	X
SÚPER EFHC [gHC/km]	5	0.086	X
EXTRA EFNO <sub>x</sub> [gNO <sub>x</sub> /km]	5	0.1372	X
ECO EFNO <sub>x</sub> [gNO <sub>x</sub> /km]	5	0.2052	X
SÚPER EFNO <sub>x</sub> [gNO <sub>x</sub> /km]	5	0.2638	X
EXTRA EFCO [gCO/km]	5	3.1196	X
SÚPER EFCO [gCO/km]	5	4.8132	X
ECO EFCO [gCO/km]	5	5.7034	X

En la *Figura 5*, se muestran los factores de emisión evaluados en el vehículo de forma gráfica por el método *on-board*, donde se puede visualizar con mayor exactitud la diferencia anteriormente mencionada para el caso del CO para las diferentes gasolinas experimentadas.

**Figura 5:** Gráfico comparativo de las medias para los diferentes factores de los contaminantes  
Fuente: Elaboración propia



En la *Tabla 6* y *Figura 5*, se analizan las diferencias en las emisiones de HC y NO<sub>x</sub>, evidenciándose que no existe una diferencia significativa, mientras que en el CO fueron más evidentes las desviaciones entre los combustibles experimentados. Las emisiones de CO se redujeron cuando se usaron los combustibles tradicionales como Extra y Súper; contrario a lo referido por Hernández et al. (2014) y Schifter, Díaz, Rodríguez, y Salazar (2011), los cuales obtuvieron reducciones con las mezclas de etanol, causa fundamental de las diferencias se sustentan en que la actual investigación se desarrolla a 2600 msnm. La disminución del 25 % al 35 % en las emisiones de HC cuando se usaron mezclas de etanol coinciden con los resultados obtenidos por Hernández et al. (2014) y Li et al. (2015).

En contraste a Hernández et al. (2014) en donde con el empleo de mezclas de etanol existe una tendencia a la reducción de los NO<sub>x</sub>, en el presente estudio a los 2600 msnm el empleo del Ecopaís experimenta un valor medio entre los combustibles Extra y Súper.

#### 4. Conclusiones y recomendaciones

La implementación del sistema *on-board* para la cuantificación de las emisiones de gases producto de la combustión en motores de combustión interna, en un trayecto real previamente seleccionado y caracterizado, resulta ser el método más idóneo para los estudios de combustibles aplicado al transporte.

Los tres factores con un porcentaje mínimo de emisiones son HC, O<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> en cualquier combustible analizado en la prueba, estos factores no superan el 1.5 % de las emisiones en ningún caso.

Los factores de emisión con un alto porcentaje corresponden al CO<sub>2</sub> y CO, estando alrededor de: CO<sub>2</sub> = 54% - 71.73 % y el CO = 31.58 % - 44.9 %.

Se determinó que la gasolina Extra presenta el mejor comportamiento en cuanto a las emisiones de CO.

La gasolina Súper es el combustible que menos variación contaminante tiene entre el inicio y el final de la prueba, de cierta forma garantiza un porcentaje de emisiones estable, mientras que los otros combustibles fluctúan en un alto margen entre el inicio y el final de la prueba.

#### Bibliografía

- Ait-Helal, W., Beeldens, A., Boonen, E., Borbon, A., Boréave, A., Cazaunau, M., ... & Gallus, M. (2015). On-road measurements of NMVOCs and NO<sub>x</sub>: Determination of light-duty vehicles emission factors from tunnel studies in Brussels city center. *Atmospheric Environment*, 122, 799-807.
- Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador AEADE. (2017). *Anuario 2016*, Obtenido de: <http://www.aeade.net/anuario/>
- Belis, C. A., Karagulian, F., Larsen, B. R., & Hopke, P. K. (2013). Critical review and meta-analysis of ambient particulate matter source apportionment using receptor models in Europe. *Atmospheric Environment*, 69, 94-108.
- El Comercio, EC. (2016). *OMS Fichas de las ciudades más contaminadas del Ecuador*. Disponible en: <http://www.elcomercio.com/tendencias/ciudades-ecuador-polucion-enfermedades-contaminacion.html>
- Franco, V., Kousoulidou, M., Muntean, M., Ntziachristos, L., Hausberger, S., & Dilara, P. (2013). Road vehicle emission factors development: A review. *Atmospheric Environment*, 70, 84-97.
- Frey, H. C., & Eichenberger, D. A. (1997). *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.

- Global MRV. (2017). *Portable Emissions Measurement System OEM- 2100AX AXION R/S+*, Disponible en: <http://www.globalmrv.com/pems-axionrs-2/>
- Guasgua, J. F. A., Campaña, G. G. R., & Paredes, M. E. G. (2016). Estudio comparativo de gases contaminantes en un vehículo M1, utilizando gasolina de la Comunidad Andina. *Enfoque UTE*, 7(3), 110-119.
- Hernández, M., Menchaca, L., & Mendoza, A. (2014). Fuel economy and emissions of light-duty vehicles fueled with ethanol–gasoline blends in a Mexican City. *Renewable Energy*, 72, 236-242.
- INEN. (2002). *NTE INEN 2204:2002. Límites permitidos de emisiones producidos por fuentes móviles terrestres a gasolina*. Quito: INEN.
- Lee, T. W., Lee, J. T., & Kim, J. S. (2012). Evaluation of On-Road NO<sub>x</sub> Emission from a Light Duty Diesel Vehicle using a Portable Emissions Measurement System. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 28(1), 94-104.
- Li, L., Ge, Y., Wang, M., Peng, Z., Song, Y., Zhang, L., & Yuan, W. (2015). Exhaust and evaporative emissions from motorcycles fueled with ethanol gasoline blends. *Science of the Total Environment*, 502, 627-631.
- Park, S. S., Kozawa, K., Fruin, S., Mara, S., Hsu, Y. K., Jakober, C., ... & Herner, J. (2011). 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*, 61(10), 1046-1056.
- Rocha Hoyos, J. C., & Zambrano León, V. D. (2015). *Análisis del funcionamiento del motor de encendido provocado, debido a la presencia de aditivos* (Master's thesis, Quito, 2015.).
- Rocha-Hoyos, J., Tipanluisa, L. E., Reina, S. W., & Ayabaca, C. R. (2017). Evaluación del Sistema de Tracción en un Vehículo Eléctrico Biplaza de Estructura Tubular. *Información tecnológica*, 28(2), 29-36.
- Rojano, R. E., Mendoza, Y. I., Arregoces, H., & Restrepo, G. M. (2016). Dispersión de Contaminantes del Aire (PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, COV y HAP) emitidos desde una Estación Modular de Compresión, Tratamiento y Medición de Gas Natural. *Información tecnológica*, 27(5), 99-110.
- Schifter, I., Díaz, L., Rodríguez, R., & Salazar, L. (2011 a). Assessment of Mexico's program to use ethanol as transportation fuel: impact of 6% ethanol-blended fuel on emissions of light-duty gasoline vehicles. *Environmental monitoring and assessment*, 173(1-4), 343-360.
- Secretaría del ambiente DMQ. (2016). *Calidad del aire en Quito 2015*, disponible en: [www.quitoambiente.gob.ec](http://www.quitoambiente.gob.ec).
- Weiss, M., Bonnel, P., Hummel, R., Provenza, A., & Manfredi, U. (2011). On-road emissions of light-duty vehicles in Europe. *Environmental science & technology*, 45(19), 8575-8581.
- WHO. (2016). *AMBIENT AIR POLLUTION*. Disponible en: [http://www.who.int/gho/publications/world\\_health\\_statistics/2016/whs2016\\_Annex\\_A\\_AmbientAirPollution.pdf?ua=1&ua=1](http://www.who.int/gho/publications/world_health_statistics/2016/whs2016_Annex_A_AmbientAirPollution.pdf?ua=1&ua=1)  
[http://www.who.int/gho/publications/world\\_health\\_statistics/2016/whs2016\\_Annex\\_A\\_AmbientAirPollution.pdf?ua=1&ua=1](http://www.who.int/gho/publications/world_health_statistics/2016/whs2016_Annex_A_AmbientAirPollution.pdf?ua=1&ua=1)
- Wu, Y., Zhang, S., Hao, J., Liu, H., Wu, X., Hu, J. & Stevanovic, S. (2017). On-road vehicle emissions and their control in China: A review and outlook. *Science of The Total Environment*, 574, 332-349.