

DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS EMISIONES DE CONTAMINANTES PRIMARIOS Y RENDIMIENTO VEHICULAR MEDIANTE LA VARIACIÓN DEL OCTANAJE Y CONTENIDO DE AZUFRE EN LA GASOLINA Y DIESEL

CARLA VIVIANA ARELLANO NAVARRETE

RENE PARRA NARVÁEZ

DAVID CARRERA VILLACRÉS

JOSE LUIS CARRERA FALCÓN

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

Campus Politécnico Av. Gral. Rumiñahui s/n Sangolquí – Ecuador

arellano.cv@gmail.com

carla.arellano@eppetroecuador.ec

RESUMEN

En los últimos años, una de las preocupaciones más importantes de la humanidad, ha sido la conservación del ambiente, tendencia que se ve reflejada tanto a nivel industrial privado como público. En Ecuador, el Gobierno Nacional, a través de la Empresa Pública Petroecuador ha plasmado sus esfuerzos de mejorar la calidad del aire ambiente, mediante el mejoramiento de la calidad de los combustibles comercializados en el país. El presente trabajo analiza técnica y económicamente esta mejora.

La investigación realizada fue de tipo experimental-longitudinal, ya que se manipuló las variables independientes de: número de octano y contenido de azufre en la gasolina, así como contenido de azufre en el diesel, ejerciendo el máximo control para comprobar los efectos de esta intervención específica en las emisiones gaseosas y rendimiento vehicular en un tiempo prolongado, obteniendo datos durante el transcurso del evento bajo estudio.

Es importante señalar que la variable de estudio de esta investigación es el tipo de combustible, por esta razón, las pruebas se realizan usando el mismo vehículo, el cual, es un vehículo común en el parque automotor de la ciudad de Quito.

Se prepararon 4 tipos diferentes de gasolina, variando el octanaje, estas se cargaron en un vehículo de prueba y se midieron las emisiones de contaminantes primarios en un recorrido por la ciudad de Quito, usando un analizador de gases portátil. Además, se midieron las emisiones en la ruta estándar IM240, así como la potencia y torque del vehículo usando un dinamómetro.

Adicionalmente, se prepararon 3 tipos de diesel, variando el contenido de azufre, se cargaron estos combustibles en un vehículo de prueba y se midieron las emisiones de contaminantes primarios en un recorrido por la ciudad de Quito, usando un analizador de gases portátil.

Palabras clave: Gasolina, Diesel, Octanaje, Contenido de Azufre, Rendimiento vehicular, Emisiones vehiculares, Contaminación atmosférica.

ABSTRACT

In recent years, one of the most important concerns of humanity, has been the preservation of the environment, a trend that is reflected both in private and public industry. In Ecuador, the Government, through the Public Company Petroecuador has shaped their efforts to improve air quality by improving the quality of fuels sold in the country. This work analyzes the improvement technically and economically.

The investigation was experimental-longitudinal type, as it manipulated the independent variables: number of octane and sulfur content in gasoline and sulfur content in diesel, exerting maximum control to test the effects of this intervention specific gaseous emissions and vehicle performance in a long time, obtaining data during the course of the event under study.

Importantly, the study variable of this research is the type of fuel, for this reason, tests were performed using the same vehicle, which is a common vehicle in the fleet of the city of Quito.

Were prepared 4 different types of gasoline, varying the octane, these were loaded into a test vehicle and measured primary pollutants emissions on a tour of the city of Quito, using a portable gas analyzer. In addition, emissions were measured in the standard path IM240 and the power and torque of the vehicle using a dynamometer.

Additionally, we prepared three types of diesel, varying the sulfur content of these fuels were loaded in a test vehicle and measured primary pollutants emissions on a tour of the city of Quito, using a portable gas analyzer.

Keywords: Gasoline, Diesel, Octane, Sulfur Content, Performance Vehicle, Vehicle Emissions, Air Pollution.

INTRODUCCIÓN

El Gobierno Nacional, representado por la Empresa Pública EP Petroecuador, en su afán de disminuir contaminación del aire en el Ecuador, conociendo que los vehículos con motores a gasolina y a diesel liberan una cantidad importante de gases y partículas contaminantes o precursores de la formación de contaminantes del aire, mejoró la calidad de las gasolinas y diesel automotriz a nivel nacional.

La Empresa Pública Petroecuador analizó diversos escenarios que permitirían el incremento del octanaje y disminución del contenido de azufre en las Gasolinas Extra y Super, con la optimización de las condiciones de preparación de estas gasolinas, así como la posibilidad de comercializar en todo el país un Diesel con bajo contenido de azufre (500 ppm) para el sector automotriz, propuesta que podría ejecutarse a corto plazo y con una inversión razonable.

Bajo este escenario, en el presente trabajo se utilizó diferentes tipos de gasolina y diesel en un vehículo y se midió la emisión de contaminantes primarios y rendimiento vehicular para conocer el beneficio ambiental obtenido del mejoramiento en la calidad de combustibles.

MATERIALES Y MÉTODOS

MATERIALES:

1. Vehículo a gasolina: Marca Hyundai, modelo Tucson, año 2010, con cilindraje de 2000 cm³.



Figura 1. Fotografías del vehículo en las pruebas usando el Dinamómetro

2. Vehículo a diesel: Marca Chevrolet, modelo NKR II, año 2009, con cilindraje de 2800 cm³.



Figura 2. Vehículo pesado usado en pruebas con el analizador de gases

3. Analizador de gases MGT 5 para vehículos a gasolina y diesel.
4. Dinamómetro, Banco de potencia para autos, camiones y motocicletas, modelo LPS 3000.
5. Gasolinas de prueba

La Secretaría de Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, **figura 3**, proporcionó los equipos para la medición de emisiones y rendimiento vehicular de los casos planteados.



Figura 3. Ubicación de Ecuador en América y de Quito en Ecuador.

En la **tabla 1** se resume las especificaciones principales de las diferentes gasolinas preparadas para realizar este estudio.

Tabla 1. Resumen de características de las diferentes gasolinas obtenidas de laboratorio

PARÁMETROS PRINCIPALES	GASOLINAS			
	1	2	3	4
NÚMERO DE OCTANO RESEARCH (ron)	81.50	85.30	87.20	92.40
CONTENIDO DE AROMÁTICOS (%VOL)	22.10	23.20	26.00	30.00
CONTENIDO DE AZUFRE (ppm)	300.00	380.00	420.00	450.00

6. Diesel de prueba

En la **tabla 2** se resume las especificaciones principales de los diferentes diesel preparados para realizar este estudio.

Tabla 2. Resumen de características de los diferentes diesel obtenidas de laboratorio

PARÁMETROS PRINCIPALES	DIESEL		
	1	2	3
CONTENIDO DE AZUFRE (ppm)	3510.00	530.00	95.00
ÍNDICE DE CETANO, CALCULADO	50.60	50.40	50.10

MÉTODOS:

Investigación:

La investigación realizada en esta tesis fue de tipo experimental-longitudinal, ya que se manipuló las variables independientes de: número de octano y contenido de azufre en la gasolina, así como contenido de azufre en el diesel, ejerciendo el máximo control para comprobar los efectos de esta intervención específica en las emisiones gaseosas y rendimiento vehicular en un tiempo prolongado, obteniendo datos durante el transcurso del evento bajo estudio.

Hipótesis:

Valores de octanaje del orden de 85-87 octanos, y la reducción del contenido de azufre de 1000 a 650 ppm en las gasolinas que se consumen en la ciudad de Quito, disminuyen las emisiones de contaminantes primarios provenientes del tráfico vehicular.

La disminución del contenido de azufre del diesel automotriz de 3500 ppm a 100 ppm, da como resultado un significativo porcentaje de reducción en las emisiones de contaminantes primarios provenientes del tráfico vehicular.

Ensayos:

1. Ensayos de octanaje y contenido de azufre en las gasolinas utilizadas para los diferentes casos, se realizaron aplicando los métodos ASTM D-2699-1999 (INEN 2102-1998) y ASTM D-4294-2010 respectivamente.
2. Ensayos de índice de cetano y contenido de azufre en el diesel utilizado en los diferentes casos, se realizaron aplicando los métodos ASTM D-976-2006 y ASTM D-4294-2010 respectivamente.

Pruebas:

1. Medición de las emisiones de CO₂, O₂, CO, HC, NO_x y material particulado emitido en cada caso (gasolina y diesel) durante un recorrido por ruta real establecida en la ciudad de Quito, Ecuador, así como en una ruta estándar (Ciclo IM 240).

RUTA REAL: Esta ruta corresponde al recorrido real que se realizó en el vehículo de prueba, en Ecuador, país de Sudamérica, iniciando en el norte de la ciudad de Quito, Secretaria de Ambiente, calle Río Coca E6 – 85 e Isla Genovesa; hasta el sur de la ciudad, Centro de Revisión Técnica Vehicular Guamaní, calle H y Leonidas Mata, lote 100 (Barrio La Perla), 24 kilómetros de distancia, **figura 4**.



Figura 4. Ruta Real recorrida por la ciudad de Quito.

Cabe indicar que la ciudad de Quito se encuentra ubicada en un valle que forma parte de la Hoya de Guayllabamba, situada en las faldas orientales del estratovolcán activo Pichincha, en la Cordillera Occidental de los Andes septentrionales de Ecuador, en un terreno irregular con una altitud que oscila entre los 2800 msnm en los lugares llanos y los 3100 msnm en los barrios más elevados, **figura 5**.

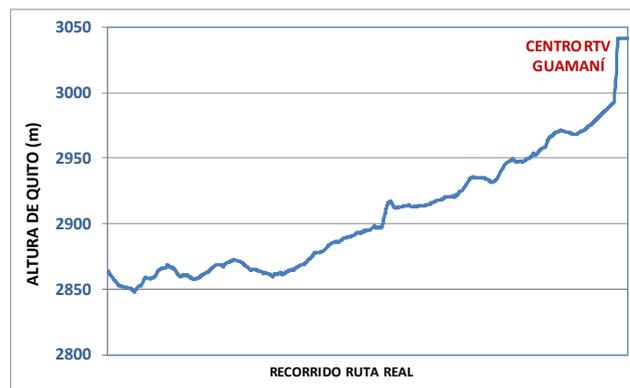


Figura 5. Perfil de altura de la ciudad de Quito durante el recorrido real.

RUTA IM240: El ciclo consta de dos fases. La primera fase corresponde a los primeros 93 segundos, con velocidades máximas de hasta 54.4 km/h y recorre 0.9 km. La segunda fase corresponden desde los 94 segundos hasta los 239 segundos, con velocidades de hasta 90.72 km/h y recorre 2.25 km (EPA -AA-TSS-91-1, NTIS No. PB92-104405, 1991).

2. Medición de la potencia y torque del vehículo tipo usando las diferentes gasolinas preparadas, con el Dinamómetro instalado en la estación de revisión técnica vehicular de Guamaní - Quito.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la **tabla 3** se presenta un resumen de de los resultados obtenidos en cuanto a emisiones de contaminantes primarios para cada tipo de combustible y ruta utilizada.

Tabla 3. Resumen de emisiones para las diferentes gasolinas

PARÁMETRO	RUTA	GASOLINA			
		1	2	3	4
NOx (ppm)	REAL	356.92	263.44	147.15	69.25
	IM240	313.82	224.28	113.36	50.57
HC (ppm)	REAL	38.85	41.17	45.71	47.85
	IM240	37.47	40.61	42.45	46.15
CO (%)	REAL	0.84	0.43	0.15	0.11
	IM240	0.54	0.33	0.15	0.08
CO ₂ (%)	REAL	13.09	11.69	11.03	10.09
	IM240	13.32	12.85	12.55	11.45
O ₂ (%)	REAL	6.65	6.20	5.84	5.47
	IM240	4.38	3.85	3.42	2.93

La **tabla 4** muestra un resumen de los resultados obtenidos en cuanto a potencia y torque para cada tipo de combustible y ruta utilizada (Paz Santana, 2007).

Tabla 4. Resumen de Potencia y Torque para los cuatro tipos de gasolinas

PARÁMETRO	UNIDAD	GASOLINA			
		1	2	3	4
P-Normal	kW	102.48	110.56	110.56	110.76
P-Mot	kW	70.30	75.72	75.48	76.26
P-Rueda	kW	48.30	58.62	57.68	58.22
P-Arrastre	kW	22.00	17.10	17.78	18.04
en	U/min	5853.75	5784.00	5820.00	5824.00
	km/h	148.68	149.64	150.40	149.70
M-Normal	Nm	191.28	205.28	205.60	204.90
en	U/min	4726.25	4062.00	4020.00	4489.00
	km/h	119.98	105.10	103.86	115.38
CONDICIONES					
T-ambiente	°C	20.15	23.98	26.64	18.92
T-aspiración	°C	11.75	14.22	16.30	10.90
H-aire	%	46.35	32.08	23.60	47.28
p-aire	hPa	717.90	718.40	717.90	718.40
p-vapor	hPa	10.95	9.54	8.24	10.34

En la **tabla 5** se presenta un resumen de de los resultados obtenidos en cuanto a emisiones de contaminantes primarios para cada tipo de combustible utilizado.

Tabla 5. Resumen de emisiones de los diferentes diesel en la Ruta Real

RUTA REAL	DIESEL		
PARÁMETRO	1	2	3
NOx (ppm)	301.33	269.29	222.65
HC (ppm)	55.70	30.63	24.70
CO (%)	0.0655	0.0539	0.0446
CO ₂ (%)	5.9257	5.2906	4.7624
O ₂ (%)	17.587	16.541	15.661
PM ₁₀ (mg/m ³)	9.292	4.455	3.125

COMPARACION DE RESULTADOS ENTRE LOS DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS

Con el mejoramiento de octanaje y contenido de azufre en las gasolinas se evidencia una disminución en las emisiones de contaminantes primarios, excepto en las emisiones de HC, en la **figura 6** se puede observar esta tendencia.

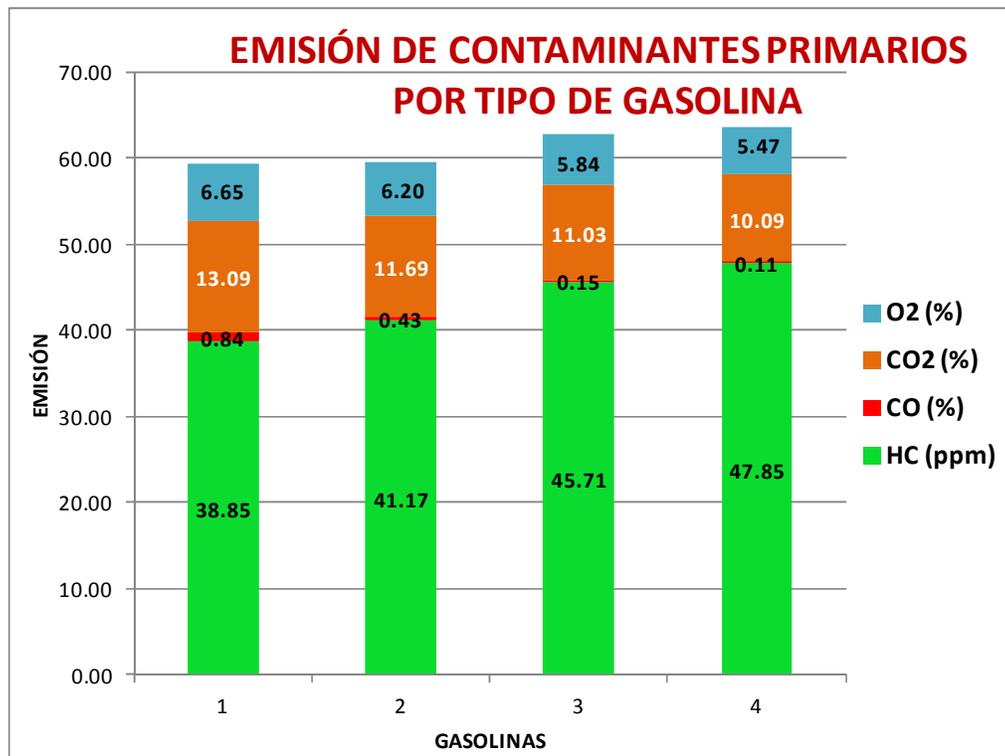


Figura 6. Emisiones por tipo de gasolina

CÁLCULO DE LA VARIACIÓN DE EMISIONES (GASOLINA)

Las **tablas 6, 7 y 8** presentan los resultados de los cálculos de la variación de las emisiones comparando el uso de cada tipo de gasolina con los otras preparadas.

Tabla 6. Porcentaje de reducción/incremento de contaminantes con relación a la Gasolina 1

PORCENTAJE DE REDUCCIÓN					
EMISIONES		RUTAS	GASOLINAS		
			2	3	4
REDUCCIÓN	NOx	REAL	26	59	81
		IM240	29	64	84
INCREMENTO	HC	REAL	6	18	23
		IM240	8	13	23
REDUCCIÓN	CO	REAL	49	82	87
		IM240	39	73	86
REDUCCIÓN	CO ₂	REAL	11	16	23
		IM240	4	6	14

Tabla 7. Porcentaje de reducción/incremento de contaminantes con relación a la Gasolina 2

PORCENTAJE DE REDUCCIÓN				
EMISIONES		RUTAS	GASOLINAS	
			3	4
REDUCCIÓN	NOx	REAL	48	80
		IM240	9	70
INCREMENTO	HC	REAL	11	16
		IM240	5	14
REDUCCIÓN	CO	REAL	64	75
		IM240	47	72
REDUCCIÓN	CO ₂	REAL	4	14
		IM240	3	10

Tabla 8. Porcentaje de reducción/incremento de contaminantes con relación a la Gasolina 3

PORCENTAJE DE REDUCCIÓN			
EMISIONES		RUTAS	GASOLINA
			4
REDUCCIÓN	NOx	REAL	62
		IM240	67
INCREMENTO	HC	REAL	5
		IM240	9
REDUCCIÓN	CO	REAL	32
		IM240	47
REDUCCIÓN	CO ₂	REAL	10
		IM240	7

COMPARACIÓN DE LA POTENCIA Y TORQUE DE LOS DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS

La **figura 7** muestra los resultados de Potencia y Torque obtenidos con el uso de los diferentes tipos de gasolinas, además se presentan las condiciones a las cuales se midieron estas variables.

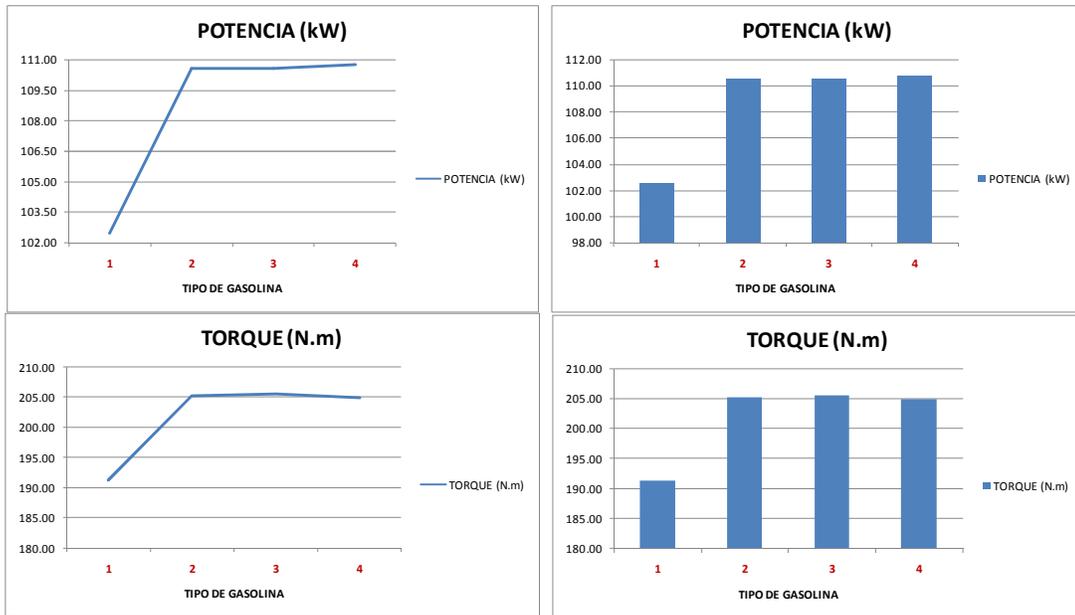


Figura 7. Potencia y Torque para los diferentes tipos de gasolina

Se evidencia que la Potencia y Torque incrementan significativamente con el cambio de Gasolina 1 por Gasolina 2, sin embargo, la Potencia y Torque permanecen prácticamente constantes con el uso de las Gasolinas 2, 3 y 4.

COMPARACIÓN DE EMISIONES DE LOS DIFERENTES TIPOS DE DIESEL

En la **tabla 9** se presenta un resumen de los resultados obtenidos en cuanto a emisiones de contaminantes primarios para cada tipo de combustible.

Tabla 9. Resumen de las emisiones para los tipos de diesel

RUTA REAL PARÁMETRO	DIESEL		
	1	2	3
NO _x (PPM)	301.33	269.29	222.65
HC (PPM)	55.70	30.63	24.70
CO (%)	0.0655	0.0539	0.0446
CO ₂ (%)	5.9257	5.2906	4.7624
O ₂ (%)	17.587	16.541	15.661
PM (mg/m ³)	9.292	4.455	3.125

Como se puede observar, las emisiones de PM, NO_x, HC, CO, CO₂ y O₂ disminuyen al disminuir el contenido de azufre en el combustible.

CÁLCULO DE LA REDUCCIÓN DE EMISIONES (DIESEL)

A continuación, en las **tablas 10 y 11** se presentan los cálculos de la reducción de las emisiones comparando el uso de los diferentes tipos de diesel con los otros combustibles preparados.

Tabla 10. Porcentaje de reducción de contaminantes con relación al Diesel 1

PORCENTAJE DE REDUCCIÓN		
EMISIONES	DIESEL	
	2	3
NO _x	11	26
HC	45	56
CO	18	32
CO ₂	11	20
O ₂	6	11
PM ₁₀	52	66

Tabla 11. Porcentaje de reducción de contaminantes con relación al Diesel 2

PORCENTAJE DE REDUCCIÓN	
EMISIONES	DIESEL
	3
NO _x	17
HC	19
CO	17
CO ₂	10
O ₂	5
PM ₁₀	30

El contenido de azufre en el combustible también contribuye significativamente a las emisiones de partículas (material particulado), mediante la formación de sulfatos ya que se combinan con el amoníaco para formar cristales de sulfato de amonio (Diaz *et al*, 2006). En la **figura 8** se muestra esta tendencia.

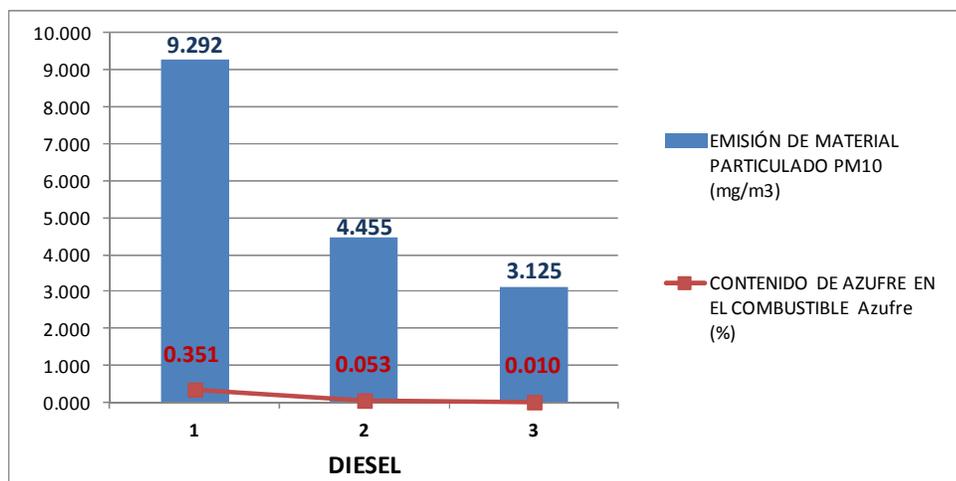


Figura 8. Emisiones de PM y contenido de azufre para los tipos de diesel

COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON ESTUDIO SIMILAR:

Un estudio similar realizado por la Facultad de Ingeniería y Medio Ambiente, Facultad de Ciencias, Ingeniería y Salud de la Universidad Central Queensland, Rockhampton, QLD 4702, AUSTRALIA, cuyo título es: “Comparación de rendimiento y emisiones de un motor a gasolina utilizando una gama de combustibles sin plomo”, fue realizado por Breffit S. A., Rasul M. G. y Chowdhury A. A., y obtuvo los siguientes resultados:

En este estudio se utilizan los tres tipos de gasolina disponibles en el mercado australiano, para determinar las emisiones y rendimiento del vehículo, siendo los combustibles usados los siguientes:

- Regular de 91 octanos
- Premium de 95 octanos
- Ultimate de 98 octanos

Es importante mencionar que en la preparación de estas gasolinas se usó como ingrediente etanol en diferentes proporciones a fin de alcanzar el octanaje citado.

El vehículo utilizado tiene un motor de 2.4 litros a gasolina, Toyota modelo 2AZ-FE, igualmente se utiliza un analizador de gases y un dinamómetro, equipo similar al de este estudio.

Para facilitar la comparación de resultados hemos llamado al proyecto de investigación detallado en este artículo ESTUDIO 1 y el estudio realizado por la Universidad Central Queensland ESTUDIO 2.

En el caso de la Potencia y Torque podemos observar que, los valores obtenidos de estas variables son menores en el Estudio 2 que en el Estudio 1, **figura 9**, pudiendo decir preliminarmente que los combustibles que usan alcohol para mejorar su octanaje tiene un menor rendimiento que los combustibles tradicionales, lo cual podría confirmarse realizando estudios propios al respecto.

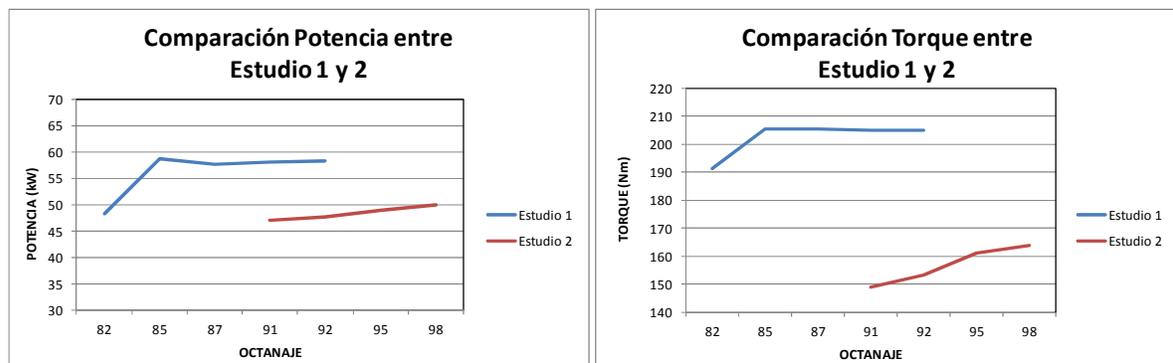


Figura 9. Comparación de Potencia y Torque para los Estudios 1 y 2

En el caso de las emisiones no existe un patrón de comportamiento, sin embargo, en cuanto a las emisiones de CO₂ y CO, se cumple la tendencia de que a mayor octanaje menor cantidad de emisiones, siendo las emisiones de HC y NO_x la excepción, **figura 10 y 11**.

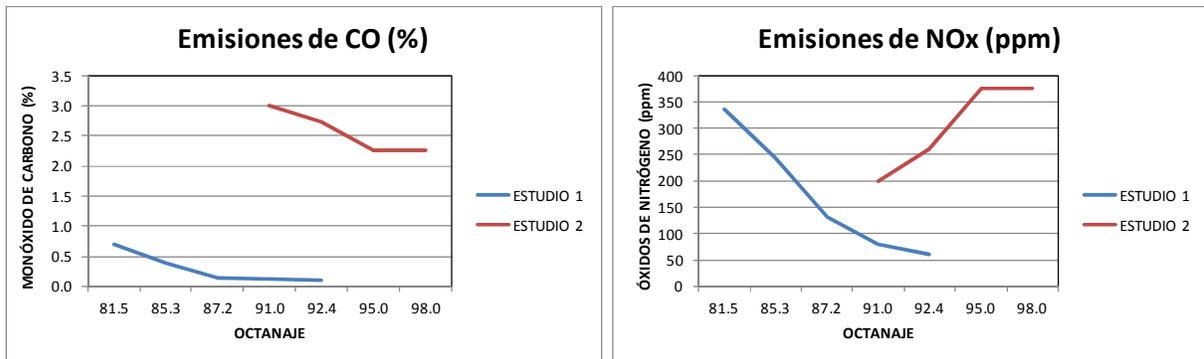


Figura 10. Comparación de Emisiones de CO y NOx para los Estudios 1 y 2

Las emisiones de CO₂ es el único caso en el que los combustibles alternativos presentan un menor valor de emisión que en los convencionales, **figura 11**.

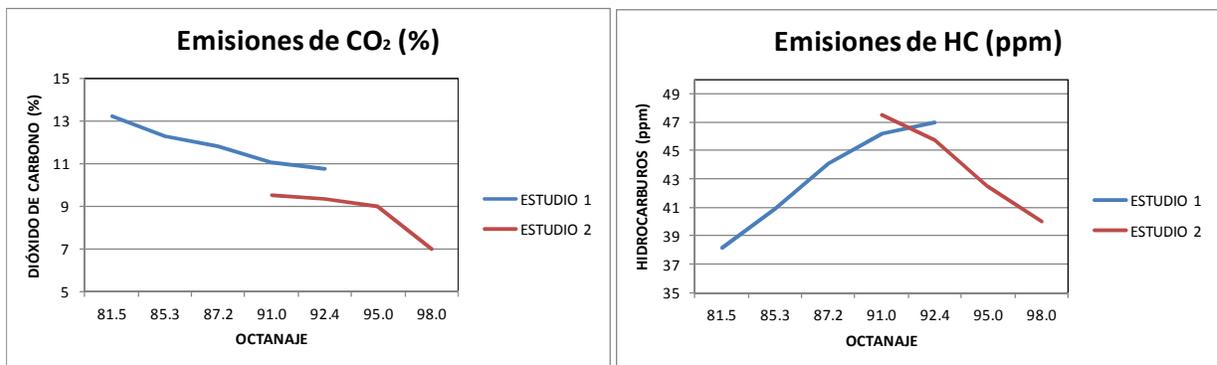


Figura 11. Comparación de Emisiones de CO₂ y HC para los Estudios 1 y 2

CONCLUSIONES

GASOLINAS

En el caso de las emisiones de NO_x la reducción de las emisiones puede llegar hasta el 82% con el cambio en el uso de una gasolina de 81 octanos a una de 92, un 86% en las de CO y 18% en las de CO₂.

Sin embargo, al sobrepasar el valor de octanaje de 85-87 octanos no se puede apreciar un incremento significativo en la potencia del vehículo, lo que significa que, a la altura de Quito (2800 m sobre el nivel del mar), a pesar de incrementar el octanaje del combustible no se logra incrementar su rendimiento, ya que la potencia de un vehículo liviano a gasolina incrementa con el aumento del octanaje hasta alcanzar un valor máximo, limitado por la cantidad de oxígeno presente capaz de oxidar el combustible utilizado.

Las emisiones de HC incrementan debido a que el oxígeno se convierte en el limitante en la reacción, quedando una cantidad de gasolina no combustionada.

Como se aprecia en los resultados, en la ciudad de Quito, un incremento del octanaje a más de 85-87 octanos no agrega beneficio significativo en la potencia del vehículo, pudiendo añadir un costo adicional y generar una mayor contaminación al medio ambiente debido a que, para obtener gasolinas con mayor octanaje es necesario adicionar a la mezcla naftas con compuestos aromáticos, siendo así que, cualquier exceso de octanaje aumenta innecesariamente la cantidad de estos compuestos (entre ellos el benceno) presentes en las emisiones gaseosas del vehículo, aumentando la contaminación del aire.

DIESEL

Las emisiones de contaminantes primarios emitidos por un vehículo pesado a diesel, disminuyen con la disminución del contenido de azufre del combustible.

En el caso de las emisiones de NO_x la reducción puede llegar hasta el 26% con el cambio en el uso de un diesel de 3500 ppm de azufre a uno de 100, un 56% en las emisiones de HC, 32% en las de CO y 20% en las de CO₂.

En el caso de las emisiones de material particulado PM₁₀, se obtiene una reducción del 52% con el cambio en el uso de un diesel de 3500 ppm de azufre a uno de 500 ppm; y una reducción del 66% con el cambio de un diesel de 3500 ppm de azufre a uno de 100 ppm.

AGRADECIMIENTOS

ESTE ESTUDIO HA SIDO POSIBLE GRACIAS AL APOYO DE LA FAMILIA DEL AUTOR Y LA IMPRESCINDIBLE ASISTENCIA TÉCNICA DE LOS PROFESORES RENÉ PARRA Y DAVID CARRERA.

EL AUTOR AGRADECE A EP PETROECUADOR POR FACILITAR LA EJECUCIÓN DE ESTE PROYECTO Y A LA SECRETARIA DE AMBIENTE POR SU COLABORACIÓN EN BENEFICIO DEL AMBIENTE DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO.

REFERENCIAS

ACTA NOVA; Vol. 3, N°2 (junio 2006). Contaminación por material particulado en Quito y caracterización química de las muestras. Corporación para el Mejoramiento del Aire de Quito – CORPAIRE. Acta. Quito. 322 pp.

ASTM D-2699 (1999). American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Research Octane Number of Spark-Ignition Engine Fuel. The Institute of petroleum. Current edition approved Dec. 10, 1999. Published January 2000. Originally published as D 2699 – 68.

ASTM D-4294 (2010). American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Sulfur in Petroleum and Petroleum Products by Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry. Current edition approved Feb. 15, 2010. Published March 2010. Originally approved in 1983.

ASTM D-976 (2006). American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Calculated Cetane Index of Distillate Fuels. Current edition approved Dec. 1, 2006. Published January 2007. Originally approved in 1966.

BREFFIT S. A., RASUL M. G. AND CHOWDHURY A. A. (2008). Comparison of the performance and emissions of a petrol engine using a range of unleaded fuels, Proceedings of the 4th BSME-ASME International Conference on Thermal Engineering, College of Engineering and Built Environment, Faculty of Sciences, Engineering and Health, Central Queensland University. Dhaka, Bangladesh, 27-29 december 2008, 8 pp.

CÁCERES K. Y GALEZO J. (2007). Caracterización y análisis de mezclas de gasolinas con el 20% de etanol (E20). Tesis de Ingeniería Química. Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. Colombia.

CHARPENTIER, F. (1993). Fundamentos de Refinación, primera edición, editado por Petroecuador. Ecuador, 191 pp.

EPA-AA-TSS-91-1, NTIS No. PB92-104405 (1991). The IM240 Transient I/M Dynamometer Driving Schedule and The Composite I/M Test Procedure. Office of Mobile Sources. United States Environmental Protection Agency. Procedure. Washington, DC. 18 pp.

NTE INEN 2101:1998 (1998). Norma Técnica Ecuatoriana INEN. Derivados del petróleo. Gasolina. Determinación de las características antidetonantes. Método Research (RON). Instituto Ecuatoriano de Normalización. Agosto 1998.

PAZ SANTANA Y. (2007). Tratamiento estadístico de datos con SPSS: Prácticas resueltas y comentadas, primera edición, Editorial Paraninfo, 616 pp.

WAUQUIER J.P. (2004). El Refino del petróleo: Petróleo Crudo, Productos Petrolíferos, Esquemas de Fabricación, Ediciones Díaz de Santos, 462 pp.