

# 6

## Aplicación del biodiesel para motores de encendido por compresión con la finalidad de reducir las emisiones contaminantes en la ciudad de Cuenca

Fernando Chica Segovia<sup>1</sup>,  
Jaime Antonio Zhunio Morocho<sup>2</sup>, Javier Teodoro Rodas López<sup>2</sup>

### 1. Introducción

Los vehículos motorizados representan la mitad de las emisiones que causan smog, todo el monóxido de carbono en los centros de las ciudades, más de 25% de las partículas finas y más de la mitad de los contaminantes tóxicos del aire. El problema aumenta cuando el parque automotor es excesivo y vetusto. Esto sumado a la falta de mantenimiento de los automotores; el manejo ineficiente del tránsito sin leyes ni reglamentos rigurosos, la insuficiente difusión del problema y consecuentemente la falta de una conciencia ciudadana al tema de la contaminación, hacen del smog un tema altamente preocupante en nuestra ciudad.

La ciudad de Cuenca posee un parque automotor que está alrededor de 80.000 vehículos (según datos de Cuencaire), si comparámos con ciudades de mayor tamaño y población podríamos concluir que el parque automotor es excesivo.

Este aumento descontrolado de los vehículos motorizados está originando problemas ambientales y sociales como en las grandes urbes. Los

---

1 Director del Proyecto de investigación, Docente de la Carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana.

2 Egresados de la Carrera de ingeniería Automotriz, Asistentes de investigación.

gases tóxicos que son expulsados diariamente por los tubos de escape causan afecciones a la salud de la población y aportan a los problemas ambientales como el calentamiento global y el cambio climático.

Por lo citado anteriormente es necesario buscar alternativas viables a los problemas que surgen de la quema de combustible fósiles; una de éstas es el uso de combustibles alternos como el Biodiesel, además se debe considerar que a futuro puede producirse una crisis energética, debido a la disminución de las reservas de petróleo, sobre todo por la escalada abrupta de su precio.

En el Ecuador, actualmente, se produce alrededor de 5.000 toneladas de biodiesel al mes procedente del aceite de la palma africana (Palm metil ester), el cual es exportado a Norteamérica.

Con el fin de reducir las emisiones contaminantes en Cuenca, este proyecto propone aprovechar la energía más limpia que provee el biocombustible, como una alternativa a corto y mediano plazo.

## **2. Materiales y métodos**

Los materiales y métodos usados en este proyecto se describen de la siguiente manera:

### **2.1 Materiales**

Los materiales utilizados en la ejecución del presente proyecto se detallan a continuación:

- Biodiesel B100 PME (Pal-Metil-Ester) D6751 (ASTM). Al 100% este producto se utiliza como combustible total o parcial para motores diesel; utilizado durante las pruebas con la finalidad de disminuir la emisión de gases contaminantes.
- Diesel II, combustible líquido derivado del petróleo, con 0,70% de azufre Norma INEN 810; utilizado como combustible para motores diesel.

- Diesel Premium, combustible líquido derivado del petróleo, con un máximo de 0,05% de azufre Norma INEN 1489, utilizado como combustible mejorado para motores diesel, con la finalidad de reducir el material particulado.
- B5 Mezcla de Biodiesel PME (Pal-Metil-Ester) al 5% en Diesel Premium. utilizado en el proyecto como prueba, con la finalidad de reducir la emisión de gases contaminantes.
- B10 Mezcla de Biodiesel PME (Pal-Metil-Ester) al 10% en Diesel Premium. utilizado en el proyecto como prueba, con la finalidad de reducir la emisión de gases contaminantes.

## 2.2 Métodos

Los métodos utilizados en la ejecución del presente proyecto se describen a continuación, recalcando que para simplificar la explicación nos referiremos únicamente al primer equipo utilizado y al primer motor sometido a las pruebas; y el trabajo completo del proyecto se presentará en otro documento que reposa en el Departamento de Coordinación de Investigación de la UPS.

La metodología de medición que se usó, es la indicada en el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, Libro VI, Anexo 3 de “Métodos y equipos de medición de emisiones desde fuentes fijas de combustión”, Numeral 4.2 y sus anexos, que expresan lo siguiente:

*4.2.2.5 Ubicación de puertos de muestreo. Los puertos de muestreo se colocarán a una distancia de, al menos, ocho diámetros de chimenea corriente abajo y dos diámetros de chimenea corriente arriba de una perturbación al flujo normal de gases de combustión. Se entiende por perturbación cualquier codo, contracción o expansión que posee la chimenea o conducto. En conductos de sección rectangular, se utilizará el mismo criterio, salvo que la ubicación de los puertos de muestreo se definirá en base al diámetro equivalente del conducto...*

Para iniciar las pruebas y de acuerdo a la referida normativa, se construyó un tubo de escape de hierro, desde el motor el cual tiene un diáme-

tro de 75 milímetros y una longitud de 900 milímetros. La medición se realizó a una distancia de 8 diámetros desde la última perturbación (Ensanchamiento del tubo en su conexión con el colector de escape del motor) a 600 milímetros de la misma, se realizó un agujero de 8 milímetros de diámetro para introducir la sonda del Equipo hasta la mitad del diámetro de la chimenea (interiormente a 37 milímetros desde la pared del tubo de escape). Ver Fig. 1:

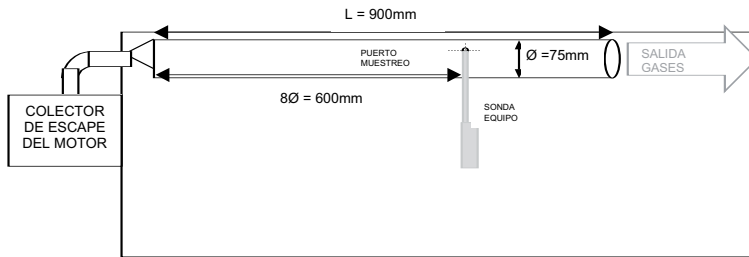


Figura 1. Disposición de la sonda de muestreo del Equipo

**Equipo Analizador.** el equipo usado para la medición es un analizador de celdas electroquímicas según lo estipulado en el mismo texto de legislación ambiental en su numeral 4.2.2.17 al 4.2.2.20.

Las mediciones fueron realizadas con un Equipo de medición de gases de combustión TESTO 350 M/XL. El equipo tiene instalado sensores electroquímicos para detección de gases: O<sub>2</sub>, CO, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> y sensor de temperatura de gases.

El Equipo TESTO 350 XL fue ajustado y calibrado a las siguientes condiciones:

Parámetro	Unidad	Rango de detección	Exactitud
Temperatura	° C	40 - 1200	± 0,5% valor medido
O <sub>2</sub>	%v	0 - 25	± 0,8% valor final
CO	Ppm	0 - 10000	± 10% valor medido
NO	Ppm	0 - 3000	± 5% valor medido
NO <sub>2</sub>	ppm	0 - 500	± 5% valor medido
SO <sub>2</sub>	ppm	0 - 5000	± 5% valor medido
CO <sub>2</sub>	%v	0 - CO <sub>2</sub> MAX	Calculado a partir del O <sub>2</sub>
Velocidad	m/s	1 - 30	Factor calib. = 0,67

Tipo de Combustible:	Diesel (Líquidos Fuel oil 1)
Presión Atmosférica dada por altura:	560 mmHg (733mbar)
Altura:	2560m SNM
Factor de Compensación:	1,00
Diámetro de detección:	0,075metros (área = 0,0044m <sup>2</sup> )
Programa:	No. Valores = 60; Tiempo Gas = 10min;
Tiempo Aire = 6min; Tiempo	Limpiar = 2min. Tiempo total = 18 minutos.

**Medición de gases del motor de combustión.** La Metodología utilizada para la medición de gases en los Motores de Combustión fue basada en la Normativa Ecuatoriana en su Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, Libro VI, Anexo 3 de “Motores de Combustión Interna”, en el numeral 4.3.6.

**Proceso de Medición de Gases de Escape.** Se realizó las mediciones de concentración de gases de combustión en el tubo de escape del Motor Diesel Marca JET modelo F-300 de 5,5 HP y 3000 RPM, con un cilindraje de 0,296 litros, a una temperatura ambiente externa promedio de 18° C; además el motor ha sido encendido a media carga (aceleración) en todos los muestreos, para mantener las mismas condiciones.

La medición se realizó en cinco combustibles: a) DIESEL-2, b) DIESEL PREMIUM, c) BIODIESEL PME (Pal-Metil-Ester) B-100, d) MEZCLA B-10 (Biodiesel PME al 10% en Diesel Premium), e) MEZCLA B-5 (Biodiesel PME al 5% en Diesel Premium).

Cabe destacar que los Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>) son producidos por la combustión incompleta de combustibles fósiles y por un sobrecalentamiento de los gases de combustión. El Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>) está determinado por el contenido de azufre que posee el combustible Diesel. El Monóxido de Carbono (CO) es producido por una combustión incompleta del combustible y generalmente está acompañado de la generación de partículas de hollín.

### 3. Resultados

Los resultados de la medición de gases de escape se detallan a continuación:

**Prueba con Combustible “Diesel II”.** la prueba se realizó con el motor quemando DIESEL II, con una duración de 10 minutos efectivos de medición.

En la Tabla 1, se muestra los valores de concentración de CO, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> en partes por millón (ppm); O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> en porcentaje, y la temperatura de gases (° C) y sus promedios ya transformados para fines de comparación con la normativa.

Tabla 1. Datos obtenidos en el muestreo de Gases de Combustión con el combustible “Diesel-II” (29/01/2008).

	Promedios	Máximos	Emisión mg/Nm <sup>3</sup> Corregido al 15% de O <sub>2</sub> **
Porcentaje de Oxígeno (%O <sub>2</sub> )	16,92	16,95	---
Porcentaje de dióxido de carbono (%CO <sub>2</sub> ) *	3,09	---	---
Concentración de monóxido de carbono (ppm CO)	2706,87	3201,00	5016,1
Concentración de óxido nítrico (ppm NO)	49,37	68,00	---
Concentración de dióxido de nitrógeno (ppm NO <sub>2</sub> )	25,35	29,00	---
Concentración de óxidos de nitrógeno (ppm NO <sub>x</sub> )	74,68	96,00	227,4
Concentración de Dióxido de azufre (ppm SO <sub>2</sub> )	15,13	27,00	64,1
Temp. gases (° C)	102,06	108,50	---

\* Obtenido por la fórmula del CO<sub>2</sub> máximo: %CO = (CO<sub>2</sub>máx \* (21% - %O<sub>2</sub>)) / (21%).

\*\* Los valores han sido transformados a condiciones normales de 1013mbar de presión y 0° C de temperatura, en base seca y corregidos a 15% de oxígeno como indica la Legislación Ambiental Libro VI, Anexo 3 en su numeral 4.3.6: “Motores de Combustión Interna”.

En la Tabla 2, se presenta las concentraciones de los gases que se han obtenido de la medición y su comparación con el límite normativo vigente:

Tabla 2. Comparación de los valores de Concentración de gases de la prueba con DIESEL-II frente a Normativa ambiental Vigente. (29/01/2008).

GAS (mg/Nm <sup>3</sup> )	Promedio	Limite según Normativa <sup>2</sup> (mg/Nm <sup>3</sup> )
Monóxido de carbono (CO)	5016,1	n/a
Óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	227,4	2.000
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	64,1	1.500

<sup>1</sup> Los valores han sido transformados a condiciones normales de 1013mbar de presión y 0° C de temperatura, en base seca y corregidos a 15% de oxígeno como indica la legislación (Las concentraciones de gases no sobrepasan el valor limite normativo aplicable).

**Prueba con Combustible “Diesel Premium”.** La prueba se realizó con el motor quemando DIESEL PREMIUM. La prueba duró 10 minutos efectivos de medición.

En la Tabla 3, se muestra los valores de concentración de CO, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> en partes por millón (ppm); O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> en porcentaje, y la temperatura de gases (° C) y sus promedios ya transformados para fines de comparación con la normativa.

Tabla 3. Datos obtenidos en el muestreo de Gases de Combustión con el combustible “DIESEL PREMIUM” (29/01/2008).

	Promedios	Máximos	Emisión mg/Nm <sup>3</sup> Corregido al 15% de O <sub>2</sub> **
Porcentaje de oxígeno (%O <sub>2</sub> )	17,00	17,03	—
Porcentaje de dióxido de carbono (%CO <sub>2</sub> ) *	3,03	—	—
Concentración de monóxido de carbono (ppm CO)	2.285,35	2507,00	4.324,2
Concentración de óxido nítrico (ppm NO)	53,80	66,00	—
Concentración de dióxido de nitrógeno (ppm NO <sub>2</sub> )	36,28	38,60	—
Concentración de óxidos de nitrógeno (ppm NO <sub>x</sub> )	90,02	104,00	279,8
Concentración de dióxido de azufre (ppm SO <sub>2</sub> )	0,00	0,00	0,00
Temp. Gases (° C)	96,22	102,70	—

\* Obtenido por la fórmula del CO<sub>2</sub> máximo: %CO = (CO<sub>2</sub>máx \* (21% - %O<sub>2</sub>)) / (21%).

\*\* Los valores han sido transformados a condiciones normales de 1013mbar de presión y 0° C de temperatura, en base seca y corregidos a 15% de oxígeno como indica la Legislación Ambiental Libro VI, Anexo 3 en su numeral 4.3.6: “Motores de Combustión Interna”.

En la Tabla 4, se presenta las concentraciones de los gases que se han obtenido de la medición y su comparación con el límite normativo vigente:

Tabla 4. Comparación de los valores de Concentración de gases de la prueba con DIESEL PREMIUM frente a Normativa ambiental Vigente. (29/01/2008).

GAS (mg/Nm <sup>3</sup> )	Promedio	Límite según Normativa <sup>2</sup> (mg/Nm <sup>3</sup> )
Monóxido de carbono (CO)	4324,2	n/a
Óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	279,8	2.000
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	0,0	1.500

1 *Los valores han sido transformados a condiciones normales de 1013mbar de presión y 0° C de temperatura, en base seca y corregidos a 15% de oxígeno como indica la legislación, (las concentraciones de gases no detectadas no sobrepasan el valor límite normativo aplicable).*

**Prueba con Combustible “Biodiesel PME (Pal-Metil-Ester) B-100.”**  
la prueba se realizó con el motor quemando BIODIESEL PME (Pal-Metil-Ester) B-100. La prueba duró 10 minutos efectivos de medición.

En la Tabla 5, se muestra los valores de concentración de CO, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> en partes por millón (ppm); O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> en porcentaje, y la temperatura de gases (° C) y sus promedios ya transformados para fines de comparación con la normativa.

Tabla 5. Datos obtenidos en el muestreo de Gases de Combustión con el combustible “BIODIESEL PME B-100” (29/01/2008).

	Promedios	Máximos	Emisión mg/Nm <sup>3</sup> Corregido al 15% de O <sub>2</sub> **
Porcentaje de oxígeno (%O <sub>2</sub> )	17,00	17,06	---
Porcentaje de dióxido de carbón (%CO <sub>2</sub> ) *	3,03	---	---
Concentración de monóxido de carbón (ppm CO)	1.297,78	1.471,00	2.451,7
Concentración de óxido nítrico (ppm NO)	93,27	102,00	---
Concentración de dióxido de nitrógeno (ppm NO <sub>2</sub> )	53,31	60,80	---
Concentración de óxidos de nitrógeno (ppm NO <sub>x</sub> )	146,52	160,00	454,7
Concentración de dióxido de azufre (ppm SO <sub>2</sub> )	0,00	0,00	0,0
Temp. gases (° C)	100,87	104,90	---

\* *Obtenido por la fórmula del CO<sub>2</sub> máximo: %CO = (CO<sub>2</sub>máx \* (21% - %O<sub>2</sub>)) / (21%).*

\*\* *Los valores han sido transformados a condiciones normales de 1013mbar de presión y 0° C de temperatura, en base seca y corregidos a 15% de oxígeno como indica la Legislación Ambiental Libro VI, Anexo 3 en su numeral 4.3.6: “Motores de Combustión Interna”.*



En la Tabla 6 se presenta las concentraciones de los gases que se han obtenido de la medición y su comparación con el límite normativo vigente:

Tabla 6. Comparación de los valores de Concentración de gases de la prueba con BIODIESEL PME B-100 frente a Normativa ambiental Vigente. (29/01/2008)

GAS (mg/Nm <sup>3</sup> )	Promedio	Límite según Normativa <sup>2</sup> (mg/Nm <sup>3</sup> )
Monóxido de Carbono (CO)	2.451,7	n/a
Óxidos de Nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	454,7	2.000
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	0,0	1.500

1 Los valores han sido transformados a condiciones normales de 1013mbar de presión y 0° C de temperatura, en base seca y corregidos a 15% de oxígeno como indica la legislación.

**Prueba con “Mezcla de Combustible B-10 (Biodiesel PMA al 10% en Diesel Premium)”**. la prueba se realizó con el motor quemando MEZCLA DE COMBUSTIBLE B-10 (Biodiesel PME al 10% en Diesel Premium). La prueba duró 10 minutos efectivos de medición.

En la Tabla 7, se muestra los valores de concentración de CO, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> en partes por millón (ppm); O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> en porcentaje, y la temperatura de gases (° C) y sus promedios ya transformados para fines de comparación con la normativa.

Tabla 7. Datos obtenidos en el muestreo de Gases de Combustión con “MEZCLA DE COMBUSTIBLE B-10 (Biodiesel PME al 10% en Diesel Premium)” (29/01/2008).

	Promedios	Máximos	Emisión mg/Nm <sup>3</sup> Corregido al 15% de O <sub>2</sub> **
Porcentaje de oxígeno (%O <sub>2</sub> )	17,04	17,94	---
Porcentaje de dióxido de carbono (%CO <sub>2</sub> ) *	3,00	---	---
Concentración de monóxido de carbono (ppm CO)	2133,28	2.216,00	4.076,1
Concentración de óxido nítrico (ppm NO)	60,02	71,00	---
Concentración de dióxido de nitrógeno (ppm NO <sub>2</sub> )	46,49	55,40	---
Concentración de óxidos de nitrógeno (ppm NO <sub>x</sub> )	106,53	115,00	334,4
Concentración de dióxido de azufre (ppm SO <sub>2</sub> )	0,00	0,00	0,0
Temp. Gases (° C)	91,80	101,00	---

\* Obtenido por la fórmula del CO<sub>2</sub> máximo: %CO = (CO<sub>2</sub>máx \* (21% - %O<sub>2</sub>)) / (21%).

\*\* Los valores han sido transformados a condiciones normales de 1013mbar de presión y 0° C de temperatura, en base seca y corregidos a 15% de oxígeno como indica la Legislación Ambiental Libro VI, Anexo 3 en su numeral 4.3.6: “Motores de Combustión Interna”.

En la Tabla 8, se presenta las concentraciones de los gases que se han obtenido de la medición y su comparación con el límite normativo vigente:

Tabla 8. Comparación de los valores de Concentración de gases de la prueba con MEZCLA DE COMBUSTIBLE B-10, frente a Normativa ambiental Vigente. (29/01/2008).

GAS (mg/Nm <sup>3</sup> )	Promedio	Límite según Normativa <sup>2</sup> (mg/Nm <sup>3</sup> )
Monóxido de carbono (CO)	4.076,1	n/a
Óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	334,4	2.000
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	0,0	1.500

1 Los valores han sido transformados a condiciones normales de 1013mbar de presión y 0° C de temperatura, en base seca y corregidos a 15% de oxígeno como indica la legislación.

**Prueba con “Mezcla de Combustible B-5 (Biodiesel PMA al 5% en Diesel Premium)”**. La prueba se realizó con el motor quemando MEZCLA DE COMBUSTIBLE B-5 (Biodiesel PME al 5% en Diesel Premium). La prueba duró 10 minutos efectivos de medición. (Fue llevada cabo el día 31 de enero de 2008).

En la Tabla 9, se muestra los valores de concentración de CO, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> en partes por millón (ppm); O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> en porcentaje, y la temperatura de gases (° C) y sus promedios ya transformados para fines de comparación con la normativa.

Tabla 9. Datos obtenidos en el muestreo de Gases de Combustión con “MEZCLA DE COMBUSTIBLE B-5 (Biodiesel PME al 5% en Diesel Premium)” (31/01/2008).

	Promedios	Máximos	Emisión mg/Nm <sup>3</sup> Corregido al 15% de O <sub>2</sub> **
Porcentaje de oxígeno (%O <sub>2</sub> )	17,03	17,10	—
Porcentaje de dióxido de carbono (%CO <sub>2</sub> ) *	3,00	—	—
Concentración de monóxido de carbono (ppm CO)	2.141,18	2.404,00	4.082,4
Concentración de óxido nítrico (ppm NO)	68,68	89,00	—
Concentración de dióxido de nitrógeno (ppm NO <sub>2</sub> )	40,84	42,50	—
Concentración de óxidos de nitrógeno (ppm NO <sub>x</sub> )	109,50	128,00	343,0
Concentración de dióxido de azufre (ppm SO <sub>2</sub> )	0,00	0,00	0,0
Temp. Gases (° C)	92,90	99,20	—

\* Obtenido por la fórmula del CO<sub>2</sub> máximo: %CO = (CO<sub>2</sub>máx \* (21% - %O<sub>2</sub>)) / (21%).

\*\* Los valores han sido transformados a condiciones normales de 1013mbar de presión y 0° C de temperatura, en base seca y corregidos a 15% de oxígeno como indica la Legislación Ambiental Libro VI, Anexo 3 en su numeral 4.3.6: “Motores de Combustión Interna”.

En la Tabla 10, se presenta las concentraciones de los gases que se han obtenido de la medición y su comparación con el límite normativo vigente:

Tabla 10. Comparación de los valores de Concentración de gases de la prueba con MEZCLA DE COMBUSTIBLE B-5, frente a Normativa ambiental Vigente. (31/01/2008).

GAS (mg/Nm <sup>3</sup> )	Promedio	Límite según Normativa <sup>2</sup> (mg/Nm <sup>3</sup> )
Monóxido de Carbono (CO)	4.082,4	n/a
Óxidos de Nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	343,0	2.000
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	0,0	1.500

1 Los valores han sido transformados a condiciones normales de 1013mbar de presión y 0° C de temperatura, en base seca y corregidos a 15% de oxígeno como indica la legislación.

## **Análisis de resultados**

A continuación se presentan el análisis de gases de escape con los distintos combustibles y mezclas de combustible.

### **Análisis de Gases de Combustión con Diesel-II**

- La curva de Monóxido de Carbono (CO) presenta una ligera disminución a lo largo del tiempo, lo que puede ser debido a la entrada en régimen del motor, que hace que la combustión sea más eficiente a lo largo del tiempo, con el calentamiento progresivo del sistema.
- Las curvas de Óxidos de Nitrógeno (NOx) presentan un incremento proporcional a lo largo del tiempo, caso contrario sucede con la curva de Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>) que presenta una disminución a lo largo del tiempo.
- Las concentraciones promedio y máxima de todos los gases, no sobrepasan límites normativos estipulados en la legislación ambiental para motores de combustión interna.

### **Análisis de Gases de Combustión con Diesel Premium**

- La curva de Monóxido de Carbono (CO) presenta una ligera disminución a lo largo del tiempo.
- Las curvas de Óxidos de Nitrógeno (NOx) presentan un incremento proporcional con el tiempo, lo cual está en función del calentamiento del motor y los gases de combustión.
- El equipo no detectó concentraciones de SO<sub>2</sub> para este tipo de combustible, por lo que no existe curva de Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>).
- Las concentraciones promedio y máxima de todos los gases, no sobrepasan los límites normativos estipulados en la legislación ambiental para motores de combustión interna.

### **Análisis de Gases de Combustión con Biodiesel PME B-100**

- La curva de Monóxido de Carbono (CO) permanece casi constante a lo largo del tiempo, lo cual indica que la combustión es estable, sin

embargo existe un ligero incremento de los gases Óxidos de Nitrógeno, que está en función de la temperatura de combustión.

- No se detectaron emisiones de Dióxido de Azufre, ya que el combustible Biodiesel B-100 no tiene azufre en su composición o es mínimo, por lo que no se da la formación de este gas.
- Las concentraciones promedio y máxima de todos los gases, no sobrepasan los límites normativos estipulados en la legislación ambiental para motores de combustión interna.

#### **Análisis de Gases de Combustión con Mezcla de Combustible B-10**

- La curva de Monóxido de Carbono (CO) no presenta una mayor variación a lo largo del tiempo al igual que las curvas de NOx.
- No existe curva de Dióxido de Azufre, lo que puede deberse a que este combustible no tiene o es casi despreciable el contenido de azufre.
- Las concentraciones promedio y máxima de todos los gases, no sobrepasan los límites normativos estipulados en la legislación ambiental para motores de combustión interna.

#### **Análisis de gases de Combustión con Mezcla de Combustible B-5**

- Las concentraciones de Monóxido de Carbono (CO) y de Óxidos de Nitrógeno, no varían notablemente a lo largo del tiempo, a pesar del progresivo calentamiento del sistema.
- No se detectaron concentraciones de Dióxido de Azufre, para este tipo de combustible.
- Las concentraciones promedio y máxima de todos los gases, no sobrepasan los límites normativos estipulados en la legislación ambiental para motores de combustión interna.

#### **Análisis comparativo de parámetros**

Las figuras que a continuación se presentan muestran los diferentes parámetros obtenidos en cada muestreo, para fines comparativos:

## Comparación de Concentraciones de Monóxido de Carbono (CO) versus el tipo de Combustible

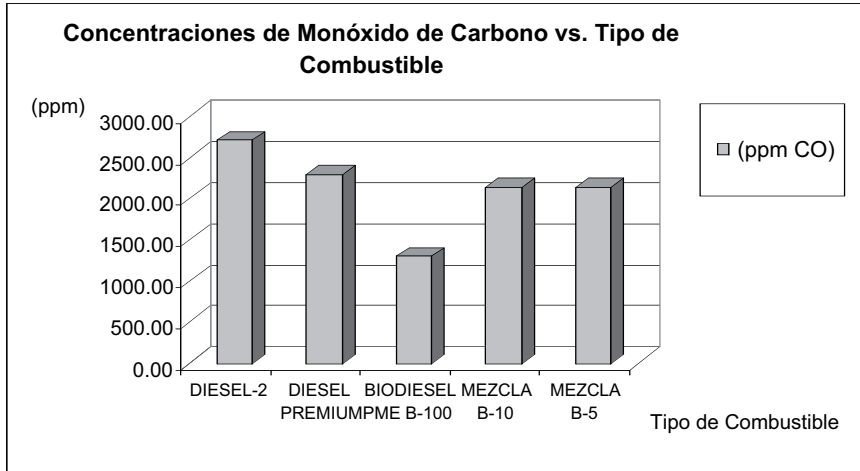


Figura 2. Monóxido de Carbono (CO) versus el Tipo de Combustible.

- Se observa que la concentración promedio del Monóxido de Carbono es diferente con cada tipo de combustible, siendo la más alta con el Diesel-2 y la más baja con el Biodiesel B-100.
- El Diesel Premium también presenta una menor cantidad de CO producido.
- Las mezclas B-10 y B-5 si presentan una ligera reducción de la generación de este gas, por su contenido de Biodiesel PME.
- La presencia del Monóxido de Carbono está asociada a la eficiencia de la combustión de un motor, así pues una mayor concentración de este gas indica una baja eficiencia de la combustión y viceversa.

Comparación de concentraciones de óxidos de nitrógeno (NOx) versus el tipo de combustible.

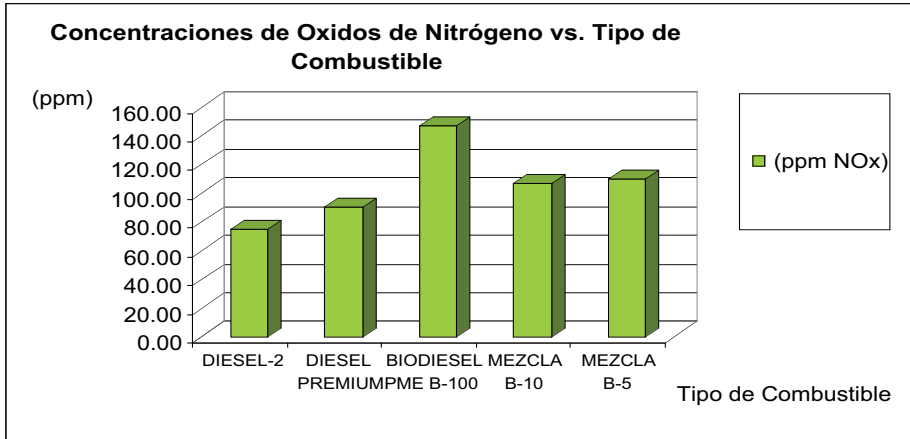


Figura 3. Óxidos de Nitrógeno versus el Tipo de Combustible.

- Se observa que las concentraciones promedio de los Óxidos de Nitrógeno (NOx) son diferentes entre cada tipo de combustible, siendo la más alta con el Biodiesel B-100 y la más baja con el Diesel-2.
- El Diesel Premium también presenta una menor cantidad de óxidos de nitrógeno.
- La mezclas B-10 y B-5 si presentan un ligero aumento de la generación de estos gases frente al Diesel-2 y Diesel Premium, por su contenido de Biodiesel PME al 10% y al 5%, respectivamente.

Comparación de concentraciones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) versus el tipo de Combustible.

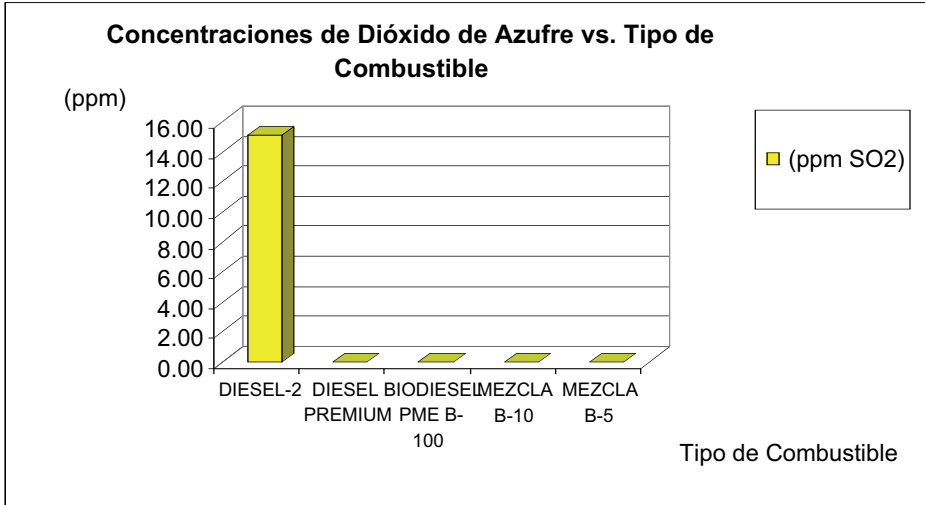


Figura 4. Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>) versus el Tipo de Combustible

- Se observa que el único combustible que genera una concentración de este gas SO<sub>2</sub> es el Diesel-2, los demás combustibles no presentan emisiones de este parámetro.



Comparación de temperaturas de gases versus el tipo de combustible.

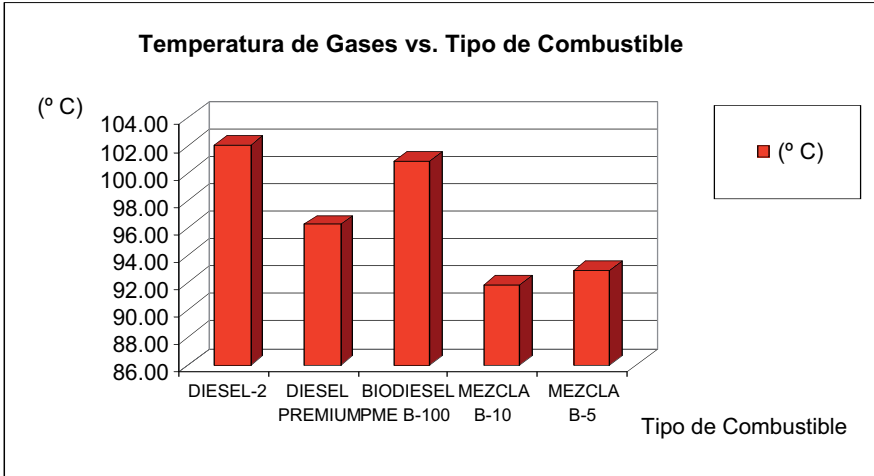


Figura 5. Temperatura de los Gases versus el Tipo de Combustible

- Se observa que las temperaturas de los gases con el Diesel-2 y con el Biodiesel son las mayores y relativamente son cercanas entre sí.
- La menor temperatura se presenta con la Mezcla B-10 y le sigue la Mezcla B-5.

#### 4. Conclusiones y recomendaciones

Luego del análisis del proyecto, se concluye que la mezcla más idónea para la ciudad de Cuenca es B5 (Biodiesel PMA al 5% en Diesel Premium), ya que presenta las mejores características tanto de funcionamiento como en reducción de gases de escape a pesar de que se noto un ligero aumento en la concentración de NOx; es conveniente aclarar que todos los gases de escape medidos durante las pruebas están bajo la norma establecida.

A continuación se presentan las conclusiones más importantes del proyecto:

**Formación de Cristales.** Es una propiedad característica del biodiesel, la misma que se produce a medida que la temperatura decrece (Cloud Point) tendiendo a solidificarse, por esta razón se han visto afectados filtros de combustible y otros elementos del sistema de alimentación de combustible. Al utilizar B5, este cambio de estado es prácticamente nulo.

**Aumento de Potencia** utilizando B5 en las pruebas realizadas la potencia se incrementa ligeramente; debido a una combustión más eficiente, acusado directamente a un aporte extra de oxígeno contenido en el Biodiesel.

**Consumo.** Cuando se utiliza B5, el consumo de combustible se mantiene inalterable.

**Modificaciones en el Sistema** por tener un porcentaje bajo de Biodiesel (B5), no es necesario hacer ningún tipo de modificación, siempre y cuando el biocombustible utilizado cumpla con la norma ASTM D6751, utilizado en el proyecto.

**Emisiones Contaminantes.** Según las pruebas realizadas con B5 todos los contaminantes se reducen a excepción del  $\text{NO}_x$ , que aumenta levemente pero siempre dentro de la norma establecida, para superar este parámetro es necesario instalar en los tubos de escape catalizadores ó válvulas de recirculación de gases (EGR) con la finalidad de disminuir la temperatura de combustión evitando así que se produzcan los  $\text{NO}_x$ .

**En la ciudad de Cuenca.** Si se hubiera aplicado B5 durante todo el año 2008, hubiéramos alcanzado cifras importantes en reducción de gases contaminantes como los siguientes:

- Una disminución de 11.743,11 toneladas de  $\text{CO}_2$ , considerándolo como ciclo renovable, ó 6.294,3 (2,68%) toneladas de  $\text{CO}_2$  tomando solo la reducción que se midió en los equipos.
- Una disminución de 4,62 toneladas de material particulado (1,77%).
- Una disminución de 527,6 toneladas de hidrocarburos HC (80,87%).

- Una disminución de 495,75 toneladas de monóxido de carbono (4,47%).
- Por otro lado hubiera un incremento de 68,78 toneladas de NOx (6,59%), los cuales podrían ser controlados eficientemente con dispositivos anotados en el párrafo anterior.

\*En las pruebas realizadas durante el proyecto se notó que los gases contaminantes están dentro de la norma establecida, sin embargo el objetivo del proyecto no es mantener los gases nocivos en los límites permisibles, sino reducirlos de la forma más eficiente, de tal manera que este proyecto es un inicio del estudio sobre la reducción de las gases contaminantes provenientes de los vehículos motorizados.

## Bibliografía

ALLEY, Roberts

2001 *Manual del control de la calidad del aire*. Ed. McGraw-Hill, México.

ALONSO, Manuel

2001 *Técnica del automóvil Sistema de inyección de combustible en los Motores diesel*. Ed. Thompson, Madrid.

BOSCH, Robert

1996 *Manual de la técnica del automóvil*. Ed. Reverte, Barcelona.

DE NERVERS, Noel

1989 *Ingeniería de Control de la Contaminación del Aire*. Ed. McGraw-Hill. Madrid.

GARZÓN, Guillermo

2001 *Fundamentos de Química General*, segunda edición, McGraw-Hill. Barcelona.

GREG, Pahl

2005 *Biodiesel Growing a New Energy Economy*. Edit. Chelsea Green, EE.UU.

JOVAJ, M.

1982 *Motores del automóvil*. Edit. Mir. Moscow.

KEMP, William

2006 *Biodiesel basics and Beyond A Comprehensive Guide to production and Use for the Home and Farm*. Ed. Aztex Press, EE.UU.

OBERT, Edward

2001 *Motores de combustión Interna Análisis y aplicaciones*. Ed. Continental, México.

TICKELL, Josh

2006 *Biodiesel America How to Achieve Energy Security*. Ed. Published by Yorkshire Press.