

# La prueba de opacidad como herramienta para determinar la eficiencia de combustión en los motores diésel y la tasa de emisiones de PM<sub>2.5</sub>

Ángel Portilla-Aguilar<sup>1</sup>, Ana Tapia-Morales<sup>2</sup>, Víctor Espinosa-Cevallos<sup>3</sup>, Edison Salazar -Haro<sup>4</sup>,  
Mayra Portilla -Herrera<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Emisiones vehiculares, Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador. Email: angel.portilla@epn.edu.ec

<sup>2</sup>GICSI, Ciencias de la Ingeniería e Industrias, Universidad UTE, Ecuador. Email: ana.tapia@ute.edu.ec

<sup>3</sup>Nanotecnología, Escuela de Ciencias Físicas, Yachay Tech University, Ecuador. Email: vespinosa@yachaytec.edu.ec

<sup>4</sup>LIAVMS, Laboratorio Institucional, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador. Email: edison.salazarh@epn.edu.ec

<sup>5</sup>ANRCTTSV, Dirección de Control Técnico Sectorial, Agencia Nacional de Tránsito, Ecuador. mayra.portilla@ant.gob.ec

## Resumen

La eficiencia de la combustión depende de las propiedades del combustible, las características de inyección de combustible, grado de homogeneidad de la mezcla aire - combustible, de la presencia de combustible y aceite lubricante en las paredes del cilindro, el estado operativo y el mantenimiento del motor, así como los sistemas post tratamiento de los gases. Uno de los mayores contaminantes ambientales que generan los vehículos diésel es el material particulado (PM). La fracción respirable de acuerdo con su tamaño se la divide en dos grupos PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>. Las partículas de tamaños menores que 2.5µm conllevan un mayor riesgo para la salud que aquellas más grandes, lo cual sugiere que PM<sub>2.5</sub> es un mejor indicador de la calidad del aire respecto a material particulado que PM<sub>10</sub>. En la ciudad de Quito, los procesos de Revisión Técnica Vehicular (RTV) de los vehículos con motor diésel, incluyen una prueba de opacidad estática para obtener el permiso de circulación, determinando la eficiencia de la combustión, pero no de la tasa de emisiones de PM<sub>2.5</sub>.

**Palabras clave:** Revisión Técnica Vehicular, Emisiones contaminantes, Opacidad, Material Particulado

## Abstract

Combustion efficiency depends on fuel properties, fuel injection characteristics, the homogeneity of the air-fuel mixture, the presence of fuel and lubricating oil on cylinder walls, engine operating conditions and maintenance, as well as the post-treatment systems of the gases. One of the major environmental pollutants emitted by diesel vehicles is particulate matter (PM). This particulate matter, based on its size, is categorized into PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>, with particles smaller than 2.5 µm posing a greater health risk compared to larger particles. Consequently, PM<sub>2.5</sub> serves as a better indicator of air quality regarding particulate matter than PM<sub>10</sub>. In Quito, the Vehicle Technical Inspection (VTI) processes for diesel-powered vehicles include a static opacity test to obtain a circulation permit, which assesses combustion efficiency, but does not measure the PM<sub>2.5</sub> emission rate.

**Keywords:** Vehicle Technical Inspection, Pollutant Emissions, Opacity, Particulate Matter

## 1. Introducción

El material particulado que emiten los motores de encendido por compresión, afecta a la salud de los seres humanos por la gran capacidad de penetración por las

vías respiratorias, en especial el PM<sub>2.5</sub> que es 100% respirable siendo estas partículas capaces de llegar a los alveolos pulmonares, y causar enfermedades respiratorias, cardiorrespiratorias y la disminución del funcionamiento pulmonar. Varios estudios toxicológicos han intentado explicar cuáles son los mecanismos de acción

de las partículas sobre las células alveolares, su exacerbación del asma, su carcinogenicidad y mutagenicidad, entre otros efectos, sin embargo, estos resultados no han sido concluyentes. [1]

Los gases de escape de los motores diésel han sido clasificados, por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer, como Clase 1 es decir, que son cancerígenos para los humanos. La causa principal es el material particulado fino ( $PM_{2.5}$ ) [2]. El material particulado tiene diversos componentes; entre estos están los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs). Estos se encuentran en el hollín emitido como producto de la combustión de los motores diésel.

El transporte urbano de pasajeros y mercaderías, es una actividad importante en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), siendo es los vehículos equipados con motores a diésel. En los últimos años este sector ha experimentado un importante crecimiento, lo que a su vez a ocasionado un deterioro de la calidad del aire y la salud de sus habitantes.

El parque automotor a diésel del DMQ es de 29100 vehículos con motor a diésel, que corresponde a un 6% del parque automotor total que circula por el DMQ, desde el año 2015 hasta el año 2017. [3]

Estos vehículos corresponden a:

- Buses de transporte público: 5300 vehículos = 18.21%.
- Buses escolares: 4800 vehículos = 16.50%.
- Camiones y livianos: 19000 vehículos = 65.29%.

Es una atribución y obligación de la autoridad del DMQ controlar que las unidades de transporte urbano de pasajero y mercaderías se encuentren en condiciones óptimas de funcionamiento y cuenten con el permiso de funcionamiento habilitado; para lo cual deben de cumplir con las leyes, reglamentos, normas y ordenanzas vigentes. El cumplimiento de las mismas se verifica en los Centros de Revisión Técnica Vehicular contruidos para el efecto.

Entre las normas vigentes a cumplir son las siguientes:

- NTE INEN 2207:2002, límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres diésel.
- NTE INEN 2202:2000, determinación de opacidad de emisiones de escape de motores diésel mediante prueba estática. Método de aceleración libre.

En el informe de calidad del aire del DMQ del año 2022 respecto al Material particulado fino ( $PM_{2.5}$ ) se observa la superación de la NECA y guías de la OMS en la ma-

yoría de estaciones de monitoreo, mostrando una exposición crónica a este contaminante. La concentración media anual establecida por la NECA ( $15 \mu g/m^3$ ), fue superada en las estaciones de monitoreo de Belisario, El Camal, Centro, y Los Chillos. Las concentraciones fluctuaron entre 13,0 (Tumbaco) y 20,0 (El Camal). El análisis de la tendencia del  $PM_{2.5}$ , 24 horas y promedio anual muestra un incremento de este contaminante en todas las zonas, luego de los años 2020 y 2021 debido a la pandemia, volviendo a valores similares a los años anteriores. Todos los promedios 24 horas se mantienen sobre la Guía OMS durante todos los años monitoreados. [4]

En la norma INEN 2202, el término emisiones hace referencia al porcentaje de opacidad y concentración de material particulado  $PM_{2.5}$  emitidos por los gases de combustión, medidos en un régimen de prueba estática siguiendo el procedimiento establecido en la misma, no midiéndose la tasa de emisión de  $PM_{2.5}$  en ( $mg/m^3$ ). [5]

En el presente estudio se desarrolla una metodología para la cuantificación de las emisiones de partículas diésel en un motor de inyección mecánica para las condiciones geográficas de la ciudad de Quito en función de los niveles de opacidad. El resultado de la medición del porcentaje de opacidad en la RTV, no solo será un indicador de la eficiencia de la combustión, sino de la tasa de emisiones del  $PM_{2.5}$ . Esto permitirá el desarrollo de prácticas de control más eficientes y establecerá regulaciones que resulten en una protección más efectiva de la salud pública y la conservación del medio ambiente.

Como resultado experimental se determinó que las variables involucradas disminúan de forma similar conforme se incrementa la presión de inyección. Utilizando métodos estadísticos de regresión lineal simple entre estas dos variables se demostró que el porcentaje de opacidad y la tasa de emisiones de  $PM_{2.5}$  tiene una fuerte correlación. La metodología para la determinación de la eficiencia de combustión y emisiones de  $PM_{2.5}$ , es relativamente sencilla y económica.

### 1.1. Procesos de formación del PM en las emisiones de motores ciclo diésel. [6]

Los procesos de formación de partículas en la combustión aún no son entendidos en detalle y difieren del combustible empleado. Existen varios procesos precursores del PM que se presentan inmediatamente después de la combustión o en el muestreo de los gases de escape. Estos se pueden clasificar en físicos y químicos.

#### 1.1.1. Procesos Físicos [7]

Las características de un proceso físico, es que en estos no se presentan reacciones químicas entre las diferentes sustancias.

#### 1.1.1.1. Coagulación

Es el proceso donde las partículas interactúan y colisionan unas contra otras, dando lugar a la formación de nuevas partículas. Este mecanismo no afecta la masa total de gases de partículas en los gases de escape, pero produce un decremento en el número de partículas pequeñas y un incremento de partículas grandes.

#### 1.1.1.2. Adsorción

En este proceso las moléculas de un gas o vapor se adhieren a la superficie de una partícula sólida. En el caso de los gases de escape de vehículos, la adsorción se da por los compuestos orgánicos volátiles sobre las partículas existentes en las emisiones lo que afecta el tamaño y masa del material particulado, mientras que disminuye el contenido de hidrocarburos gaseosos en las emisiones.

#### 1.1.1.3. Nucleación

Es el proceso de formación de nuevas partículas a partir de las sustancias orgánicas volátiles. Los hidrocarburos poli aromáticos son moléculas precursoras de la nucleación. Una vez que la partícula alcanza cierto tamaño y se estabiliza esta continúa creciendo por efecto de condensación.

#### 1.1.1.4. Condensación y evaporación

Condensación es el proceso que se da por la nucleación y adsorción cuando hay presentes partículas estables y altos niveles de saturación. La condensación es reversible, y la evaporación de los gases condensados puede ocurrir si el nivel de saturación cae demasiado. Una disminución de la temperatura en los sistemas de muestreo causa que la muestra gaseosa se convierta en vapor, lo cual incrementa la tasa de saturación y por lo tanto se incrementa la posibilidad de condensación. La condensación y la evaporación pueden afectar el tamaño y la masa del material particulado.

### 1.1.2. Procesos Químicos [7]

Estos procesos se caracterizan porque existen reacciones químicas entre los diferentes compuestos. Estas reacciones son precursoras de PM en la combustión.

#### 1.1.2.1. Pirólisis

Se define como la descomposición térmica de un material en ausencia de oxígeno o cualquier otro reactante. Esta descomposición se produce a través de una serie compleja de reacciones químicas y de procesos de transferencia de calor y materia. La pirólisis también aparece como un paso previo a la gasificación y la combustión.

#### 1.1.2.2. Polimerización

Es un proceso químico en el cual los reactivos monómeros se agrupan químicamente entre sí, dando lugar a una molécula de gran peso, llamada polímero, que puede ser bien una cadena lineal o una macromolécula tridimensional.

### 1.2. Control del proceso de combustión convencional en un motor de encendido por compresión.

Al analizar el proceso de combustión en un motor de encendido por compresión o motor diésel, existen ciertos parámetros de control de un motor que influyen sobre el proceso de combustión, esto es, sobre la liberación de calor. De esta manera, se obtendrá información acerca de cómo cambian las prestaciones del motor cuando se actúa sobre los parámetros de entrada del mismo. Desde el punto de vista de la combustión, son importantes los parámetros que afectan al combustible (composición y propiedades fisicoquímicas) y su introducción en el cilindro mediante el proceso de inyección, los parámetros que afectan al aire (condiciones termodinámicas y composición), así como el diseño del volumen donde tiene lugar el proceso de combustión. [8]

La formación de la mezcla y la combustión en los motores diésel están estrechamente relacionados y en parte se producen simultáneamente, esto repercute de manera fundamental en el tipo y cantidad de residuos de la combustión, para esta investigación es necesario variar las condiciones en el sistema de inyección del vehículo para variar el proceso de formación de la mezcla, y obtener diferentes resultados en las emisiones gaseosas.

Los parámetros de control del sistema de inyección, que inciden sobre el proceso de combustión, con los siguientes. [8]

- Parámetros de diseño, esto es, las características geométricas del inyector, número de orificios, así como el diámetro, geometría interna y disposición de los mismos.
- Parámetros de funcionamiento, que dependen de la operación del motor, entre estos:

- Control mediante la masa de combustible inyectado.
- La presión de inyección, que controla la velocidad con que es inyectado el combustible.
- Control mediante el inicio de la inyección.

En esta investigación se realiza el estudio variando la presión de inyección. El aumento de la presión se traduce en un aumento de la velocidad de salida del combustible y por lo tanto del caudal másico y de la cantidad de movimiento del chorro. Esto hace que se reduzcan los tiempos característicos de mezcla del combustible con el aire. [8]

Cuando se modifica la presión de inyección:

- No se modifica el tiempo de retraso del encendido. En ocasiones puede obtenerse una pequeña influencia de la presión de inyección, debido a que los procesos de mezcla se aceleran, y por lo tanto las pre reacciones químicas pueden empezar antes.
- Aumenta el máximo de liberación de calor durante la fase de premezclado, debido a que durante el tiempo de retraso del encendido se ha preparado más mezcla como consecuencia del aumento en la presión de inyección.
- Aumenta la tasa de liberación de calor durante toda la fase de combustión por difusión, debido también a la mayor tasa temporal de mezcla.

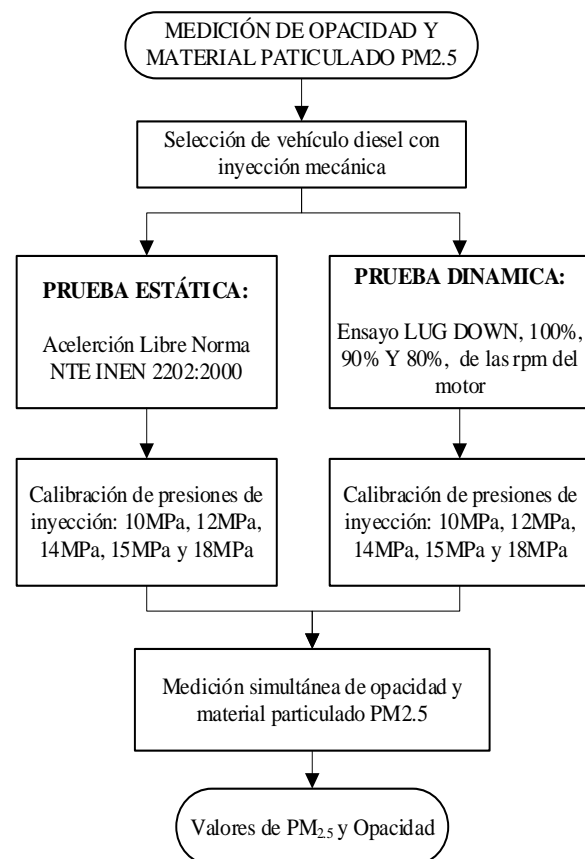
En resumen, el aumento de la presión de inyección hace que el proceso de combustión sea más rápido, lo cual es favorable normalmente para el rendimiento del motor, puesto que el proceso de combustión se parece más al caso ideal de combustión a volumen constante, que produciría un mayor rendimiento indicado. [8]

## 2. Metodología

Esta investigación inicia con la selección de un vehículo equipado con motor diésel, con sistema de inyección de combustible mecánico, con el propósito de variar la presión de inyección de combustible y así obtener valores diferentes de opacidad y la tasa de emisión de material particulado  $PM_{2.5}$ , y así poder encontrar una correlación entre estas dos variables.

Se realizan dos protocolos de medición, el primero se basa en la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2202:2000, mediante una prueba estática y el segundo se basa en los requisitos establecidos por el Departamento de Protección Ambiental de Hong Kong mediante el ensayo LUG DOWN, mediante una prueba dinámica en dinamómetro de chasis.

Las presiones de inyección calibradas en el sistema de inyección de combustible fueron 10MPa, 12MPa, 14MPa, 15MPa y 18MPa. La opacidad y la emisión de material particulado  $PM_{2.5}$  se midieron al mismo tiempo y mediante regresión lineal simple se determinó el grado de correlación.



**Figura 1.** Esquematización de metodología utilizada

### 2.1. Equipos utilizados

La prueba estática de aceleración libre y la dinámica Lug Down, se realizaron en las instalaciones del Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares “CCICEV” de la Escuela Politécnica Nacional, los mismos que se describen a continuación:

#### 2.1.1. Dinamómetro de chasis LPS 3000

En el dinamómetro se puede evaluar torque y potencia del motor de un vehículo, ejecutar ciclos de conducción preestablecidos y programados desarrollados para una ciudad, test de opacidad dinámica Lug Down, simulador de carga, evaluar la elasticidad de un motor, control de tacómetro, consumo de combustible, análisis de emisiones contaminantes. [9]

### 2.1.2. Medidor de Material Particulado fino MPM-4M

Este equipo permite continuamente la concentración de material particulado, las concentraciones se ven reflejadas en forma gráfica en mg/m<sup>3</sup> en función del tiempo, el valor corresponde al promedio de los valores máximos obtenidos en cada medida, para la prueba Lug Down se calcula el promedio de los valores obtenidos al 100%, 90% y 80% de la velocidad máxima de giro del motor. [10]

### 2.1.3. Opacímetro

El opacímetro que se utiliza para medir la opacidad es el MAHA MDO2, es de flujo parcial, mediante el procedimiento de aceleración libre o de baja carga del motor. Dispone de un terminal de mano con una impresora de datos para la protocolización gráfica y numérica de los resultados de medición. El equipo realiza un muestreo de descargas parciales en una cámara cerrada, evaluando el grado de obscuridad de los gases de escape. [11]

### 2.1.4. Vehículo de prueba

- Marca: TOYOTA
- Modelo: HILUX
- Tipo: CAMIONETA 4 X 4
- Año: 1998
- Distribución: 8 VÁLVULAS OHC
- Alimentación: INYECCIÓN MECÁNICA, BOMBA DISTRIBUIDORA
- Potencia Máxima: 65 Kw @ 4000 rpm
- Par Motor Máximo: 185 Nm 2400 rpm
- Relación de compresión: 22.1:1

## 2.2. Ensayos realizados

Para determinar el material particulado y la opacidad de los gases producidos en la combustión para cada presión de prueba, se realizan dos pruebas, una estática y una dinámica.

### 2.2.1. Ensayo de Material Particulado PM<sub>2.5</sub> y Opacidad – Prueba estática

Determinación de opacidad de emisiones de escape de motores diésel mediante prueba estática. Método de aceleración libre. Según la norma NTE INEN 2202:2000. [5]

### 2.2.2. Ensayo de Material Particulado PM<sub>2.5</sub> y Opacidad – Prueba dinámica

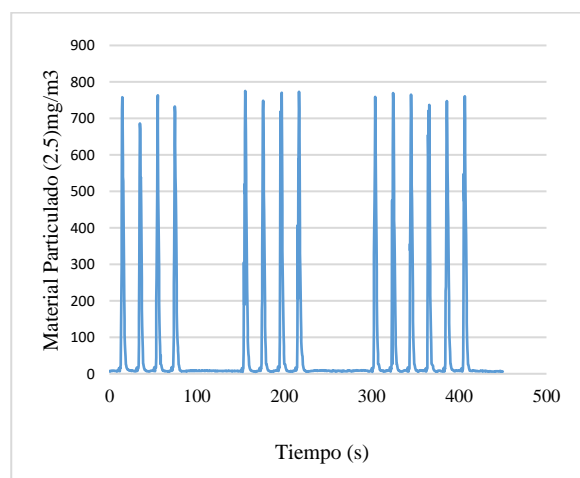
Determinación de opacidad de emisiones de escape de motores diésel mediante prueba dinámica. Método Lug

Down. Según regulaciones del Departamento de Protección Ambiental de Hong Kong. [10]

## 3. Resultados

### 3.1. Resultado del ensayo de Material Particulado PM<sub>2.5</sub> y Opacidad – Prueba estática

La realización de la prueba estática en el vehículo seleccionado se desarrolló variando las presiones en el sistema de inyección de combustible, registrándose los valores de la opacidad y evaluando la gráfica de comportamiento del PM<sub>2.5</sub>, como se muestra en la Figura 2.



**Figura 2.** Concentración PM<sub>2.5</sub>, prueba estática (10 MPa)

En la Tabla 1, se muestran los valores de la concentración de PM<sub>2.5</sub> y opacidad para cada presión de prueba.

De los datos tabulados en la Tabla 1, se puede evidenciar que el porcentaje de opacidad y el material particulado PM<sub>2.5</sub> disminuyen al aumentar la presión de inyección del diésel.

**Tabla 1.** Valores de PM<sub>2.5</sub> y Opacidad en prueba estática

Presión de inyección (MPa)	Prueba Estática	
	MP <sub>2.5</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	Opacidad (%)
10	747,01	66,7
12	635,03	61,63
14	213,4	35,89
15,5	140,25	19,11
18	92,08	20,7

En las Figuras 3 y 4 se observan las gráficas de PM<sub>2.5</sub> y porcentaje de opacidad, correspondientes a los valores de la Tabla 1.

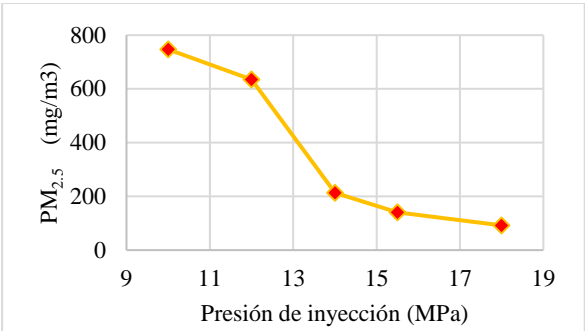


Figura 3. Concentración de PM<sub>2.5</sub> vs Presión de inyección (Prueba Estática)

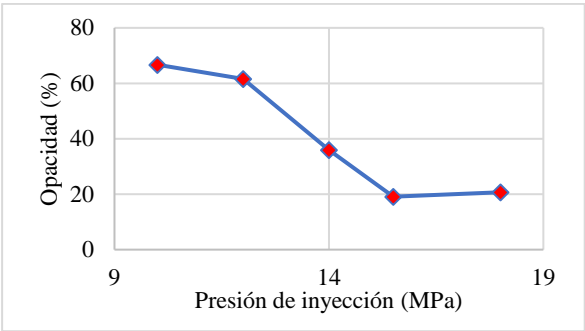


Figura 4. Porcentaje de opacidad vs Presión de inyección (Prueba Estática)

Analizando los gráficos de las Figuras 3 y 4, se puede mencionar que, para la prueba estática, la concentración de material particulado PM<sub>2.5</sub> y el porcentaje de opacidad medidos en el tubo de escape son semejantes.

3.2. Resultado del ensayo de Material Particulado PM2.5 y Opacidad – Prueba dinámica

Los resultados de la concentración de material particulado PM<sub>2.5</sub> obtenidos en la prueba dinámica se obtienen de los gráficos de cada ensayo Figura 5, así como los valores de porcentaje de opacidad.

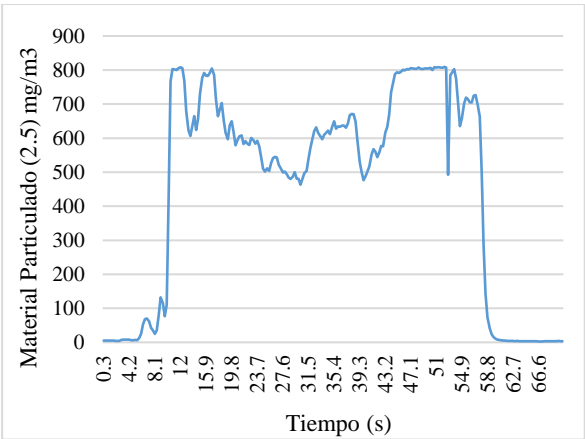


Figura 5. Concentración PM<sub>2.5</sub>, prueba dinámica (10 MPa)

La Tabla 2., se enlistan los valores de la concentración de PM<sub>2.5</sub> y porcentaje de opacidad medidos, los mismos que se muestran en las Figuras 6 y 7.

Tabla 2. Registro de PM<sub>2.5</sub> y Opacidad en prueba dinámica

Presión de inyección (MPa)	Prueba Dinámica	
	MP <sub>2.5</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	Opacidad (%)
10	664,1	77,8
12	554,74	65,37
14	358,47	55,3
15,5	189,34	25,17
18	39,44	6,87

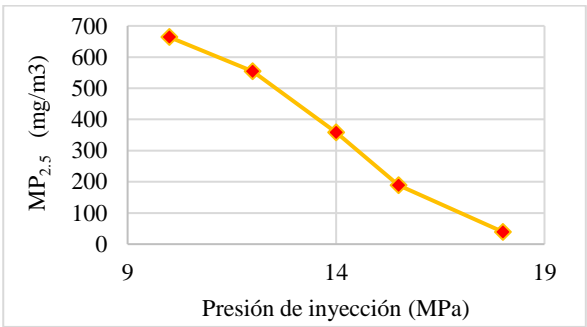


Figura 6. Concentración de PM<sub>2.5</sub> vs Presión de inyección (Prueba Dinámica)

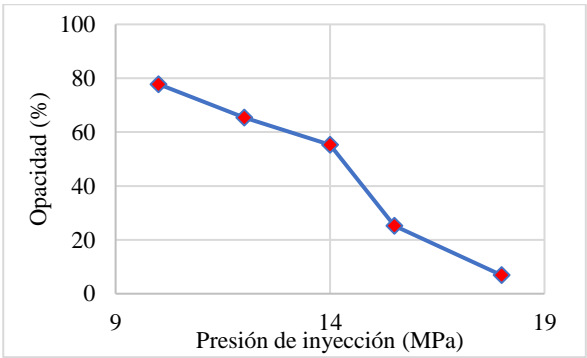


Figura 7. Porcentaje de opacidad vs Presión de inyección (Prueba Dinámica)

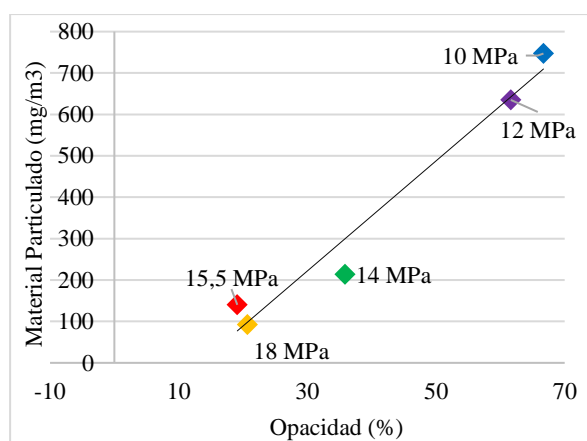
La forma de los gráficos de concentración de material particulado PM<sub>2.5</sub> y el porcentaje de opacidad medidos, en el tubo de escape para la prueba dinámica es semejante.

Los resultados obtenidos de las dos pruebas realizadas, que permiten analizar la eficiencia con la que se produce la combustión en un vehículo con motor a diésel, mediante la prueba de opacidad y la contaminación

producida al medir el material particulado PM<sub>2.5</sub>, y analizada la tendencia que tienen estas dos variables, se plantea realizar la correlación de las mismas.

#### 4. Correlación entre Material Particulado PM<sub>2.5</sub> vs Porcentaje de Opacidad

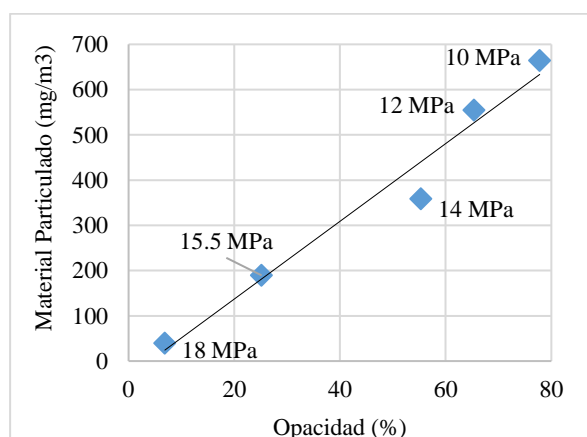
En las Figuras 8 y 9 se muestra la recta lineal de ajuste entre Material Particulado PM<sub>2.5</sub> (mg/m<sup>3</sup>) y Opacidad (%), tanto para la prueba estática como para la prueba dinámica.



**Figura 8.** PM<sub>2.5</sub> vs Opacidad (Pueba Estática)

La ecuación (1) representa el modelo ajustado, para la prueba estática.

$$PM_{2.5} \text{ (mg/m}^3\text{)} = 13,29 * OP(\%) - 176,76 \quad (1)$$



**Figura 9.** PM<sub>2.5</sub> vs Opacidad (Pueba Dinámica)

La ecuación (2), corresponde al modelo ajustado de los valores de la prueba dinámica.

$$PM_{2.5} \text{ (mg/m}^3\text{)} = 8,7004 * OP(\%) - 35,889 \quad (2)$$

El coeficiente de correlación calculado para la prueba estática es igual a 0.9821, y para la prueba dinámica 0.9833, lo que indica una relación relativamente fuerte entre las dos variables.

#### 4.1. Conclusiones

Luego de la realización de las pruebas y analizando los resultados obtenidos, así como las curvas de comportamiento de cada una de las variables estudiadas, se puede concluir que:

Al incrementar la presión en el sistema de inyección de combustible, se mejora el proceso de combustión, evidenciado con la disminución del porcentaje de opacidad y la tasa de emisión dl material particulado PM<sub>2.5</sub>, lo que puede ser una alternativa para disminuir este contaminante en las emisiones de los vehículos que circulan en el DMQ, así como su concentración en el aire ambiente.

Los valores del porcentaje de opacidad, en las pruebas de aprobación para la RTV en el DMQ, si bien son una referencia del proceso de combustión de los vehículos con motor a diésel que circulan en la ciudad, no permiten cuantificar el impacto ambiental del parque automotor; de los resultados obtenidos en las pruebas estática y dinámica, se aprecia que es factible encontrar una correlación entre estas dos variables, que permitan a las autoridades ambientales cuantificar el impacto ambiental y se puedan tomar medidas que permitan disminuir el mismo.

Los programas de mantenimiento que se realizan en los vehículos equipados con motor a diésel en el DMQ, previo al proceso de RTV, deberían incluir en los talleres especializados una calibración de la presión en el sistema de inyección, con lo que se lograría bajar el porcentaje de opacidad y así disminuir el alto número de vehículos por no cumplir los límites establecidos por la norma respectiva.

#### 4.2. Agradecimientos

A los investigadores e ingenieros del Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares “CCICEV” de la Escuela Politécnica Nacional, que nos han brindado todas las facilidades para la realización de las pruebas experimentales.

#### 5. Referencias

- [1] Tchermitchin, A.N., (2011). *Análisis de la nueva Norma Primaria de Calidad del Aire Ambiental para Material particulado Fino Respirable MP2.5*. Colegio Médico Chile, 10.

[2] U. N. E. P. (2016). *International Council Clean Transportation*, «A Global Strategy to Introduce Low-Sulfur Fuels and Cleaner Diesel Vehicles».

[3] AMT, A. M. (2017). Consultoría a fin de Desarrollar los Estudios para la Armonización del Sistema de Revisión Técnica Vehicular Obligatoria del Distrito Metropolitano de Quito a la Nueva Legislación Nacional y a los Requerimientos Técnicos Actuales.

[4] Distrito Metropolitano de Quito. (2014). *Informe anual de la calidad del aire*. Quito.

[5] Norma Técnica Ecuatoriana (2002). *NTE INEN 2 207: 2002 Primera revisión*

[6] Trace, K. (2002). Evaluating Different Measurement Techn. Carleton University. Canada.

[7] Cortez, P. (2010). *Teoría y desarrollo de un sistema de dilución para la medición de emisiones de motores ciclo diésel*.

[8] Payri, F., & Desantes, J. M. (2011). *Motores de Combustión Interna Alternativos*. REVERTÉ.

[9] MAHA (2005). *Manual de Equipos LPS 3000* (1ra Ed.). Alemania: Maha maschinenbau Haldenwang Gmbh & Co.

[10] MAHA (2010) Maschinenbau Haldenwang MPM-4M Original Operating instructions.

[11] MAHA (2011). *Manual de Equipos MDO2* Alemania: Maha maschinenbau Haldenwang Gmbh & Co.

[12] HONG KONG (2000). *Road Traffic Ordinance, Code of Practice for Designated Vehicle Emission Testing Centres*.