

**CENTRO DE TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA
PARA LA CAPACITACIÓN E INVESTIGACIÓN EN
CONTROL DE EMISIONES VEHICULARES**

**“EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD DE COLOCACIÓN
DE DISPOSITIVOS REDUCTORES DE EMISIONES EN EL
PARQUE AUTOMOTOR DE TRANSPORTE URBANO A
DIESEL EN EL DMQ”**

**PRODUCTO 2: ANÁLISIS MECÁNICO PARA FACTIBILIDAD
DE INSTALACIÓN DE DISPOSITIVOS REDUCTORES DE
EMISIONES Y LISTADO DE DISPOSITIVOS SUGERIDOS**



Octubre, 2016

1. INTRODUCCIÓN

Entre los nuevos dispositivos anticontaminantes que aparecieron desde principio de la década de los años 90 tanto motores de ciclo Otto como Diésel, están los convertidores catalíticos o catalizadores, cuyo rendimiento en la depuración de los gases tóxicos es prácticamente del 100%, en condiciones normales de funcionamiento.¹

El mayor problema de las emisiones contaminantes de los gases de escape de los motores Diésel es la generación de partículas sólidas, carbonilla y humos negros (MP). Las partículas generadas en la combustión de los motores Diésel (MP) son un agregado complejo de material sólido y líquido. Su origen son las partículas de carbono generadas en la propia combustión. Las partículas Diésel (MP) son clasificadas en tres grupos como son: sólidas, orgánicas y de azufre.

Obviamente, la composición de las partículas Diésel (MP) depende principalmente del motor así como de sus condiciones de velocidad y carga. Considerando las partículas Diésel (MP), como "partículas húmedas y partículas secas", se obtiene una estructura combinada en un 60% de "partículas húmedas" compuesta de moléculas de hidrocarburos orgánicos (SOF) y el resto de "partículas secas" compuesto de moléculas de carbono sólido. La adición de partículas de azufre o sulfatos a esta estructura será directamente proporcional al mayor o menor contenido de azufre en el diésel.

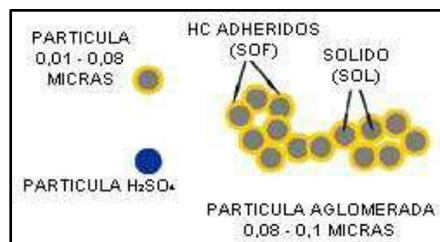


Figura 1. Estructura del material particulado diésel. ²

Las partículas Diésel son micro moleculares cuyo núcleo de carbono alcanza un diámetro en milésimas de milímetro (micras) de 0.01 a 0.08 μ . Por el contrario, en el aglomerado de partículas se puede obtener un diámetro entre 0.08 y 1 micras. Precisamente, esta es la causa principal por el que las partículas Diésel son casi infiltrables y respirables, y en consecuencia, se desprende su potencial riesgo para salud de las personas y su incidencia en la generación de enfermedades respiratorias y su aportación en el desarrollo del cáncer de pulmón. La finalidad de todo convertidor catalítico, denominado CATALIZADOR, es el favorecer la transformación de los gases nocivos CO, HC, NO_x y MP en CO₂ y H₂O (vapor de agua). Esta transformación se basa en el empleo de una serie de metales nobles como el Platino (Pt), el Paladio (Pd) y el Rodio (Rh),

¹ RODRIGO, J. A. Catalizadores Para Motores Diésel, 2009.

² Consultado de: <http://www.nett.ca>, Septiembre, 2016.

cuyas características materiales permiten las reacciones químicas de oxidación y reducción necesarias para que se produzca tal conversión en estos gases nocivos.

La forma exterior del catalizador puede asimilarse a un silenciador, además suele ocupar el lugar del primer silenciador en el conjunto del escape. En su interior se localiza el bloque del catalizador, tipo monolito, que puede ser de material cerámico o metálico. Los catalizadores para motores Diésel permiten controlar las emisiones nocivas mediante las conversiones químicas referidas en los gases de escape, y garantizan la máxima efectividad para neutralizar dichos elementos tóxicos como son las partículas sólidas de hidrocarburos (MP) y el monóxido de carbono (CO).

La depuración de los catalizadores Diésel anula el monóxido de carbono (CO), los hidrocarburos en estado gaseoso (HC) y las moléculas orgánicas (SOF), transformándolos en dióxido de carbono (CO₂) y vapor de agua (H₂O). Esta conversión se ve favorecida por la elevada concentración de oxígeno en los gases de escape de motores Diésel, que puede variar entre el 3% y el 17%, dependiendo de la carga motor. En los catalizadores Diésel la conversión de moléculas SOF se sitúa próxima al 80% de rendimiento. Además, la oxidación de los óxidos de azufre en trióxido de sulfuro, combinado con el vapor de agua forma ácido sulfúrico (H₂SO₄), generando ese peculiar olor característico de este elemento, en la salida de los gases de escape. No obstante, como ya se ha mencionado, la generación de sulfatos depende del azufre contenido en el Diésel.

Los elementos contaminantes tóxicos principales de los gases de escape dependen del tipo de motor, y que además, son los elementos sobre los cuales se centra la reducción de los mismos. En los motores Otto de gasolina, el principal componente nocivo es el monóxido de carbono (CO) con una proporción superior al 80% y en menor medida, el resto de contaminantes como son los óxidos de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos volátiles (HC) y partículas sólidas (MP). En los motores Diésel, el principal componente nocivo son las partículas sólidas (MP) con una proporción superior entre el 60% al 80% y en menor medida, el resto de contaminantes. Los valores de los gases tóxicos contenidos en los gases de escape producidos por los motores Diésel son aproximadamente los referidos en la tabla 1.

Tabla 1. Contenido referencial gases de escape motor Diésel.³

COMPONENTES GASES ESCAPE	MOTORES DIESEL
CO ₂	3-13%
H ₂ O	1-7%
O ₂	5-15%
CO	150-1200 ppm
NO _x	200-1000 ppm
HCs	10-330 ppmC
SO _x	10-100 ppm
PM	50-400 mg/m ³

³ FORNASIERO P. Catalysis for the Protection on the Environment and the Quality of Life (EOLSS).

2. TECNOLOGÍAS PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DIÉSEL

En los últimos 15 años, los fabricantes de motores han introducido una variedad de modificaciones para reducir las emisiones, mejorar su funcionamiento e incrementar su eficiencia. Estas modificaciones pueden ser: inyección directa, inyección de alta presión, controles de ordenador, inyecciones múltiples, recirculación de gases de escape (EGR), y post-enfriamiento. En los Estados Unidos, estas modificaciones han dado lugar a reducciones significativas en las emisiones en general, incluyendo MP y NO_x, cuando se las compara con motores diésel no controlados. Aunque la mayor parte de estas tecnologías por sí mismas no requieren niveles específicos de azufre en el combustible, la mayor parte de ellas, si no todas, son más duraderas con combustibles más bajos en azufre (menor a 500 ppm), lo cual reduce la corrosión del inyector de combustible y la del anillo del pistón, la acidificación del aceite y el desgaste del motor en general.

La recirculación de gases de escape (EGR) es un diseño de motor modificado, que recicla el gas de escape devolviéndolo al sistema de entrada del motor, lo que reduce la temperatura de combustión y por lo tanto la formación de NO_x. Esta técnica es ampliamente utilizada en muchos motores modernos, pero no puede ser retro-adaptada. La válvula de control EGR puede sufrir corrosión con altos niveles de azufre, por ello, los niveles de azufre deberían restringirse a un máximo de 500 ppm. Los sistemas de inyección de alta presión se utilizan para mejorar la eficiencia de la combustión de la mezcla de aire y diésel en los cilindros. Uno de estos sistemas que ha sido introducido, especialmente en Europa, es el denominado motor de ciclo diésel con tecnología "common rail". Como estos sistemas trabajan con una presión muy alta (1.800 bares) precisan que el combustible diésel sea de buena calidad (contenido de azufre menor a 500 ppm), el cual no debería contener ningún tipo de contaminación (por ejemplo de agua y de material particulado). Con la orientación global hacia combustibles bajos en azufre, la nueva tecnología está siendo sólo ensayada y aprobada de manera creciente y aprobada por los fabricantes internacionales para los mercados de combustible diésel de buena calidad.

2.1 CONTROL DE EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO.⁴

Para responder a los rigurosos estándares de emisiones, los nuevos vehículos deberían responder a alguna combinación de las siguientes tecnologías de control de emisiones.

2.1.1 CATALIZADOR DE OXIDACIÓN DIÉSEL

Tras la EGR, los catalizadores de oxidación diésel (DOC, por sus siglas en inglés: Diesel Oxidation Catalyst) son la tecnología de control de emisiones más común en los vehículos diésel actuales. Los DOC oxidan el monóxido de carbono (CO), los hidrocarburos gaseosos y aerosoles (HCs) en dióxido de carbono y agua. También ayudan a quemar la parte orgánica soluble de las partículas de carbono de hollín y humo. Un DOC puede alcanzar una reducción del 20 al 50% del total de material particulado, y una reducción en torno al 90%

⁴ Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Nairobi, Kenia, febrero de 2007

de CO y HC. La tecnología DOC, ha sido adaptada a unos 50 millones de automóviles diésel y a unos 1.5 millones de camiones y autobuses en todo el mundo. Los DOC pueden ser instalados en vehículos nuevos o pueden ser adaptados a vehículos que ya están en uso. Mayores niveles de azufre pueden inhibir el DOC y pueden ser la causa de ineficacia. Cuando los vehículos tienen DOC, los niveles de combustible diésel deberían estar limitados a menos de 500 ppm para evitar la aparición de humo relacionado con el azufre.

Además, existen otras tecnologías disponibles para reducir las emisiones de material particulado (PM 2.5), como por ejemplo: reducción catalítica selectiva (SCR) y filtros de partículas diésel (DPF), que han permitido reducciones de las emisiones de partículas finas (PM 2.5) de los vehículos diésel. El dispositivo SCR reduce NO_x y permite un decremento del 75% en partículas finas con el uso de un catalizador de oxidación diésel (DOC), mientras que los DPF proporcionan una reducción adicional del 90 y 95% (Figura 2), con diésel bajo en azufre (menos de 50 partes por millón pero lo ideal es 10 ppm) para un funcionamiento eficaz de esta tecnología, la misma que será explicada en una sección posterior.

En la figura 2, se indican los factores de emisión promedio de las partículas finas (PM 2.5) para los vehículos diésel, con respecto a las normas de emisión EURO y contenido de azufre. Los factores de emisión de PM 2.5 (g/km) se muestran para camiones pesados a diésel (heavy heavy-duty diesel trucks "HHDT") y vehículos livianos a diésel (light-duty diesel vehicles "LDV").

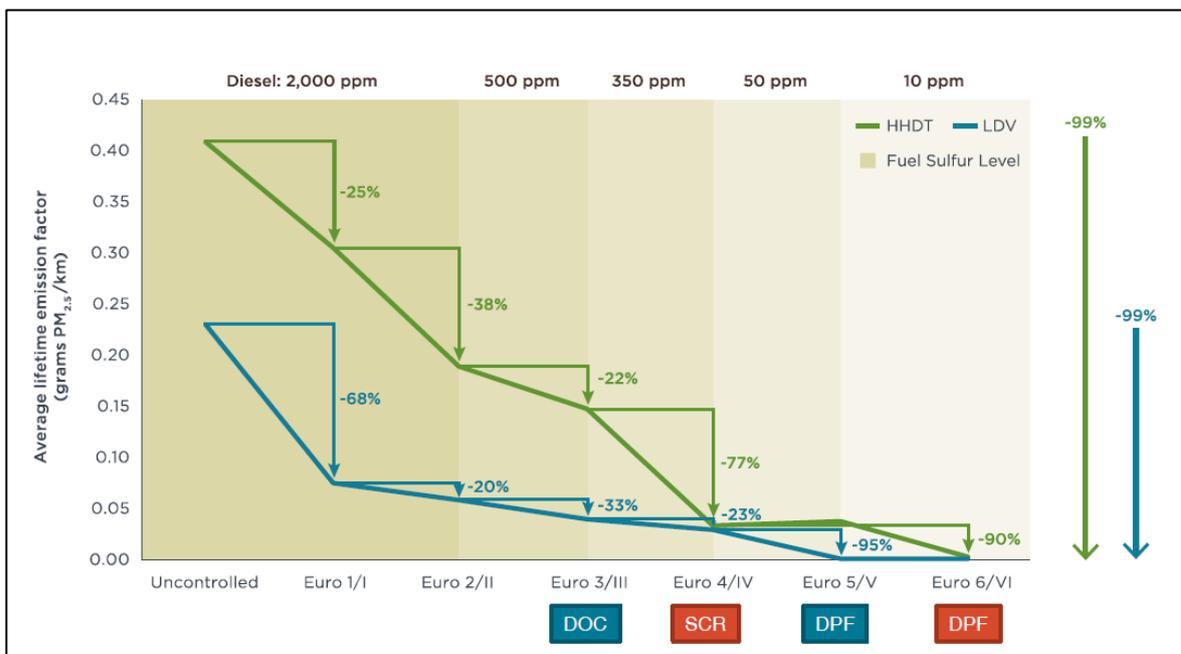


Figura.2. Tecnologías avanzadas y estándares de emisiones.⁵

⁵ ICCT Health Roadmap, 2013.

En la tabla 2 se muestran las estrategias opcionales para reducir las emisiones de los vehículos de acuerdo al contenido de azufre del combustible.

Tabla 2. Estrategias opcionales para reducir las emisiones de los vehículos. ⁶

	Para Diésel	Para Gasolina
Si el contenido de azufre es >500 ppm		
	<p>Hay tecnologías de control de emisiones que pueden ser utilizadas con niveles tan altos de azufre. Sus opciones son:</p> <p>Comenzar a reducir los niveles de azufre en el combustible para obtener beneficios inmediatos en las emisiones.</p> <p>Desarrollar estándares de emisión de los vehículos forzando la introducción de modificaciones del motor, para todos los nuevos vehículos, junto a la reducción de azufre en el combustible.</p> <p>Iniciar un programa para reemplazar los vehículos más viejos de la flota</p>	<p>Si el nivel de azufre de su gasolina está por encima de 500 ppm, pero por debajo de 1000 ppm, sus opciones son:</p> <p>Solicitar convertidores catalíticos en todos los vehículos nuevos y, simultáneamente, comenzar a reducir los niveles de azufre.</p> <p>Establecer edades límites para vehículos importados de segunda mano y exigir que tengan convertidores catalíticos.</p>
Si el contenido de azufre es < 500 ppm		
	<p>Se pueden introducir algunas tecnologías avanzadas para el control de emisiones.</p> <p>Sus opciones son:</p> <p>Desarrollar estándares de emisión para todos los vehículos nuevos, junto a la reducción de los niveles de azufre en el combustible, lo cual introducirá modificaciones adicionales en el motor, como EGR.</p> <p>Readaptación de los vehículos diésel de carga pesada más viejos con catalizadores de oxidación diésel para reducir HC, CO, MP y explorar la aplicabilidad de FTF (filtros de flujo interior o por sus siglas en inglés: Flow-Through Filter), los cuales utilizan diseños de malla en acero para ayudar a oxigenar la mayor parte de las partículas, y obtener reducciones de MP.</p>	<p>Se pueden introducir tecnologías avanzadas de control de emisiones. Sus opciones son:</p> <p>Desarrollar estándares de emisión para todos los vehículos nuevos.</p> <p>Limitar la importación de vehículos de segunda mano a aquellos que tengan convertidores catalíticos.</p>
Si el contenido de azufre es < 50 ppm		
	<p>Desarrollar estándares de emisión más estrictos para MP y NOx a los nuevos vehículos diésel para asegurar la introducción de control más avanzadas.</p> <p>Las opciones disponibles:</p> <p>Readaptación de los vehículos de carga pesada más viejos con filtros de partículas, a tono con los requisitos de los filtros, la tecnología del motor y la edad del vehículo.</p>	<p>Se pueden introducir tecnologías avanzadas de control de emisiones. Sus opciones son:</p> <p>Desarrollar estándares de emisión más estrictos para todos los vehículos nuevos para asegurar el mayor control de emisiones con las tecnologías más avanzadas.</p> <p>Establecer limitaciones a la importación de vehículos de segunda mano a aquellos que tengan convertidores catalíticos y cumplan con el funcionamiento prescrito.</p>

2.1.2 FILTRO DE PARTÍCULAS DIÉSEL

Los filtros de partículas diésel (DPF, por sus siglas en inglés: Diesel particulate filter) se colocan en el sistema de escape para recoger cualquier fracción de las partículas pequeñas en el escape, permitiendo que otros

⁶ Informe del Grupo de Trabajo sobre Azufre de la Alianza para Combustibles y Vehículos Limpios (PCFV), Nairobi, 2007.

gases de escape lo atraviesen. Como las partículas recogidas se acumulan con el tiempo, el DPF ha sido diseñado para limpiar regenerar automáticamente el filtro. Esto se realiza mediante la oxidación o la combustión de las partículas almacenadas utilizando gases de escape a una temperatura más elevada. Es lo que se denomina regeneración pasiva. Otro método es sustituir el filtro periódicamente, lo que se denomina regeneración activa. Algunos DPF llevan incorporado un catalizador que reduce la temperatura de ignición necesaria para oxigenar las partículas almacenadas (DPF catalizado o CDPF).

Más de un millón de vehículos nuevos de pasajeros han sido equipados con DPF en Europa desde mediados del 2000. Desde 2007, cada nuevo vehículo diésel de pasajeros y de carga vendidos en los Estados Unidos y en Canadá, están equipados con DPF de alta eficiencia. Desde el 1 de septiembre de 2009, todos los automóviles y furgonetas diésel en la Unión Europea tendrán que estar equipados con DPF. Los DPF también están siendo incorporados en la actualidad a algunos motores viejos. Más de 200.000 vehículos de carga pesada en carretera en el mundo han sido readaptados con DPF. Estos dispositivos son muy eficaces y han demostrado su capacidad para reducir en torno al 95% de las emisiones de partículas, además de proporcionar un control efectivo de las emisiones de CO y de HC, reduciendo estas emisiones entre 90 y 99% y entre 58 y 82%, respectivamente. Este dispositivo funciona de forma eficaz con un combustible menor a 10 ppm de contenido de azufre.

3. EXPERIENCIAS UTILIZANDO CONVERTIDORES CATALÍTICOS DIÉSEL (DOC)

El potencial de reducción de contaminantes que ofrecen los dispositivos de control depende de varios de factores, entre los que se puede mencionar:

- **Tipo de tecnología usada.**

Es importante conocer el tipo de tecnología utilizada por el fabricante del motor, para la implementación de los dispositivos DOC, ya que este equipo viene implementada en vehículos con tecnología EURO III (alta presión de inyección de combustible, mayor a 1800 bares y combustible con menos de 500 ppm de azufre), sin embargo, en el caso de nuestro país y con los resultados del Proyecto Retrofit de Quito y el “Estudio del uso de dispositivos postcombustión en los vehículos a diésel de transporte público urbano del Distrito Metropolitano de Quito”⁷, se demostró que se puede instalar los dispositivos DOC en vehículos con tecnología Euro II y con combustible con menos de 500 ppm de azufre.

- **Contenido de azufre en el combustible.**

De acuerdo al desarrollo tecnológico de los dispositivos DOC, estos funcionan de forma eficaz con un combustible menor a 500 ppm de contenido de azufre, como se visualiza en la Figura 2. (Tecnologías avanzadas y estándares de emisiones).

⁷ GUAMÁN M., Estudio del uso de dispositivos postcombustión en los vehículos a diésel de transporte público urbano del distrito metropolitano de Quito, 2006.

- **Plan de mantenimiento e inspección.**

Se debe realizar una adecuada inspección mecánica periódica y planes de mantenimiento preventivo (anticipación de fallas con el vehículo en funcionamiento) y correctivo (reparación de fallas inminentes) de los vehículos en los que se instalarán los dispositivos DOC. La periodicidad del plan de mantenimiento preventivo se lo efectuará de acuerdo a las especificaciones técnicas del fabricante del automotor, como se explica detalladamente a continuación:

Mantenimiento

Significa las acciones realizadas para mantener el motor en sus condiciones normales de funcionamiento, tales como comprobaciones, ajustes, lubricación, cambios de aceite, cambios de filtros, etc. El mantenimiento preventivo o mantenimiento programado son términos que se aplican al mantenimiento que se efectúa a intervalos periódicos, no sólo para asegurar que el motor tendrá un funcionamiento satisfactorio y evitar con ello costosos desperfectos, sino también para prolongar la duración útil del motor.

Procedimiento

Todos los fabricantes publican programas que señalan el trabajo que se debe efectuar a intervalos periódicos en sus motores y recalcan la necesidad del mantenimiento correcto y periódico. Para hacer hincapié en la importancia del mantenimiento se recomienda diez conceptos de mantenimiento que se aplican a todos los motores diésel. Son los siguientes y se comentan a continuación:

1. **Impedir la entrada de suciedad al motor:** La suciedad y el polvo son abrasivos y la causa del mayor desgaste del motor. El polvo que entra con el aire de admisión puede ocasionar desgaste prematuro de los vástagos y guías de válvulas, camisas de cilindros y pistones. La suciedad en el aceite lubricante desgasta los metales de cojinete y muñones. El combustible contaminado dañará el sistema de inyección de combustible.
2. **Mantener una película de lubricante en todas las superficies de fricción:** El aceite reduce la fricción, sella, enfría, limpia y disminuye el ruido. Si se hace funcionar un motor sin aceite se pegarán los pistones y cojinetes en unos cuantos minutos. La lubricación deficiente o marginal debida al aceite sucio o del tipo incorrecto, a la baja presión del aceite, dilución, conductos obstruidos en forma parcial y filtros obstruidos, producirán desgaste excesivo y una falla en un momento dado.
3. **Regular el combustible para el motor:** El combustible se debe entregar en las cámaras de combustión en el momento preciso en la cantidad correcta y en condición para que arda con facilidad y por completo. El exceso de combustible produce sobrevelocidad y falla del turbocargador. En un motor de aspiración natural, ocasiona todos los problemas relacionados con el humo en el escape y la dilución del lubricante. La escasez de combustible reduce la potencia del motor.

4. **Controlar las temperaturas de funcionamiento:** La temperatura del líquido refrigerante se debe mantener entre 80°C y 90°C; si es inferior, el combustible no arderá con facilidad ni producirá toda la potencia. Si es superior, cuando el motor trabaja con plena carga, el aceite lubricante se puede poner tan caliente y delgado que ya no lubricará con eficacia. Para tener funcionamiento eficiente, todas las partes del sistema de enfriamiento del motor se deben mantener en buenas condiciones. Las camisas de agua perderán su capacidad de absorción del calor si están cubiertas con herrumbre, incrustaciones o mugre. La circulación de líquido refrigerante se reduce cuando se desgasta la bomba del agua, mal funcionamiento del termostato, se obstruyen los tubos del radiador, o hay deslizamiento (patinaje) de las bandas.
5. **Proteger contra la corrosión:** El sistema de enfriamiento sufre corrosión salvo que el líquido refrigerante contenga sustancias químicas para evitar la acción corrosiva. La causa principal de la corrosión son ácidos, sales o aire arrastrados por el líquido refrigerante.
6. **Dejar respirar el motor:** El motor necesita grandes cantidades de aire para funcionar, o sea que debe tener libre respiración. Esto requiere que no haya restricciones en los sistemas de admisión de aire y de escape. Muy poco aire equivale a demasiado combustible, lo cual ocasiona humo en el escape y la formación de carbón en las cámaras de combustión con los problemas, relacionados. El exceso de combustible también puede arrastrar el lubricante de la pared de los cilindros y diluirlo. Los filtros de aire sucios, las filtraciones por las válvulas, el silenciador obstruido o dañado producen restricción al paso del aire y los gases.
7. **Evitar la sobrevelocidad:** Un motor Diésel no se debe operar a más de la velocidad máxima gobernada para la cual está diseñado. En funcionamiento normal, el gobernador impide que el motor exceda de esa velocidad. Si se alimentan las rpm máximas con alteraciones al gobernador o si se permite que el peso del vehículo “empuje” al motor en una bajada, habrá sobrevelocidad y se dañará el motor. Las fuerzas centrífuga y de inercia aumentan en forma considerable a altas velocidades y aplican cargas excesivas en las piezas si se excede de la velocidad nominal. La sobrevelocidad puede hacer que los pistones choquen contra las válvulas y se rompan. También pueden ocurrir daños a los componentes para inyección de combustible.
8. **Conocer las condiciones del motor:** El motor produce señales de sus condiciones en forma constante, que deben interpretar el conductor o el mecánico de mantenimiento. Las lecturas de los indicadores de presión y temperatura, el humo en el escape, la facilidad para el arranque y el funcionamiento general son indicadores útiles de las condiciones del motor. Otros indicadores son el consumo de aceite y de combustible, contaminantes en el aceite, pérdida de líquido enfriador, etc. Cuando se corrige una falla la primera vez que se nota, puede evitar daños a otras piezas y que ocurra un problema más grande que exigirá costosas reparaciones.

9. **Corregir las dificultades mientras son sencillas:** Si se efectúa el mantenimiento preventivo, que es una serie de comprobaciones, reemplazos, ajustes y reparaciones de relativa sencillez, se pueden evitar costosos daños y pérdidas de tiempo por desperfectos.
10. **Programar y controlar el mantenimiento:** El mantenimiento preventivo sirve para corregir ciertas condiciones del motor antes de que se conviertan en problemas. El mantenimiento programado se puede efectuar cuando sea más conveniente para el mecánico y el operador, con lo cual se evitan el mantenimiento o reparaciones de emergencia ocasionadas por mal funcionamiento o fallas del motor.

Este mantenimiento programado también se lo puede clasificar de acuerdo a los tipos de sistemas del motor, como se muestra a continuación:

Sistema de enfriamiento:

- **Comprobación de herrumbre e incrustaciones en el sistema:** El aspecto del líquido refrigerante puede dar una indicación de si hay acumulación de herrumbre e incrustaciones en el sistema de enfriamiento. Si el líquido tiene color de herrumbre o ha cambiado de color, se debe reemplazar.
- **Comprobación del radiador:** Hay que comprobar si el núcleo y tanques del radiador tienen daños o fugas así como corrosión que podría señalar fugas pequeñas. Hay que comprobar si las aletas están obstruidas o dañadas. Las aletas dobladas, el polvo y los insectos que se acumulan en el núcleo demoran el paso del aire y reducen el enfriamiento. Para limpiar el núcleo; se puede soplar con aire comprimido desde la parte trasera hacia el frente.
- **Examen de mangueras y sus conexiones:** Si una manguera está blanda y se contrae con facilidad al oprimirla, se debe reemplazar.
- **Comprobación de la bomba del agua:** Las deficiencias más probables son las fugas y el ruido. Las fugas son más notorias en frío y la primera señal de dificultades puede ser la pérdida de líquido refrigerante después de que el vehículo ha estado parado toda la noche. El ruido puede ser en el cojinete y es una especie de zumbido, o en el sello, en donde será en un tono agudo.
- **Comprobación de la (banda) correa del ventilador:** La banda se debe examinar periódicamente para comprobar que esté en buenas condiciones. Una banda gastada, deshilachada o que tiene separación entre las capas, se debe reemplazar. Una banda deficiente o floja no sólo permitirá sobrecalentamiento del motor, sino también que el acumulador esté bajo de carga, porque no puede impulsar el alternador a velocidad suficiente para mantener cargada la batería.
- **Comprobación del termostato:** Para observar la acción del termostato, se coloca en un recipiente con agua y se le aplica calor. Se debe suspender un termómetro en el agua para determinar la temperatura a la cual empieza a abrir el termostato y la temperatura de apertura total. Los termostatos están calibrados para funcionar a diversas temperaturas; la de la apertura inicial y la de

apertura total suelen estar grabadas en la brida. Si el termostato no funciona de acuerdo con las especificaciones, se debe reemplazar.

- **Limpieza del sistema de enfriamiento:** La limpieza periódica del sistema de enfriamiento evitará la acumulación de herrumbre e incrustaciones que podrían obstruir el núcleo del radiador y los conductos para el líquido refrigerante. Se utilizan inhibidores de corrosión; el sistema se limpia con productos químicos especiales, de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

Sistema de lubricación:

- **Cambio del filtro y aceite del motor:** El sistema de lubricación envía el aceite a todas las piezas móviles del motor. El aceite está contenido en el depósito de aceite o cárter y la bomba del aceite lo circula en todo el sistema. El motor tiene conductos o galerías para que el aceite pueda llegar a todas las piezas móviles. La lubricación adecuada es necesaria para prevenir el desgaste y reducir la fricción y el ruido. Si no hay suficiente lubricación, ocurriría contacto de metal con metal, lo cual produciría daños a los cojinetes, pegadura de pistones y otros daños en el motor.

Sistemas de admisión de aire

- **Cambio de filtro de aire:** Los filtros de aire deben recibir servicio periódico. Hay que tener cuidado, al armar el filtro después del servicio, de que todas las juntas y sellos estén en su lugar correcto y que no haya filtraciones.
- **Chequeo de ductos:** Se debe inspeccionar si los ductos, mangueras de caucho y conexiones del sistema tienen daños o degradación. Esto se aplica a todos los sistemas, pero en particular a aquellos en los que el filtro de aire está montado lejos del motor y se emplean ductos largos.
- **Verificar filtraciones de aire:** El sistema debe estar libre de filtraciones de aire. Se debe prestar atención particular a las uniones y conexiones que puedan permitir la entrada de aire sin filtrar al lado para aire limpio en el sistema. Esta parte estará a una presión ligeramente inferior a la atmosférica y se succionará aire sin filtrar por una conexión floja o por cualquier pequeña abertura que pueda haber.

Sistema de combustible Diésel

- **Inspección del tanque para el combustible Diésel:** se debe verificar si existen fugas de combustible. Es recomendable llenar el tanque de combustible al final de la jornada de trabajo. Si el tanque está lleno, no habrá condensación en las superficies del tanque, que contaminará el combustible.
- **Cambio de filtros de combustible:** retienen partículas diminutas en el combustible y se deben reemplazar periódicamente según lo que indique el fabricante. Debido a las holguras tan pequeñas que hay en la bomba de inyección y en los inyectores, el combustible para los motores Diésel debe

estar limpio. Se deben tomar precauciones para que el combustible que se pone en el tanque esté libre de cuerpos extraños, incluso agua. El sistema de combustible tiene una serie de filtros que a veces, empiezan con una tela metálica en el llenador del tanque y; el último, es otro filtro pequeño de malla en el inyector.

- **Calibración de la Bomba de inyección:** esta entrega una cantidad exacta de combustible a alta presión en cada inyector en el momento preciso. Hay que calibrar la bomba de modo que cada elemento de bombeo entregue la misma cantidad de combustible, para que todos los cilindros produzcan igual potencia, esto se debe realizar en un laboratorio de inyección.
- **Inspección de Inyectores:** existe uno para cada cilindro, que atomizan combustible en las cámaras de combustión. Los inyectores deben trabajar en la forma correcta para lograr un buen funcionamiento del motor. La tobera tiene la función particular de inyectar el combustible finamente atomizado en la cámara de combustión. Los inyectores deficientes que no pueden ejecutar esa función producirán fallos, golpeteo, sobrecalentamiento del motor, pérdida de potencia, humo negro en el escape o mayor consumo de combustible. Los inyectores se deben desmontar para limpiarlos y probarlos a los intervalos recomendados por el fabricante. Se necesita equipo especial para probar los inyectores, porque después de desarmarlos y volver a armarlos, hay que ajustarlos a las especificaciones del fabricante. Para ello, se utiliza el probador de inyectores.

Turbocargador

- **Filtraciones del Sistema de aire:** Las filtraciones pequeñas en el lado de aire limpio del sistema influirán en el funcionamiento del motor y ocasionarán sobrecalentamiento del turbocargador y se restringirá el paso de aire en el sistema.
- **Fugas del Sistema de escape:** Las fugas en el sistema de escape reducirán la velocidad de la turbina y la potencia del motor.
- **Insuficiente Suministro de aceite:** Debe ser adecuado para la lubricación y el enfriamiento a fin de evitar fallas de los cojinetes. La cubierta de un turbocargador nuevo o reacondicionado se debe llenar con aceite antes del arranque inicial, para tener lubricación adecuada de los cojinetes. Si se hace girar el cigüeñal con el motor de arranque con el tubo de retorno de aceite desconectado, se enviará aceite a la cubierta del turbocargador. Cuando la cubierta esté llena, empezará a salir aceite por el tubo de retorno.

Estos planes de mantenimiento permitirán aumentar la vida útil del dispositivo DOC y reducir aún más las emisiones de opacidad y material particulado, con respecto a los valores referenciales del fabricante.

En el mercado existen un sinnúmero de tecnologías que han sido probadas, en la tabla 3 se presenta los porcentajes de reducción que lograron en pruebas realizadas en distintos países.

Tabla 3. Porcentajes de reducción de las diferentes tecnologías probadas en programas retrofit en otros países.⁸

Tecnología	% de Reducción			
	PM	NO _x	HC	CO
DPF _S	70% - 90%	-	Similares al de PM	Similares al de PM
DOC _S	20% - 50%	-	50% - 90%	10% - 90%
SCR	0% - 50%	60% - 90%	50% - 90%	50% - 90%
EGR	-	hasta un 50%	-	-
CRT	88%		92%	94%.

Todas estas tecnologías, excepto EGR, requieren del uso de diésel de bajo azufre (LSD "500 ppm"), o de preferencia, de diésel de ultra bajo azufre (ULSD "15 ppm"), para un rendimiento óptimo. Es importante destacar que los dispositivos de control postcombustión sea cual fuese su procedencia, han sido aplicados ampliamente a motores existentes a través de programas retrofit.

Para la implantación del programa retrofit un programa de certificación de dispositivos fue desarrollado por la CARB (CALIFORNIA AIR RESOURCES BOARD), "**Junta de Recursos del Aire de California**", específicamente como uno de los componentes del mismo. Está diseñado, para verificar la efectividad del dispositivo nuevo y a largo plazo en la reducción de las emisiones MP del motor a diésel sin el incremento contra productivo de otros contaminantes. El fabricante del dispositivo tiene la responsabilidad de generar la información requerida para la verificación CARB. El proceso es iniciado con una discusión técnica con el fabricante, de las características del dispositivo; los requerimientos de la instalación, operación, y mantenimiento; los requerimientos de combustible y de su uso seguro; las condiciones de operación favorable y el potencial de condiciones no favorables; la compatibilidad con el motor y la aplicación específica del dispositivo. Una vez aprobada la aplicación, el proceso continúa con las pruebas de medición de emisiones del dispositivo nuevo y las pruebas para determinar durabilidad. A esto le sigue la demostración en el campo.

Los sistemas de control de emisiones a diésel que se certifica con CARB, pueden ser de cualquier tecnología como: filtros, catalizadores DOC, SCR, aditivos a combustible, combustible diésel alternativo, y otras combinaciones.

De igual forma el programa VERT (VERMINDERUNG DER EMISSIONENE VON REALMASCHINEN IM TUNNELBAU), "**Reduciendo emisiones de motores en uso en la construcción de túneles**", consiste de un conjunto de requisitos técnicos para los dispositivos y las pruebas de medición de emisiones, los cuales son revisados periódicamente para asegurar su continua eficacia conforme a la evolución de la tecnología retrofit y posterior certificación.

Los sistemas de control de emisiones a diésel que se certifica con VERT son: filtros con regeneración pasiva o activa, aditivos a combustibles solos o en combinación con otras estrategias.

⁸ California Air Resources Board, "Risk Reduction Plan to Reduce Particulate Matter Emissions From Diesel-Fueled Engines and Vehicles," September 2000

Existen varias tecnologías diésel retrofit que han sido probadas exitosamente alrededor del mundo en varios tipos de vehículos incluye dispositivos postcombustión que no han obtenido la certificación por VERT o CARB. En general, esto no significa en ningún momento que dichos dispositivos sean inferiores. En los Estados Unidos de América existen varios ejemplos de programas retrofit que han sido puestos en marcha exitosamente en flotas públicas en las cuales la tecnología usada no ha sido certificada. Cabe mencionar que los proveedores de dichos dispositivos, en general, son compañías con buena reputación y un largo historial de implantación de unidades retrofit en motores existentes.

La certificación VERT o CARB, es perseguida por los fabricantes de dispositivos que anticipan la entrada de la tecnología al mercado en números suficientemente grandes para justificar el costo significativo de las pruebas de medición de emisiones necesarias para obtener la certificación. Además, en ciertos casos, la certificación es necesaria antes que su aplicación sea aceptada por las autoridades. En los casos en que quizás el número de dispositivos anticipados es de menor escala o por los cuales el rango de aplicación en el vehículo del dispositivo es limitado, es factible proceder con un programa retrofit con dispositivos sin certificación. Cabe mencionar que los proveedores de dichos dispositivos, en general, son compañías con buena reputación y un largo historial de implantación de unidades retrofit en motores existentes. En estos casos, es típico para el fabricante el brindar un amplio apoyo técnico y de servicio hacia la flota en prueba. El fabricante del dispositivo participa activamente desde el estudio preliminar e inicial de los vehículos a recibir el dispositivo hasta la instalación y mantenimiento rutinario durante la implantación a escala de diseño.

En conclusión, existen dos programas internacionales VERT y CARB de certificación de dispositivos postcombustión. La variedad de los dispositivos postcombustión que existen en el mercado, requieren de programas de verificación internacional, los que permitirán demostrar su factibilidad de uso, así como su incidencia en la disminución de emisiones contaminantes, estos programas de regulación oficial están diseñados con el fin de determinar las características fisicoquímicas de las emisiones que resultan tras la aplicación retrofit de filtros. La verificación se hace a través de pruebas de medición de emisiones exhaustivas las cuales están contenidas en los protocolos oficiales de dichos programas.

En las tablas 4 y 5 se muestran algunos dispositivos postcombustión, que fueron aprobados y usados en diversos programas diseñados por la EPA (Agencia de Protección del Medio Ambiente), se puede apreciar datos sobre los porcentajes de reducciones verificadas y probadas en distintos niveles.

Tabla 4. Tecnologías verificadas por la EPA en los programas retrofit de los Estados Unidos (Fabricantes DOC).⁹

VERIFIED RETROFIT TECHNOLOGIES						
MANUF.	TECHNOLOGY	APPLICABILITY	REDUCTIONS (%)			
			PM	CO	NOx	HC
Caterpillar, Inc	Catalyzed Converter/Muffler (CCM)	Highway, heavy-heavy and medium-heavy duty. 4-cycle, non-EGR, MODEL YEAR 1998 – 2003, Turbocharged or naturally aspirated	20	20	n/a	40
Caterpillar, Inc	Diesel Particulate Filter	Non-road, 4-cycle, non-EGR equipped, model year 1996-2005, turbocharged engines with power ratings 130≤KiloWatts<225 (174.2 ≤ horsepower < 301.5)	89	90	n/a	93
Clean Diesel Technologies Inc.	Platinum Plus Purifier System (fuel borne catalyst plus DOC)	Highway, medium-heavy and heavy-heavy duty. 4 cycle, model year 1988 – 2003, Turbocharged or naturally aspirated	25 to 50	16 to 50	0 to 5	40 to 50
Clean Diesel Technologies Inc.	Platinum Plus Fuel Borne Catalyst/Catalyzed Wire Mesh Filter (FBC/CWMMF) System	Highway. Medium-heavy duty, 4 cycle, model year 1991 – 2003, non-EGR, turbocharged or naturally aspirated	55 to 76*	50 to 66*	0 to 9*	75 TO 89*
Donaldson	Series 6000 DOC & Spiracle (closed crankcase filtration system)	Highway, heavy-heavy and medium-heavy duty, 4 cycle, non-EGR model year 1991 – 2003 turbocharged or naturally aspirated	25 to 33*	13 to 23*	n/a	50 to 52
Donaldson	Series 6100 DOC	Highway, heavy-heavy and medium-heavy duty, 4 cycle, non-EGR model year 1991 – 2003 turbocharged or naturally aspirated	20 to 26	38 to 41	n/a	49 to 66
Donaldson	Series 6100 DOC & Spiracle (closed crankcase filtration system)	Highway, heavy-heavy and medium - heavy duty, 4 cycle, non-EGR, model year 1991 – 2003 turbocharged or naturally aspirated	28 to 32*	31 to 34	n/a	42
Engelhard	DPX Catalyzed Diesel Particulate Filter	Highway, heavy-duty, 4 cycle, model year 1994 – 2002, turbocharged or naturally aspirated	60	60	n/a	60
Engelhard	CMX Catalyst muffler	Heavy Duty, HIGHWAY, 2cycle engines	20	40	n/a	50
Engelhard	CMX Catalyst muffler	Heavy Duty, Highway, 4cycle engines	20	40	n/a	50
International Truck & Engine Corp.	Green Diesel technology-Low NOx Calibration plus Diesel Oxidation Catalyst with Ultra Low Sulfur Diesel (ULSD)	Highway Light Heavy-Duty, 4 cycle, Navistar/International engines, model years 1999 – 2003 in the following families: XNVXH0444ANA YNVXH0444ANB 1NVXH0444ANB 2NVXH0444ANB 3NVXH0444ANB	0 to 10	10 to 20	25	50
Jonhson Matthey	Catalyzed Continuously Regenerating Technology (CCRT) Particulate Filter	Highway, heavy-heavy, medium-heavy, light-heavy duty, urban bus, 4 cycle, non-EGR model year 1994 – 2003, turbocharged or naturally aspirated engines.	60	60	n/a	60
Jonhson Matthey	Continuously Regenerating Technology (CTR) Particulate Filter	Heavy Duty, Highway, 2 & 4 cycle, model year 1994 – 2002 turbocharged or naturally aspirated engines	60	60	n/a	60
Jonhson Matthey	CEM™ Catalytic Exhaust Muffler and/or DCC™ Catalytic Converter	Highway, heavy-heavy, medium- heavy, light-heavy duty non-urban bus, 4-cycle, non-EGR, model year 1991-2003, turbocharged or naturally aspirated engines	20	40	n/a	50
Jonhson Matthey	CEM Catalyst Muffler	Heavy Duty, Highway, 2 cycle engines	20	40	n/a	50
Lubrizol	PuriNOx Water emulsion fuel	Heavy Duty, Highway & Non-road, 2 & 4 cycle	16 to 58	-35 to 33	9 to 20	-30 to -120
Lubrizol Engine Control Systems	Purifier – Diesel Particulate Filter	Highway: Heavy Heavy-Duty, Medium Heavy-Duty: Urban Bus: 4 cycle: model years 1994-2003: turbocharged or naturally aspirated: non-EGR engines	90	75	n/a	85

⁹ Consultado de: <http://www.epa.gov/otaq/retrofit/retroverifiedlist.htm>

Lubrizol Engine Control Systems	AZ Purimuffler - or AZ Purifier Diesel Oxidation Catalyst with Low Sulfur Diesel Fuel (30ppm S max)	Highway Medium Heavy-duty. 4-cycle. Model years 1991-2003 Cummins, Navistar/International engines originally manufactured without, and after-treatment, which are turbocharged or naturally aspirated, non-EGR engines	40	40	n/a	70
Lubrizol Engine Control Systems	AZ Purimuffler or AZ Purifier Diesel Oxidation Catalyst with Low Sulfur Diesel Fuel (30ppm S max)	Highway Heavy Heavy-Duty, 4 cycle model years 1991-1993 Cummins engines originally manufactured without exhaust after-treatment which are turbocharged or naturally aspirated, non-EGR engines.	35	40	n/a	70
Lubrizol Engine Control Systems	AZ Purimuffler AZ Purifier	Heavy Duty, Highway, 2 cycle engines	20	40	n/a	50
Lubrizol Engine Control Systems	AZ Purimuffler AZ Purifier	Heavy Duty, Highway, 4 cycle engines	20	40	n/a	50
Various	Biodiesel (1 to 100%)	Heavy Duty, Highway, 2 & 4 cycle	0 to 47	0 to 47	0 to -10	0 to 67
Various	Cetane Enhancers	Heavy Duty, Highway, 4 cycle, non-EGR-equipped	n/a	n/a	0 to 5	n/a

a – Total PM reduction figures reflect reductions from both tailpipe and crankcase emissions.
* - These effectiveness figures are provisional values subject to change pending final review of the test data.
Note: For after-treatment devices the reductions are based on the installation of retrofits to engines that were originally produced without diesel oxidation catalysts or diesel particulate filters.

Tabla 5. Tecnologías Jhonson Matthey verificadas por la EPA.¹⁰

DCC-Expanded EPA Verification for Model Year and PM Reduction								
Company	Technology	Verified For:	Baseline S (ppm)	FTP S (ppm)	% PM	% CO	% HC	
Johnson Matthey	CEM® Catalytic Exhaust Muffler or DCC Converter	1988 – 1997 Highway, HD, non-Urban Bus, 4-stroke, non-EGR	15	15	20	40	50	
Johnson Matthey	CEM® Catalytic Exhaust Muffler or DCC Converter	1998 – 2003 Highway, HD, non-Urban Bus, 4-stroke, non-EGR	15	15	25	40	50	
Johnson Matthey	CEM® Catalytic Exhaust Muffler or DCC Converter	2003 Highway, HD, non-Urban Bus, 4-stroke, EGR equipped and 2004 - 2006 Highway, HD, non-Urban Bus, 4-stroke, EGR or non-EGR equipped and certified without a DOC	15	15	20	40	50	

4. APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA POSTCOMBUSTIÓN

El uso de tecnologías postcombustión, está dirigida a la reducción de los gases contaminantes, así como el uso de combustibles limpios. Desde hace algunos años se vienen realizando pruebas para determinar su capacidad de reducción, así como las condiciones bajo las cuales debe trabajar para evitar no sólo la falla del dispositivo, sino también la del motor, por lo que se hace necesario determinar los marcos técnicos para evaluar su efectividad en condiciones reales de trabajo, las mismas que dependen del país a ser probadas.

En la tabla 6 se resume la aplicación y durabilidad de los dispositivos postcombustión en diversos países.

¹⁰ MATTHEY J., Diesel Catalytic Converter, 2012.

Tabla 6. Experiencia de la utilización de dispositivos postcombustión.¹¹

Pais	Flota	Tipo de dispositivo	Durabilidad
Suiza	6500 buses	DPF _s de regeneración pasiva	~ 10 años
Estados Unidos (California y New York)	3500 buses	DPF _s	~10 años
Hong Kong	~3000 buses	DOC _s	~ 10 años
Alemania	~ 22 buses	CRT	< 10 años
Japón		DPF, CRT, CSF	~ 10 años
El resto de Europa	~ 3000 buses	CRT	~ 10 años
Chile	~ 5000 buses	CRT, DPF	~ 5 años

Como se observa la tecnología retrofit se la viene aplicando desde hace algún tiempo, en conclusión el objetivo de este tipo de programas es obtener flotas de buses limpios y combustibles con bajo contenido de azufre, lo que genera una disminución notable de la contaminación del medio ambiente, así como las enfermedades y muertes provocadas por las mismas.

Desde el punto de vista técnico y científico, como se verifica en la tabla 4, la aplicación de tecnologías postcombustión (DOC) en el DMQ, es una alternativa viable para controlar la contaminación ambiental producto de los gases de combustión provenientes de los vehículos con motor diésel, al tener en su mayoría, un parque automotor con altos niveles de opacidad y material particulado, cuyos valores fueron obtenidos como resultados de las pruebas realizadas en el proyecto “Evaluación de la factibilidad de colocación de dispositivos reductores de emisiones en el parque automotor de transporte urbano a diésel en el DMQ”, y al contar con un combustible con un contenido de azufre menor a 500 ppm.

ESTIMACIONES DE COSTO DE LAS TECNOLOGÍAS

En la tabla 7 se presenta algunas estimaciones de costo de las tecnologías, las mismas que pueden variar dependiendo de las necesidades del programa y características del parque automotor; por ejemplo: una alta demanda permitiría la reducción del precio del dispositivo de control de emisiones instalado en un bus nuevo y su costo será menor en comparación al que se obtendría con una modificación. Los siguientes rangos de precios se refieren a los costos de inversión del equipo.

Tabla 7. Estimación de costos de tecnologías post combustión.¹²

EQUIPAMIENTO TÉCNICO	COSTOS DE INVERSIÓN (USD)
Filtros de particulado diesel (DPFs):	6.000 - 10.000
Catalizadores de oxidación diesel (DOCs):	1.000 - 3.000
Recirculación de gases de escapes (EGR):	800 - 1.500
Reducción catalítica selectiva (SCR):	10.000 - 35.000

¹¹ Consultado de: www.cleanairnet.org/infopool_es/1525/propertyvalue-19514.html

¹² GUAMÁN M., Estudio del uso de dispositivos postcombustión en los vehículos a diésel de transporte público urbano del distrito metropolitano de Quito, 2006.

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

- Análisis mecánico para factibilidad de instalación de dispositivos reductores de emisiones y listado de dispositivos sugeridos.

5.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Análisis comparativo entre los resultados generados en el producto 1.

6. VEHÍCULOS DE PRUEBA

6.1 RESULTADOS PRELIMINARES

A continuación se muestran los resultados de las pruebas de opacidad y material particulado de los vehículos de muestra, resultados tomado del punto 7 (análisis de resultados) del informe técnico del producto 1 y que están clasificados de acuerdo a: marca, modelo y potencia.

En la Tabla 8 y Figura 3, se indican los resultados de las pruebas de opacidad y material particulado de los vehículos de muestra (Integrados) Chevrolet FTR.

Tabla 8. Resultados de las pruebas de opacidad y material particulado de los vehículos de muestra (Integrados) Chevrolet FTR.

Placa	Marca	Modelo	Año	Cilindrada	Potencia	Resultados de opacidad [%]	Resultados de material particulado [mg/m ³]
JAA0149	CHEVROLET	FTR 32 M	2009	10000	226,8 HP / 2500 rpm	92	812
PUD0420	CHEVROLET	FTR	2010	7961	226,8 HP / 2500 rpm	82	783
---	CHEVROLET	FTR	2009	7127	226,8 HP / 2500 rpm	79	619
JAA0147	CHEVROLET	FTR	2009	10000	226,8 HP / 2500 rpm	78	637
PZZ0309	CHEVROLET	FTR 32M	2001	7127	226,8 HP / 2500 rpm	23	98
PROMEDIO			2008			71	590

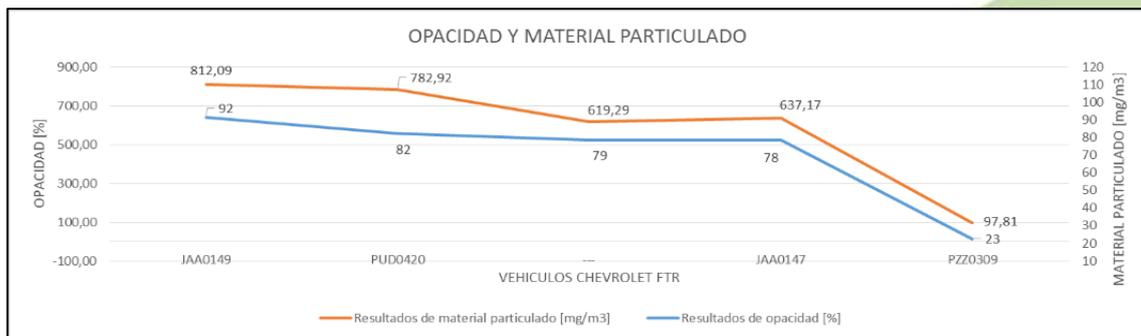


Figura 3. Resultados de las pruebas de opacidad y material particulado de los vehículos de muestra (Integrados) Chevrolet FTR.

En la Tabla 9 y Figura 4, se indican los resultados de las pruebas de opacidad y material particulado de los vehículos de muestra (Integrados) Hino AK.

Tabla 9. Resultados de las pruebas de opacidad y material particulado de los vehículos de muestra (Integrados) Hino AK.

Placa	Marca	Modelo	Año	Cilindrada	Potencia	Resultados de opacidad [%]	Resultados de material particulado [mg/m ³]
PAB1228	HINO	AK8JRSA	2012	7684	250 HP / 2500 rpm	94	814
PAB1603	HINO	AK8JRSA	2012	7684	250 HP / 2500 rpm	86	654
PAC2204	HINO	AK8JRSA	2015	7684	250 HP / 2500 rpm	84	782
PAB1227	HINO	AK8JRSA	2012	7684	250 HP / 2500 rpm	81	557
PAB2011	HINO	AK8JRSA	2012	7684	250 HP / 2500 rpm	80	761
PAA9664	HINO	AK8JRSA	2012	7684	250 HP / 2500 rpm	80	661
PAA7570	HINO	AK8JRSA	2011	7684	250 HP / 2500 rpm	79	770
PAB1571	HINO	AK8JRSA	2012	7684	250 HP / 2500 rpm	79	752
PAA9170	HINO	AK8JRSA	2011	7684	250 HP / 2500 rpm	78	697
PAB1979	HINO	AK8JRSA	2012	7684	250 HP / 2500 rpm	78	715
PAB1650	HINO	AK8JRSA	2012	7684	250 HP / 2500 rpm	76	758
PAC1576	HINO	AK8JRSA	2013	7684	250 HP / 2500 rpm	75	433
PAA9254	HINO	AK8JRSA	2011	7684	250 HP / 2500 rpm	74	665
TAA1195	HINO	AK8JRSA	2012	7684	250 HP / 2500 rpm	74	687
PAC1700	HINO	AK8JRSA	2013	7684	250 HP / 2500 rpm	74	489
PAB1639	HINO	AK8JRSA	2012	7684	250 HP / 2500 rpm	74	684
PAA9219	HINO	AK8JRSA	2011	7684	250 HP / 2500 rpm	73	485
PAB2543	HINO	AK8JRSA	2012	7684	250 HP / 2500 rpm	71	597
PAC2521	HINO	AK8JRSA	2015	7684	250 HP / 2500 rpm	71	506
PAC2179	HINO	AK8JRSA	2015	7684	250 HP / 2500 rpm	70	372
PAA9231	HINO	AK8JRSA	2011	7684	250 HP / 2500 rpm	70	541
PAC2097	HINO	AK8JRSA	2015	7684	250 HP / 2500 rpm	70	367
PAA9141	HINO	AK8JRSA	2011	7684	250 HP / 2500 rpm	67	501
PAA9398	HINO	AK8JRSA	2011	7684	250 HP / 2500 rpm	66	775
PAC7127	HINO	AK8JRSA	2014	7684	250 HP / 2500 rpm	66	456
PAC3343	HINO	AK8JRSA	2015	7684	250 HP / 2500 rpm	65	412
PAC3153	HINO	AK8JRSA	2015	7684	250 HP / 2500 rpm	64	357
PAC3267	HINO	AK8JRSA	2015	7684	250 HP / 2500 rpm	64	363
PAC2922	HINO	AK8JRSA	2014	7684	250 HP / 2500 rpm	64	393
PAC2331	HINO	AK8JRSA	2015	7684	250 HP / 2500 rpm	63	492
PAC3513	HINO	AK8JRSA	2016	7684	250 HP / 2500 rpm	63	400
---	HINO	AK8JRSA	2014	7684	250 HP / 2500 rpm	63	425
PAB2537	HINO	AK8JRSA	2013	7684	250 HP / 2500 rpm	63	505
PAC6127	HINO	AK8JRSA	2013	7684	250 HP / 2500 rpm	63	288
PAC5211	HINO	AK8JRSA	2016	7684	250 HP / 2500 rpm	63	411
PAC3205	HINO	AK8JRSA	2016	7684	250 HP / 2500 rpm	62	216
PAC1422	HINO	AK8JRSA	2013	7684	250 HP / 2500 rpm	62	360

PAC2133	HINO	AK8JRSA	2015	7684	250 HP / 2500 rpm	62	325
PAC2918	HINO	AK8JRSA	2014	7684	250 HP / 2500 rpm	62	376
PAC6486	HINO	AK8JRSA	2013	7684	250 HP / 2500 rpm	62	380
PAC4944	HINO	AK8JRSA	2016	7684	250 HP / 2500 rpm	61	364
PAC7724	HINO	AK8JRSA	2014	7684	250 HP / 2500 rpm	61	411
PAC2098	HINO	AK8JRSA	2015	7684	250 HP / 2500 rpm	59	350
PAC2512	HINO	AK8JRSA	2015	7684	250 HP / 2500 rpm	58	337
PAC2348	HINO	AK8JRSA	2015	7684	250 HP / 2500 rpm	57	338
PAB2208	HINO	AK8JRSA	2012	7684	250 HP / 2500 rpm	57	359
PAC2523	HINO	AK8JRSA	2015	7684	250 HP / 2500 rpm	57	262
PAC2215	HINO	AK8JRSA	2015	7684	250 HP / 2500 rpm	57	306
PAC1593	HINO	AK8JRSA	2014	7684	250 HP / 2500 rpm	56	364
PAB1464	HINO	AK8JRSA	2012	7684	250 HP / 2500 rpm	55	349
PAB1731	HINO	AK8JRSA	2012	7684	250 HP / 2500 rpm	55	396
PAC3929	HINO	AK8JRSA	2015	7684	250 HP / 2500 rpm	55	318
PAC2778	HINO	AK8JRSA	2015	7684	250 HP / 2500 rpm	55	268
PAC8413	HINO	AK8JRSA	2014	7684	250 HP / 2500 rpm	55	318
PAC2947	HINO	AK8JRSA	2014	7684	250 HP / 2500 rpm	55	312
PAC3509	HINO	AK8JRSA	2016	7684	250 HP / 2500 rpm	54	236
PAC3112	HINO	AK8JRSA	2015	7684	250 HP / 2500 rpm	53	334
PAC2838	HINO	AK8JRSA	2014	7684	250 HP / 2500 rpm	53	350
PAA9120	HINO	AK8JRSA	2011	7684	250 HP / 2500 rpm	52	394
PAC2195	HINO	AK8JRSA	2015	7684	250 HP / 2500 rpm	51	256
PAC6720	HINO	AK8JRSA	2014	7684	250 HP / 2500 rpm	51	350
PAA9405	HINO	AK8JRSA	2011	7684	250 HP / 2500 rpm	50	470
PAC4303	HINO	AK8JRSA	2016	7684	250 HP / 2500 rpm	50	303
PAB1664	HINO	AK8JRSA	2012	7684	250 HP / 2500 rpm	50	399
PAC8561	HINO	AK8JRSA	2016	7684	250 HP / 2500 rpm	50	239
PAL4942	HINO	AK8JRSA	2016	7684	250 HP / 2500 rpm	49	197
PAB2538	HINO	AK8JRSA	2012	7684	250 HP / 2500 rpm	48	323
PAC4259	HINO	AK8JRSA	2016	7684	250 HP / 2500 rpm	48	245
PAB1226	HINO	AK8JRSA	2012	7684	250 HP / 2500 rpm	46	325
PAC3139	HINO	AK8JRSA	2016	7684	250 HP / 2500 rpm	46	237
PAC3507	HINO	AK8JRSA	2016	7684	250 HP / 2500 rpm	45	281
PAC4368	HINO	AK8JRSA	2016	7684	250 HP / 2500 rpm	45	233
PAC2314	HINO	AK8JRSA	2016	7684	250 HP / 2500 rpm	45	205
PAC3506	HINO	AK8JRSA	2016	7684	250 HP / 2500 rpm	44	186
PAC2211	HINO	AK8JRSA	2015	7684	250 HP / 2500 rpm	42	192
PAC8108	HINO	AK8JRSA	2015	7684	250 HP / 2500 rpm	38	238
PAC4868	HINO	AK8JRSA	2016	7684	250 HP / 2500 rpm	36	273
PAC1325	HINO	AK8JRSA	2013	7684	250 HP / 2500 rpm	26	106
PAC3768	HINO	AK8JRSA	2015	7684	250 HP / 2500 rpm	20	87
PROMEDIO			2014			61	414



Figura 4. Resultados de las pruebas de opacidad y material particulado de los vehículos de muestra (Integrados) Hino AK.

En la Tabla 10 y Figura 5, se indican los resultados de las pruebas de opacidad y material particulado de los vehículos de muestra (Integrados) Hino FG.

Tabla 10. Resultados de las pruebas de opacidad y material particulado de los vehículos de muestra (Integrados) Hino FG.

Placa	Marca	Modelo	Año	Cilindrada	Potencia	Resultados de opacidad [%]	Resultados de material particulado [mg/m ³]
PAA4481	HINO	FG1JPUZ	2009	7961	250 HP / 2500 rpm	86	819
PUH0955	HINO	FG1JPUZ	2008	7961	250 HP / 2500 rpm	79	816
PUK0407	HINO	FG1JPUZ	2008	7961	250 HP / 2500 rpm	78	692
PUH0303	HINO	FG1JPUZ	2008	8000	250 HP / 2500 rpm	78	813
PUH0452	HINO	FG1JPUZ	2008	7961	250 HP / 2500 rpm	77	345
PAA5886	HINO	FG1JPUZ	2010	7000	250 HP / 2500 rpm	77	557
PUG0323	HINO	FG1JPUZ	2007	8000	250 HP / 2500 rpm	74	412
PUH0204	HINO	FG1JPUZ	2008	7961	250 HP / 2500 rpm	73	488
PUH0852	HINO	FG1JPUZ	2008	7961	250 HP / 2500 rpm	69	390
PUK0387	HINO	FG1JPUZ	2008	7961	250 HP / 2500 rpm	68	334
PUH0333	HINO	FG1JPUZ	2008	7961	250 HP / 2500 rpm	67	367
PUJ067	HINO	FG1JPUZ	2008	8000	250 HP / 2500 rpm	63	263
PUH0620	HINO	FG1JPUZ	2008	7961	250 HP / 2500 rpm	62	328
PUK0357	HINO	FG1JPUZ	2008	7961	250 HP / 2500 rpm	62	307
PAA4893	HINO	FG1JPUZ	2010	7961	250 HP / 2500 rpm	60	339
PUK0712	HINO	FG1JPUZ	2009	7961	250 HP / 2500 rpm	60	245
PUH0201	HINO	FG1JPUZ	2008	7961	250 HP / 2500 rpm	58	284
PUJ0834	HINO	FG1JPUZ	2009	7961	250 HP / 2500 rpm	58	236
PAA4717	HINO	FG1JPUZ	2009	7961	250 HP / 2500 rpm	56	289
PAA4616	HINO	FG1JPUZ	2009	7961	250 HP / 2500 rpm	51	206
PUH0764	HINO	FG1JPUZ	2008	7961	250 HP / 2500 rpm	51	176
PUK0996	HINO	FG1JPUZ	2009	7961	250 HP / 2500 rpm	49	237
PAA4595	HINO	FG1JPUZ	2009	7961	250 HP / 2500 rpm	47	169

PAA6878	HINO	FG1JPUZ	2009	5037	250 HP / 2500 rpm	45	184
PAA9062	HINO	FG1JPUZ	2011	7961	250 HP / 2500 rpm	43	191
PAA4668	HINO	FG1JPUZ	2009	7961	250 HP / 2500 rpm	42	138
PUK0989	HINO	FG1JPUZ	2009	7961	250 HP / 2500 rpm	42	186
PUK0401	HINO	FG1JPUZ	2009	7961	250 HP / 2500 rpm	17	49
PROMEDIO			2009			60	352

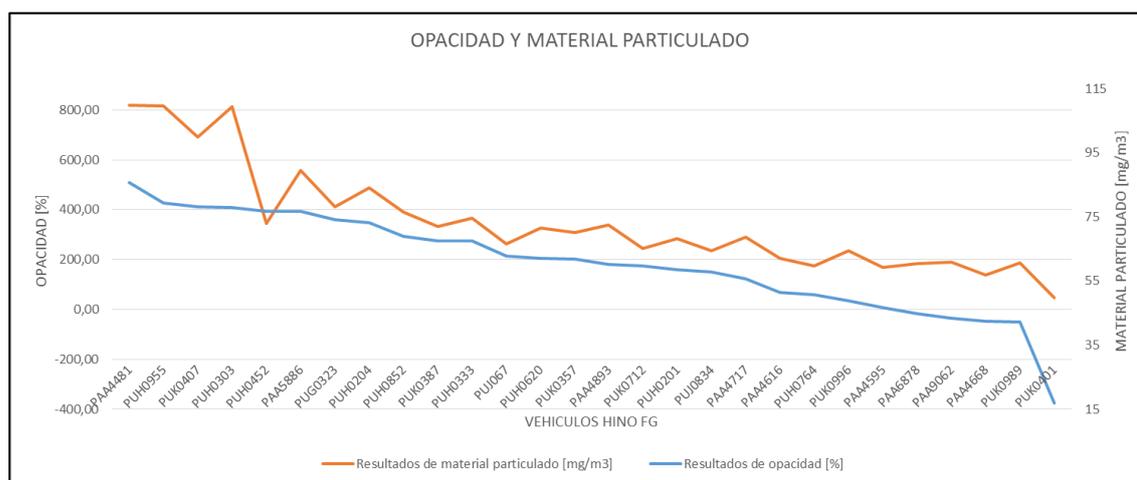


Figura 5. Resultados de las pruebas de opacidad y material particulado de los vehículos de muestra (Integrados) Hino FG.

En la Tabla 11 y Figura 6, se indican los resultados de las pruebas de opacidad y material particulado de los vehículos de muestra (Integrados) Mercedes Benz OF 1721.

Tabla 11. Resultados de las pruebas de opacidad y material particulado de los vehículos de muestra (Integrados) Mercedes Benz OF 1721.

Placa	Marca	Modelo	Año	Cilindrada	Potencia	Resultados de opacidad [%]	Resultados de material particulado [mg/m ³]
PZQ0455	MERCEDES BENZ	OF 1721-52	2005	10000	207,86 HP / 2500 rpm	100	819
PAU0371	MERCEDES BENZ	OF 1721-52	2004	12000	207,86 HP / 2500 rpm	100	819
---	MERCEDES BENZ	OF 1721 / 59	2011	5960	207,86 HP / 2500 rpm	99	819
PAA4812	MERCEDES BENZ	OF 1721	2008	10000	207,86 HP / 2500 rpm	96	788
PUH0211	MERCEDES BENZ	OF 1721 / 59	2007	7961	207,86 HP / 2500 rpm	93	789
PZX0611	MERCEDES BENZ	OF 1721-59	2002	10000	207,86 HP / 2500 rpm	90	691
PUH0773	MERCEDES BENZ	OF 1721-59	2008	5960	207,86 HP / 2500 rpm	90	813
PUD0081	MERCEDES BENZ	OF 1721 / 59	2006	12000	207,86 HP / 2500 rpm	87	779
---	MERCEDES BENZ	OF 1721 / 59	---	---	207,86 HP / 2500 rpm	86	550
0	MERCEDES BENZ	OF 1721 / 59	2011	5960	207,86 HP / 2500 rpm	85	783
PAC1492	MERCEDES BENZ	OF 1721 / 59	2009	5958	207,86 HP / 2500 rpm	84	560
PZO0401	MERCEDES BENZ	OF 1721 / 59	2004	12000	207,86 HP / 2500 rpm	82	783
PXU0923	MERCEDES BENZ	OF 1721 / 59	2007	12000	207,86 HP / 2500 rpm	80	549

PUH0448	MERCEDES BENZ	OF 1721 / 59	2008	5960	207,86 HP / 2500 rpm	80	332
PUH0260	MERCEDES BENZ	OF 1721-52	2007	8200	207,86 HP / 2500 rpm	78	746
PUG0707	MERCEDES BENZ	OF 1721 / 59	2007	8000	207,86 HP / 2500 rpm	77	417
---	MERCEDES BENZ	OF 1721 / 59	2008	8000	207,86 HP / 2500 rpm	72	432
PUK0549	MERCEDES BENZ	OF 1721	2009	5958	207,86 HP / 2500 rpm	64	389
PAB1267	MERCEDES BENZ	OF 1721 / 59	2011	5960	207,86 HP / 2500 rpm	60	311
PUA0454	MERCEDES BENZ	OF 1721-50	2006	12000	207,86 HP / 2500 rpm	56	281
PAA9126	MERCEDES BENZ	OF 1721-59	2011	5960	207,86 HP / 2500 rpm	50	165
PUK0049	MERCEDES BENZ	OF 1721 / 59	2006	8000	207,86 HP / 2500 rpm	48	352
PZQ0752	MERCEDES BENZ	OF 1722/59	2005	12000	207,86 HP / 2500 rpm	45	156
PAA9054	MERCEDES BENZ	OF 1721-59	2011	5960	207,86 HP / 2500 rpm	41	344
PZQ0170	MERCEDES BENZ	OF1721-52	2005	10000	207,86 HP / 2500 rpm	41	280
PBQ0638	MERCEDES BENZ	OF 1721 / 59	2006	10000	207,86 HP / 2500 rpm	35	193
PZQ0033	MERCEDES BENZ	OF1721-52	2005	10000	207,86 HP / 2500 rpm	27	240
PZQ0636	MERCEDES BENZ	OF 1721-59	2005	10000	207,86 HP / 2500 rpm	26	240
PUD0966	MERCEDES BENZ	OF 1721 / 59	2006	12000	207,86 HP / 2500 rpm	20	71
PUH0950	MERCEDES BENZ	1721-52	2008	5958	207,86 HP / 2500 rpm	5	173
PZQ0773	MERCEDES BENZ	OF 1721-59	2005	10000	207,86 HP / 2500 rpm	1	29
PROMEDIO			2007			64	474

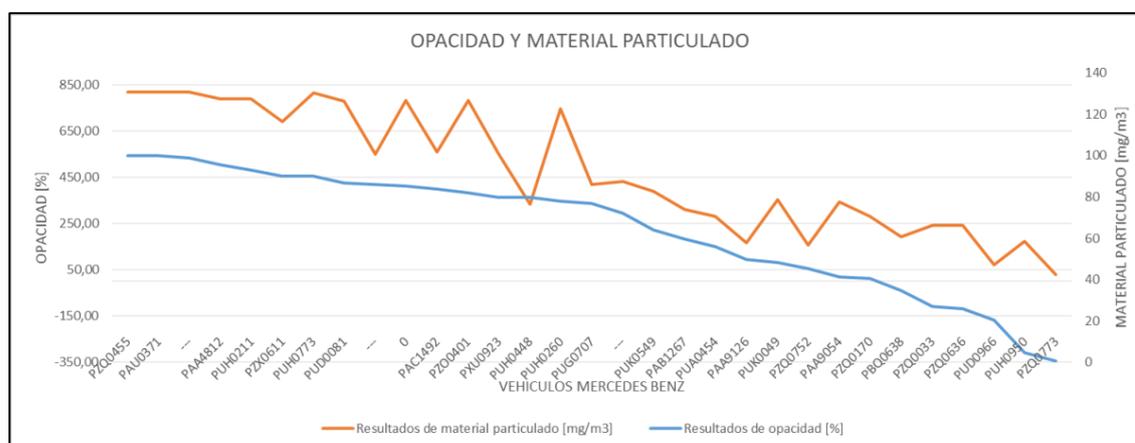


Figura 6. Resultados de las pruebas de opacidad y material particulado de los vehículos de muestra (Integrados) Mercedes Benz OF 1721.

En la Tabla 12 y Figura 7, se indican los resultados de las pruebas de opacidad y material particulado de los vehículos de muestra (Integrados) Volkswagen 17210 OD.

Tabla 12. Resultados de las pruebas de opacidad y material particulado de los vehículos de muestra (Integrados)
Volkswagen 17210 OD.

Placa	Marca	Modelo	Año	Cilindrada	Potencia	Resultados de opacidad [%]	Resultados de material particulado [mg/m ³]
PUG0724	VOLKSWAGEN	17210 OD	2006	8000	276,25 HP / 2600 rpm	100	819
PAC7856	VOLKSWAGEN	17210 OD	2014	6449	276,25 HP / 2600 rpm	99	819
PUG0742	VOLKSWAGEN	17210 OD	2006	7961	276,25 HP / 2600 rpm	99	816
PAB2003	VOLKSWAGEN	17210 OD	2012	6500	276,25 HP / 2600 rpm	99	819
PUG0736	VOLKSWAGEN	17210 OD	2006	7961	276,25 HP / 2600 rpm	98	817
PAC8564	VOLKSWAGEN	17210 OD	2014	6449	276,25 HP / 2600 rpm	97	817
PAA9240	VOLKSWAGEN	17210 OD	2011	6500	276,25 HP / 2600 rpm	97	819
PAA6997	VOLKSWAGEN	17210 OD	2010	6449	276,25 HP / 2600 rpm	97	816
PAB2134	VOLKSWAGEN	17210 OD	2011	6500	276,25 HP / 2600 rpm	97	819
EAG0590	VOLKSWAGEN	17210 OD	2003	8000	276,25 HP / 2600 rpm	96	819
PAC3178	VOLKSWAGEN	17210 OD	2013	6449	276,25 HP / 2600 rpm	96	815
PZU0511	VOLKSWAGEN	17210 OD	2005	6700	276,25 HP / 2600 rpm	96	817
PUG0725	VOLKSWAGEN	17210 OD	2006	8000	276,25 HP / 2600 rpm	96	816
PUK0125	VOLKSWAGEN	17210 OD	2009	6449	276,25 HP / 2600 rpm	95	816
PAA9238	VOLKSWAGEN	17210 OD	2011	6500	276,25 HP / 2600 rpm	95	819
PUG0741	VOLKSWAGEN	17210 OD	2006	7961	276,25 HP / 2600 rpm	95	818
PUG0179	VOLKSWAGEN	17210 OD	2006	10000	276,25 HP / 2600 rpm	95	816
PAU0600	VOLKSWAGEN	17210 OD	2004	7800	276,25 HP / 2600 rpm	94	698
PZQ0949	VOLKSWAGEN	17210 OD	2005	10000	276,25 HP / 2600 rpm	94	818
PUK0820	VOLKSWAGEN	17210 OD	2009	6449	276,25 HP / 2600 rpm	93	850
PUD0883	VOLKSWAGEN	17210 OD	2006	6449	276,25 HP / 2600 rpm	93	816
PUG0728	VOLKSWAGEN	17210 OD	2006	7910	276,25 HP / 2600 rpm	93	743
PAB2194	VOLKSWAGEN	17210 OD	2012	6500	276,25 HP / 2600 rpm	92	816
PAA4589	VOLKSWAGEN	17210 OD	2011	6500	276,25 HP / 2600 rpm	92	819
PAA4363	VOLKSWAGEN	17210 OD	2011	6500	276,25 HP / 2600 rpm	91	790
PAB1861	VOLKSWAGEN	17210 OD	2012	6449	276,25 HP / 2600 rpm	90	819
PAB2193	VOLKSWAGEN	17210 OD	2012	6500	276,25 HP / 2600 rpm	90	816
PAB2157	VOLKSWAGEN	17210 OD	2012	6500	276,25 HP / 2600 rpm	89	816
PUK0672	VOLKSWAGEN	17210 OD	2009	6449	276,25 HP / 2600 rpm	89	793
PAC8046	VOLKSWAGEN	17210 OD	2013	6449	276,25 HP / 2600 rpm	88	816
PAC2509	VOLKSWAGEN	17210 OD	2014	6449	276,25 HP / 2600 rpm	88	792
PAC3082	VOLKSWAGEN	17210 OD	2013	6449	276,25 HP / 2600 rpm	87	816
PAB2188	VOLKSWAGEN	17210 OD	2012	6500	276,25 HP / 2600 rpm	87	798
PAA9021	VOLKSWAGEN	17210 OD	2010	6500	276,25 HP / 2600 rpm	87	731
PUG0125	VOLKSWAGEN	17210 OD	2006	6100	276,25 HP / 2600 rpm	87	814
PAC3154	VOLKSWAGEN	17210 OD	2014	6449	276,25 HP / 2600 rpm	85	753
PAA6424	VOLKSWAGEN	17210 OD	2011	6500	276,25 HP / 2600 rpm	85	790
PAB2186	VOLKSWAGEN	17210 OD	2012	6500	276,25 HP / 2600 rpm	85	814
PAC1072	VOLKSWAGEN	17210 OD	2012	7684	276,25 HP / 2600 rpm	84	785

PAA6762	VOLKSWAGEN	17210 OD	2009	6449	276,25 HP / 2600 rpm	84	749
PUD0443	VOLKSWAGEN	17210 OD	2006	7800	276,25 HP / 2600 rpm	83	665
PAB2189	VOLKSWAGEN	17210 OD	2012	6500	276,25 HP / 2600 rpm	81	595
PAC3108	VOLKSWAGEN	17210 OD	2014	6449	276,25 HP / 2600 rpm	81	672
PAA5740	VOLKSWAGEN	17210 OD	2009	6500	276,25 HP / 2600 rpm	80	596
PUG0429	VOLKSWAGEN	17210 OD	2006	6450	276,25 HP / 2600 rpm	80	533
PAC2174	VOLKSWAGEN	17210 OD	2698	6449	276,25 HP / 2600 rpm	79	639
PAC3452	VOLKSWAGEN	17210 OD	2013	6449	276,25 HP / 2600 rpm	78	645
PAA5954	VOLKSWAGEN	17210 OD	2010	6449	276,25 HP / 2600 rpm	78	716
PCK3533	VOLKSWAGEN	17210 OD	2014	6449	276,25 HP / 2600 rpm	77	507
PAA4064	VOLKSWAGEN	17210 OD	2009	6449	276,25 HP / 2600 rpm	76	575
PAC6543	VOLKSWAGEN	17210 OD	2013	6449	276,25 HP / 2600 rpm	76	753
PAC6120	VOLKSWAGEN	17210 OD	2013	6500	276,25 HP / 2600 rpm	75	555
PUK0659	VOLKSWAGEN	17210 OD	2009	6449	276,25 HP / 2600 rpm	75	546
PAA6745	VOLKSWAGEN	17210 OD	2010	6449	276,25 HP / 2600 rpm	74	579
PUK0722	VOLKSWAGEN	17210 OD	2009	6500	276,25 HP / 2600 rpm	73	450
PUK0671	VOLKSWAGEN	17210 OD	2009	6449	276,25 HP / 2600 rpm	71	449
PAC5672	VOLKSWAGEN	17210 OD	2014	6449	276,25 HP / 2600 rpm	70	638
PUK0667	VOLKSWAGEN	17210 OD	2009	6449	276,25 HP / 2600 rpm	69	459
PUG0430	VOLKSWAGEN	17210 OD	2006	6450	276,25 HP / 2600 rpm	69	754
PAB2192	VOLKSWAGEN	17210 OD	2012	6500	276,25 HP / 2600 rpm	64	287
PUK0689	VOLKSWAGEN	17210 OD	2009	6500	276,25 HP / 2600 rpm	63	372
PAA9194	VOLKSWAGEN	17210 OD	2010	6449	276,25 HP / 2600 rpm	59	286
PUG0539	VOLKSWAGEN	17210 OD	2006	12000	276,25 HP / 2600 rpm	54	229
PUH0299	VOLKSWAGEN	17210 OD	2006	5560	276,25 HP / 2600 rpm	38	489
PROMEDIO			2010			85	705

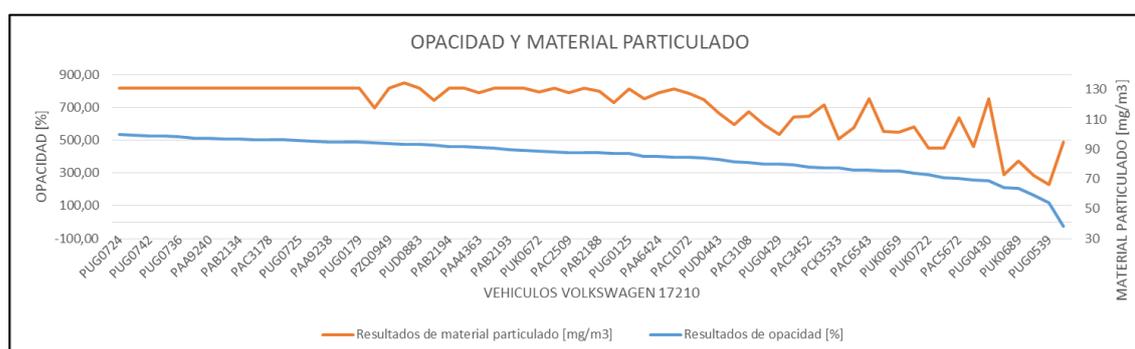


Figura 7. Resultados de las pruebas de opacidad y material particulado de los vehículos de muestra (Integrados) Volkswagen 17210 OD.

En la Tabla 13 y Figura 8, se indican los resultados de las pruebas de opacidad y material particulado de los vehículos de muestra (Articulado) Scania Urbart.

Tabla 13. Resultados de las pruebas de opacidad y material particulado de los vehículos de muestra (Articulado) Scania Urbart.

Placa	Marca	Modelo	Año	Potencia	Resultados de opacidad [%]	Resultados de material particulado [mg/m ³]
---	SCANIA	URBART	2005	300 CV	87	811
---	SCANIA	URBART	2005	300 CV	55	604
---	SCANIA	URBART	2005	300 CV	45	142
---	SCANIA	URBART	2005	300 CV	28	276
---	SCANIA	URBART	2005	300 CV	26	142
---	SCANIA	URBART	2005	300 CV	25	168
---	SCANIA	URBART	2005	300 CV	15	80
---	SCANIA	URBART	2005	300 CV	15	92
---	SCANIA	URBART	2005	300 CV	12	58
---	SCANIA	URBART	2005	300 CV	10	39
---	SCANIA	URBART	2005	300 CV	9	81
---	SCANIA	URBART	2005	300 CV	9	46
---	SCANIA	URBART	2005	300 CV	8	49
---	SCANIA	URBART	2005	300 CV	8	87
PROMEDIO			2005		25	191

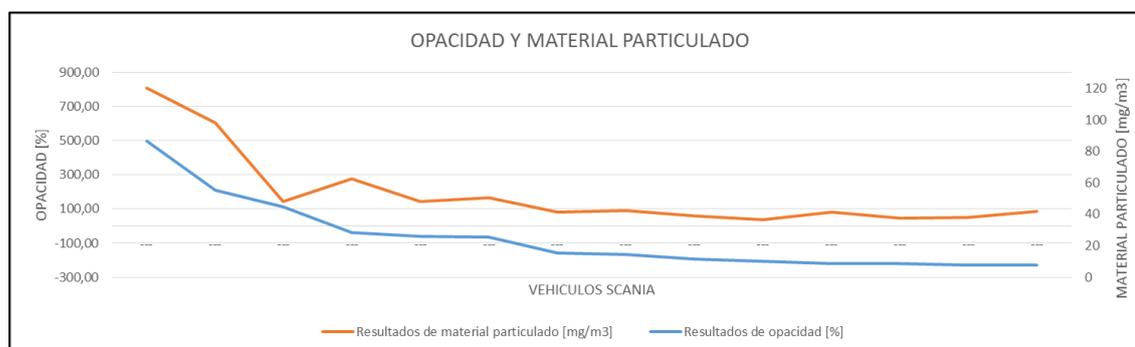


Figura 8. Resultados de las pruebas de opacidad y material particulado de los vehículos de muestra (Articulado) Scania Urbart.

En la Tabla 14 y Figura 9, se indican los resultados de las pruebas de opacidad y material particulado de los vehículos de muestra (Articulado) Volvo B10M.

Tabla 14. Resultados de las pruebas de opacidad y material particulado de los vehículos de muestra (Articulado) Volvo B10M.

Placa	Marca	Modelo	Año	Cilindrada	Potencia	Resultados de opacidad [%]	Resultados de material particulado [mg/m ³]
---	VOLVO	GRAN VIALE	2005	---	340 HP	100	819
---	VOLVO	GRAN VIALE	2005	---	340 HP	99	819
PAU0270	VOLVO	SVELTO URBANO	2004	8000	340 HP	99	819

PME0443	VOLVO	B10M	2003	10000	340 HP	88	653
PME0451	VOLVO	B10M	2003	10000	340 HP	87	649
PME0447	VOLVO	B10M	2003	10000	340 HP	87	654
PME0442	VOLVO	B10M	2003	10000	340 HP	74	415
PME0440	VOLVO	B10M	2003	10000	340 HP	52	217
PME0460	VOLVO	B10M	2003	10000	340 HP	49	207
PME0436	VOLVO	B10M	2003	10000	340 HP	44	142
PME0456	VOLVO	B10M	2003	10000	340 HP	42	190
PME0459	VOLVO	B10M	2003	10000	340 HP	39	190
PME0469	VOLVO	B10M	2003	10000	340 HP	37	196
---	VOLVO	GRAN VIALE	2005	---	340 HP	36	237
PME0430	VOLVO	B10M	2003	10000	340 HP	34	114
PME0465	VOLVO	B10M	2003	10000	340 HP	32	127
PME0441	VOLVO	B10M	2003	10000	340 HP	31	350
PME0446	VOLVO	B10M	2003	10000	340 HP	31	125
PME0457	VOLVO	B10M	2003	10000	340 HP	30	114
PME0444	VOLVO	B10M	2003	10000	340 HP	29	182
PME0445	VOLVO	B10M	2003	10000	340 HP	28	95
PME0467	VOLVO	B10M	2003	10000	340 HP	28	108
PME0434	VOLVO	B10M	2003	10000	340 HP	27	139
PME0435	VOLVO	B10M	2003	10000	340 HP	26	95
PME0433	VOLVO	B10M	2003	10000	340 HP	23	106
PME0466	VOLVO	B10M	2003	10000	340 HP	20	319
PME0470	VOLVO	B10M	2003	10000	340 HP	20	126
PME0468	VOLVO	B10M	2003	10000	340 HP	18	98
PME0454	VOLVO	B10M	2003	10000	340 HP	17	71
PME0458	VOLVO	B10M	2003	10000	340 HP	16	179
PME0462	VOLVO	B10M	2003	10000	340 HP	15	76
PME0453	VOLVO	B10M	2003	10000	340 HP	14	31
PME0461	VOLVO	B10M	2003	10000	340 HP	14	74
PME0432	VOLVO	B10M	2003	10000	340 HP	12	36
PME0438	VOLVO	B10M	2003	10000	340 HP	8	57
PROMEDIO			2003			40	252

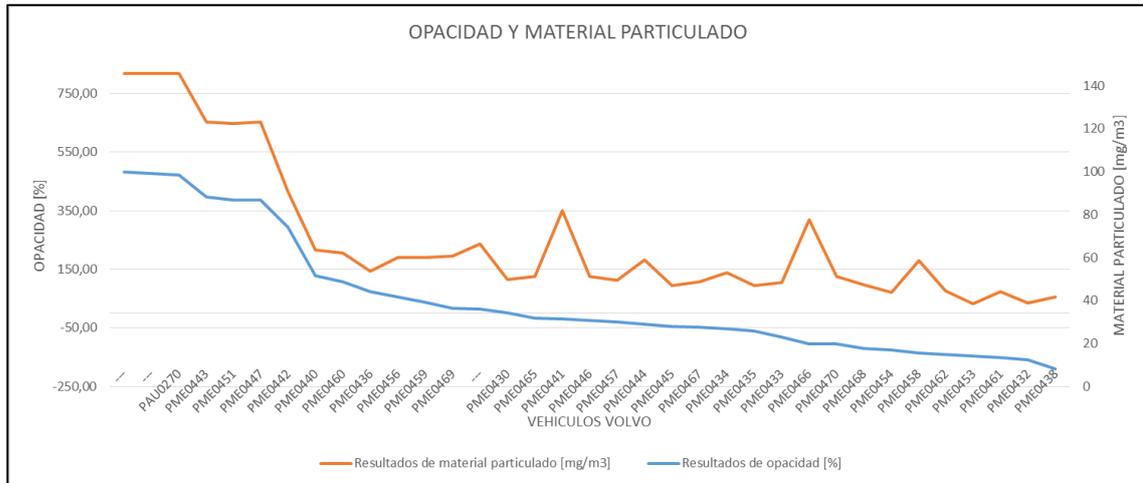


Figura 9. Resultados de las pruebas de opacidad y material particulado de los vehículos de muestra (Articulado) Volvo B10M.

6.2 SISTEMAS DE ESCAPE

En esta sección se detallan las dimensiones promedio del sistema de escape, de los vehículos utilizados como muestra en este proyecto, esta información será utilizada por parte del fabricante del dispositivo DOC, para conocer el tamaño y forma adecuada de fabricación de este dispositivo, el cual sustituirá el espacio del silenciador original del vehículo.

A continuación se muestran el esquema y las dimensiones de los diferentes sistemas de escape de los vehículos de muestra, diferenciándolos por marca y modelo.

En la Figura 10 y Tabla 15, se indican la configuración y las dimensiones respectivamente de los vehículos de muestra (Integrados) Chevrolet FTR.

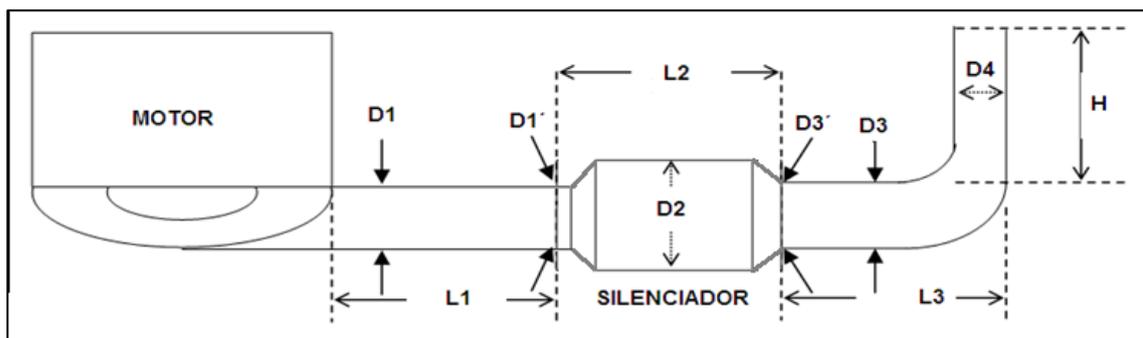


Figura 10. Configuración del sistema de escape de los vehículos de muestra (Integrados) Chevrolet FTR.

Tabla 15. Dimensiones del sistema de escape de los vehículos de muestra (Integrados) Chevrolet FTR.

DIMENSIONES DEL SISTEMA DE ESCAPE		
CÓDIGO	DEFINICIÓN	VALOR [mm]
D1'	Diámetro de escape después del motor	96
D1	Diámetro de escape después del motor	96
D2	Diámetro mayor del silenciador	267
D3'	Diámetro de escape después del silenciador	96
D3	Diámetro de escape después del silenciador	96
D4	Diámetro de escape después del codo	N/A
D5	Diámetro menor del silenciador	267
L1	Longitud de escape motor - silenciador	2650
L2	Longitud de silenciador	600
L3	Longitud de escape silenciador - codo	6300
H	Longitud después del codo	N/A

En la Figura 11 y Tabla 16, se indican la configuración y las dimensiones respectivamente de los vehículos de muestra (Integrados) Hino AK.

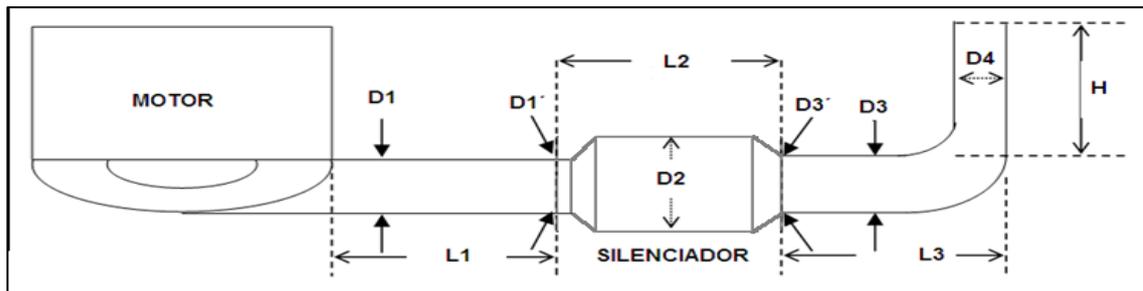


Figura 11. Configuración del sistema de escape de los vehículos de muestra (Integrados) Hino AK.

Tabla 16. Dimensiones del sistema de escape de los vehículos de muestra (Integrados) Hino AK.

DIMENSIONES DEL SISTEMA DE ESCAPE		
CÓDIGO	DEFINICIÓN	VALOR [mm]
D1'	Diámetro de escape después del motor	83
D1	Diámetro de escape después del motor	83
D2	Diámetro mayor del silenciador	255
D3'	Diámetro de escape después del silenciador	102
D3	Diámetro de escape después del silenciador	102
D4	Diámetro de escape después del codo	N/A
D5	Diámetro menor del silenciador	255
L1	Longitud de escape motor - silenciador	2350
L2	Longitud de silenciador	660
L3	Longitud de escape silenciador - codo	7800
H	Longitud después del codo	N/A

En la Figura 12 y Tabla 17, se indican la configuración y las dimensiones respectivamente de los vehículos de muestra (Integrados) Hino FG.

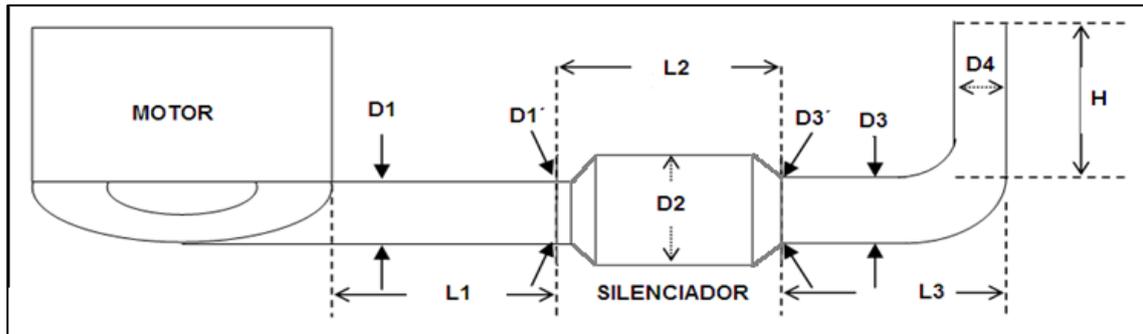


Figura 12. Configuración del sistema de escape de los vehículos de muestra (Integrados) Hino FG.

Tabla 17. Dimensiones del sistema de escape de los vehículos de muestra (Integrados) Hino FG.

DIMENSIONES DEL SISTEMA DE ESCAPE		
CÓDIGO	DEFINICIÓN	VALOR [mm]
D1'	Diámetro de escape después del motor	83
D1	Diámetro de escape después del motor	83
D2	Diámetro mayor del silenciador	255
D3'	Diámetro de escape después del silenciador	95
D3	Diámetro de escape después del silenciador	95
D4	Diámetro de escape después del codo	N/A
D5	Diámetro menor del silenciador	255
L1	Longitud de escape motor - silenciador	1670
L2	Longitud de silenciador	660
L3	Longitud de escape silenciador - codo	7500
H	Longitud después del codo	N/A

En la Figura 13 y Tabla 18, se indican la configuración y las dimensiones respectivamente de los vehículos de muestra (Integrados) Mercedes Benz OF 1721.

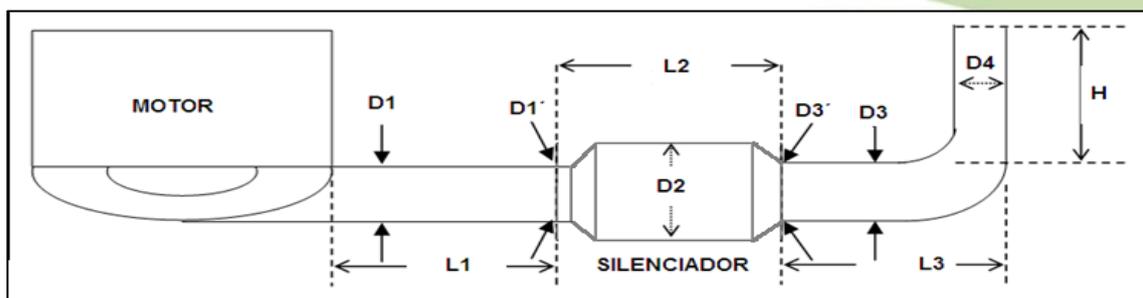


Figura 13. Configuración del sistema de escape de los vehículos de muestra (Integrados) Mercedes Benz OF 1721.

Tabla 18. Dimensiones del sistema de escape de los vehículos de muestra (Integrados) Mercedes Benz OF 1721.

DIMENSIONES DEL SISTEMA DE ESCAPE		
CÓDIGO	DEFINICIÓN	VALOR [mm]
D1'	Diámetro de escape después del motor	108
D1	Diámetro de escape después del motor	108
D2	Diámetro mayor del silenciador	267
D3'	Diámetro de escape después del silenciador	108
D3	Diámetro de escape después del silenciador	108
D4	Diámetro de escape después del codo	N/A
D5	Diámetro menor del silenciador	267
L1	Longitud de escape motor - silenciador	3400
L2	Longitud de silenciador	1000
L3	Longitud de escape silenciador - codo	6300
H	Longitud después del codo	N/A

En la Figura 14 y Tabla 19, se indican la configuración y las dimensiones respectivamente de los vehículos de muestra (Integrados) Volkswagen 17210 OD.

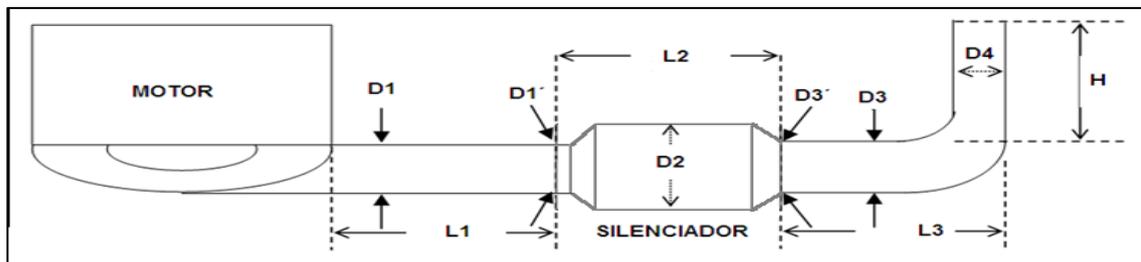


Figura 14. Configuración del sistema de escape de los vehículos de muestra (Integrados) Volkswagen 17210 OD.

Tabla 19. Dimensiones del sistema de escape de los vehículos de muestra (Integrados) Volkswagen 17210 OD.

DIMENSIONES DEL SISTEMA DE ESCAPE		
CÓDIGO	DEFINICIÓN	VALOR [mm]
D1'	Diámetro de escape después del motor	95
D1	Diámetro de escape después del motor	95
D2	Diámetro mayor del silenciador	280
D3'	Diámetro de escape después del silenciador	95
D3	Diámetro de escape después del silenciador	95
D4	Diámetro de escape después del codo	N/A
D5	Diámetro menor del silenciador	190
L1	Longitud de escape motor - silenciador	2600
L2	Longitud de silenciador	1150
L3	Longitud de escape silenciador - codo	8000
H	Longitud después del codo	N/A

En la Figura 15 y Tabla 20, se indican la configuración y las dimensiones respectivamente de los vehículos de muestra (Articulados) Scania Urbart.

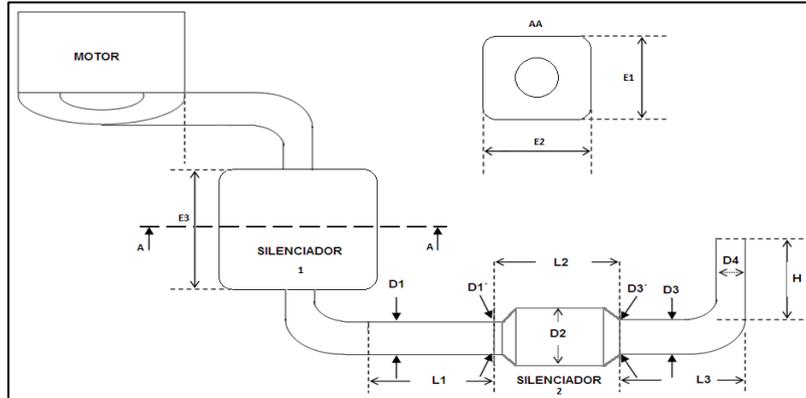


Figura 15. Configuración del sistema de escape de los vehículos de muestra (Articulados) Scania Urbart.

Tabla 20. Dimensiones del sistema de escape de los vehículos de muestra (Articulados) Scania Urbart.

DIMENSIONES DEL SISTEMA DE ESCAPE		
CÓDIGO	DEFINICIÓN	VALOR [mm]
D1'	Diámetro de escape después del motor	117
D2	Diámetro mayor del silenciador 2	194
D3	Diámetro de escape después del silenciador 2	117
D4	Diámetro de escape después del codo	N/A
D5	Diámetro menor del silenciador 2	194
L1	Longitud de escape silenciador 1 – silenciador 2	690
L2	Longitud de silenciador 2	200
L3	Longitud de escape silenciador 2 - codo	1120
H	Longitud después del codo	N/A
E1	Ancho del silenciador 1	450
E2	Largo del silenciador 1	430
E3	Altura del silenciador 1	480

En la Figura 16 y Tabla 21, se indican la configuración y las dimensiones respectivamente de los vehículos de muestra (Articulados) Volvo B10M.

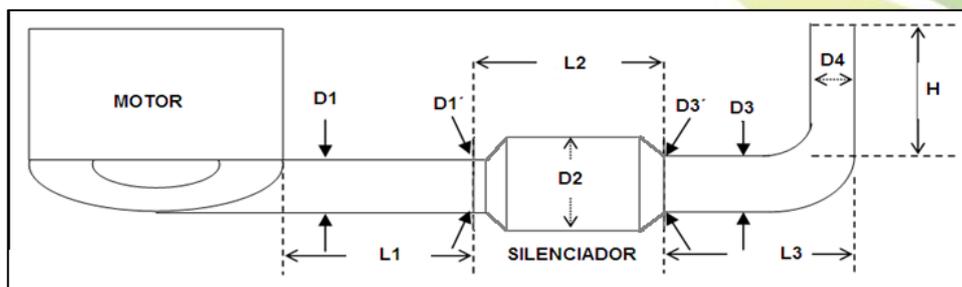


Figura 16. Configuración del sistema de escape de los vehículos de muestra (Articulados) Volvo B10M.

Tabla 21. Dimensiones del sistema de escape de los vehículos de muestra (Articulados) Volvo B10M.

DIMENSIONES DEL SISTEMA DE ESCAPE		
CÓDIGO	DEFINICIÓN	VALOR [mm]
D1´	Diámetro de escape después del motor	128
D1	Diámetro de escape después del motor	99
D2	Diámetro mayor del silenciador	300
D3´	Diámetro de escape después del silenciador	128
D3	Diámetro de escape después del silenciador	121
D4	Diámetro de escape después del codo	115
D5	Diámetro menor del silenciador	300
L1	Longitud de escape motor - silenciador	2050
L2	Longitud de silenciador	320
L3	Longitud de escape silenciador - codo	480
H	Longitud después del codo	120

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para realizar el análisis de los resultados de las pruebas de opacidad y material particulado, y de acuerdo a la calidad del combustible que se expende en la ciudad de Quito (menor a 500 ppm de azufre), es factible el uso del dispositivo DOC, el cual permite una disminución estimada de opacidad y material particulado en un 20% (valor medio de estimación)¹³.

Antes de aplicar la disminución estimada de este dispositivo a los resultados obtenidos en el proyecto, se debe desarrollar un procedimiento de mantenimiento preventivo o correctivo (calibración de bomba de combustible, revisión del sistema de alimentación de aire, especialmente el turbo, estado de los inyectores de combustible entre otros), a los vehículos de muestra por parte de las Operadoras, con lo cual se disminuirán los valores de emisiones de gases. El porcentaje de opacidad después de haber realizado el mantenimiento, deberá estar dentro de los límites permitidos para cumplir con la Revisión Técnica Vehicular y de acuerdo a la norma NTE INEN 2207:2002 (Valor referencial máximo 50%).

Con respecto al material particulado se tomó este valor como el límite, calculándose el mismo mediante la siguiente correlación obtenida experimentalmente para el comportamiento de un motor Diesel en la ciudad de Quito:¹⁴

$$MP_{2.5} [mg/m^3] = 23.683 + 4.6577 * \text{Opacidad} [\%]$$

¹³ Consultado de: <http://www.epa.gov/otaq/retrofit/retroverifiedlist.htm>

¹⁴ EUGENIO C., MONTALVO F.; Evaluación del comportamiento y emisiones de un motor de combustión interna utilizando una mezcla diésel-queroseno, E.P.N, 2016.

Al reemplazar el 50% de opacidad según NTE INEN 2207:2002 en la expresión anterior, se obtiene un valor de concentración de material particulado de 257 [mg/m³], el cual se utilizará como el valor referencial de material particulado para el cálculo de la disminución al realizar las tareas de mantenimiento que les permita a los vehículos cumplir con los requisitos de norma. Estos valores referenciales de opacidad y material particulado son prácticamente alcanzables con solo realizar los mantenimientos preventivos y correctivos si es el caso, por parte del propietario de cada vehículo.

En la Tabla 22 y Figuras 17 y 18, se indican los resultados de disminución de opacidad y material particulado de los vehículos de muestra (Integrados) Chevrolet FTR (potencia: 226.8 Hp a 2500 rpm).

Tabla 22. Resultados de disminución de opacidad y material particulado de los vehículos de muestra (Integrados) Chevrolet FTR.

Placa	Año	Cilindrada	Opacidad [%]			Material particulado [mg/m ³]		
			Resultados del proyecto	Resultados posterior al mantenimiento	Estimación de reducción(-20%) con DOC	Resultados del proyecto	Resultados posterior al mantenimiento	Estimación de reducción(-20%) con DOC
JAA0149	2009	10000	92	50	40	812	257	205
PUD0420	2010	7961	82	50	40	783	257	205
---	2009	7127	79	50	40	619	257	205
JAA0147	2009	10000	78	50	40	637	257	205
PZZ0309	2001	7127	23	23	18	98	98	78
PROMEDIO	2008		71	45	36	590	225	180

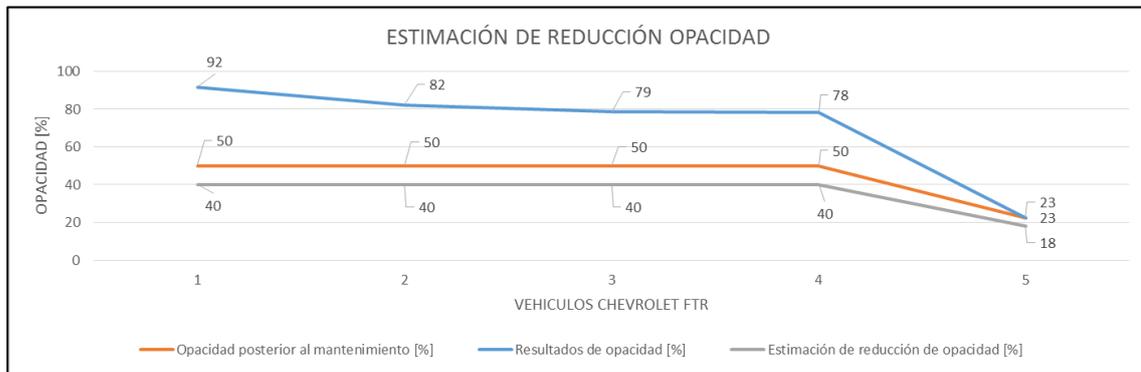


Figura 17. Resultados de disminución de opacidad de los vehículos de muestra (Integrados) Chevrolet FTR.

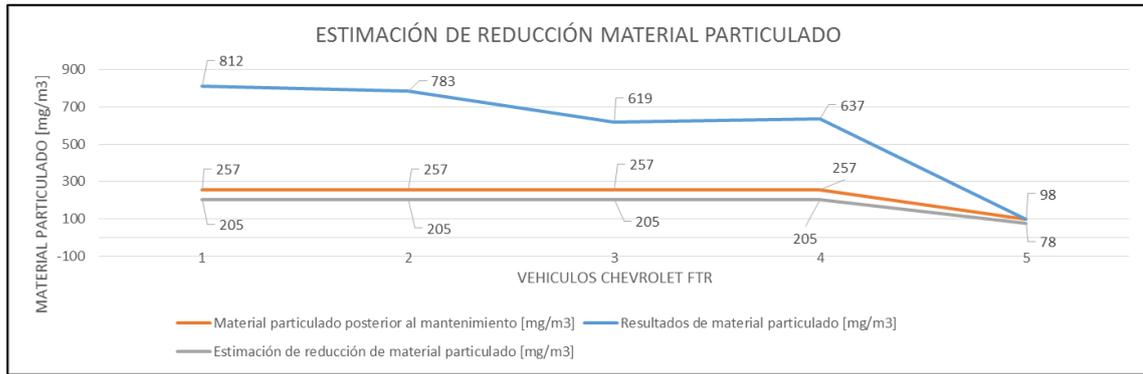


Figura 18. Resultados de disminución de material particulado de los vehículos de muestra (Integrados) Chevrolet FTR.

En la Tabla 23 y Figuras 19 y 20, se indican los resultados de disminución de opacidad y material particulado de los vehículos de muestra (Integrados) Hino AK.

Tabla 23. Resultados de disminución de opacidad y material particulado de los vehículos de muestra (Integrados) Hino AK.

Placa	Año	Cilindrada	Opacidad [%]			Material particulado [mg/m ³]		
			Resultados del proyecto	Resultados posterior al mantenimiento	Estimación de reducción(-20%) con DOC	Resultados del proyecto	Resultados posterior al mantenimiento	Estimación de reducción(-20%) con DOC
PAB1228	2012	7684	94	50	40	814	257	205
PAB1603	2012	7684	86	50	40	654	257	205
PAC2204	2015	7684	84	50	40	782	257	205
PAB1227	2012	7684	81	50	40	557	257	205
PAB2011	2012	7684	80	50	40	761	257	205
PAA9664	2012	7684	80	50	40	661	257	205
PAA7570	2011	7684	79	50	40	770	257	205
PAB1571	2012	7684	79	50	40	752	257	205
PAA9170	2011	7684	78	50	40	697	257	205
PAB1979	2012	7684	78	50	40	715	257	205
PAB1650	2012	7684	76	50	40	758	257	205
PAC1576	2013	7684	75	50	40	433	257	205
PAA9254	2011	7684	74	50	40	665	257	205
TAA1195	2012	7684	74	50	40	687	257	205
PAC1700	2013	7684	74	50	40	489	257	205
PAB1639	2012	7684	74	50	40	684	257	205
PAA9219	2011	7684	73	50	40	485	257	205
PAB2543	2012	7684	71	50	40	597	257	205
PAC2521	2015	7684	71	50	40	506	257	205
PAC2179	2015	7684	70	50	40	372	257	205

PAA9231	2011	7684	70	50	40	541	257	205
PAC2097	2015	7684	70	50	40	367	257	205
PAA9141	2011	7684	67	50	40	501	257	205
PAA9398	2011	7684	66	50	40	775	257	205
PAC7127	2014	7684	66	50	40	456	257	205
PAC3343	2015	7684	65	50	40	412	257	205
PAC3153	2015	7684	64	50	40	357	257	205
PAC3267	2015	7684	64	50	40	363	257	205
PAC2922	2014	7684	64	50	40	393	257	205
PAC2331	2015	7684	63	50	40	492	257	205
PAC3513	2016	7684	63	50	40	400	257	205
---	2014	7684	63	50	40	425	257	205
PAB2537	2013	7684	63	50	40	505	257	205
PAC6127	2013	7684	63	50	40	288	257	205
PAC5211	2016	7684	63	50	40	411	257	205
PAC3205	2016	7684	62	50	40	216	216	173
PAC1422	2013	7684	62	50	40	360	257	205
PAC2133	2015	7684	62	50	40	325	257	205
PAC2918	2014	7684	62	50	40	376	257	205
PAC6486	2013	7684	62	50	40	380	257	205
PAC4944	2016	7684	61	50	40	364	257	205
PAC7724	2014	7684	61	50	40	411	257	205
PAC2098	2015	7684	59	50	40	350	257	205
PAC2512	2015	7684	58	50	40	337	257	205
PAC2348	2015	7684	57	50	40	338	257	205
PAB2208	2012	7684	57	50	40	359	257	205
PAC2523	2015	7684	57	50	40	262	257	205
PAC2215	2015	7684	57	50	40	306	257	205
PAC1593	2014	7684	56	50	40	364	257	205
PAB1464	2012	7684	55	50	40	349	257	205
PAB1731	2012	7684	55	50	40	396	257	205
PAC3929	2015	7684	55	50	40	318	257	205
PAC2778	2015	7684	55	50	40	268	257	205
PAC8413	2014	7684	55	50	40	318	257	205
PAC2947	2014	7684	55	50	40	312	257	205
PAC3509	2016	7684	54	50	40	236	236	189
PAC3112	2015	7684	53	50	40	334	257	205
PAC2838	2014	7684	53	50	40	350	257	205
PAA9120	2011	7684	52	50	40	394	257	205
PAC2195	2015	7684	51	50	40	256	256	205

PAC6720	2014	7684	51	50	40	350	257	205
PAA9405	2011	7684	50	50	40	470	257	205
PAC4303	2016	7684	50	50	40	303	257	205
PAB1664	2012	7684	50	50	40	399	257	205
PAC8561	2016	7684	50	50	40	239	239	191
PAL4942	2016	7684	49	49	39	197	197	157
PAB2538	2012	7684	48	48	39	323	257	205
PAC4259	2016	7684	48	48	38	245	245	196
PAB1226	2012	7684	46	46	37	325	257	205
PAC3139	2016	7684	46	46	37	237	237	190
PAC3507	2016	7684	45	45	36	281	257	205
PAC4368	2016	7684	45	45	36	233	233	186
PAC2314	2016	7684	45	45	36	205	205	164
PAC3506	2016	7684	44	44	35	186	186	148
PAC2211	2015	7684	42	42	33	192	192	153
PAC8108	2015	7684	38	38	30	238	238	190
PAC4868	2016	7684	36	36	29	273	257	205
PAC1325	2013	7684	26	26	21	106	106	85
PAC3768	2015	7684	20	20	16	87	87	70
PROMEDIO	2014		61	48	39	414	247	198

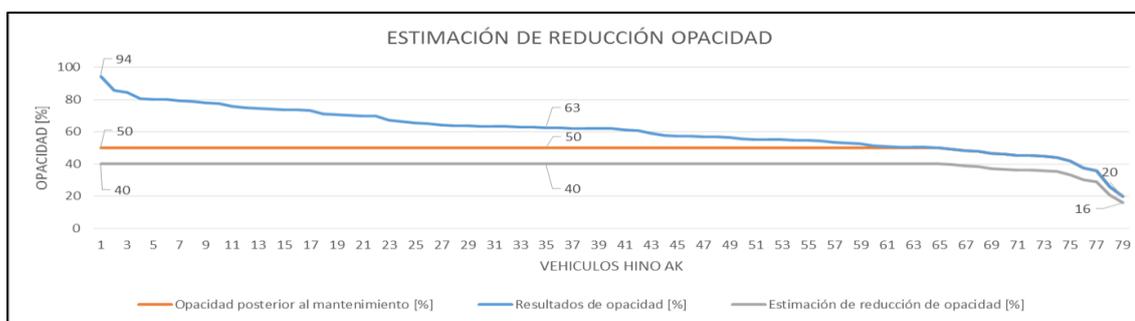


Figura 19. Resultados de disminución de opacidad de los vehículos de muestra (Integrados) Hino AK.

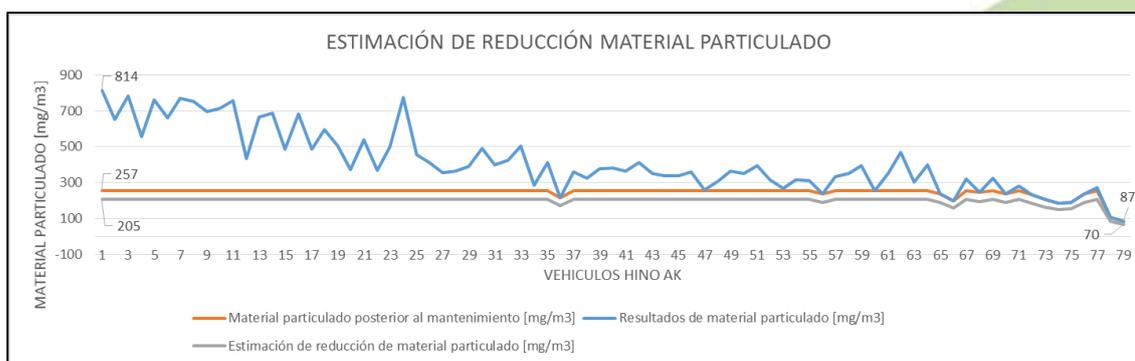


Figura 20. Resultados de disminución de material particulado de los vehículos de muestra (Integrados) Hino AK.

En la Tabla 24 y Figuras 21 y 22, se indican los resultados de disminución de opacidad y material particulado de los vehículos de muestra (Integrados) Hino FG.

Tabla 24. Resultados de disminución de opacidad y material particulado de los vehículos de muestra (Integrados) Hino FG.

Placa	Año	Cilindrada	Opacidad [%]			Material particulado [mg/m ³]		
			Resultados del proyecto	Resultados posterior al mantenimiento	Estimación de reducción(-20%) con DOC	Resultados del proyecto	Resultados posterior al mantenimiento	Estimación de reducción(-20%) con DOC
PAA4481	2009	7961	86	50	40	819	257	205
PUH0955	2008	7961	79	50	40	816	257	205
PUK0407	2008	7961	78	50	40	692	257	205
PUH0303	2008	8000	78	50	40	813	257	205
PUH0452	2008	7961	77	50	40	345	257	205
PAA5886	2010	7000	77	50	40	557	257	205
PUG0323	2007	8000	74	50	40	412	257	205
PUH0204	2008	7961	73	50	40	488	257	205
PUH0852	2008	7961	69	50	40	390	257	205
PUK0387	2008	7961	68	50	40	334	257	205
PUH0333	2008	7961	67	50	40	367	257	205
PUJ067	2008	8000	63	50	40	263	257	205
PUH0620	2008	7961	62	50	40	328	257	205
PUK0357	2008	7961	62	50	40	307	257	205
PAA4893	2010	7961	60	50	40	339	257	205
PUK0712	2009	7961	60	50	40	245	245	196
PUH0201	2008	7961	58	50	40	284	257	205
PUJ0834	2009	7961	58	50	40	236	236	189
PAA4717	2009	7961	56	50	40	289	257	205
PAA4616	2009	7961	51	50	40	206	206	165
PUH0764	2008	7961	51	50	40	176	176	141
PUK0996	2009	7961	49	49	39	237	237	189
PAA4595	2009	7961	47	47	37	169	169	135
PAA6878	2009	5037	45	45	36	184	184	147
PAA9062	2011	7961	43	43	35	191	191	153
PAA4668	2009	7961	42	42	34	138	138	110
PUK0989	2009	7961	42	42	34	186	186	149
PUK0401	2009	7961	17	17	13	49	49	39
PROMEDIO	2009		60	48	38	352	228	182

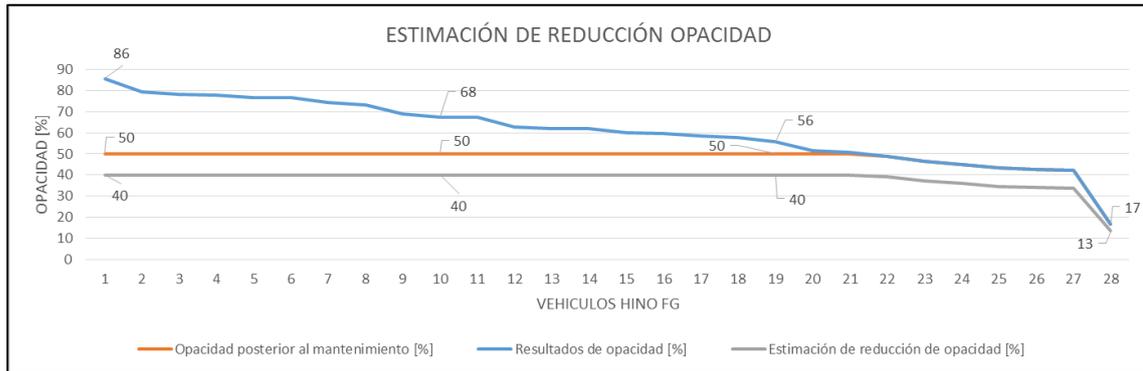


Figura 21. Resultados de disminución de opacidad de los vehículos de muestra (Integrados) Hino FG.

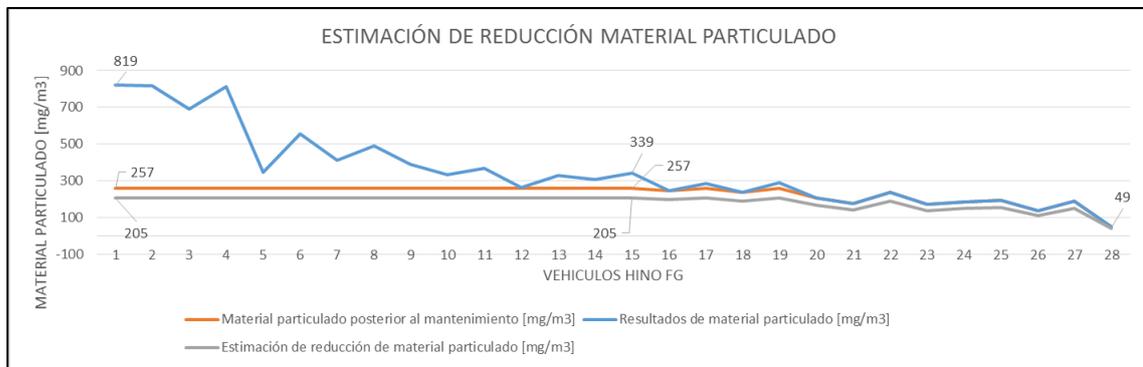


Figura 22. Resultados de disminución de material particulado de los vehículos de muestra (Integrados) Hino FG.

En la Tabla 25 y Figuras 23 y 24, se indican los resultados de disminución de opacidad y material particulado de los vehículos de muestra (Integrados) Mercedes Benz OF 1721.

Tabla 25. Resultados de disminución de opacidad y material particulado de los vehículos de muestra (Integrados) Mercedes Benz OF 1721.

Placa	Año	Cilindrada	Opacidad [%]			Material particulado [mg/m³]		
			Resultados del proyecto	Resultados posterior al mantenimiento	Estimación de reducción(-20%) con DOC	Resultados del proyecto	Resultados posterior al mantenimiento	Estimación de reducción(-20%) con DOC
PZQ0455	2005	10000	100	50	40	819	257	205
PAU0371	2004	12000	100	50	40	819	257	205
---	2011	5960	99	50	40	819	257	205
PAA4812	2008	10000	96	50	40	788	257	205
PUH0211	2007	7961	93	50	40	789	257	205
PZX0611	2002	10000	90	50	40	691	257	205
PUH0773	2008	5960	90	50	40	813	257	205
PUD0081	2006	12000	87	50	40	779	257	205
---	---	---	86	50	40	550	257	205
0	2011	5960	85	50	40	783	257	205

PAC1492	2009	5958	84	50	40	560	257	205
PZO0401	2004	12000	82	50	40	783	257	205
PXU0923	2007	12000	80	50	40	549	257	205
PUH0448	2008	5960	80	50	40	332	257	205
PUH0260	2007	8200	78	50	40	746	257	205
PUG0707	2007	8000	77	50	40	417	257	205
---	2008	8000	72	50	40	432	257	205
PUK0549	2009	5958	64	50	40	389	257	205
PAB1267	2011	5960	60	50	40	311	257	205
PUA0454	2006	12000	56	50	40	281	257	205
PAA9126	2011	5960	50	50	40	165	165	132
PUK0049	2006	8000	48	48	38	352	257	205
PZQ0752	2005	12000	45	45	36	156	156	125
PAA9054	2011	5960	41	41	33	344	257	205
PZQ0170	2005	10000	41	41	32	280	257	205
PBQ0638	2006	10000	35	35	28	193	193	154
PZQ0033	2005	10000	27	27	22	240	240	192
PZQ0636	2005	10000	26	26	21	240	240	192
PUD0966	2006	12000	20	20	16	71	71	57
PUH0950	2008	5958	5	5	4	173	173	139
PZQ0773	2005	10000	1	1	1	29	29	23
PROMEDIO	2007		64	43	35	474	231	185

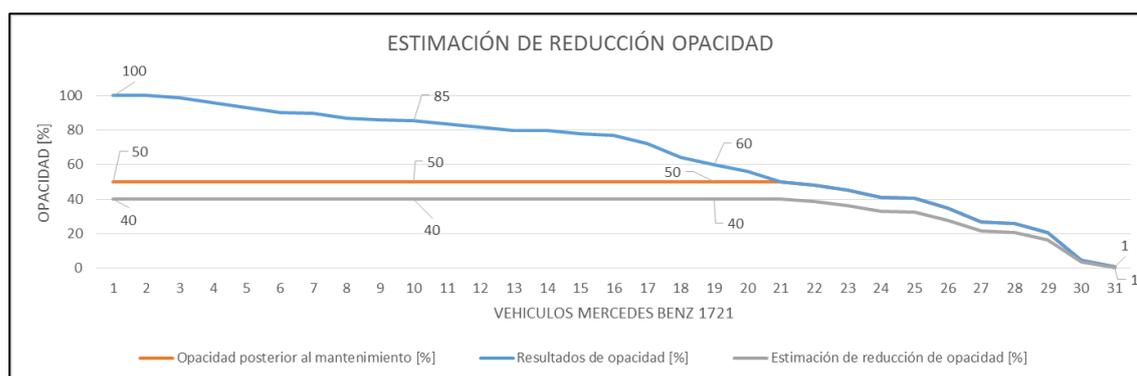


Figura 23. Resultados de disminución de opacidad de los vehículos de muestra (Integrados) Mercedes Benz OF 1721.

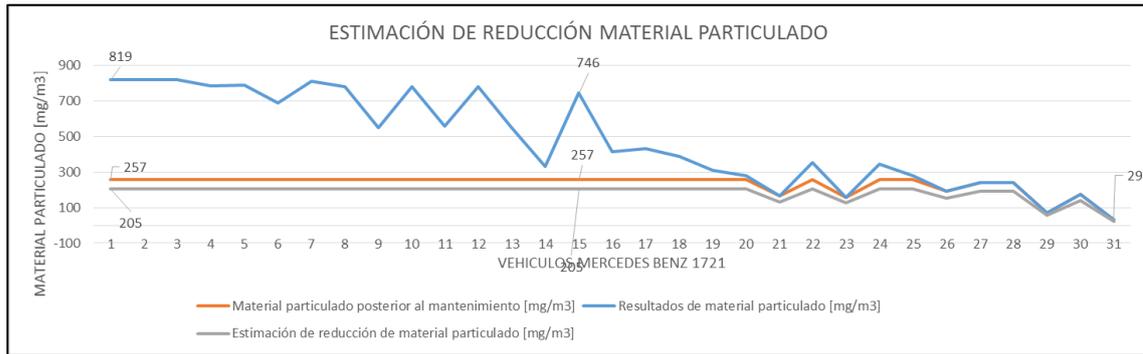


Figura 24. Resultados de disminución de material particulado de los vehículos de muestra (Integrados) Mercedes Benz OF 1721.

En la Tabla 26 y Figuras 25 y 26, se indican los resultados de disminución de material particulado de los vehículos de muestra (Integrados) Volkswagen 17210 OD.

Tabla 26. Resultados de disminución de opacidad y material particulado de los vehículos de muestra (Integrados) Volkswagen 17210 OD.

Placa	Año	Cilindrada	Opacidad [%]			Material particulado [mg/m ³]		
			Resultados del proyecto	Resultados posterior al mantenimiento	Estimación de reducción(-20%) con DOC	Resultados del proyecto	Resultados posterior al mantenimiento	Estimación de reducción(-20%) con DOC
PUG0724	2006	8000	100	50	40	819	257	205
PAC7856	2014	6449	99	50	40	819	257	205
PUG0742	2006	7961	99	50	40	816	257	205
PAB2003	2012	6500	99	50	40	819	257	205
PUG0736	2006	7961	98	50	40	817	257	205
PAC8564	2014	6449	97	50	40	817	257	205
PAA9240	2011	6500	97	50	40	819	257	205
PAA6997	2010	6449	97	50	40	816	257	205
PAB2134	2011	6500	97	50	40	819	257	205
EAG0590	2003	8000	96	50	40	819	257	205
PAC3178	2013	6449	96	50	40	815	257	205
PZU0511	2005	6700	96	50	40	817	257	205
PUG0725	2006	8000	96	50	40	816	257	205
PUK0125	2009	6449	95	50	40	816	257	205
PAA9238	2011	6500	95	50	40	819	257	205
PUG0741	2006	7961	95	50	40	818	257	205
PUG0179	2006	10000	95	50	40	816	257	205
PAU0600	2004	7800	94	50	40	698	257	205
PZQ0949	2005	10000	94	50	40	818	257	205

PUK0820	2009	6449	93	50	40	850	257	205
PUD0883	2006	6449	93	50	40	816	257	205
PUG0728	2006	7910	93	50	40	743	257	205
PAB2194	2012	6500	92	50	40	816	257	205
PAA4589	2011	6500	92	50	40	819	257	205
PAA4363	2011	6500	91	50	40	790	257	205
PAB1861	2012	6449	90	50	40	819	257	205
PAB2193	2012	6500	90	50	40	816	257	205
PAB2157	2012	6500	89	50	40	816	257	205
PUK0672	2009	6449	89	50	40	793	257	205
PAC8046	2013	6449	88	50	40	816	257	205
PAC2509	2014	6449	88	50	40	792	257	205
PAC3082	2013	6449	87	50	40	816	257	205
PAB2188	2012	6500	87	50	40	798	257	205
PAA9021	2010	6500	87	50	40	731	257	205
PUG0125	2006	6100	87	50	40	814	257	205
PAC3154	2014	6449	85	50	40	753	257	205
PAA6424	2011	6500	85	50	40	790	257	205
PAB2186	2012	6500	85	50	40	814	257	205
PAC1072	2012	7684	84	50	40	785	257	205
PAA6762	2009	6449	84	50	40	750	257	205
PUD0443	2006	7800	83	50	40	665	257	205
PAB2189	2012	6500	81	50	40	595	257	205
PAC3108	2014	6449	81	50	40	672	257	205
PAA5740	2009	6500	80	50	40	596	257	205
PUG0429	2006	6450	80	50	40	533	257	205
PAC2174	2014	6449	79	50	40	639	257	205
PAC3452	2013	6449	78	50	40	645	257	205
PAA5954	2010	6449	78	50	40	716	257	205
PCK3533	2014	6449	77	50	40	507	257	205
PAA4064	2009	6449	76	50	40	575	257	205
PAC6543	2013	6449	76	50	40	753	257	205
PAC6120	2013	6500	75	50	40	555	257	205
PUK0659	2009	6449	75	50	40	546	257	205
PAA6745	2010	6449	74	50	40	579	257	205
PUK0722	2009	6500	73	50	40	450	257	205
PUK0671	2009	6449	71	50	40	449	257	205
PAC5672	2014	6449	70	50	40	638	257	205
PUK0667	2009	6449	69	50	40	459	257	205
PUG0430	2006	6450	69	50	40	754	257	205

PAB2192	2012	6500	64	50	40	287	257	205
PUK0689	2009	6500	63	50	40	372	257	205
PAA9194	2010	6449	59	50	40	286	257	205
PUG0539	2006	12000	54	50	40	229	229	183
PUH0299	2006	5560	38	38	30	489	257	205
PROMEDIO	2010		85	50	40	705	256	205

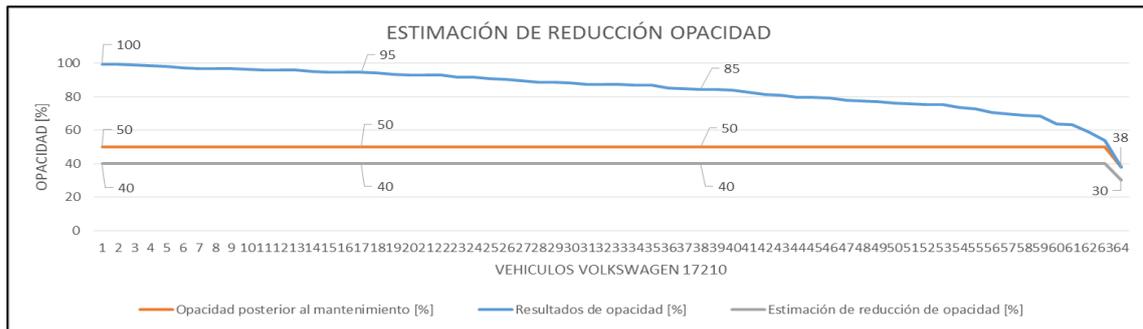


Figura 25. Resultados de disminución de opacidad de los vehículos de muestra (Integrados) Volkswagen 17210 OD.

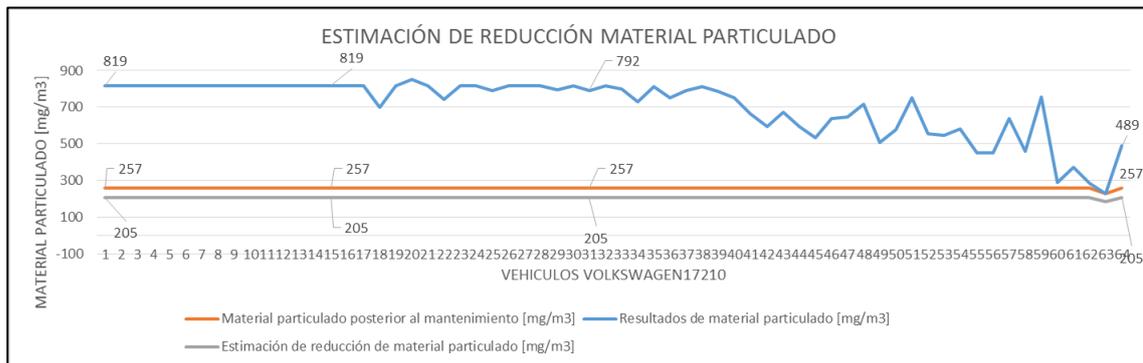


Figura 26. Resultados de disminución de material particulado de los vehículos de muestra (Integrados) Volkswagen 17210 OD.

En la Tabla 27 y Figuras 27 y 28, se indican los resultados de disminución de opacidad y material particulado de los vehículos de muestra (Articulado) Scania Urbart.

Tabla 27. Resultados de disminución de opacidad y material particulado de los vehículos de muestra (Articulado) Scania Urbart.

Placa	Año	Opacidad [%]			Material particulado [mg/m ³]		
		Resultados del proyecto	Resultados posterior al mantenimiento	Estimación de reducción(-20%) con DOC	Resultados del proyecto	Resultados posterior al mantenimiento	Estimación de reducción(-20%) con DOC
---	2005	87	50	40	811	257	205
---	2005	55	50	40	604	257	205
---	2005	45	45	36	142	142	114

---	2005	28	28	23	276	257	205
---	2005	26	26	21	142	142	114
---	2005	25	25	20	168	168	135
---	2005	15	15	12	80	80	64
---	2005	15	15	12	92	92	74
---	2005	12	12	9	58	58	47
---	2005	10	10	8	39	39	31
---	2005	9	9	7	81	81	65
---	2005	9	9	7	46	46	37
---	2005	8	8	6	49	49	39
---	2005	8	8	6	87	87	69
PROMEDIO	2005	25	22	18	191	125	100

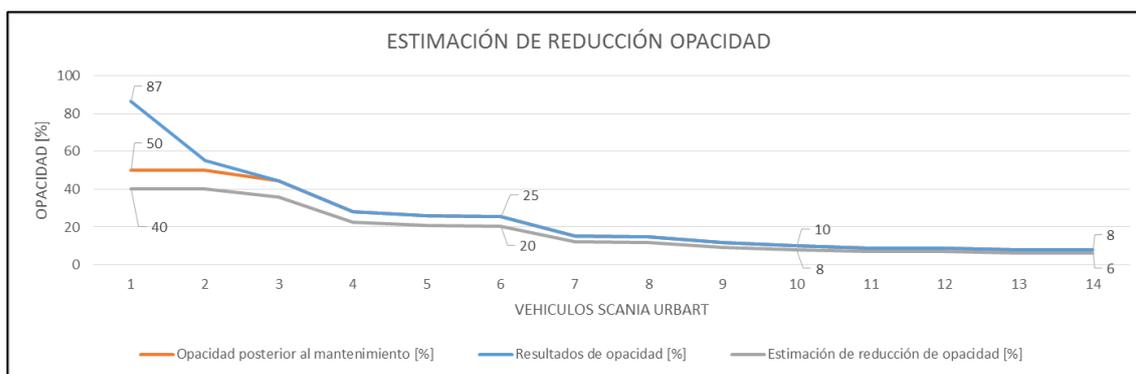


Figura 27. Resultados de disminución de opacidad de los vehículos de muestra (Articulado) Scania Urbart.

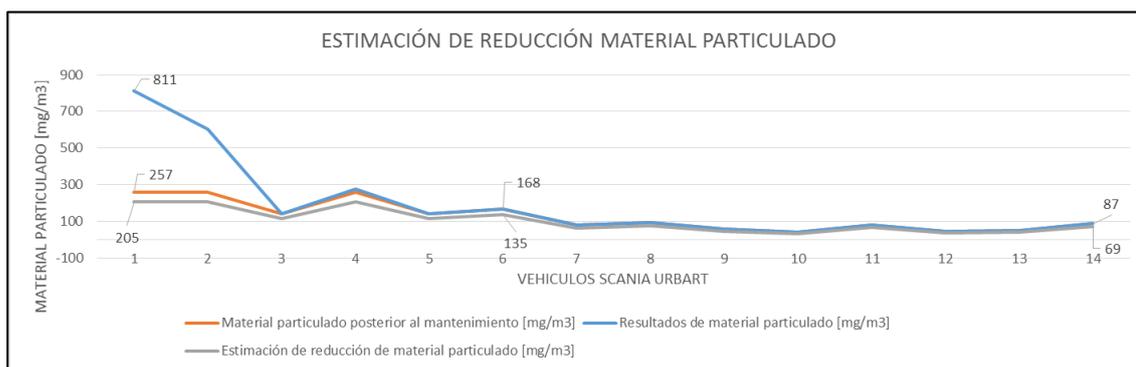


Figura 28. Resultados de disminución de material particulado de los vehículos de muestra (Articulado) Scania Urbart.

En la Tabla 28 y Figuras 29 y 30, se indican los resultados de disminución de material particulado de los vehículos de muestra (Articulado) Volvo B10M.

Tabla 28. Resultados de disminución de material particulado de los vehículos de muestra (Articulado) Volvo B10M.

Placa	Año	Cilindrada	Opacidad [%]			Material particulado [mg/m ³]		
			Resultados del proyecto	Resultados posterior al mantenimiento	Estimación de reducción(-20%) con DOC	Resultados del proyecto	Resultados posterior al mantenimiento	Estimación de reducción(-20%) con DOC
---	2005	---	100	50	40	819	257	205
---	2005	---	99	50	40	819	257	205
PAU0270	2004	8000	99	50	40	819	257	205
PME0443	2003	10000	88	50	40	653	257	205
PME0451	2003	10000	87	50	40	649	257	205
PME0447	2003	10000	87	50	40	654	257	205
PME0442	2003	10000	74	50	40	415	257	205
PME0440	2003	10000	52	50	40	217	217	173
PME0460	2003	10000	49	49	39	207	207	165
PME0436	2003	10000	44	44	35	142	142	114
PME0456	2003	10000	42	42	33	190	190	152
PME0459	2003	10000	39	39	31	190	190	152
PME0469	2003	10000	37	37	29	196	196	157
---	2005	---	36	36	29	237	237	190
PME0430	2003	10000	34	34	28	114	114	91
PME0465	2003	10000	32	32	26	127	127	101
PME0441	2003	10000	31	31	25	350	257	205
PME0446	2003	10000	31	31	25	125	125	100
PME0457	2003	10000	30	30	24	114	114	91
PME0444	2003	10000	29	29	23	182	182	146
PME0445	2003	10000	28	28	22	95	95	76
PME0467	2003	10000	28	28	22	108	108	86
PME0434	2003	10000	27	27	22	139	139	112
PME0435	2003	10000	26	26	21	95	95	76
PME0433	2003	10000	23	23	18	106	106	85
PME0466	2003	10000	20	20	16	319	257	205
PME0470	2003	10000	20	20	16	126	126	101
PME0468	2003	10000	18	18	14	98	98	78
PME0454	2003	10000	17	17	14	71	71	57
PME0458	2003	10000	16	16	13	179	179	143
PME0462	2003	10000	15	15	12	76	76	61
PME0453	2003	10000	14	14	11	31	31	25
PME0461	2003	10000	14	14	11	74	74	59
PME0432	2003	10000	12	12	10	36	36	29
PME0438	2003	10000	8	8	6	57	57	45
PROMEDIO	2003		40	32	26	252	161	129

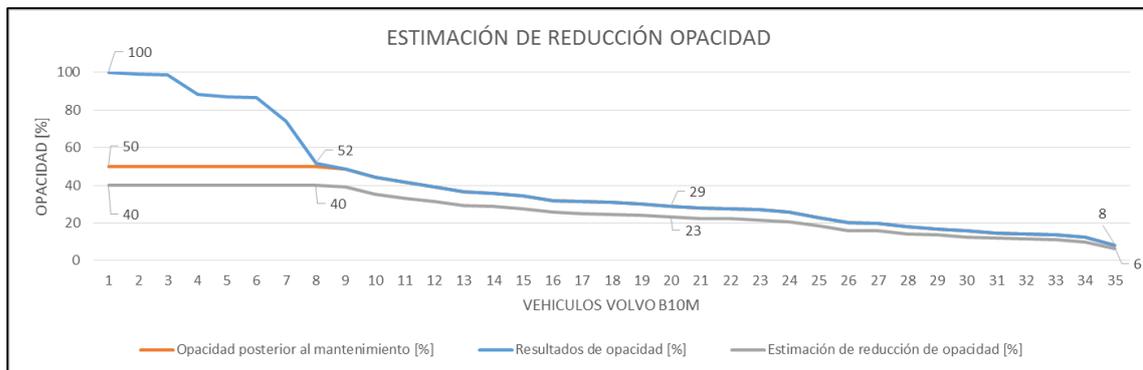


Figura 29. Resultados de disminución de opacidad de los vehículos de muestra (Articulado) Volvo B10M.

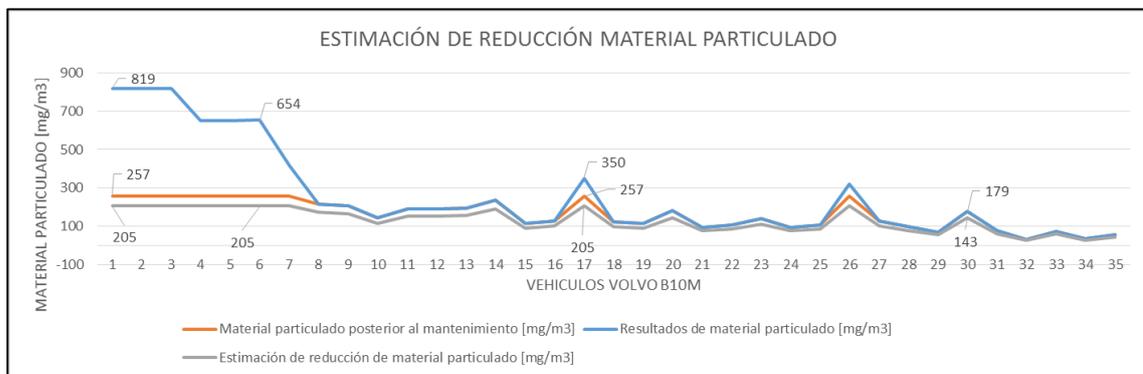


Figura 30. Resultados de disminución de material particulado de los vehículos de muestra (Articulado) Volvo B10M.

En las Tablas 29, 30 y Figuras 31 y 32, se indican los resultados globales de opacidad y material particulado de todos los vehículos de muestra con su estimación de reducción.

Tabla 29. Resultados globales de opacidad de todos los vehículos de muestra con su estimación de reducción.

Resultado promedio del proyecto [%]	Resultado promedio posterior al mantenimiento [%]	Estimación promedio de reducción (-20%) con DOC [%]	Reducción promedio total [%]	Variación porcentual de reducción de opacidad [%]
62	44	35	27	43

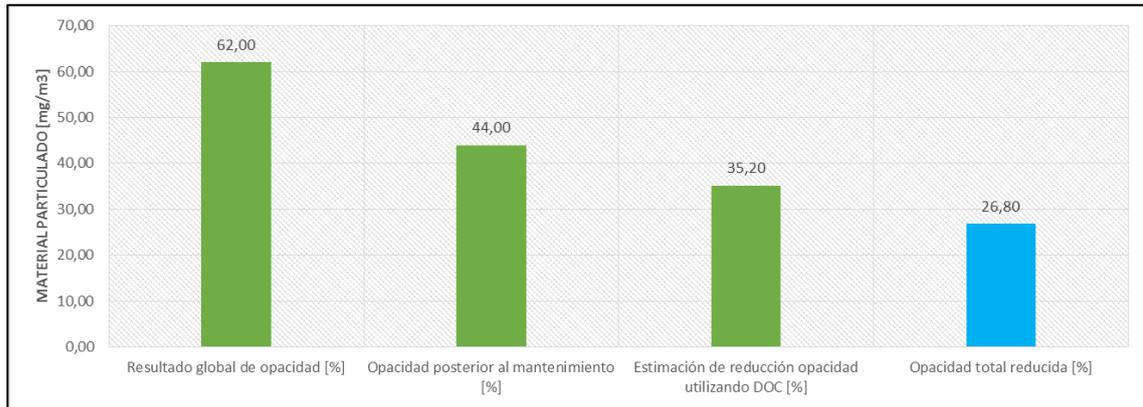


Figura 31. Resultados globales de opacidad de todos los vehículos de muestra con su estimación de reducción.

Tabla 30. Resultados globales de material particulado de todos los vehículos de muestra con su estimación de reducción.

Resultado promedio del proyecto [mg/m³]	Resultado promedio posterior al mantenimiento [mg/m³]	Estimación promedio de reducción (-20%) con DOC [mg/m³]	Reducción promedio total [mg/m³]	Variación porcentual de reducción de material particulado [%]
116.834	58.010	46.408	70.427	60

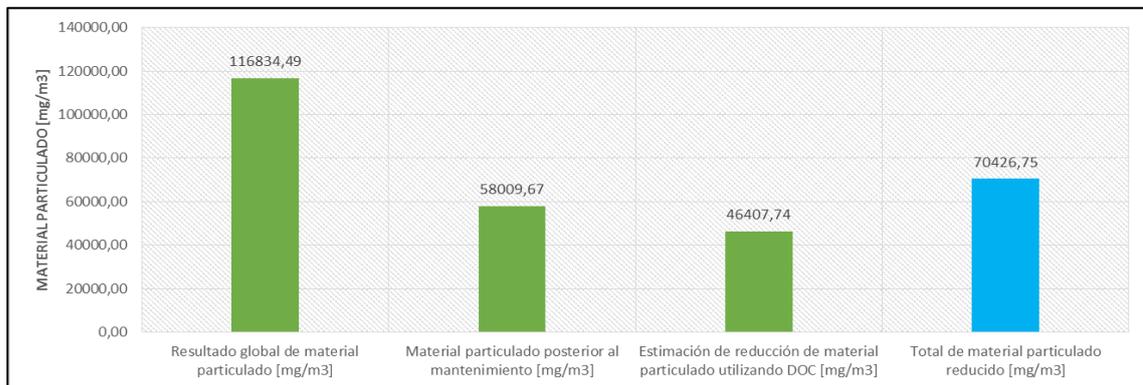


Figura 32. Resultados globales de material particulado de todos los vehículos de muestra con su estimación de reducción.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- De la muestra de los 258 vehículos de inspección de este proyecto de investigación, el 5% de ellos, no tienen matriculación y revisión técnica vehicular.
- El 95% de los 258 vehículos, realizan trabajos de mantenimiento preventivo y correctivo moderado, bajo la responsabilidad de los propietarios de los mismos. Estos planes de mantenimiento permitirán aumentar la vida útil del dispositivo DOC y reducir aún más las emisiones de opacidad y material particulado, cuyas reducciones promedio estimadas son del 44% y 58.010 mg/m³ respectivamente, con respecto a los valores referenciales del fabricante.

- El 71% de los vehículos inspeccionados, no cumplen con los límites permitidos según NTE INEN 2207:2002 (Valor referencial máximo 50%).
- El 81% de la muestra, sobrepasan los valores referenciales, según expresión de correlación entre opacidad y material particulado de: “Evaluación del comportamiento y emisiones de un motor de combustión interna utilizando una mezcla diésel-queroseno” (valor referencial máximo 257 mg/m³).
- De acuerdo a los fabricantes de motores y de dispositivos post combustión si el contenido de azufre es menor a 500 ppm en el combustible diésel, es viable el empleo de catalizadores de oxidación diésel (DOC), según los datos de la Figura 2 “Tecnologías avanzadas y estándares de emisiones”.
- La instalación de los dispositivos DOC no es complicada, debido a que la forma exterior del catalizador es semejante a un silenciador, el DOC puede ocupar el lugar del silenciador en el conjunto del sistema de escape.
- Algunas de las marcas de fabricantes de dispositivos DOC son las siguientes:
 - Caterpillar, Inc.
 - Clean Diesel Technologies, Inc.
 - Donaldson
 - Engelhard
 - International Truck & Engine Corp.
 - Johnson Matthey
 - Lubrizol Engine Control Systems
- Los resultados promedio de reducción posterior al mantenimiento (cumplir con los requisitos de la Revisión Técnica Vehicular) de la muestra analizada es del 44% de opacidad y 58.010 mg/m³ de material particulado.
- Las estimaciones promedio de reducción con la instalación del dispositivo DOC, es del 35% de opacidad y 70.427 mg/m³ de material particulado.
- En base al estudio realizado se recomienda el uso de los dispositivos DOC para disminuir la concentración de opacidad y material particulado, al obtener como resultado una variación porcentual de reducción del 43% y 60% respectivamente.
- A partir de los resultados de la línea base donde se demuestra que los buses tipo que operan como alimentadores, una alternativa a considerar es la modificación de contratos de servicio para que estos buses tengan un máximo de 30% de opacidad y aprobar la RTV obligatoria 2 o 3 veces al año.
- Las principales condicionantes para seleccionar los buses que se utilizarán en el retroequipamiento de dispositivos DOC son las siguientes:
 - a. Años de vida útil remanente del bus y del dispositivo DOC.
 - b. Planes a futuro del propietario del bus (si piensa reemplazar el bus dentro de 10 años).

c. Voluntad del propietario para apegarse a un plan de mantenimiento que garantice el buen funcionamiento del motor.

- De acuerdo a estudios realizados en aplicaciones Retrofit los catalizadores de oxidación diésel (DOC), tienen una vida útil aproximada de 10 años y de acuerdo a la ordenanza Metropolitana 092 del 23 de diciembre de 2015 en relación a la proyección de vida útil legal en el DMQ dictada para cada tipo de bus o articulado (vida útil: bus tipo 20 años y articulado 25 años) , por tales motivos, la instalación de estos dispositivos reductores de emisiones es recomendable hacerlo a los 258 vehículos de muestra.
- Se recomienda la actualización de la Norma INEN 2207 para que las unidades nuevas (año modelo 2018 en adelante) tengan un límite de opacidad máximo de 30%.

9. BIBLIOGRAFÍA

- FORNASIERO P. Catalysis for the Protection on the Environment and the Quality of Life (EOLSS).
- RODRIGO, J. A. Catalizadores Para Motores Diésel, 2009.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Nairobi, Kenia, febrero de 2007
- ICCT Health Roadmap, 2013.
- Informe del Grupo de Trabajo sobre Azufre de la Alianza para Combustibles y Vehículos Limpios (PCFV), Nairobi, 2007.
- California Air Resources Board, "Risk Reduction Plan to Reduce Particulate Matter Emissions From Diesel-Fueled Engines and Vehicles," September 2000
- Consultado de: <http://www.epa.gov/otaq/retrofit/retroverifiedlist.htm>
- MATTHEY J., Diesel Catalytic Converter, 2012.
- Consultado de: www.cleanairnet.org/infopool_es/1525/propertyvalue-19514.html
- GUAMÁN M., Estudio del uso de dispositivos postcombustión en los vehículos a diésel de transporte público urbano del distrito metropolitano de Quito, 2006.
- Ordenanza Metropolitana 092 del 23 de diciembre de 2015 en relación a la proyección de vida útil legal en el DMQ dictada para cada tipo de bus o articulado

Atentamente,

Ing. Ángel Portilla.

DIRECTOR EJECUTIVO
CCICEV