



ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
SECRETARÍA DE AMBIENTE

SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE

# PROGRAMA DE FILTROS DE PARTÍCULAS DIÉSEL PARA BOGOTÁ - BDPF

---

## DOCUMENTO TÉCNICO DE SOPORTE

Dirección de Control Ambiental  
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual  
**26/12/2014**

*Por la cual se establece el esquema de aprobación local para Filtros de Partículas Diésel y los lineamientos técnicos para la implementación de la medida 5B del Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá.*

Secretaría Distrital de Ambiente:  
Ing. Isabel Molina Gómez - Dirección de Control Ambiental  
Ing. Hugo Enrique Sáenz Pulido - Subdirección de Calidad del Aire Auditiva y Visual



## CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	5
2	OBJETIVO.....	6
3	DEFINICIONES.....	6
4	ANTECEDENTES.....	9
4.1	ANTECEDENTES NORMATIVOS.....	10
4.1.1	Decreto 098 de 2011.....	10
4.1.2	Resolución 1304 de 2012.....	10
4.1.3	Resolución 2604 de 2009.....	11
4.2	ANTECEDENTES TÉCNICOS.....	11
4.2.1	Funcionamiento de los DPF.....	11
4.2.1.1	Generalidades de un Data-logger.....	12
4.2.2	Experiencia Internacional.....	13
4.2.2.1	Reacondicionamientos en el ámbito internacional.....	13
4.2.2.2	Certificaciones Internacionales.....	15
4.2.3	Experiencia Nacional.....	17
4.2.3.1	Contrato No. 428 de 2009 Área Metropolitana del Valle de Aburrá.....	17
4.2.3.2	Programa de Filtros de Partículas Diésel para Bogotá –BDPF.....	20
5	IMPLEMENTACIÓN DE LA MEDIDA 5B DEL PDDAB.....	34
5.1	REQUERIMIENTOS MÍNIMOS PARA LOS SISTEMAS DPF.....	34
5.2	GRADUALIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DE LA MEDIDA.....	36
5.2.1	Suministro de los sistemas DPF-disponibilidad de los sistemas DPF.....	36
5.2.2	Afectación a la operación del SITP.....	37
5.2.2.1	Infraestructura requerida en patio.....	37
5.2.2.2	Tiempo máximo requerido para la instalación de un filtro.....	37
5.2.3	Capacidad de instalación.....	38
5.2.3.1	Operadores.....	38
5.2.3.2	Fabricantes/Distribuidores.....	38
5.2.4	Flota existente en el SITP.....	39
5.2.4.1	Distribución tecnológica.....	40
5.2.4.2	Vida útil remanente.....	41
5.2.5	Análisis de la relación costo-beneficio.....	43
5.2.5.1	Beneficio Ambiental –Potencial de reducción.....	43
5.2.5.2	Costos asociados.....	44
5.2.5.3	Relación costo-beneficio.....	45
5.2.6	Flota objeto de <i>retrofit</i> –componente troncal.....	46
5.2.7	Flota objeto de <i>retrofit</i> –componente zonal.....	46
5.2.8	Requerimientos mínimos de mantenimiento.....	47
6	BENEFICIOS DEL PROGRAMA.....	47
7	SEGUIMIENTO Y CONTROL.....	48
7.1	EFICIENCIA DE LOS FILTROS.....	48
7.2	NIVELES DE EMISIÓN.....	49
8	CONCEPTO TÉCNICO. RECOMENDACIONES PARA LA MODIFICACIÓN DE LA RESOLUCIÓN 1304 DE 2012 y REGLAMENTACIÓN DEL ARTÍCULO 1 de la resolución 1223 de 2013 que modifica el artículo 6to de la RESOLUCIÓN 1304 de 2012.....	49
8.1	ESQUEMA DE APROBACIÓN LOCAL.....	49
8.1.1	Ámbito de aplicación.....	49
8.1.2	Aprobación local de los filtros de partículas.....	49
8.1.2.1	Requisitos para la aprobación local.....	50
8.1.2.2	Evaluación para la Aprobación Local.....	52



ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
SECRETARÍA DE AMBIENTE

8.1.2.3	Descripción de la aprobación local de sistemas DPF .....	52
8.2	LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA MEDIDA 5B DEL PDDAB .....	53
8.2.1	Ámbito de aplicación .....	53
8.2.2	Gradualidad .....	54
8.2.2.1	Componente troncal .....	54
8.2.2.2	Componente zonal: .....	55
8.2.3	Niveles de emisión .....	55
8.2.3.1	Eficiencia en Número de partículas .....	56
8.2.3.2	Límite de Opacidad .....	56
8.2.4	Implementación de la medida .....	56
8.3	VIGILANCIA, SEGUIMIENTO Y CONTROL .....	58
8.3.1	Cumplimiento en uso .....	58
8.3.2	Implementación del programa .....	59
8.3.3	Control aleatorio .....	59
ANEXO 1	.....	61
Formato de Solicitud. Aprobación Local de sistemas de post tratamiento de emisiones .....		61
ANEXO 2 .....		63
Abreviaturas .....		63



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 – Reacondicionamientos realizados en Chile	14
Tabla 2 - Pasos de evaluación de la fiabilidad de sistemas de pos-tratamiento	15
Tabla 4 – Mediciones definidas por cada etapa del piloto	23
Tabla 4 – Asignación de buses por fabricante en el proyecto piloto de filtros	26
Tabla 5 – Cronograma sugerido por COSUDE	36
Tabla 6 – Capacidad semanal de instalación por operador	38
Tabla 7 – Capacidad de instalación mensual por operador	38
Tabla 8 - Capacidad semanal de instalación por distribuidor	39
Tabla 9 - Capacidad mensual de instalación por distribuidor	39
Tabla 10 – Fechas estimadas para disponer de Sistemas DPF en Bogotá.	39
Tabla 11 - Distribución tecnológica en el componente troncal	40
Tabla 12 - Distribución tecnológica en el componente zonal	41
Tabla 13 - Distribución por año modelo en busetones y busetas del componente zonal	41
Tabla 14 – Kilometrajes remanentes en la flota troncal a Agosto de 2014	42
Tabla 15 – Estimado de kilometraje y meses remanentes a instalación estimada del sistema DPF.	42
Tabla 16 – Años remanentes en la flota zonal a 2014	43
Tabla 17 – Meses remanentes. Escenario de reacondicionamiento de la flota troncal a julio de 2015	44
Tabla 18 – Años remanentes. Escenario de reacondicionamiento de la flota zonal en 2016	44
Tabla 19 – Costo promedio por kilómetro operado con DPF. Escenario Troncal Julio 2015.	45
Tabla 20 - Costo promedio por kilómetro operado con DPF. Escenario Zonal Julio 2015	45
Tabla 21 - Porcentajes acumulados de flota a instalar DPF por plazos.	47

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Funcionamiento de un Filtro de Partículas	12
Figura 2 – Componente del montaje de un Sistema DPF	12
Figura 3 - Instrumentación de Vehículos.	24
Figura 4 – Comportamiento de la contrapresión y temperatura de los gases de escape	27
Figura 5 – Distribución de contrapresión y temperatura obtenidos de un data-logger	29
Figura 6 – Comportamiento de contrapresión y temperatura obtenidos de un data-logger.	30
Figura 7 – Comportamiento negativo de la contrapresión de gases de escape.	31
Figura 8– Distribución comparativa de la presión y temperatura de los gases de escape de los Sistemas DPF instalados y monitoreados	31
Figura 9 – Resultados de las mediciones en campaña.	35
Figura 10 – Procedimiento de definición de la flota objeto de <i>retrofit</i> para el componente troncal	46
Figura 11 - Procedimiento de definición de la flota objeto de <i>retrofit</i> para el componente zonal	46



## 1 INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud (OMS) declaró en 2012 las emisiones de vehículos diésel como carcinogénicas<sup>1</sup>, colocándolo en un alto nivel de prioridad para los diseñadores de política. Existe la creciente preocupación de que las partículas ultra-finas generan efectos negativos para la salud, adicionales al material particulado ( $PM_{10}/PM_{2.5}$ ).

Las emisiones producto de la combustión del diésel en los vehículos generan entre otros contaminantes material particulado que es uno de los precursores en la aparición de la enfermedad respiratoria aguda, ERA, y cardiovascular en las personas. Este material se produce en diferentes tamaños: a) partículas con diámetro menor a 10 micras que penetran directamente al sistema respiratorio generando endurecimiento de las vías respiratorias y llegan a la zona traqueobronquial; b) partículas de diámetro menor a 2.5 micras que penetran hasta los alvéolos irritándolos y contribuyendo en la incidencia de enfermedades respiratorias (asma, bronquitis, infecciones respiratorias), resultando en una pérdida de la función pulmonar al reducir la capacidad de intercambio de oxígeno a la sangre, y c) las partículas con diámetro promedio menor a 1 micra o partículas *ultra finas*, que por su reducido tamaño se pueden transportar a través del torrente sanguíneo o el sistema linfático a los órganos vitales. Además de su gran eficacia para penetrar profundamente en los pulmones<sup>2</sup>, la gran superficie también puede dar cuenta de sus impactos negativos sobre la salud humana<sup>2</sup> produciendo afecciones cardíacas (ataques cardíacos, arritmias), cáncer y hasta la muerte súbita cardíaca en poblaciones vulnerables<sup>3</sup>.

Por otra parte, recientes investigaciones científicas clasificaron al carbono negro (*Black Carbon*, comúnmente denominado como hollín) como la segunda emisión humana más importante en términos de su forzamiento climático en la atmósfera actual<sup>4</sup>; un gran porcentaje de partículas ultra-finas se considera como *Black Carbon* que puede absorber un millón de veces más energía que el dióxido de carbono - $CO_2$ <sup>5</sup>. De otro lado, los filtros de partículas diésel, son el estado de la técnica para reducir partículas de las emisiones diésel de vehículos, es decir, partículas ultra-finas/emisiones de carbono negro. Los filtros de partículas pueden ser aplicados como *retrofit/reacondicionamiento* en motores de combustión existentes; con la introducción del criterio de conteo de número de partículas, el próximo estándar de emisiones EURO VI incluirá los DPFs como equipos originales de fábrica.

En este sentido y atendiendo los lineamientos establecidos en el Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá -PDDAB y en particular la implementación de la medida 5b, que establece la instalación de filtros de partículas en aquellos buses y busetas que entraran a formar parte del SITP, la Secretaría Distrital de Ambiente –SDA se encuentra desarrollando el *Programa de Filtros de Partículas Diésel para Bogotá –BDPF*, que tiene como objetivo la introducción de aplicaciones de Filtros de Partículas Diésel -DPF en la capital de Colombia y para lo cual en el presente documento se establecen el esquema de aprobación local de filtros de partículas y los lineamientos técnicos para el desarrollo e implementación de la medida 5B del Plan decenal de descontaminación del Aire para Bogotá.

<sup>1</sup> Dadas las graves implicaciones en salud que tienen las emisiones de los motores diésel y basados en evidencia suficiente que la exposición a estas emisiones está asociada con un incremento en los riesgos de adquirir cáncer de pulmón

<sup>2</sup> INTECH. Slezakova et al. 2013. Disponible online en <http://dx.doi.org/10.5772/54775>. Consultado mayo 15 de 2014

<sup>3</sup> PFT. Schneider. A. 2010. Disponible online en <http://www.particleandfibretoxicology.com/content/7/1/29>. Consultado mayo 15 de 2014.

<sup>4</sup> es el componente del material particulado (PM) con la mayor capacidad de absorber la radiación solar

<sup>5</sup> EPA. Report to Congress on Black Carbon. Appropriations Act, 2010

## 2 OBJETIVO

Establecer un esquema de aprobación local de Filtros de Partículas Diésel -DPF como sistemas de post-tratamiento de gases de combustión de vehículos con motor ciclo diésel, así como los lineamientos técnicos para la implementación del Programa de Filtros de Partículas Diésel para Bogotá –BDPF en cumplimiento de lo establecido en el artículo 6 de la Resolución 1304 de 2012, modificado por el artículo 1 de la Resolución 1223 de 2013.

## 3 DEFINICIONES

Para la comprensión del presente documento técnico se establecen las siguientes definiciones, que tienen aplicación en el ámbito del Programa de Filtros de Partículas Diesel para Bogotá:

**APROBACIÓN LOCAL:** Es el instrumento mediante el cual se evalúa si el *interesado* ha dado o no cumplimiento al conjunto de requisitos establecidos por la Secretaría Distrital de Ambiente para cada uno de los sistemas de post-tratamiento de gases de escape para vehículos con motor ciclo Diésel, que el interesado somete a evaluación.

**CATALIZADORES DE OXIDACIÓN DIESEL –DOC-:** Conocidos como DOC por su sigla en inglés, *Diesel Oxidation Catalyst*, son sistemas de post-tratamiento de gases de escape que reducen las emisiones de los motores Diésel (material particulado –PM-, monóxido de carbono –CO- y gases orgánicos reactivos, también conocidos como compuestos orgánicos volátiles –COV-) por oxidación catalítica. Esta tecnología sólo es efectiva en la fracción orgánica soluble de material particulado producto de la combustión Diésel, y con ello se limita el total de la reducción que puede ser alcanzado con un DOC, el rango de reducción es típicamente entre un 10 a 30%<sup>6</sup>.

**CICLO BOGOTANO:** Es el ciclo de conducción definido para las diferentes categorías de operación del SITP, a saber, troncal, padrón y zonal. El ciclo específico para cada categoría asocia las condiciones de operación de cada una y busca modelarlas de forma que se puedan reproducir en un banco dinamométrico de chasis para evaluar la operación bajo diferentes condiciones.

**COEFICIENTE DE EXTINCIÓN DE LUZ –K-:** La densidad de humo o coeficiente de extinción de luz es la capacidad que tiene una corriente de humo de oscurecer un haz de luz de una amplitud particular de onda. Es una función del número de partículas de humo por unidad de volumen de gas, la distribución por tamaño de las partículas de humo, y las propiedades de absorción y dispersión de las partículas. Por convención se expresa en metros a la menos uno ( $m^{-1}$ ).

**COMPONENTES ZONAL Y TRONCAL:** para efectos de este documento, esta designación hace referencia al tipo de servicio que presta un vehículo en el sistema, así, a los buses articulado y biarticulados que circulan por las calzadas exclusivas del sistema se les ha denominado como el componente Troncal, y los demás buses que prestan servicios zonales o de alimentación se les ha designado como el componente Zonal.

**DATA-LOGGER:** Dispositivo electrónico de monitoreo de contrapresiones y temperatura de gases de escape, que se instala en el vehículo al cual se pretenda instalar el filtro de partículas Diésel; corresponde con el sistema de monitoreo y alarma por contrapresión y temperatura.

<sup>6</sup> (Khair, 1999) Disponible en [www.arb.ca.gov/regact/porteng/appe.doc](http://www.arb.ca.gov/regact/porteng/appe.doc), consulta realizada el 17.10.2014  
6/64



ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
SECRETARÍA DE AMBIENTE

**INTERESADO:** Se trata de la persona natural o jurídica interesada en obtener la aprobación local para cada una de sus tecnologías de sistemas DPF (sistemas de post-tratamiento de gases de escape de motores ciclo diésel), y que fabrica y/o presta los servicios de comercialización y post venta a los usuarios de los sistemas aprobados.

**FILTRO DE PARTÍCULAS DIESEL –DPF-:** Conocidos como DPF, *por su sigla en inglés, Diesel Particulate Filter*, son sistemas de post-tratamiento de gases de escape que reducen las emisiones de partículas de los motores diésel a través de la filtración física. Normalmente emplean un cuerpo filtrante a base de cerámica de cordierita, de carburo de silicio o metálico, como trampa para atrapar físicamente las partículas de los gases de escape. La estructura, semejante a un panel de abejas, es tal que los conductos poseen alternadamente una de las entradas bloqueadas, lo que hace que los gases de escape deban fluir a través de las paredes entre los canales, depositándose así el material particulado en estas.

El material atrapado en el filtro es en su mayor parte partículas de hollín con hidrocarburos adsorbidos, además de cenizas provenientes del lubricante. Existen dos mecanismos principales para remover las partículas: Combustión con oxígeno y oxidación con dióxido de nitrógeno. Se ha demostrado que esta tecnología reduce el material particulado por encima de un 90%, se clasifican en filtros pasivos o activos, y de flujo total o parcial.

**FILTRO DE PARTÍCULAS DIESEL CON REGENERACIÓN ACTIVA:** Son aquellos filtros que requieren una regeneración activa o una adición de energía externa para oxidar el material particulado atrapado; esta fuente de energía puede ser de tipo eléctrico o bien la inyección de un catalizador en el combustible. Un DPF activo es mejor para temperaturas de escape o motores con alta emisión de material particulado. Los métodos más comunes utilizan regeneración eléctrica haciendo pasar corriente eléctrica a través del medio filtrante, inyectando combustible para proveer calor adicional para oxidar el material particulado que es atrapado, o adicionando catalizador u otros agentes para iniciar la regeneración. Algunos DPF inducen automáticamente la regeneración a bordo del vehículo cuando se ha alcanzado una contrapresión específica. Otros usan un indicador, como luz de advertencia, para alertar al operador acerca de que la regeneración es requerida, por lo que debe iniciar dicho proceso.

El proceso de regeneración es controlado desde un dispositivo electrónico que muestra al conductor el nivel de hollín presente en el filtro. En el momento en que el filtro se llena el sistema emite una alarma y en algunos casos impide el funcionamiento del motor hasta que se realice el proceso de regeneración.

**FILTROS DE PARTÍCULAS DIESEL CON REGENERACIÓN PASIVA:** Son aquellos capaces de regenerarse a sí mismos usando solamente el flujo de los gases de escape, sin aportes de energía adicional. Son capaces de funcionar en un amplio rango de condiciones y no requieren una integración con el motor. Para que el sistema tenga éxito, el motor debe funcionar de tal manera que los gases de escape mantengan una temperatura mínima durante un cierto período de tiempo. De lo contrario, las partículas se acumulan en el filtro, causando con el tiempo problemas operativos. Varios DPF pasivos han sido verificados para aplicaciones de carretera.<sup>7</sup> Este tipo de filtros utilizan igualmente un catalizador que puede ser de tipo monolítico antes del filtro o bien mediante catalizador impregnado en las paredes del filtro. Es importante realizar un control en el método de reducción de temperatura de combustión del hollín, este proceso puede ocurrir en la oxidación del NO hacia NO<sub>2</sub>.

---

<sup>7</sup> Ibídem



ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
SECRETARÍA DE AMBIENTE

**FILTROS CON REGENERACIÓN ACTIVA CON MÓDULO QUEMADO:** Un filtro que utilice este principio, funciona acumulando una cantidad determinada de material particulado en un intervalo entre 8 y 10 horas. Después mediante un quemador de combustible, con el motor apagado quema el material en un intervalo entre 5 y 35 minutos. Es importante que se alcance siempre una temperatura superior a la de ignición del hollín.

**FILTROS CON REGENERACIÓN CON MÓDULO ELÉCTRICO:** El principio de operación es muy similar al anterior, a diferencia de un quemador de combustible se utiliza un dispositivo eléctrico como fuente de energía.

**FILTROS CON SISTEMA TIPO W O DE MÓDULOS INTERCAMBIABLES:** Para este sistema los filtros una vez utilizados en periodos de 8 a 10 horas se retiran y se queman en hornos especializados. El inconveniente de este proceso radica en que el proceso de regeneración en el horno puede durar de 10 a 15 horas.

**FILTRO CRT (CONTINUOUS REGENERATION TRAP):** Es uno de los filtros de tipo pasivo comercialmente más robustos. Utiliza como catalizador  $\text{NO}_2$  y las temperaturas de funcionamiento son cercanas a los  $300^\circ\text{C}$ .

**LISTA DE TECNOLOGÍAS APROBADAS:** Corresponde con un listado de las referencias técnicas de aquellos sistemas DPF, que han cumplido con los requisitos y lineamientos exigidos por la Secretaría Distrital de Ambiente y que se establecen en el presente documento técnico y, que se considera permiten cumplir con una remoción de emisiones de material particulado superior al 85% y número de partículas superior al 97%. Suiza, California y Chile cuentan con un listado de tecnologías certificadas y aprobadas por el ente gubernamental.

**MARCHA MÍNIMA O RALENTÍ O PRUEBA ESTÁTICA:** Son las especificaciones de velocidad del motor establecidas por el fabricante o ensamblador del vehículo, requeridas para mantenerlo funcionando sin carga y en neutro (para cajas manuales) y en parqueo (para cajas automáticas). Cuando no se disponga de la especificación del fabricante o ensamblador del vehículo, la condición de marcha mínima o ralentí se establecerá a un máximo de 900 revoluciones por minuto del motor.

**NÚMERO DE PARTICULAS –NP–:** Hace referencia a la cantidad de partículas ultra-finas presentes en el aire o en los gases de escape de los vehículos. Se puede emplear como nivel de emisión en número de partículas por kilómetro o kilovatio-hora (NP/km ó NP/kWh) o como concentración de partículas, en número de partículas por unidad de volumen de aire o gases de escape (NP/cm<sup>3</sup>).

**PARTICULAS ULTRA-FINAS:** Partículas de tamaño menor a setecientos nanómetros (700 nm), que por su reducido tamaño se pueden transportar a través del torrente sanguíneo o el sistema linfático a los órganos vitales; además de su gran eficacia para penetrar profundamente en los pulmones, su gran área superficial también puede contribuir con impactos negativos sobre la salud humana<sup>8</sup> produciendo afecciones cardíacas (ataques cardíacos, arritmias), cáncer y hasta la muerte súbita cardíaca en poblaciones vulnerables<sup>9</sup>.

<sup>8</sup> INTECH. Slezakova et al. 2013. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.5772/54775>. Consulta realizada el 15 de Mayo de 2014.

<sup>9</sup> PFT. Schneider. A. Disponible en: <http://www.particleandfibretoxicology.com/content/7/1/29>. Consulta realizada el 15 de Mayo de 2014.



**PROCESO DE SUBSANACIÓN:** Es el conjunto de acciones que debe surtir un operador o fabricante de filtro para demostrar a la SDA que ha realizado las acciones pertinentes con el fin de dar cumplimiento a los requerimientos normativos de la SDA.

**RETROFIT / REACONDICIONAMIENTO:** Es el procedimiento mediante el cual se le instala un Sistema DPF a un vehículo en uso.

**SISTEMA CATALÍTICO CON FILTRO DE PARTÍCULAS (CPF):** Este sistema utiliza un proceso de post-inyección con el fin de alcanzar la temperatura de combustión del material particulado. Para su funcionamiento y control, adicionalmente utiliza un sensor de temperatura y sensores de diferencia de presión que controlan el momento en el cual se debe iniciar la regeneración. El proceso de regeneración en consecuencia se puede presentar a partir de tres aspectos: Cálculo del volumen de material particulado a partir de la diferencia de presión; puesta en marcha de una regeneración cada vez que se alcance un límite establecido de distancias recorridas; una unidad electrónica de control ECU que efectúa una simulación de la cantidad de material particulado y bajo el análisis de estos cálculos realiza la regeneración.

**SISTEMAS DE POST TRATAMIENTO DE GASES DE ESCAPE:** Son los equipos o accesorios instalados en el tubo de escape de un vehículo que permiten dar tratamiento a los gases de escape producidos por el motor durante su operación, y tiene por objeto disminuir el volumen de estos que es emanado a la atmósfera.

**SISTEMA DPF:** Es un sistema de post-tratamiento de gases de escape que está constituido por un Filtro de Partículas Diésel –DPF- y un dispositivo electrónico de monitoreo de contrapresiones y temperatura de gases de escape ó data-logger.

#### 4 ANTECEDENTES

El Decreto 98 de 2011, que adopta el Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá - PDDAB, establece como una de las medidas de su portafolio óptimo: *Uso sistemas de control de emisiones en vehículos que ingresan al SITP; (...) Instalación de filtros de partículas en aquellos buses y busetas que entrarán a formar parte de la flota del SITP.* Por lo cual la Secretaría Distrital de Ambiente:

1. Reglamentó, mediante la Resolución 1304 de 2012, modificada por las resoluciones 1223 de 2013 y 1220 de 2014, el uso de sistemas de control de emisiones en vehículos del sistema integrado de transporte público -SITP.
2. Suscribió el convenio interinstitucional de cooperación No. 1100100-005-2013 con la Confederación Suiza con el objeto de “Establecer el marco para la incorporación de Bogotá al Programa Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina –CALAC- a través de acciones de cooperación técnica conjunta entre AMB y COSUDE” programa que tiene por objeto para su componente Bogotá la reducción de partículas ultra-finas y carbón negro (*Black Carbon*) en el SITP, mediante la aplicación de filtros de partículas para motores diésel. Dentro de los objetivos del convenio de cooperación se encuentran:
  - a. Desarrollo de pruebas piloto de retrofit/reacondicionamiento.
  - b. Diseñar e introducir legalmente un esquema de aprobación local
  - c. Ajustar e introducir legalmente las metas y modalidades de implementación de retrofit/reacondicionamiento en el contexto de implementación del “SITP” y del “Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá (2010-2020)”.

- d. Definir la ejecución del programa de implementación de retrofit/reacondicionamiento para Bogotá, promover buenas prácticas de mantenimiento de los DPFs y soportar el diagnóstico y análisis de fallas que surjan durante la implementación del proyecto.
  - e. Calcular la reducción de emisiones respecto de la implementación, e intercambiar la experiencia Sur-Sur sobre factores de emisión.
  - f. Realizar un seminario con el fin de difundir la experiencia del programa de DPF Bogotá con la participación de autoridades, instituciones y servicios de aplicación, compañías de buses, proveedores de DPF y otros invitados de países de América Latina.
3. Suscribió el convenio inter-administrativo 015 de 2013 con la Universidad Nacional de Colombia con el objeto de “Aunar recursos técnicos, humanos, financieros y de conocimiento para la instalación de sistemas de control de emisiones en vehículos ciclo diésel que actualmente prestan el servicio público de transporte terrestre de pasajeros, así como adelantar las acciones que permitan determinar los niveles de opacidad y factores de emisión con el uso de estos sistemas en la ciudad de Bogotá”, con el Desarrollo de pruebas piloto de retrofit/reacondicionamiento.

Atendiendo a la citada reglamentación y estudios que se adelantan, en el marco de la asesoría y experiencia suiza, chilena y, con el apoyo técnico del sector académico, esta Secretaría viene estructurando los lineamientos que orienten la apropiada implementación de la medida 5b definida en el Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá.

#### 4.1 ANTECEDENTES NORMATIVOS

##### 4.1.1 Decreto 098 de 2011.

Adopta el Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá y establece en su artículo quinto que, éste se implementará a través de la ejecución del portafolio óptimo de medidas, definiendo como una de ellas la instalación de filtros de partículas diesel (DPF) en aquellos buses y busetas que entrarán a formar parte de la flota del SITP.

Además establece en su artículo sexto que son *“corresponsables en la implementación de las medidas del Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá, de acuerdo con sus deberes, derechos, funciones, competencias, actividades, recursos y posibilidades, todas las personas naturales y jurídicas públicas o privadas bajo la coordinación de la Secretaría Distrital de Ambiente”*.

##### 4.1.2 Resolución 1304 de 2012.

Modificada por las resoluciones 1223 de 2013 y 1220 de 2014. Establece que para aquellos vehículos vinculados al sistema de transporte terrestre de pasajeros antes de la entrada en vigencia de las disposiciones referidas en el artículo 8 de la Resolución 2604 de 2009, deberán instalar a partir del 1 de Junio de 2014, sistemas de control de emisiones, como dispositivo de control, de acuerdo con los lineamientos que para dicho efecto, establezca la Secretaría Distrital de Ambiente. Esta reglamentación define como compromiso para la SDA el establecer la gradualidad de la medida de la mano con los requisitos técnicos para su implementación: niveles de opacidad y de emisión relacionados con el uso de sistemas de control de emisiones.

### 4.1.3 Resolución 2604 de 2009

Por la cual se determinan los combustibles limpios teniendo como criterio fundamental el contenido de sus componentes, se reglamentan los límites máximos de emisión permisibles en prueba dinámica para los vehículos que se vinculen a la prestación del servicio público de transporte terrestre de pasajeros y para motocarros que se vinculen a la prestación del servicio público de transporte terrestre automotor mixto y se adoptan otras disposiciones.

En su artículo 8 establece los límites de emisión por prueba dinámica que deben cumplir los motores diésel de los vehículos pesados que se quieran vincular al servicio público de transporte terrestre. Estos límites hacen referencia a los estándares de emisión Euro IV y EPA 2007.

Los vehículos en cumplimiento de este estándar cuentan con diferentes tecnologías de tratamiento de gases de escape según el diseño de cada fabricante y que principalmente se resume en: Uso de Sistema SCR (Reducción Catalítica Selectiva, por su sigla en inglés) ó Sistema EGR (Exhaust Gas Recirculation, por su sigla en inglés). De la consulta realizada a la ANLA se recomienda para mayor claridad revisar las Directivas del Parlamento Europeo 2005/155/CE y 2006/51/EC.

## 4.2 ANTECEDENTES TÉCNICOS

Las emisiones Diésel contienen especies químicas, partículas tóxicas y carcinogénicas; las nano partículas (diámetro entre 10-500 nm) son consideradas en su orden de magnitud como más peligrosas para la salud que otras emisiones Diésel. Aun así los recientes avances de las tecnologías Diésel no han eliminado la fracción sólida de nano partículas, se da la impresión de la eliminación de las emisiones visibles pero la fracción del rango de 10-500 nm no ha sido eliminada para estas tecnologías.

Los Filtros de Partículas Diésel –DPF- remueven hasta el 99% de las nano partículas sólidas; sin embargo, diferentes programas de *retrofit* no han alcanzado los objetivos deseados dado que no han incluido la tecnología más eficiente –BAT (*best available technology*, por sus siglas en inglés)-. Las tecnologías de *retrofit* son dispositivos instalados en el sistema de escape del motor para reducir las emisiones de los motores. Dentro de los más comunes se encuentran filtros de partículas Diésel y los catalizadores de oxidación Diésel. Para el caso de los filtros de partículas, los filtros de flujo total alcanzan eficiencias de filtración del 98-99% y superiores, mientras que los filtros de flujo parcial alcanzan eficiencias del 30% o menores.<sup>10</sup>

En este orden de ideas se establece que no todos los DPF alcanzan los rendimientos y duración esperados en cuanto a la eficiencia de remoción de partículas sólidas, nano partículas e hidrocarburos; por tanto para garantizar la fiabilidad del sistema de pos-tratamiento se ha hecho necesario establecer los requisitos de desempeño de los DPF y revisar y hacer cumplir dichos requisitos<sup>11</sup>.

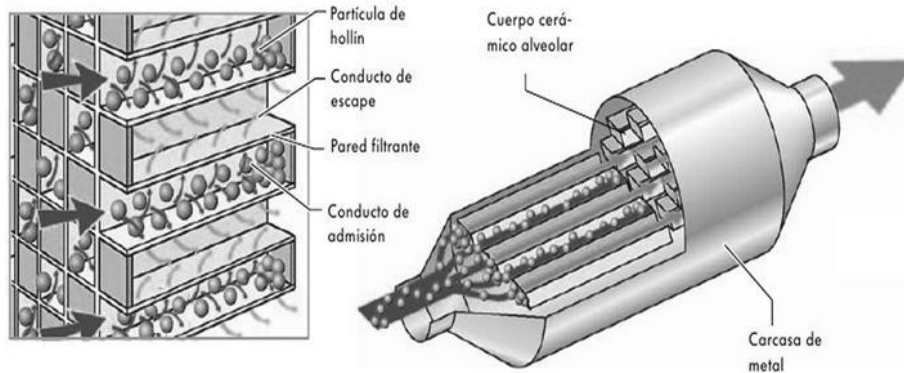
### 4.2.1 Funcionamiento de los DPF

El DPF es un dispositivo de flujo diseñado para impedir el paso de sustancias que tengan un tamaño mayor al de sus poros. Los filtros de material particulado remueven, contienen y convierten el material particulado en CO<sub>2</sub> mediante un proceso de combustión pasiva o activa. Adicionalmente se pueden retener las partículas mediante procesos físicos de intercepción, difusión e impacto.

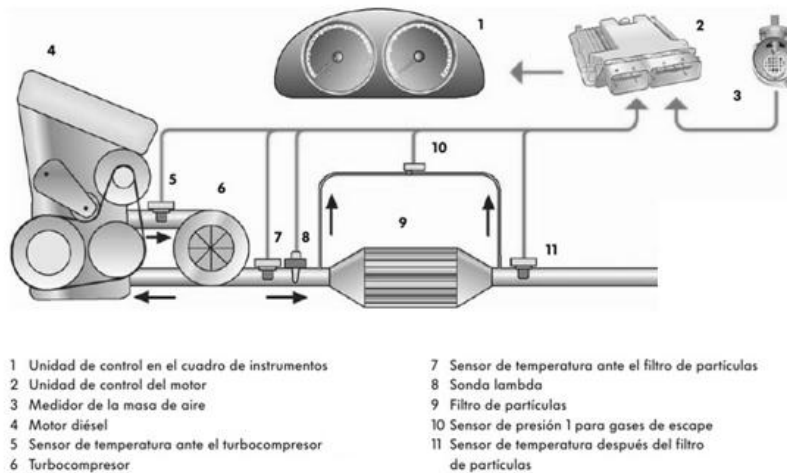
<sup>10</sup> Leutert Gehard, 2014. Visit of Bogotá delegation in Switzerland

<sup>11</sup> Ibídem

La parte cilíndrica del filtro contiene varios canales dispuestos en dirección axial y en paralelo, separados por delgadas paredes porosas. Los canales se encuentran abiertos por un lado pero cerrados del otro, de modo que los gases de escape están forzados a un flujo a través de las paredes. El gas limpio puede pasar a través de los poros mientras el material particulado queda atrapado dentro del filtro. Figura 1 Funcionamiento de un Filtro de Partículas Se muestra un esquema de un filtro de material particulado y su funcionamiento básico. Adicionalmente, se muestran los componentes de un montaje en un motor diésel en la Figura 2 – Componente del montaje de un Sistema DPF



*Figura 1 Funcionamiento de un Filtro de Partículas*  
Fuente: Volks Wagen,



*Figura 2 – Componente del montaje de un Sistema DPF*  
Fuente: Volks Wagen,

#### 4.2.1.1 Generalidades de un Data-logger

Es un dispositivo electrónico indicador que constantemente captura datos de presión o contrapresión de los gases de escape y de la temperatura, a través de sus sensores, e indica cuando es necesario hacer una revisión o mantenimiento al filtro, monitoreando el desempeño del sistema y emitiendo alertas en función de los datos que toma y almacena gracias a su microprocesador. Cada fabricante de filtro debe incluir este equipo en su sistema, teniendo cada uno una codificación de alarma por colores que debe ser informada al operador por cada filtro instalado.

## 4.2.2 Experiencia Internacional

### 4.2.2.1 Reacondicionamientos en el ámbito internacional

Existen en el mundo alrededor de 500.000<sup>12</sup> reacondicionamientos/retrofit con filtros de partículas, en toda Europa, Asia, Norte América y Sur América.

#### **Los autobuses en Bélgica**<sup>13</sup>

Operador de transporte público De Lijn, en Bélgica, ha implementado sistemas de Reducción Catalítica Selectiva –SCR- y Filtro de Partículas Diésel y en 247 autobuses, incluyendo autobuses regionales e interurbanos de la ciudad de Amberes, Gante y Brujas. Los sistemas eliminan más del 70% de los óxidos de nitrógeno -NOx y eliminan todo el Material Particulado –PM-, para alcanzar los estándares de emisiones equivalentes a la norma Euro V en vehículos tan antiguos como Euro II. Los ensayos comenzaron en De Lijn en noviembre de 2006.

El autobús tenía un sistema de monitoreo de gases de escape y un módem que realizan seguimiento continuo y en tiempo real las reducciones de emisiones de NOx en condiciones de funcionamiento reales. El sistema ha demostrado su fiabilidad en los 50.000 kilómetros cubiertos durante la prueba, que fue clave para De Lijn.

#### **Camión de la basura en Francia**<sup>14</sup>

Un camión Renault MIDR 62045, con un motor de 6 cilindros 9,84 litros Euro II y 20 toneladas de capacidad, fue adaptado con 6 unidades de filtro de carburo de silicio (20m<sup>2</sup> de área de filtración) colocados en el espacio del silenciador existente. El camión se evaluó con el combustible diésel estándar, 350 ppm de azufre, en un programa nacional de 12 meses. Se emplearon Sistemas de DPF activos con uso de Catalizador para la quema de combustible. Se logró reducir las emisiones de material particulado alrededor de un 90% y los hidrocarburos cerca de un 43%.

#### **La Rochelle Francia**<sup>15</sup>

Desde enero de 2004, 47 buses Heuliez GX con motores tipo Euro I y II han sido equipados con sistema de DPF, empleando Filtros a base de carburo de silicio y sistemas de catalización para la quema de combustible –FBC-, la mezcla de estos sistemas ha demostrado su eficacia a través de una experiencia de campo a largo plazo.

#### **Los Buses de Londres**<sup>16</sup>

En 2006, “*Transport for London –TfL-*“. Seleccionó buses Denis Dart de 3,9 litros para desarrollar una prueba con sistema DPF y SCR. Se seleccionaron 2 operadores para asegurar que la tecnología se probará en una variedad de rutas. Catorce (14) buses fueron reacondicionados con paquetes integrados que incluían los sistemas DPF, sistema SCR, sensores de NOx, tanques, bomba y sistema dispensador de urea.

De acuerdo con la Oficina Europea de Londres en el evento en el Parlamento Europeo el 20 de junio de 2013 “*Clean Solutions – Clean Emissions – Clean Cities*”, los Filtros de Partículas Diésel han sido instalados en todos los autobuses anteriores a Euro IV. Esto ha ayudado a reducir las emisiones de PM<sub>10</sub> de la flota de autobuses de TfL, de 200 toneladas en 1997 a 17 toneladas en 2013. Tras los ensayos exitosos, en los que se logró la reducción de NOx del 88% tanto en los

<sup>12</sup> COSUDE. Visita de la delegación suiza a Bogotá.2014.

<sup>13</sup> Disponible en: <http://www.dieselretrofit.eu/projects.html>. Consulta realizada el 20 de Octubre de 2014.

<sup>14</sup> Ibídem

<sup>15</sup> Ibídem

<sup>16</sup> Ibídem

autobuses Denis Dart y Volvo, equipo SCR es ahora también instalado en un máximo de 1.000 autobuses (aproximadamente el 12% de la flota). Se logra una reducción del 50% en las emisiones de NO<sub>2</sub>.

### **Buses de Madrid<sup>17</sup>.**

La empresa de transporte público de Madrid, EMT, ya ha modernizado 209 autobuses Euro III con sistemas combinados de DPF y SCR (118 Scania OmniCity, 33 MAN NL 263 F, 29 Mercedes Citaro, y 29 Iveco CityClass). El sistema SCRT® seleccionado reduce las emisiones de NO<sub>x</sub> en más de un 75%, por debajo de la norma Euro V, y reduce las emisiones de partículas en un 90%.

Más autobuses se modernizarán, hasta un total de 485 autobuses para junio de 2014. Como se presentó en el “*Clean Solutions – Clean Emissions – Clean Cities*”, las medidas adoptadas por EMT permitirán reducir las emisiones en más de 10 toneladas / año de partículas y 500 toneladas / año de NO<sub>x</sub> en la Zona de Bajas Emisiones de Madrid.

### **Filtros de Partículas en Buses Urbanos de Santiago<sup>18</sup>**

En Chile, la Subsecretaría de Transporte del Gobierno de Chile reglamento el uso de Filtros de Partículas con el objeto de obtener una reducción del 24% de las emisiones directas de MP-10, generar las condiciones para que los vehículos en uso reduzcan sus niveles de emisiones en tanto cumplan su vida útil y la aplicación de límites de emisión de MP más exigentes para vehículos nuevos.

### **Principales acciones derivadas del programa piloto.**

- a) Reglamentar e incentivar el uso de filtros en buses de la flota en circulación.
- b) Se reglamentó la certificación, especificaciones y eficiencia de filtración D.S. 65/2004 MTT.
- c) Se estableció en los contratos de concesión un aumento de plazo de la concesión por instalación de filtros y su nivel de eficiencia de filtración.
- d) Se reglamentó el uso de filtros en motores de buses nuevos que se incorporan a la flota.

A la fecha existen en Chile cerca de 3.200 vehículos operando con Sistemas DPF. (Ver Tabla 1 – Reacondicionamientos realizados en Chile)

*Tabla 1 – Reacondicionamientos realizados en Chile*

AÑO IMPLEMENTACIÓN	CANTIDAD	MARCA/MODELO CHASIS	MARCA DPF	CONCEPTO
2005	110	VOLVO/B7RLE	EMINOX	NUEVOS + DPF
2009	564	VOLVO/B9SALF	EMINOX	REACONDICIONADOS
2010-2012	1.179	MB/O500U	HJS	NORMA EUROIII+DPF
	425	MB/LO915	EMINOX	
	440	VOLVO/B7RLE	EMINOX	
2012	500	MB/O500U	HJS	REACONDICIONADOS

Fuente: COSUDE, 2014. Convenio de cooperación SDA-COSUDE-Transferencia de Conocimiento Sur-Sur. Junio de 2014

<sup>17</sup> Ibidem

<sup>18</sup> Ministerio de Transportes de Chile. 2014, Visita de la delegación Bogotana a Santiago.

### **Teherán/Irán. 2000 buses de transporte público.**<sup>19</sup>

En enero de 2014 el Ayuntamiento de Teherán ha decidido realizar los reacondicionamientos con DPF para la flota de autobuses públicos de la capital de Irán. El mandato señaló la necesidad de una prueba piloto, seguido de un proyecto a gran escala de - 6.000 autobuses públicos de la flota total. En la primera fase se dirige a 2.000 buses.

Para este proyecto, que ya fue publicado en la prensa de Teherán, han sido invitados por AQCC (Empresa de Control de la Calidad del Aire), con sede en Teherán, consultores de la asociación VERT®. La AQCC es el contacto principal en Irán para organizar este gran proyecto de modernización del transporte. A finales de diciembre 2013 se ha organizado un programa de visitas para los consultores VERT® y reuniones con importantes representantes de las partes involucradas en Teherán, entre ellos los de la empresa de autobuses de la ciudad.

### **Retrofit en China**<sup>20</sup>

China está endureciendo gradualmente su regulación de emisiones. Como se establece en el Plan Nacional de Aire Limpio, las concentraciones de PM<sub>2,5</sub> se deben reducir en un 10% para el año 2017. A partir de enero de 2015, los vehículos pesados nuevos en China tendrán que tener un DPF.

En septiembre de 2011, las autoridades de China y Suiza (MEP de China y SDC de Suiza con el apoyo de la Asociación VERT® comenzaron el programa Chino-Suizo de Black Carbon para emisiones de Fuentes Móviles- BCEMS. El programa de pruebas piloto de adaptación comprende: 10 coches en Nanjing, 10 autobuses de la ciudad de Xiamen, 11 máquinas de construcción en Beijing que fueron adaptados con DPF VERT® certificados. Paralelamente, se realizaron pruebas de laboratorio en Xiamen y Jinan. Con base en estas experiencias se están redactado los lineamientos para el post-tratamiento de vehículos.

#### **4.2.2.2 Certificaciones Internacionales**

En el ámbito internacional se tienen dos pasos para la evaluación de la fiabilidad del sistema de post tratamiento:

*Tabla 2 - Pasos de evaluación de la fiabilidad de sistemas de pos-tratamiento*

<b>Certificación (por una organización certificadora)</b>	<b>Aprobación local (por la autoridad local)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se verifica y certifica el desempeño de un DPF</li> <li>- Se especifican requerimientos (estándar de rendimiento) y procedimientos de prueba; es acreditado a través de un laboratorio o una oficina de certificación</li> <li>- Cuando acredita un laboratorio de pruebas se establece el rendimiento del sistema de post tratamiento en las pruebas y se emite un reporte de las pruebas desarrolladas</li> <li>- Cuando acredita una oficina de certificación, se verifica la conformidad, emitiendo la respectiva certificación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se decide acerca de la aceptación o no del DPF previamente certificado.</li> <li>- La autoridad local decide sobre aceptar o no los certificados, a través del establecimiento de reglas específicas para la aceptación de dichos certificados.</li> <li>- En este caso un certificado puede ser aceptado sin prueba alguna, aceptado con reserva de desarrollo de pruebas adicionales ó puede ser rechazado.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia con base en Gerhard, 2014. Visita a Bogotá de la delegación Suiza.

<sup>19</sup> VERT®. Newsletter 012014.

<sup>20</sup> VERT®. Newsletter 03/2014.

En este ámbito se han definido y ejecutado tres principales procesos de verificación:

**1) California Air Resources Board -CA ARB-**

**Procedimientos de verificación, garantía y requisitos de cumplimiento en uso de las estrategias para el control de las emisiones de los motores Diésel<sup>21</sup>.**

Los procedimientos de verificación CA ARB, del plan de *retrofit* de motores Diésel en California, tiene como objetivo la reducción de emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) y material particulado (PM) de motores Diésel existentes. El programa se orienta a cualquier motor Diésel y estrategia que pueda alcanzar las reducciones de los contaminantes NOx y PM. Estas reducciones están categorizadas en tres niveles: 1) Demostrativo (vía procedimientos de verificación) de la reducción de la masa de material particulado en al menos el 25% con relación a la línea base; 2) Al menos un 50% de reducción; y el 3) Al menos un 85% de reducción; éste último nivel es de interés de CA ARB. La CA ARB prefiere altas eficiencias en la remoción de masa de material particulado; sin embargo ha establecido niveles inferiores al 3 para tecnologías vehiculares antiguas no susceptibles de una tecnología DPF de este nivel.

**2) Federal Office for the Environment –FOEN-**

**(Switzerland BUWAL Program). Lista de Filtros VERT. Sistema de filtros de partículas probados y aprobados para el reacondicionamiento de motores Diésel<sup>22</sup>.**

Para el caso Suizo, la certificación y aprobación oficial Suiza es desarrollada por la Oficina Federal Suiza para el Ambiente –FOEN-, cuyos requerimientos están definidos en la Ordenanza Suiza de Control de la Contaminación –OAPC- (Artículos 19a, 19b-Anexo 4). La FOEN publica el listado de filtros certificados en su página web (<http://www.bafu.admin.ch>)<sup>23</sup>.

Los laboratorios reconocidos por la FOEN son: *AFHB Biel*, en Suiza; *AVL MTC*, en Suecia, *Caterpillar Global Engine Development*, en Estados Unidos; *Japan Automobile Research Institute*, en Japón; el *Southwest Research Institute*, en Estados Unidos, *TÜV Hessen*, en Alemania y el *TÜV Nord* en Alemania. Adicionalmente reconoce a Laboratorios Suizos Federales para Materiales, Ciencia y Tecnología –EMPA-, como oficina de certificación<sup>24</sup>.

En el caso suizo se desarrollaron estudios en los que se concluyó que el tamaño de las partículas ejerce un importante efecto sobre la salud de las personas, partículas con tamaños de 20-300 nm pueden penetrar los alveolos pulmonares en donde las partículas tienen una gran importancia para la salud, pues constituyen la fracción superficial de las partículas, que es importante dado que los hidrocarburos producto de las emisiones Diésel se adhieren a la superficie de estas.

Dentro de los lineamientos de evaluación (un test que se enfoca en la filtración de masa de nano partículas sólidas de carbón elemental de 20 a 300 nm. de tecnologías Diésel), el sistema de control de emisiones debe remover el 90% de la masa de carbón elemental y 95% del número de partículas sólidas, no se permite el deterioro del filtro luego de 2.000 horas de uso, el límite de la contrapresión del sistema debe ser menor a 50mbar, el inicio de la regeneración debe estar en un límite de menos de 150 mbar y condiciones máximas de ignición de menos de 200 mbar. Al final del proceso se publica la información del filtro en la lista VERT, que es una lista de filtros de partículas que han pasado las pruebas de acuerdo a los protocolos establecidos por VERT.<sup>25</sup>

<sup>21</sup> Mooney John J. Toxic solid nanoparticles. 2007

<sup>22</sup> Ibídem

<sup>23</sup> Disponible en: <http://www.bafu.admin.ch/partikelfilterliste/index.html?lang=en>

<sup>24</sup> Leutert Gehard, 2014. Visit of Bogotá delegation in Switzerland

<sup>25</sup> Ibídem



### 3) *Environmental Protection Agency –EPA-*:

**Programa Voluntario de Reacondicionamiento Diésel –VDRP-, por sus siglas en inglés, de la EPA (US EPA Voluntary retrofit), proceso de verificación de la tecnología de reacondicionamiento, Proceso de verificación y VDRP lista de tecnologías verificadas<sup>26</sup>.**

La oficina de transporte y calidad del aire de la EPA -OTAQ estableció el programa ambiental de verificación y el respectivo proceso para el cual los DPF pueden ser verificados para tecnologías Diésel existentes y para los objetivos del programa voluntario de *retrofit*. La reducción de la emisión de masa de material particulado es del 25% y superior, lo cual es verificado en incrementos porcentuales bajo el proceso OTAQ-ETV. En el programa se verifican dos DPF en cuanto a la reducción del 60 y 90% en masa de material particulado; el programa no realiza pruebas para la fracción sólida de nano partículas.

Los objetivos del proceso de verificación de la tecnología de *retrofit* son: introducir de manera rápida y costo-efectiva nuevas tecnologías para la reducción de emisiones Diésel duraderas; permitir demostrar a los fabricantes, de tecnologías de reducción de emisiones Diésel, la efectividad del producto para aplicaciones en multi-familias de motores; proveer pasos simplificados para la actualización de tecnologías previamente verificadas; probar tecnologías y productos bajo el protocolo estándar para demostrar la reducción de emisiones; verificar la tecnología en uso para demostrar que se mantienen los rendimientos en las aplicaciones reales en campo; prever actualización del producto en las tecnologías que ya están en la lista de productos verificados.

### 4) *Subsecretaría de Transportes del Gobierno de Chile*

Con fundamento en la experiencia Suiza, se emitió en Chile el Decreto Supremo 65/2004 modificado por el Decreto Supremo 137/2006, reglamentados mediante la Resolución 1501 de 2004, en donde se establecen las pautas generales para la certificación de sistema de post tratamiento de emisiones.

En Chile la certificación se realiza a través del centro de control y certificación vehicular 3CV, en donde el organismo competente es la Subsecretaría de Transporte. Se establece que el fabricante deberá presentar los antecedentes técnicos y descriptivos del sistema de post tratamiento de emisiones que acrediten que éste se encuentra en el listado de sistemas ensayados y probados publica la *Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape* (Vert Filter List) o acreditar que cumplen con las condiciones de medición establecidas por el Código de Regulaciones del Estado de California de los Estados Unidos en el Título 13, Capítulo 14, secciones 2700 a 2710, para un nivel 3 de reducción de material particulado. Para la aprobación local deberá dar cumplimiento a pruebas adicionales definidas para el orden local, que se desarrollan con el 3CV.

A la fecha 3.218 buses del sistema de transporte masivo Transantiago están equipados con filtros de partículas, proceso en el que participaron proveedores/fabricantes de la tecnología como también los operadores y los fabricantes de buses (ver Tabla 1 – Reacondicionamientos realizados en Chile)

#### 4.2.3 Experiencia Nacional

##### 4.2.3.1 Contrato No. 428 de 2009 Área Metropolitana del Valle de Aburrá

Medellín<sup>27</sup> había avanzado en un ejercicio orientado a implementar sistemas de control de emisiones en buses del sistema de transporte de pasajeros en el modo colectivo; este proceso involucró a empresas del sistema de transporte, como también a proveedores de la tecnología. A

<sup>26</sup> *Ibidem*

<sup>27</sup> Adaptado de AMVA, 2010 Informe Sistemas de Centro FTF en buses de Medellín, 2011

partir de una prueba piloto desarrollada en 2010 se evaluaron las tecnologías de dos proveedores con certificación internacional CA ARB de filtros catalíticos de partículas de flujo parcial (FTF) y flujo total (WF) y cuyas eficiencias teóricas de remoción de material particulado son del 50% y del 90% respectivamente. Las siguientes son las principales lecciones aprendidas, conclusiones y recomendaciones del proyecto:

### **Certificación y aprobación**

Es necesario determinar y aplicar los lineamientos de aprobación de los sistemas de control de emisiones a instalar.

### **Mantenimiento**

- La instalación de sistemas de *retrofit* aporta soluciones a los problemas de emisiones de gases de escape pero no exime del mantenimiento a los vehículos. Por lo que el éxito de la instalación y operación de los filtros catalíticos está ligado a un estricto cumplimiento del programa de mantenimiento de cada uno de los vehículos.
- La baja preocupación por el cumplimiento de las rutinas de recambio de elementos como filtros de aire, aceite y combustible y la utilización de elementos no originales provocan cambios en la combustión de los vehículos. Esto conduce a incrementos en el valor de la opacidad.
- Se observó que las mediciones de opacidad se ven afectadas por diferentes motivos tales como la bomba de inyección mal calibrada, problema en los inyectores, filtro de aire en mal estado, marca y el modelo del vehículo.
- Dadas las condiciones propias del parque automotor del área metropolitana, el estado de mantenimiento de la flota, los modos de conducción, modelos de los vehículos, se hacen necesarios los requerimientos mínimos para la correcta operación de cada una de las tecnologías de filtrado parcial y total. Los resultados de la prueba piloto arrojaron que la tecnología de flujo parcial es la que mejor se adapta a las condiciones propias de Medellín.
- Algunos vehículos se encuentran operando en terrenos para los cuales no fueron diseñados. Si a lo anterior se le suma un mantenimiento deficiente se obtendrán vehículos que siempre operan por fuera de las especificaciones y que deben ser alterados principalmente en su sistema de inyección para cumplir las exigencias de la ruta, lo cual provoca inmediatamente un incremento notable en la opacidad final del vehículo y un mayor desgaste tanto en el aceite del motor como en los motores.

### **Indicador de remoción de contaminantes**

- La opacidad es un indicativo, no es la variable determinante de la disminución de la emisión de contaminantes como consecuencia de la instalación de un filtro, ni del correcto funcionamiento de este sistema, por lo tanto es recomendable plantear una modificación de la norma de emisiones vehiculares para que se dé en términos de concentración de material particulado, o del número de partículas (conteo) y no de opacidad.
- Es necesario realizar línea base de los vehículos, conociendo el comportamiento de presión temperatura en operación, así como sus condiciones mecánicas.

### **Transferencia de conocimiento y generación de capacidades**

- La implementación de los sistemas de filtración catalítica Diésel requiere grandes esfuerzos en capacitación, no sólo de los propietarios de las flotas sino también de los encargados del mantenimiento. El desconocimiento del funcionamiento de los motores y las incidencias directas sobre cualquier cambio en los sistemas que lo componen tienen efecto directo en los sistemas de filtración catalítica.
- La experiencia de Medellín probó filtros de dos marcas diferentes con certificación CA ARB, por lo que dentro de las lecciones aprendidas se estableció invitar a nuevos proveedores a nivel



ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
SECRETARÍA DE AMBIENTE

mundial de sistemas de filtración de flujo parcial, con el fin de mejorar el conocimiento técnico de los mismos, así como también evaluar el desempeño y sus afectaciones a los vehículos.

- Durante la etapa piloto se encontró cierto temor por parte de las empresas transportadoras debido al desconocimiento de la tecnología, situación que fue superada en las etapas siguientes de instalación, a medida que se contaba con una cantidad mayor de filtros instalados y la propia transferencia de conocimiento.
- Las diferentes entidades encargadas de monitorear la calidad del aire y las emisiones del parque automotor deberán prepararse para los nuevos retos que supone la masificación en la instalación de los filtros catalíticos de partículas, pues serán las que realicen las mediciones y la certificación de la reducción de la emisión garantizada por los diferentes proveedores de la tecnología. Esta responsabilidad sugiere la adquisición de equipos y conocimiento para la correcta evaluación y estandarización de los datos obtenidos.
- Desde los entes gubernamentales es necesario concientizar a la comunidad en general de los diferentes impactos del transporte, brindando información clara y entendible a todo tipo de público con el fin de adquirir conciencia ciudadana responsable.

#### ***Proveedores/fabricantes de filtros certificados***

- Exigir a los nuevos proveedores equipos de medición más confiables y que permitan realizar seguimientos con estrechos márgenes de tiempo.
- El desempeño del filtro no depende únicamente de la eficiencia certificada del fabricante, sino también de otras variables como el tipo de ruta del vehículo, la carga a la cual se exige el vehículo, los modos de conducción, el mantenimiento del vehículo (cambio de aceite y filtros de aire en los tiempos recomendados por el fabricante, bomba de inyección e inyectores correctamente calibrados)

#### ***Comportamiento de los sistemas de control de emisiones***

- Los sistemas de filtración catalítica tienen un efecto de incrementar ligeramente la contrapresión de la salida de los gases, lo cual obliga a aumentar la aceleración, situación que podría llevar a un mayor consumo de combustible.
- Según literatura consultada, se encontró que la utilización de los filtros catalíticos de flujo parcial no presenta contrapresión superior a 150 mbar; sin embargo durante las pruebas se encontró algunos casos aislados donde bajo condiciones extremas se reportaron datos de valores de hasta 250 mbar, situación que provocó una considerable pérdida de potencia.
- Las condiciones extremas de la ruta hacen que el vehículo opere en su mayor potencia y la restricción que el filtro catalítico produce en esas condiciones pueden ocasionar un incremento en la temperatura de operación del motor, lo que podría provocar daños en los componentes de los vehículos.
- Los filtros probados cuentan con certificación de eficiencia de remoción de material particulado del 50%, la cual es otorgada por el fabricante, en un banco de pruebas homologado y certificado por entidades internacionales. Esta eficiencia significa que si se cumplen estos requisitos y se opera convenientemente el vehículo con el filtro instalado (rutas más ó menos semejantes a la ruta estándar, calidad de combustible, modos de conducción, mantenimiento del vehículo, ciclos operativos, etc.), este producirá los resultados de control de emisiones para los cuales está certificado el dispositivo. Por ello, a pesar de contarse con la certificación indicada, una vez se instala el filtro en el vehículo se debe mantener un proceso de seguimiento y monitoreo en la operación.
- Una de las mayores preocupaciones en la fase piloto del proyecto consistía en el cumplimiento del requisito de las tecnologías de filtración en que por lo menos el 20% de la ruta los gases de escape del vehículo presentarían temperaturas superiores a 250 °C para permitir la regeneración del filtro. El seguimiento de los registros de temperatura y contrapresión de los gases de escape

en los vehículos con filtro muestreados dieron a conocer que el 62,5% de los vehículos cumple con el ciclo recomendado por el fabricante para generar una correcta regeneración del filtro (temperatura mayor o igual a 250°C el 20% del total del tiempo de operación del vehículo).

### **Seguimiento y Control**

- Se sugiere reforzar desde el AMVA los convenios de PML con el sector transporte para mejorar desde la raíz el problema ambiental que genera la no puesta a punto de los vehículos, educando de manera clara a los diferentes actores que intervienen.
- Las autoridades de tránsito del Área Metropolitana del Valle de Aburrá deben reforzar el control en el cumplimiento de las normas de emisiones a los vehículos Diésel, así como reforzar las acciones de control sobre los CDA y los operativos de monitoreo en ruta, con el fin de hacer cumplir la normatividad.

#### **4.2.3.2 Programa de Filtros de Partículas Diésel para Bogotá –BDPF-**

El Decreto Distrital 098 de 2011 adoptó el Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá 2010-2020 –PDDAB-. Este considera la introducción del Sistema Integrado de Transporte Público (SITP) en Bogotá y propone la aplicación de filtros de partículas Diésel en buses como una de las medidas para reducir la exposición de la población de Bogotá a material particulado, y alcanzar el estándar de calidad del aire en el periodo de diez años, establecido en el PDDAB. En este orden de ideas, la SDA emitió en 2012 la Resolución 1304 y su resolución modificatoria 1223 de 2013; que establece la base para requerir sistemas para el post-tratamiento de gases de escape. Se prevé la necesidad de definir los lineamientos técnicos que permitan entre otros, establecer la gradualidad de la implementación, así como los niveles de opacidad y emisiones con el uso de estos dispositivos.

Como parte de la gestión de la Secretaría Distrital de Ambiente y de la Alcaldía Mayor de Bogotá se decide firmar el Convenio Interinstitucional de Cooperación No 1100100-005-2013 con la Confederación Suiza con el objeto de “*Establecer el marco para la incorporación de Bogotá al Programa Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina –CALAC- a través de acciones de cooperación técnica conjunta entre AMB y COSUDE*” programa que tiene por objeto para su componente Bogotá la reducción de partículas ultra-finas y carbón negro (**Black Carbon**) en el SITP, mediante la aplicación de filtros de partículas para motores Diésel, logrando entonces generar, el desarrollo del conocimiento técnico y operativo respecto del uso de filtros de partículas en los operadores del SITP y su personal técnico y operativo, así como en la industria local y el personal de la misma SDA, y el asesoramiento técnico internacional para el desarrollo de la política pública que permita estructurar el marco normativo general para direccionar adecuadamente la implementación de filtros de partículas en los buses y busetas del SITP.

El Programa Clima y Aire Limpio en ciudades de América Latina –CALAC- de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación -COSUDE, se basa en el programa bilateral sobre Filtros de Partículas Diésel –DPF- de Santiago de Chile (2004-2009) y su objetivo es la consolidación y réplica de los esfuerzos realizados en el contexto latinoamericano. La iniciativa se centra en la aplicación de Filtros de Partículas Diésel y comprende tres componentes:

- (1) El *Seguimiento al proyecto DPF de Santiago de Chile*, se concibe como la continuidad a los primeros esfuerzos con una introducción exitosa de DPF (2004-2009). Aborda el esquema de implementación y beneficios ambientales del programa de implementación de DPF y define pasos para futuras políticas.
- (2) El Programa de *Filtros de Partículas Diésel para Bogotá* DPF [BDPF], por sus siglas en inglés, tiene como objetivo la introducción de aplicaciones DPF en el distrito capital de Colombia, a través de la realización de pruebas piloto de DPF, la introducción de un esquema de

aprobación local y la preparación e inicio de la implementación de un programa de DPF en buses del Sistema Integrado de Transporte Público.

- (3) La *Alianza de Ciudades* para DPF está diseñada para facilitar una participación regional de ciudades en busca de medidas de reducción eficiente de emisiones para vehículos. Eventos fundamentales en Santiago de Chile, Bogotá y Suiza deberán crear y consolidar una alianza de ciudades para la aplicación de los DPF y apoyar específicamente el intercambio de experiencias con los delegados de Buenos Aires y Lima-Callao, que se orientan hacia una réplica posterior de los programas de DPF en desarrollo.

Los tres componentes del programa se han diseñado y están vinculados entre sí, de tal manera que maximizan las sinergias.

Una primera fase del Programa BDPF cubre las pruebas piloto, la puesta a punto del marco de política para el programa de implementación para el SITP y un programa de implementación inicial para el *retrofit/reacondicionamiento* de los primeros buses. Las actividades de la fase 1 están programadas en dos etapas superpuestas:

- **Etapas 1 y 2**, se concentra en la realización del Piloto de Filtros de Partículas para Buses del SITP. **Etapas 1 y 2**, comprende la retroalimentación de la experiencia de las pruebas a la política y el inicio del programa de implementación, incluyendo los primeros 300 buses. Esto incluye la transferencia de conocimiento a nuevos actores, el soporte en el desarrollo de los programas de mantenimiento de los DPF, la evaluación de un esquema de aprobación local y el soporte en el diagnóstico y análisis de fallas.

Esta fase comprende la construcción de capacidades para la política de DPF y su aplicación, se basa en la transferencia de conocimiento/experiencia (*Know-how*) en dirección Norte-Sur y Sur-Sur y el establecimiento de una alianza de los diferentes actores para la participación de fabricantes internacionales de DPF.

### **Desarrollo del Piloto de Filtros de Partículas para Buses del SITP**

Con el fin de avanzar en la definición de los lineamientos para la implementación de la medida 5B del PDDAB, la SDA suscribió convenio inter-administrativo 015 de 2013 con la Universidad Nacional de Colombia con el objeto de "*Aunar recursos técnicos, humanos, financieros y de conocimiento para la instalación de Sistemas de Control de Emisiones en vehículos ciclo Diésel que actualmente prestan el servicio público de transporte terrestre de pasajeros, así como adelantar las acciones que permitan determinar los niveles de opacidad y Factores de Emisión con el uso de estos sistemas en la ciudad de Bogotá*".

En desarrollo de este convenio se ejecuta el proyecto piloto de Filtros de Partículas Diésel para buses del SITP que considera la instalación de Filtros de Partículas Diésel - DPF con certificación internacional de la FOEN (certificados VERT) - a una muestra tecnológicamente representativa correspondiente a 13 vehículos usados del SITP.

Inicia con un estudio del mercado de filtros de partículas, una selección de vehículos a los cuales se les realizan pruebas que permitan determinar si son aptos para la instalación de los DPF, la generación de los protocolos de instalación y de prueba apoyados en los fabricantes y expertos tanto internacionales como nacionales, la obtención de una línea base que permita generar una comparación de resultados antes y después de la instalación de los sistemas de control de emisiones, la instalación de los filtros, capacitación a conductores para lograr el mejor desempeño de los sistemas, monitoreo y seguimiento del comportamiento de los DPF y de los vehículos, establecimiento de las bases para estructurar un mecanismo de aprobación local de instalación que garantice pertinencia en la selección de sistemas, personal, instalaciones, y procedimientos empleados y la obtención de recomendaciones y socialización de los resultados obtenidos. Esta

fase cuenta con la participación de la Universidad Nacional de Colombia y la asesoría de expertos de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación –COSUDE-.

Con el piloto de filtros no se busca determinar si la tecnología de DPF es o no operativa. Se busca desarrollar el conocimiento del uso de esta tecnología en las condiciones de Bogotá y su sistema de transporte de pasajeros. Los alcances del proyecto piloto son:

- ✓ Seleccionar una **muestra representativa** de vehículos
- ✓ Establecer la **línea base** de emisiones de contaminantes sólidos y gaseosos, opacidad, consumo de combustible
- ✓ Determinar los **sistemas de control de emisiones (SCE) a instalar** en los vehículos de la muestra seleccionada, los procedimientos y competencias del personal
- ✓ Supervisar la **instalación y realizar la evaluación** del desempeño ambiental, energético y técnico de los sistemas instalados
- ✓ Realizar el **monitoreo del desempeño** ambiental, energético y técnico de los sistemas instalados

### Actores del Piloto

En desarrollo de las pruebas fue necesaria la coordinación logística en todas las etapas, lo que implica un alto grado de compromiso de cada uno de las partes involucradas, con el fin de responder a los requerimientos del proyecto.

Cuadro 1 - Participantes en el Piloto de Filtros de Partículas para Buses del SITP

<b>Coordinador del Programa:</b> Secretaría Distrital de Ambiente	
<b>Asesoría Técnica Internacional:</b> Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación –COSUDE-	
<b>Asesoría, operación y desarrollo del programa de pruebas:</b> Universidad Nacional de Colombia	
<b>Articulación con operadores:</b> Transmilenio S.A	
<b>Operadores del SITP en el proyecto</b>	Consortio Express SAS, Conexión Móvil S.A., Este es mi bus SAS, Express del futuro S.A., Gmóvil SAS, Masivo Capital SAS, Metrobús S.A., SI99 S.A., SI03 S.A., Somos-K S.A., SUMA SAS y Transmasivo S.A.
<b>Fabricantes de filtros de partículas que acompañan el proceso<sup>28</sup> y data-logger</b>	Hug Engineering AG. - Servintec S.A. Eminox Ltd. - Volvo Group Colombia S.A.S. Twintec-Baumot AG. - Hidrotechnik S.A.S. PURltech GmbH & Co. - Diesel y Turbos Ltda. Dinex A/S - Gesoltec Ltda. HJS Emission Technology GmbH & Co - DCT S.A.S. Tehag Engineering AG. - DCT S.A.S. CPK Automotive GmbH & Co KG
<b>Fabricantes de vehículos que acompañan el proceso</b>	Daimler Colombia S.A. – Mercedes Benz Scania Colombia S.A.S. Volvo Group Colombia S.A.S. Hino Motors Manufacturing Colombia S.A. Colmotores S.A.

Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente, Dirección de Control Ambiental (Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual)

### Mediciones en el piloto:

Se considera necesario realizar mediciones en las etapas 2, 3 y 4 del proyecto piloto, con el objeto de establecer las condiciones iniciales de operación (etapa 2) y sus variaciones con la instalación de los filtros (etapa 3) y realizar un seguimiento una vez se opere el vehículo con el filtro instalado

<sup>28</sup> Cada uno de los fabricantes tiene representante local en Bogotá  
22/64

(etapa 4). Una vez instalado el filtro se realizan mediciones en el tubo de escape antes y después del filtro para establecer su grado de eficiencia, es decir, se mide en la misma prueba, la opacidad antes del filtro y se compara con la opacidad después del filtro.

La tabla siguiente presenta la distribución de las mediciones en cada una de las tres etapas mencionadas.

Tabla 3 – Mediciones definidas por cada etapa del piloto

Tipo de Prueba	Prueba	Línea Base	A la instalación del DPF (Campaña 1)		Al final del piloto (Campaña 2)	
		Sin DPF	Antes DPF	Después DPF	Antes DPF	Después DPF
En dinamómetro	Opacidad	✓	✓	✓	✓	✓
	Presión y Temperatura	✓	✓	✓	✓	✓
	Material particulado	✓	✓	✓	✓	✓
	Emisiones Gaseosas	✓	✓	✓	✓	✓
	Partículas ultra finas	✓	✓	✓	✓	✓
	Ruido	✓	✓	✓	✓	✓
	Potencia y torque	✓	✓	✓	✓	✓
En ruta	Opacidad	✓	✓	✓	✓	✓
	Presión y Temperatura	✓	✓	✓	✓	✓
	Material particulado	✓	✓	✓	✓	✓
	Emisiones Gaseosas	✓	✓	✓	✓	✓
	Partículas ultra finas	✓	✓	✓	✓	✓
	Consumo combustible	✓	✓	✓	✓	✓
	Velocidad y aceleración	✓	✓	✓	✓	✓

Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente, Dirección de Control Ambiental (Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual)

A continuación se describen las mediciones realizadas:

### Mediciones en dinamómetro

Se emplea el banco dinamométrico de chasis, localizado en las instalaciones del Centro de Tecnologías del Transporte del Tecno-parque del SENA en el municipio de Soacha-Cundinamarca. Este equipo permite modelar ciclos de conducción definidos para evaluar el desempeño de los vehículos en condiciones controladas así como operarlos en condiciones de carga específicas o estado estacionario. Se busca determinar los factores de emisión en gramos por cada kilo vatio hora de potencia generada, gr/kWh.

Para las mediciones en dinamómetro se considera antes de cada medición calentar el motor fuera del dinamómetro hasta que las temperaturas del agua y aceite alcancen un nivel normal. Se emplean diferentes equipos de medición para evaluar el desempeño operativo y ambiental del vehículo. El ejercicio consiste en mantener el vehículo operando a velocidad constante y con carga constante en cuatro rangos al 75%, al 50%, al 25% y sin carga. Durante un intervalo de diez (10) minutos con el vehículo en estado estable, se registran: emisiones, potencia, momento motor y consumo.

Condiciones de operación del dinamómetro:

- Se realizan mediciones con el motor en ralentí y a un 60% de la velocidad máxima (RPM de corte de inyección) para medir opacidad.
- Para algunas pruebas específicas se mide en el ciclo estándar<sup>29</sup> de Bogotá según tipología.
- Se realizan mediciones en diferentes condiciones de carga. Al 0%, 25%, 50%, 75% de la potencia máxima entregada por el vehículo para material particulado, gases y número de partículas.
- Duración: hasta conseguir estabilidad de la medición; aproximadamente unos 10 minutos por medición
- Control de la temperatura de los neumáticos para evitar su deterioro prematuro.

### Mediciones en ruta

Estas pruebas se realizan operando el vehículo sobre la vía con el objeto de simular condiciones reales de operación, se evalúa el desempeño ambiental y energético del vehículo. Se busca definir factores de emisión en gramos del contaminante por cada kilómetro recorrido por el vehículo, gr/km.

Para estas pruebas se instrumenta el vehículo con los equipos de medición necesarios y se carga con canecas de agua y sacos de arena (la carga simulada), al 70% del peso bruto vehicular; se opera simulando paradas sobre la ruta estándar<sup>30</sup> según la tipología vehicular.

La instrumentación del vehículo comprende la adecuación del tubo de escape, instalación de equipos de medición de material particulado, gases, sistema de dilución y accesorios, compresor, planta eléctrica. La instalación de medidores de flujo para la estimación directa del consumo de combustible o de ser necesaria, la adecuación de un tanque auxiliar, instalación de un sistema de adquisición de datos ó data-logger para el monitoreo de la presión y de la temperatura de los gases de escape. En el caso de los vehículos zonales, los equipos auxiliares se ubican en un remolque.

Al finalizar la instrumentación se desarrollan las pruebas de desaceleración, sobre la troncal norte Alcalá – portal norte para los vehículos articulados y sobre la troncal NQS entre calle 26 y calle 80 para los vehículos de tipología: microbús, buseta, busetón y padrón, con el objeto de realizar una caracterización dinámica de los vehículos.



*Figura 3 - Instrumentación de Vehículos.*  
Fuente Convenio 015 SDA-UNAL

<sup>29</sup> Ciclo de conducción desarrollado con anterioridad. Convenio 013 de 2012, para cada tipología vehicular del SITP.

<sup>30</sup> Ruta definida con anterioridad para cada tipología del SITP.



Las pruebas en ruta se desarrollan siguiendo los procedimientos y protocolos establecidos; para los vehículos del servicio troncal se realizan por el carril exclusivo de Transmilenio, para los vehículos del servicio zonal, se realizan en rutas del sistema.

Condiciones de operación en ruta:

- Se deben verificar las condiciones de peso del vehículo con la carga simulada, los equipos de medición y el personal ejecutor de la prueba.
- Se deben realizar por lo menos tres repeticiones de la ruta estándar completa, procurando atender la operación en condiciones similares.

### Descripción de las mediciones específicas a realizar

Cuadro 2 – Mediciones específicas

<b>Opacidad:</b>	Medición de opacidad con el opacímetro (430 mm) En las dos campañas del piloto: dos mediciones de opacidad con el opacímetro (430 mm): una medición antes del filtro y otra en la salida del tubo de escape.
<b>Presión y Temperatura:</b>	Mediciones de la presión y la temperatura con data-logger instalado en tubo de escape
<b>Material particulado:</b>	Determinar factores de emisión en gr/Km o gr/kWh con equipo Dekatti Elphi Plus para ciclo Bogotano y a diferentes condiciones de carga
<b>Emisiones:</b>	Mediciones de CO, CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , NO, NO <sub>2</sub> con equipo TESTO 350; si es posible también SO <sub>2</sub> y HC para ciclo Bogotano y a diferentes condiciones de carga
<b>Número de partículas:</b>	Mediciones del número de partículas con equipo NanoMet3
<b>Ruido:</b>	A velocidad 80%, cero carga, distancia 0.5m, 45° de la salida.
<b>Potencia y Torque:</b>	Entregados en la rueda y medidos por el dinamómetro
<b>Consumo:</b>	Empleando medidores de flujo
<b>Velocidad y aceleración:</b>	Con las unidades de adquisición de datos instaladas. GPS

### Resultados – Lecciones aprendidas

#### Selección de la flota piloto

La selección de los vehículos se realizó después de inspeccionar 56 buses del SITP de diferentes tipologías y de medir su nivel de opacidad. Se ponderaron los resultados de esta inspección y se estableció la flota preseleccionada para el proyecto. Esta fue presentada a los fabricantes de filtros en la primera y segunda reunión de asignación de vehículos cuyos resultados fueron:

- **Buses articulados:** 6 vehículos Euro II y III con un coeficiente de extinción de luz promedio de 0.40 m<sup>-1</sup>, (Máx. 0.57 - Mín. 0.21) fueron presentados y asignados a 6 fabricantes de DPF.
- **Buses zonales** (padrón, busetón, buseta, microbús): 10 vehículos Euro II y III con un coeficiente de extinción de luz promedio de 2.30 m<sup>-1</sup>, (Máx. 4.12 - Mín. 0.48) fueron presentados. Sólo un vehículo cumplió con los requisitos mínimos establecidos por los fabricantes para instalar un filtro; la mayoría de los buses zonales propuestos presentaron elevado factor de K, malas condiciones de mantenimiento y de estado vehicular, por lo cual los fabricantes indicaron que estos vehículos deberían ser puestos a punto ó sustituidos antes de iniciar el *retrofit*. Fue necesario sustituir los demás vehículos, ello implicó realizar monitoreo de línea base para los substitutos y realizar una tercera reunión de asignación de vehículos a los fabricantes en el proyecto.

De común acuerdo se decidió que dadas las deficientes condiciones técnicas y la relación de precio del vehículo, costo de la puesta a punto para instalar el DPF y el valor del DPF instalado, los microbuses no son una tipología apropiada para el *retrofit*/reacondicionamiento, por lo que se

concluyó que es un vehículo de tamaño menor que hace costosa la medida del *reacondicionamiento*.

Adicionalmente se planteó la opción de realizar mantenimiento correctivo a los buses rechazados para buscar acercar los valores de densidad de humo (K) a un valor no superior a  $1,0 \text{ m}^{-1}$ .

Se subrayan 3 aspectos observados en desarrollo de las reuniones de asignación de vehículos-fabricantes en el marco del proyecto piloto<sup>31</sup>:

- Mantenimiento de los motores: El mantenimiento de los motores es condición de una implementación exitosa del *reacondicionamiento* con filtros. Se resalta que con un buen mantenimiento se hace una contribución importante a la reducción de las emisiones, sobre todo al corregir sustancialmente aquellas emisiones vehiculares que son excesivas.
- Vida útil remanente de los vehículos: Sobre todo por razones de costo-efectividad ni en Suiza, ni en Santiago de Chile se *reacondicionaron* los vehículos con poca vida útil remanente. Para la exigencia del *retrofit*, es pertinente definir una vida útil remanente mínima.
- Representatividad con respecto a las prioridades de implementación: varios de los buses propuestos representan un segmento relativamente pequeño de la flota actual.
- Una meta de *reacondicionamiento* del 100% de la flota de buses es ambiciosa. Requiere ser afinada y diferenciada por prioridades y plazos escalonadas no se recomienda *reacondicionar* con filtros aquellos buses que tienen emisiones excesivas.

Los fabricantes y los buses asignados se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 4 – Asignación de buses por fabricante en el proyecto piloto de filtros

FABRICANTE	REPRESENTANTE LOCAL	VEHÍCULO SELECCIONADO	EMPRESA OPERADORA
Eminox Ltd.	Volvo Group Colombia S.A.S.	T086 (B10M) Z25-4062 (LO915)	Metrobus S.A. Masivo Capital S.A.S.
Tehag Engineering AG.	Diesel Clean Technologies S.A.S.	B115 (B12M) Z25-4022 (NPR)	Connexión Móvil S.A. Masivo Capital S.A.S.
HJS Emission Technology GmbH & Co	Diesel Clean Technologies S.A.S.	K049 (O400) Atego (MB1016)	Somos K S.A. Daimler Colombia S.A.
Dinex A/S	Gesoltec Ltda.	K120 (O500MA) Z80-4087 (NPR)	Somos K S.A. Suma S.A.S.
Twintec-Baumot AG.	Hidrotechnik S.A.S.	S157 (K310) 60126 (OF1722)	Transmasivo S.A. SI03 S.A.
PURltech GmbH & Co.	Diesel y Turbos Ltda.	M028 (B10M) Z50-4038 (LO915)	Express del Futuro S.A. Gmóvil S.A.S.
Hug Engineering AG.	Servintec S.A.	U130 (O400) Z15-4044 (Hino)	SI99 S.A. Consortio Express S.A.

Fuente: Elaboración propia con base en reunión de asignación realizada en el marco del convenio de cooperación COSUDE-SDA

#### i. Línea base y Pre-datalogging

Se realiza el monitoreo de los vehículos seleccionados (determinación de comportamiento de presión y temperatura).

Para el establecimiento de la línea base se ejecutan pruebas en dinamómetro y en ruta, durante las cuales los vehículos seleccionados deben estar instrumentados y para las pruebas en ruta cargados a su 70% de capacidad con sacos de arena y canecas de agua como carga simulada.

<sup>31</sup> CALAC ADVISORY TEAM. Informe de la Visita de la Delegación bogotana a Suiza de Marzo 2014. Suiza / Chile, 11 Abril 2014

Con estas pruebas se obtienen los factores de emisión a carga y velocidad constante tal que sirvan como base para la selección del SCE y de los factores de emisión registrados en ruta.

Adicionalmente se obtienen resultados respecto del comportamiento de la contrapresión y temperaturas de los gases de escape, de los vehículos vinculados al proyecto. La Figura 4 – Comportamiento de la contrapresión y temperatura de los gases de escape muestra los resultados promedio por componente, donde se puede observar que la temperatura media es más alta en la operación troncal.

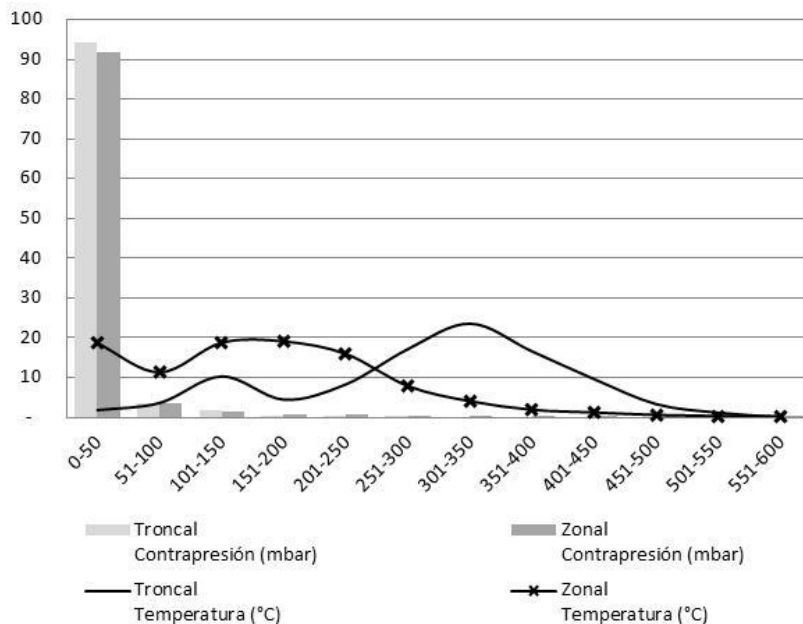


Figura 4 – Comportamiento de la contrapresión y temperatura de los gases de escape

## ii. Selección de Sistema DPF

Los fabricantes y distribuidores de los sistemas de control de emisiones han seleccionado los filtros que fueron instalados basándose en particular en:

- El nivel de densidad de humo o coeficiente de extinción de luz, que necesariamente debe estar por debajo de  $k=1m^{-1}$ ;
- El tamaño del motor, a mayor desplazamiento mayor volumen del cuerpo filtrante y de densidad de celdas en el cuerpo filtrante;
- El comportamiento de la temperatura de los gases de escape. Esta variable está asociada al mecanismo de regeneración requerido, a mayores niveles de temperatura de gases de escape, menor requerimiento de calor extra para la regeneración del filtro. Esta variable establece la necesidad de emplear un sistema de regeneración activa o pasiva.

Basándose en la información suministrada por la Universidad Nacional de Colombia respecto del comportamiento de los vehículos y los resultados de las mediciones realizadas, así como de la información que debe suministrar el operador respecto de su vehículo, cada fabricante vinculado al proyecto piloto seleccionó el diseño apropiado del DPF para cada uno de los buses asignados.

La información requerida por el fabricante del DPF, con relación a cada vehículo, se resume a continuación:



ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
SECRETARÍA DE AMBIENTE

- Marca, línea y modelo del vehículo
- Marca, línea, modelo del motor y cilindraje
- Estándar de emisión (EURO II, EURO III, etc.)
- Potencia instalada del motor
- Caudal promedio de los gases de escape
- Diámetros del tubo de escape a la entrada y salida del silenciador
- Temperaturas de los gases de escape: Temperatura máxima; temperatura promedio; % de temperaturas por encima a la promedio; perfil de temperaturas en el tiempo
- Presión a la salida de los gases de escape: Presión máxima; presión promedio; % de presiones mayores o iguales a 150mbar y menores a 200mbar; % de presiones mayores o iguales a 200mbar
- Perfil de presiones en el tiempo
- Factores de emisión en g/kWh.: CO<sub>2</sub>; CO; HC; NOx; SO<sub>2</sub> (de ser posible); MP;
- Concentración expresada en número de partículas (NP/cm<sup>3</sup>); eficiencia de remoción requerida (específica para cada emisión)
- Estado del vehículo: Opacidad en aceleración libre; ruido; consumo de combustible; consumo de aceite
- Insumos: ppm de azufre en el combustible; ppm de azufre en el aceite

### **Instalación de filtros de partículas**

Para la instalación del DPF, el proveedor de filtros realizó una capacitación dirigida tanto al personal técnico del operador, como a los profesionales de la Secretaría Distrital de Ambiente y la Universidad Nacional de Colombia.

Durante las instalaciones de los filtros, un representante de la Universidad Nacional de Colombia supervisó todo el proceso, llevando un registro fotográfico, tomando mediciones de opacidad antes y después de la instalación, y diligenciando el formato que contiene la información de las condiciones del vehículo pre- y pos-instalación de filtro, la opacidad, las características del filtro a instalar, las herramientas usadas en el proceso e información del personal encargado, para corroborar el cumplimiento de las competencias mínimas requeridas.

Una vez realizada la instalación es importante atender las recomendaciones siguientes con el objeto de generar las condiciones óptimas de operación para el sistema DPF, así como reducir los impactos de uso de los mismos en la operación y los costos asociados. En términos generales, las recomendaciones<sup>32</sup> dadas por fabricantes son:

- Estar al día con el mantenimiento del vehículo.
- Monitorear el consumo y estado del aceite lubricante.
- Mantener el ciclo adecuado de trabajo.
- Correcta regeneración de los filtros.
- Entender el sistema de monitoreo del DPF.
- Manipulación cuidadosa del filtro.
- Limpieza básica del DPF.

En desarrollo del Piloto de Filtros de Partículas para Buses del SITP se desarrollaron las acciones para la instalación de los primeros DPF en Bogotá, este proceso se considera como el inicio de la implementación de la medida 5B del Plan Decenal de Descontaminación del Aire de Bogotá, son las primeras acciones de transferencia de conocimiento que se realiza en el marco de esta implementación, y es un proceso que se deberá realizar continua y permanentemente, así, la

<sup>32</sup> CA ARB. Guía para conductores sobre el Mantenimiento y Cuidado de los Filtros de Partículas de Diesel (DPF)



masificación del uso de filtros de partículas debe continuar con la culminación de las instalaciones que aún están por ejecutarse en esta primera etapa, que deberá ir evolucionando a la segunda etapa del Programa BDPF, y contempla la ampliación controlada del uso de DPF con un número cercano a los 300 vehículos. Así, el proceso de aprendizaje por parte de todos los actores deberá continuar y robustecerse con la ampliación del piloto, y permitir las bases de una masificación del uso de filtros de partículas en el sistema de transporte público de Bogotá.

### iii. Seguimiento, Pruebas con filtro

Posterior a la instalación del filtro, se programan pruebas en ruta que muestran el comportamiento de las emisiones de contaminantes (Monóxido de Carbono – CO, Hidrocarburos Totales - THC, óxidos de Nitrógeno - NOx, Material Particulado – PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>), así como los factores de consumo de combustible y aire después de la instalación del filtro. Las mediciones se toman durante ciclos de recorridos que habitualmente realiza el vehículo en la ciudad para simular condiciones reales de uso y comportamiento del filtro bajo estas condiciones.

Al igual que la prueba en ruta, se debe realizar una prueba en dinamómetro que genere un resultado de emisiones de contaminantes, pero en este caso, bajo variaciones simuladas de condiciones de carga del vehículo, así se tendrá un panorama más amplio de las variables analizadas en el proyecto bajo diferentes condiciones, ya que en ruta, solo es posible realizar las pruebas con carga constante. Pese a esto, es fundamental realizar el seguimiento al comportamiento de la presión y temperatura de los gases de escape, estos valores son fundamentales para determinar si el comportamiento de los filtros o del motor son los adecuados para el éxito del sistema DPF.

Los data-logger permiten descargar la secuencia de datos según la frecuencia de captura configurada, en mayor medida emplea 10Hz, del periodo de operación que se requiera analizar. Las siguientes figuras muestran a modo de ejemplo los resultados que se pueden obtener de un data-logger.

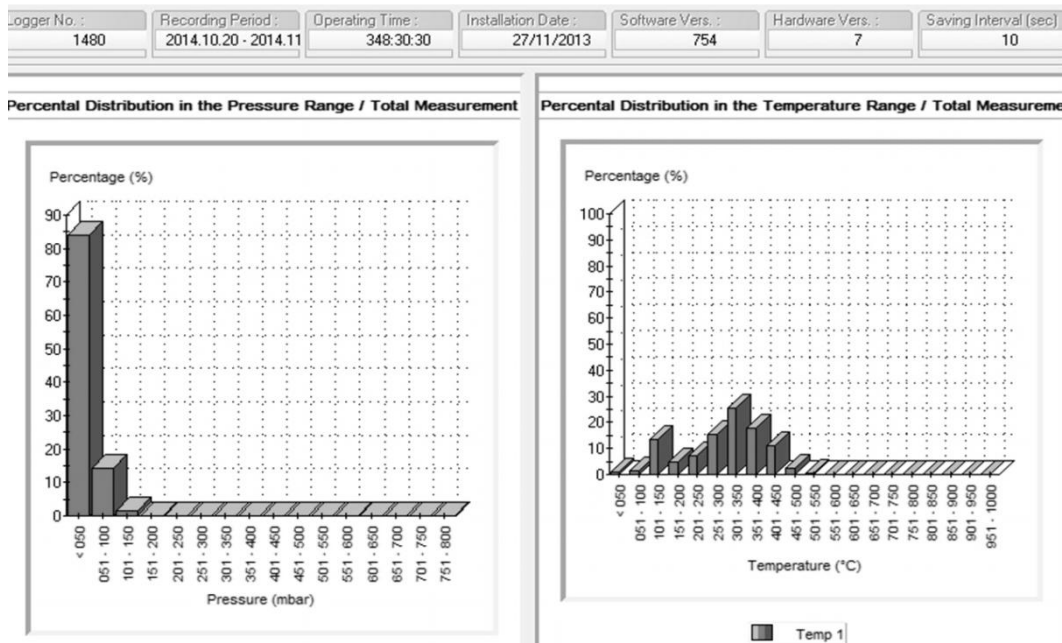


Figura 5 – Distribución de contrapresión y temperatura obtenidos de un data-logger

Fuente: A. Mayer. Cooperación Suiza. 2014

De este modo se debe analizar permanentemente el comportamiento de los sistemas instalados con el objeto de identificar los posibles riesgos de falla, así como prever los requerimientos de mantenimiento de los sistemas DPF.

En la Figura 5 – Distribución de contrapresión y temperatura obtenidos de un data-logger se puede observar, en la curva de presión de gases de escape, como la distribución en términos del porcentaje de datos que se asocian a un resultado específico, está en mayor medida por debajo de los 50 mbar. De igual forma, casi todos los datos están por debajo de los 200 mbar, lo que infiere un adecuado comportamiento de los gases de escape. Del mismo modo, la curva de la derecha, muestra la distribución de los datos obtenidos sobre el comportamiento de la temperatura de los gases de escape.

La Figura 6 – Comportamiento de contrapresión y temperatura obtenidos de un data-logger muestra la curva de comportamiento a lo largo del periodo de muestreo de las mismas variables, contrapresión y temperatura, con el objeto de poder visualizar si se han presentado picos de presión, o si como se observa en la curva superior, se denota un comportamiento estable de la temperatura excepto por los descensos marcados asociados a las paradas de operación entre un día y otro.

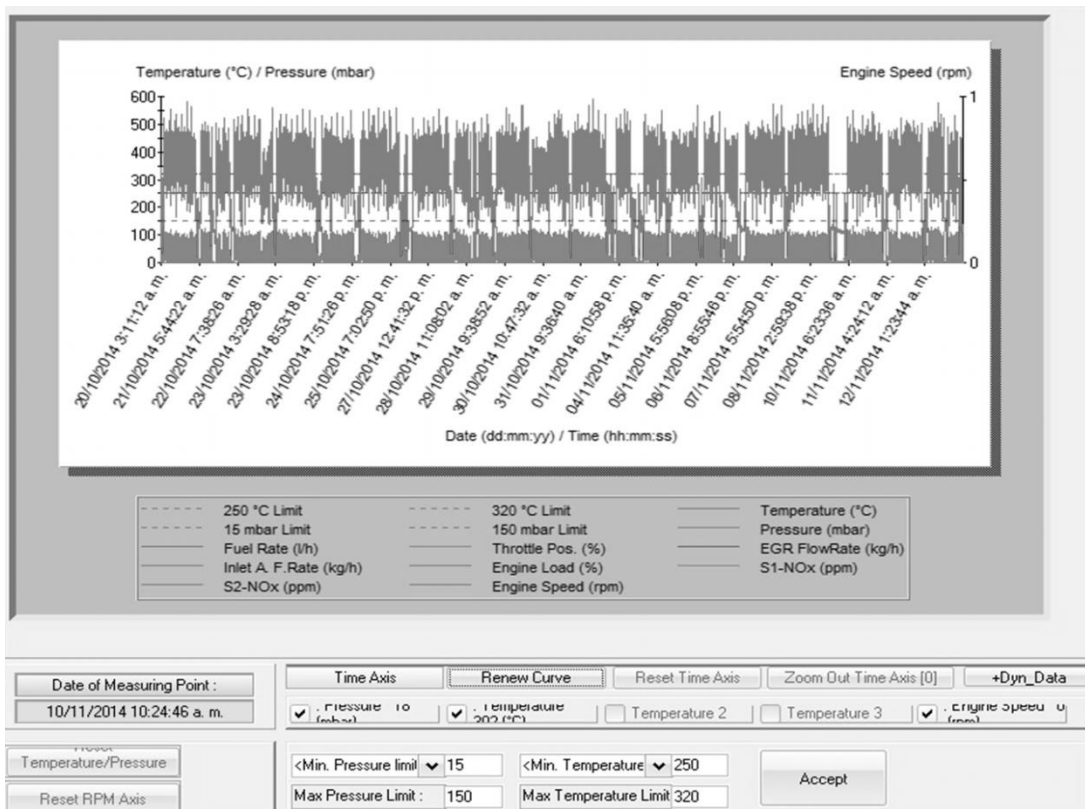


Figura 6 – Comportamiento de contrapresión y temperatura obtenidos de un data-logger.

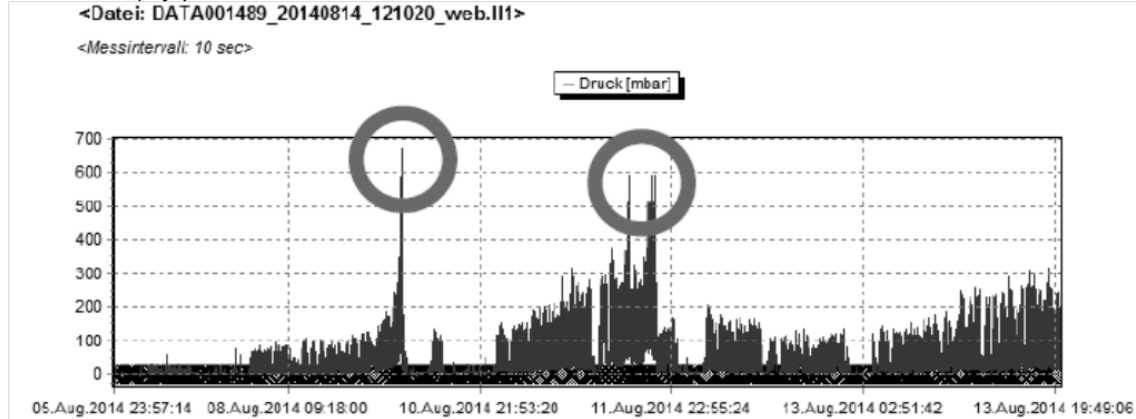
Fuente: A. Mayer. Cooperación Suiza. 2014

Por su parte en la Figura 7 – Comportamiento negativo de la contrapresión de gases de escape se muestra otro ejemplo de la información obtenida del data-logger, en esta se observa un comportamiento



ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
SECRETARÍA DE AMBIENTE

errado de la contrapresión, en el que se presentan picos de contrapresión muy altos, (encerrados en círculos), y periodos con valores sobre los 200 mbar.



Fuente: Eminox. Bogotá CRT trial. 2014

En particular, para los sistemas DPF instalados y medidos se pudo observar que comparando los valores obtenidos en la línea base en operación sin filtro de partículas con los obtenidos en operación con filtro, respecto de la contrapresión:

- se redujo en promedio el número de datos por debajo de los 50 mbar, de 94.4% a 73.7%,
- aumentaron los datos entre 51 mbar a 100 mbar de 3.5% sin filtro a 18.5% con filtro
- aumentaron los datos entre 101 mbar a 150 mbar de 1.8% a 5.6%.
- los datos sobre 200 mbar aumentaron de 0 a 0,41%.

De manera análoga el comportamiento de la temperatura de los gases de escape, se mantuvo muy similar al presentado en operación sin filtro de partículas. (Ver Figura 8– Distribución comparativa de la presión y temperatura de los gases de escape de los Sistemas DPF instalados y monitoreados)

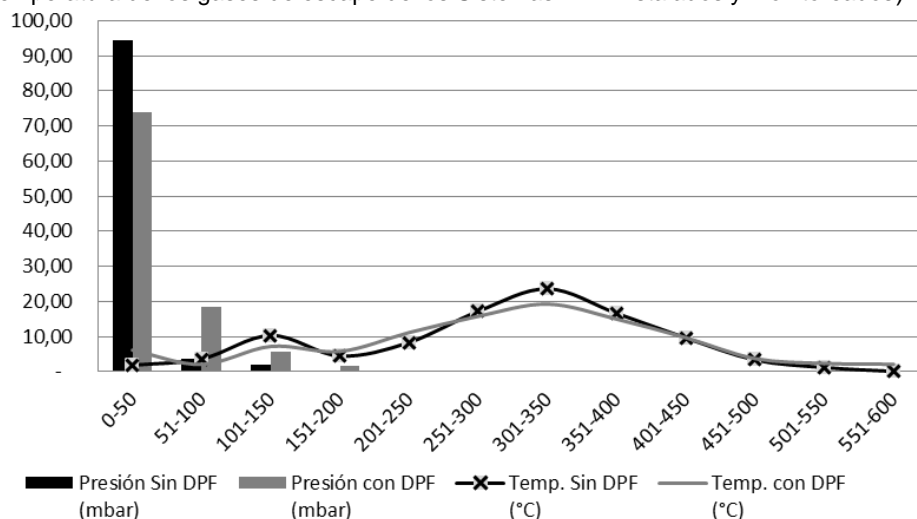


Figura 8– Distribución comparativa de la presión y temperatura de los gases de escape de los Sistemas DPF instalados y monitoreados

Fuente: Elaboración propia

Lo anterior permite concluir que pese a que si se presenta un aumento en la contrapresión de los gases de escape, ésta nunca debe superar los 200 mbar.

Respecto de las emisiones se han considerado los resultados relacionados con la emisión de partículas ultra-finas, ya habiendo documentado su importancia, sobre los niveles de opacidad. De este modo, y atendiendo a los análisis de las instalaciones realizadas se ha encontrado que:

- a) El uso de filtros de partículas ha generado una reducción promedio del coeficiente de extinción de luz del 96,9%, al pasar de un  $k$  de  $0.350 \text{ m}^{-1}$  sin filtro a un  $K$  de  $0.011 \text{ m}^{-1}$  con filtro de partículas.
- b) Se ha evidenciado una reducción promedio en la concentración de partículas ultra-finas a la salida del tubo de escape de un 99.55%, al pasar de una concentración de  $3.41 \times 10^7 \text{ NP/cm}^3$  sin filtro a una concentración de  $1.53 \times 10^5 \text{ NP/cm}^3$ .

### **Principales inconvenientes presentados en desarrollo del Piloto**

En general se han presentado los siguientes inconvenientes:

#### **i. Aumento en los tiempos para la evaluación de vehículos en prueba:**

Se requirió de la ampliación de los periodos de inspección y pruebas a los buses, dada la no disponibilidad de estos por parte del operador, en los tiempos establecidos para cada una de las etapas del proyecto: inspección de vehículos preseleccionados, revisión de vehículos seleccionados, mediciones en dinamómetro y ruta para el levantamiento de línea base.

#### **ii. Necesidad de verificación de información en tiempos adicionales a los programados:**

Fue necesario ajustar la información reportada por operadores y realizar visitas de inspección para toma de datos; se desarrollaron visitas de verificación y complemento de informaciones relacionadas al estado mecánico, consumo de aceite y de emisiones de los vehículos, dado que el reporte presentado por los operadores estuvo incompleto.

#### **iii. Vehículos seleccionados que presentaron eventos fortuitos:**

El articulado M071 sufrió una colisión frontal lo que obligó a cambiarlo por el articulado M028 y repetir las pruebas de línea base. Posteriormente, en 2014 uno de los vehículos (Z25-4062) de la muestra se accidentó en desarrollo de la operación normal del sistema, causando la inmovilización del mismo, lo que lo llevó a estar fuera del proceso de pruebas por cerca de dos meses con los equipos de seguimiento retenidos en los patios de tránsito. Finalmente el vehículo (Z80-4011) sufrió recalentamiento del motor antes del desarrollo de las pruebas, vehículo al que se le efectuó reparación completa del motor para poder realizar las mediciones correspondientes.

#### **iv. Disponibilidad local de equipos de monitoreo para la instrumentación de los vehículos para medición de las variables presión y temperatura de gases de escape, para establecimiento de línea base:**

Este proceso requirió de tiempo adicional dada la disponibilidad de las unidades de adquisición de datos a nivel local y su especificidad requeridos: transmisión de datos vía GSM para garantizar la confiabilidad de la información y permitir monitoreo remoto de los vehículos. Adicionalmente la disponibilidad de los vehículos del piloto para la instalación de los equipos condicionó también el desarrollo del cronograma.





ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
SECRETARÍA DE AMBIENTE

**v. Necesidad de reemplazo y/o mantenimiento exhaustivo de vehículos seleccionados por vehículos de la misma tecnología:**

Se realizó en marzo de 2014 reunión con asesores de la COSUDE, UNAL, TMSA y fabricantes de filtros participantes del proyecto, en la cual se presentaron resultados de los vehículos hasta dicho momento probados; como conclusiones del proceso se estableció la necesidad de reemplazar en las pruebas aquellos vehículos en mal estado mecánico y que en el monitoreo presentaron opacidades con valores de K superiores a 2 y/o efectuar ajustes de mantenimiento a dichos vehículos. Esto con el objeto de generar un escenario apropiado para la prueba de los filtros, es decir, que no se someta el filtro durante las pruebas a condiciones para las que no han sido fabricados. En el caso de vehículos reemplazados se requirió la instalación de las unidades de adquisición de datos a estos vehículos para el monitoreo.

**vi. Retiro de operadores**

Algunos de los operadores inicialmente vinculados al Piloto de Filtros decidieron no seguir participando del proyecto, lo que ha causado que algunos de los filtros disponibles para pruebas no se hayan podido instalar.

**vii. Defecto de oxígeno**

Tenemos un 25% menos de oxígeno a la altitud de Bogotá. Si los motores no son compensados para esta falta de aire, la combustión puede ser muy rica, la relación aire-combustible o factor *lambda* podría estar por debajo de 1.3, lo que hace que se genere una mayor cantidad de hollín en la combustión, es decir que existe poco oxígeno disponible para que se consuma el combustible, generando una combustión ineficiente y una mayor generación de emisiones, esto puede generar inconvenientes con sistemas de inyección de combustible mecánicos que no se ajusten a las pérdidas por altitud. Para estos casos se ha recomendado emplear sistema de regeneración activa.

**Lecciones Aprendidas**

A continuación se presenta un resumen de los aprendizajes logrados en desarrollo del proyecto piloto:

- No fue fácil obtener la flota de vehículos aptos a vincular en el proyecto piloto ya que los operadores no cuentan o no suministraron oportunamente la información técnica de los vehículos respecto de registros históricos de opacidad, consumo de aceite lubricante, consumo de combustible; esto hizo que los diagnósticos de flota se hicieran lentos y dispendiosos, se denota una deficiencia en la gestión del mantenimiento de las flotas que puede constituirse en una debilidad durante la implementación de los filtros de partículas.
- La disponibilidad de los buses fue una gran limitante para el adecuado desarrollo del proyecto. Los niveles de demanda del sistema, las necesidades de mantenimiento e incluso los accidentes de tránsito son factores que afectan la disponibilidad de los vehículos para la implementación de los sistemas DPF y para la realización de las pruebas. Se debe contemplar este factor como clave para el diseño en la gradualidad de la implementación de la política, en virtud de no afectar la disponibilidad de flota para el sistema.
- Se ha identificado riesgo deterioro y/o de daño a los equipos de monitoreo de gases de escape ó data-logger. Estos están expuestos a las rutinas de mantenimiento de los vehículos y el desconocimiento de su existencia por parte del personal de mantenimiento ha sometido los dispositivos a daño, retiro forzoso, corte de cables de alimentación, corte de sondas de medición, etc. Estos equipos son claves tanto para la correcta selección del sistema DPF como

en la operación del mismo, toda vez que dan cuenta de las condiciones de operación del vehículo, temperatura y contrapresión de los gases de escape, y generan las alertas de mantenimiento.

- La suscripción de un acuerdo entre operador del vehículo y el fabricante de filtro es necesario para establecer las reglas claras en el desarrollo del programa; sin embargo los tiempos requeridos por las partes para la revisión de los diferentes puntos del acuerdo condicionan la evolución y los tiempos de desarrollo del proyecto.
- El proceso de instalación de los filtros en el piloto evolucionó lentamente, ya que tanto los operadores como los representantes de los fabricantes participantes en el proyecto están surtiendo un proceso de aprendizaje. El desarrollo del proyecto piloto ha contribuido a desarrollar una transferencia de conocimiento inicial hacia representantes y operadores, por lo que es importante mantener el proceso de aprendizaje previa masificación de la medida.
- Se verificó que el uso de filtros de partículas en buses con motor Diésel en la ciudad de Bogotá puede reducir en un porcentaje superior al 95% las emisiones de material particulado, en especial las de material particulado ultra fino, material particulado menor a 1 micra. Lo cual hace imprescindible la implementación de la mayor cantidad de estos sistemas ya que estas emisiones son, por su reducido tamaño, las que más afectan a la salud de las personas por ingresar fácilmente a su torrente sanguíneo y generar afecciones cardíacas, accidentes cerebrovasculares y hasta cáncer.
- Los filtros de partículas operan adecuadamente en los vehículos en los que se dé cumplimiento a los compromisos operativos y se implementen adecuadas prácticas de mantenimiento, se logren las temperaturas adecuadas de gases de escape para la regeneración de las partículas retenidas y se emplee un aceite de bajo contenido de cenizas en el motor del vehículo. Este último factor, determinará la periodicidad del mantenimiento de los filtros.
- Es preciso mencionar que cada fabricante-proveedor de la tecnología desarrolla su método particular para preparar el montaje y su ejecución, sin embargo aquellos que realizaron simulacros previos a la instalación del filtro lograron eliminar algunas de las barreras presentadas, lo cual no descarta la posibilidad de tener imprevistos que se deben resolver en forma de estandarización de los procesos y procedimientos de instalación de cada distribuidor/fabricante de los filtros.

## **5 IMPLEMENTACIÓN DE LA MEDIDA 5B DEL PDDAB**

La implementación de los filtros de partículas en el SITP debe atender diversas necesidades, del sistema, de los operadores y sus buses, de la tecnología como tal, de sus fabricantes y distribuidores, pero debe sobre todo atender la imperiosa necesidad que tiene la ciudad de Bogotá de reducir los niveles de emisión y concentración del material particulado.

El Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá es la hoja de ruta para reducir las emisiones por fuentes fijas y móviles y se constituye en una herramienta cuya implementación contribuye a mejorar la calidad del aire que los bogotanos respiran y como tal se debe buscar promover la instalación de la mayor cantidad posible de filtros de partículas en los buses y busetas del sistema, como lo establece la medida 5B de su portafolio óptimo.

### **5.1 REQUERIMIENTOS MÍNIMOS PARA LOS SISTEMAS DPF**

Como se presentó en el capítulo de antecedentes, se puede observar que las principales autoridades ambientales en Europa y Estados Unidos han establecido requisitos mínimos de obligatorio cumplimiento para la autorización de filtros de partículas, esto con el objeto de permitir únicamente el uso de tecnologías que generen la mayor reducción posible de emisiones.

En este sentido la CA ARB, en su nivel tres de exige que los sistemas logren al menos una reducción del 85% en masa de material particulado. A su vez, el programa voluntarios de la EPA ha evaluado filtros con reducciones de masa de material particulado del 60 y 90%.

La FOEN, por su parte, teniendo en cuenta que la fracción sólida del material particulado de tamaño entre 20 a 300 nm son las de mayor afectación a la salud humana, requiere para aprobación de tecnologías de filtros de partículas, que los sistemas deben reducir un mínimo del 90% de la masa del material particulado y un 95% en el número de partículas ultra-finas.

Exigir sistema certificados internacionalmente permite garantizar que éstos tengan la eficiencia mínima de remoción que genere los mejores resultados en el proyecto, así lo documenta el Ministerio del Medio Ambiente del Gobierno de Chile y la COSUDE en su informe como se observa a continuación.

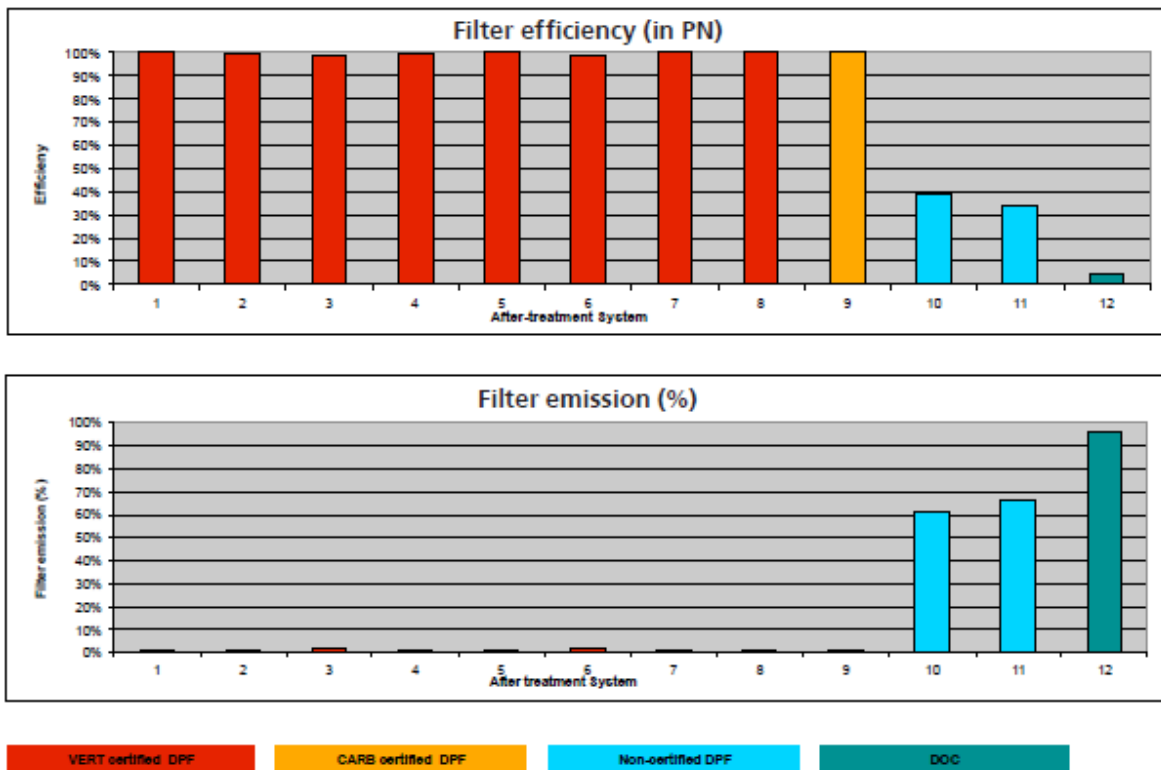


Figura 9 – Resultados de las mediciones en campaña.

Fuente: COSUDE. Caso Modelo para las ciudades de los países emergentes y exitosa historia de la cooperación suizo-chilena

Así se concluye la necesidad de exigir filtros de partículas con certificaciones internacionales que garanticen la eficiencia en la remoción de las partículas ultra-finas.

Del mismo modo, la eficiencia de remoción se establecerá a partir de la comparación de la concentración en número de partículas ultra-finas presentes en el tubo de escape antes de la entrada del filtro de partículas, con la concentración en número de partículas ultra-finas a la salida

del tubo de escape posterior a la salida del filtro de partículas, medida con el motor encendido y en marcha mínima o ralentí, y empleando la siguiente ecuación:

$$\text{Eficiencia (\%)} = \left[ \frac{(\text{CNPe} - \text{CNPs})}{\text{CNPe}} \right] \times 100$$

Dónde:

*CNPe* = Concentración en Número de Partículas a la entrada del filtro (NP/cm<sup>3</sup>)

*CNPs* = Concentración en Número de Partículas a la salida del filtro (NP/cm<sup>3</sup>)

## 5.2 GRADUALIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DE LA MEDIDA

La gradualidad de implementación de la medida hace referencia a los periodos en que se deberán instalar los Sistemas DPF en relación con la flota objeto de aplicación de la medida. Estos periodos obedecen a diferentes factores como a) suministro de los sistemas DPF-disponibilidad de los sistemas DPF en Bogotá, b) la disponibilidad de la flota para realizar las actividades de instalación sin afectar la calidad del servicio del sistema, c) la cantidad de Sistemas DPF a instalar por operador o flota objeto de *retrofit* y, para el componente zonal d) la necesidad primaria de culminar el proceso de implementación del sistema.

### 5.2.1 Suministro de los sistemas DPF-disponibilidad de los sistemas DPF

Una vez efectuada consulta a fabricantes de la tecnología de filtros de partículas, pudo establecerse que existe una capacidad mínima de fabricación de sistemas DPF del orden de 50.000 unidades al año. Esta producción atiende las necesidades de la industria automotriz con equipos OEM y los programas de *retrofit* que se adelantan alrededor del mundo. Actualmente se adelantan proyectos, además de Bogotá, en tres (3) ciudades chinas, en Teherán y Tel Aviv, y están preparando a Ciudad de México para integrarse al CALAC. Por lo anterior se ha manifestado una capacidad de ofrecer hasta 5.000 unidades de sistemas DPF para el suministro del mercado bogotano durante el año 2015.

De igual forma se manifiestan requerimientos en tiempos para el correcto suministro de los sistemas:



Tabla 5 – Cronograma sugerido por COSUDE

Actividad	Plazo	Unidad
✓ plazo de licitación por la empresa operadora de bus	1	mes
✓ plazo de evaluación de la ofertas, y adjudicación	0,5	mes
✓ plazo de posible objeción	0,5	mes
✓ selección del sistema apropiado por parte del re-acondicionador	1	mes
✓ producción de los DPFs para el pedido	1	mes
✓ transporte y trámites aduaneros	2	mes
✓ instalación de 300 DPFs ( Con 3 proveedores activos)	2,5	mes
Subtotal	8,5	meses

Fuente: COSUDE. Visita de la comisión suizo-chilena a Bogotá. 2014. Cooperación Suiza. 2014

Se observa que existen tiempos críticos para el proceso como los de transporte y trámites aduaneros, y otros que están asociados con la gestión propia de los operadores. Para estos últimos se contemplan dos meses de negociación-contratación que incluye la definición del proveedor-fabricante de filtros.

Adicionalmente la COSUDE sugiere que para llevar a cabo la instalación de los primeros 300 filtros en el marco de la ampliación controlada, se requerirían unos dos y medio (2,5) meses para completarlos, instalando un máximo de dos (2) filtros por día por cada fabricante durante 20 días al mes.

Debe establecerse que se requiere cumplir algunos pasos adicionales antes de disponer de los sistemas DPF en Bogotá, como los procesos de aprobación local de los filtros de partículas y los de negociación operadores/distribuidor. La Tabla 10 – Fechas estimadas para disponer de Sistemas DPF en Bogotá., muestra que el proceso de instalación podría iniciar a partir de julio de 2015.

## 5.2.2 Afectación a la operación del SITP

Dada la alta demanda del SITP en horas pico y la criticidad en términos de orden público de garantizar los niveles de servicio, se considera que los procesos de instalación de los sistemas DPF no deben afectar la disponibilidad de flota en horarios críticos; aspecto que fue analizado conjuntamente con las gerencias técnicas de BRT y Buses de Transmilenio S.A. Por lo tanto, considerando los tiempos estimados de instalación y la infraestructura requerida y disponible para realizar los procesos de instalación de los sistemas DPF se puede establecer la capacidad de instalación semanal, y por consiguiente, el tiempo requerido para la implementación total de la medida.

### 5.2.2.1 Infraestructura requerida en patio

En términos generales, y según lo manifestado por la Dirección Técnica de BRT de Transmilenio S.A, los operadores no cuentan con cárcamos suficientes para su gestión de mantenimiento, por lo que es de esperar que para los procesos de instalación de los sistemas DPF se facilite un (1) cárcamo para no afectar los tiempos en la ejecución de las rutinas de mantenimiento.

### 5.2.2.2 Tiempo máximo requerido para la instalación de un filtro

Para realizar la completa instalación de los filtros y sus dispositivos de recolección de información se requiere de 1 día completo de trabajo, o dos jornadas nocturnas, se sugiere que se realicen las actividades de instalación en jornadas nocturnas o los fines de semana.

Otro factor que se considera es la flota de reserva disponible para cubrir las contingencias del sistema. Como se expuso anteriormente y se evidenció en el desarrollo del piloto los operadores deben realizar las rutinas de mantenimiento y reparaciones por casos fortuitos lo que reduce al límite la disponibilidad de flota para las horas pico del sistema.

Por lo anterior puede establecerse que las instalaciones de los sistemas DPF encuentran oportunidad en los horarios nocturnos, un vehículo a la vez por operador y durante los fines de semana.

Respecto del componente zonal, son bien conocidas sus dificultades para completar la implementación, por lo que se considera relevante atender a la necesidad primaria de implementar el sistema y posteriormente empezar a realizar las acciones de gestión ambiental sobre la flota definitiva.

### 5.2.3 Capacidad de instalación

La capacidad de instalación se contempla en el escenario de haber surtido el proceso de aprendizaje por parte de los fabricantes/distribuidores en virtud de la continuidad del desarrollo de las pruebas en el marco del Piloto de Filtros de Partículas para Buses del SITP, así como de las demás pruebas necesarias para obtener la aprobación local de los sistemas DPF. Se contempla capacidad de instalación en virtud de la accesibilidad por parte del operador y la capacidad propia por parte del operador

#### 5.2.3.1 Operadores

Se puede establecer una capacidad de instalación por operador de la siguiente forma:

##### **Máximos disponibles**

Considerando que se realicen instalaciones en los turnos nocturnos de los 5 días hábiles de la semana, se podrían instalar como máximo dos (2) sistemas entre semana y tres (3) en fin de semana, como lo ilustra la Tabla 6 – Capacidad semanal de instalación por operador. Así las cosas, se podría desarrollar la capacidad de instalar cinco (5) sistemas DPF por operador por semana, y al mes unos veinte (20) sistemas DPF, como se presenta en la Tabla 7 – Capacidad de instalación mensual por operador.

*Tabla 6 – Capacidad semanal de instalación por operador*

Valores	Entre semana	Sábado	Domingo	Semanal
Mínimo	1	1	1	3
Máximo	2	1	2	5

Fuente: Elaboración propia

*Tabla 7 – Capacidad de instalación mensual por operador*

Valores	Cap. Semanal	Semanas/mes	Cap. Mensual
Mínimo	3	4	12
Máximo	5	4	20

Fuente: Elaboración propia

### Mínimos disponibles

Considerando que se realicen instalaciones en los turnos nocturnos de los 5 días hábiles de la semana, se podrían instalar como mínimo un (1) sistema entre semana y dos (2) en fin de semana, como lo ilustra la Tabla 6 – Capacidad semanal de instalación por operador. Así las cosas, se podría desarrollar la capacidad mínima de instalar tres (3) sistemas DPF por operador por semana, y al mes unos doce (12) sistemas DPF, como se presenta en la Tabla 7 – Capacidad de instalación mensual por operador

#### 5.2.3.2 Fabricantes/Distribuidores

El escenario para los fabricantes/distribuidores podrá variar de acuerdo con su propia capacidad comercial; en términos generales el fabricante deberá: gestionar su personal técnico para atender las necesidades de los operadores, lo que incluye la capacitación de los instaladores, así como la estandarización de procesos y el desarrollo de la capacidad de interpretación de datos y fallas para resolver las diversas circunstancias que se presenten.

Por otra parte atendiendo la recomendación de la COSUDE, un instalador debería estar en la capacidad de instalar dos (2) Sistemas DPF por día, con diferentes operadores, por lo que su capacidad instalada se puede calcular como se presenta en las tablas siguientes.

Tabla 8 - Capacidad semanal de instalación por distribuidor

Valores	Entre semana	Sábado	Domingo	Semanal
Mínimo	5	1	1	7
Máximo	10	2	2	14

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9 - Capacidad mensual de instalación por distribuidor

Valores	Proveedores	Cap. Semanal	Semanas/mes	Cap. Mensual
Mínimo	1	7	4	28
Máximo	1	14	4	56

Fuente: Elaboración propia

En virtud de no afectar la operación del sistema, ni exceder las capacidades de instalación de los distribuidores locales se deben proyectar cronogramas a partir de una capacidad máxima por operador de instalar veinte (20) Sistemas DPF por mes. En la Tabla 10 se establecen las fechas estimadas correspondientes.

Tabla 10 – Fechas estimadas para disponer de Sistemas DPF en Bogotá.

Actividad	Plazo	Unidad	Fecha
✓ plazo de licitación por la empresa operadora de bus	1	mes	31.01.2015
✓ plazo de evaluación de la ofertas, y adjudicación	0,5	mes	15.02.2015
✓ plazo de posible objeción	0,5	mes	28.02.2015
✓ selección del sistema apropiado por parte del re-acondicionador	1	mes	31.03.2015
✓ producción de los DPFs para el pedido	1	mes	30.04.2015
✓ transporte y trámites aduaneros	2	mes	30.06.2015

Fuente: COSUDE. Consolida SDA.

## 5.2.4 Flota existente en el SITP

Con el fin de desarrollar un análisis de la flota existente en el SITP, se contempló la siguiente información suministrada por Transmilenio S.A.

- Características de la flota troncal vinculada a septiembre 25 de 2014<sup>33</sup>.
- Características de la flota zonal vinculada a octubre 24 de 2014<sup>34</sup>.
- Kilometraje de flota troncal a corte agosto de 2014<sup>35</sup>.

Adicionalmente se considera la siguiente información relevante:

- Contratos Fases I y II prorrogados por 240.000 kilómetros.
- Contratos de alimentación en Fases I y II están próximos a terminar.

Con el fin de relacionar las condiciones de la flota y su influencia en la definición de los lineamientos técnicos para la implementación de la medida 5B del PDDAB se analizaron las características tecnológicas de los vehículos (estándares de emisión), así como su distribución por año modelo de fabricación, el kilometraje remanente y su potencial de reducción de emisiones con el DPF.

### 5.2.4.1 Distribución tecnológica

La Resolución 1304 de 2012, modificada por la Resolución 1223 de 2013, estableció en su Artículo 6to que los vehículos con motor ciclo Diesel del Sistema Integrado de Transporte Público y que han sido vinculados al sistema de transporte terrestre de pasajeros antes de la entrada en vigencia de las disposiciones referidas en el artículo 8 de la Resolución 2604 de 2009<sup>36</sup>, deberán instalar filtros de partículas, es decir aquellos vehículos cuyos motores no cumplen con los límites de emisión en prueba dinámica establecidos en dicho artículo. Estos límites hacen referencia a los estándares de emisión Euro IV y EPA 2007.

En este orden de ideas y con el fin de establecer la gradualidad de implementación de la medida con relación a la flota objeto, se hace necesario identificar aquella que no cumple con dicho estándar, estableciendo la base de análisis para identificar la flota objeto de *retrofit/reacondicionamiento*.

Se verificó la distribución de la flota según la tecnología o estándar de emisiones así:

Tabla 11 - Distribución tecnológica en el componente troncal

Tipología	EURO II	EURO III	EURO IV	EURO V	EURO V - ELECTRICO	Total general
Biarticulado			46	184		230
Articulado	706	419	203	51		1.379
Padrón Dual				31	24	55
Alimentador (80)	110	311	26	258		705
Alimentador (50)	72	6	9	12		99
<b>Total general</b>	<b>888</b>	<b>736</b>	<b>284</b>	<b>536</b>	<b>24</b>	<b>2.468</b>
<b>Participación</b>	<b>36%</b>	<b>30%</b>	<b>12%</b>	<b>22%</b>	<b>1%</b>	<b>100%</b>

Fuente: TMSA. 2014. Consolida SDA – SCAAV.

<sup>33</sup> TMSA. Base de datos vehículos BRT a Sep. 25 2014.

<sup>34</sup> TMSA. Flota zonal a Oct. 24 2014

<sup>35</sup> Kilometraje flota troncal Ago. 2014

<sup>36</sup> Emitida por el hoy Ministerio de Ambiente y desarrollo Sostenible



Los 1.624 buses de estándar de emisiones tipo Euro II y III son aproximadamente el 66% de la flota troncal, pero teniendo en cuenta que los contratos de los servicios de alimentación de las fases I y II están por finalizar, se puede establecer que a la fecha de revisión hay 1.125 buses articulados de estándar de emisiones tipo Euro II y III, que se consolidan como la flota base del análisis.

Para el componente zonal se realizó el mismo análisis, se aclara que para la fecha de análisis<sup>37</sup> se registraban 6.132 vehículos del componente zonal, es decir que aún no se considera el total de la flota usada del sistema, pues durante el proceso de implementación se vincularan más vehículos usados y las cifras actuales cambiarán.

*Tabla 12 - Distribución tecnológica en el componente zonal*

<i>Tipología</i>	<i>EURO II</i>	<i>EURO III</i>	<i>EURO IV</i>	<i>EURO V</i>	<i>Total general</i>
Buseta	451	1	394	140	986
Busetón	1.871	46	588	1.083	3.588
Microbús	704				704
Padrón			2	852	854
<b>Total general</b>	<b>3.026</b>	<b>47</b>	<b>984</b>	<b>2.075</b>	<b>6.132</b>
<i>Participación</i>	<i>49%</i>	<i>1%</i>	<i>16%</i>	<i>34%</i>	<i>100%</i>

Fuente: TMSA. 2014. Consolida SDA – SCAAV.

Los 3.073 buses de estándar de emisiones tipo Euro II y III corresponden con cerca del 50% de la flota zonal; sin embargo esta información no es concluyente respecto de la flota base del análisis, por lo que se requieren otros análisis, como los que se describen a continuación.

Se revisó la distribución por año modelo para cada componente, esto con el objeto de identificar la antigüedad de la flota. (Ver Tabla 13)

*Tabla 13 - Distribución por año modelo en busetones y busetas del componente zonal*

<i>Año Modelo</i>	<i>EURO II</i>	<i>EURO III</i>	<i>Total general</i>
2003	123		123
2004	348		348
2005	365		365
2006	157		157
2007	75		75
2008	274		274
2009	418		418
2010	444		444
2011	118	47	165
<b>Total general</b>	<b>2.322</b>	<b>47</b>	<b>2.369</b>

Fuente: TMSA. 2014. Consolida SDA – SCAAV.

Teniendo en cuenta las consideraciones realizadas en las reuniones de asignación de vehículos-fabricantes en el marco del Proyecto Piloto de Filtros de Partículas, respecto del estado técnico de los buses zonales, lo cual está directamente relacionado con la antigüedad del vehículo, se consideró con los diferentes actores del proyecto, COSUDE, SDA, UNAL y fabricantes de filtros, que los buses con año modelo menor a 2009 y los microbuses no deben ser objeto de *retrofit*/recondicionamiento dada su antigüedad y costos de mantenimiento.

<sup>37</sup> Octubre de 2014

Por lo anterior se establece como flota base de análisis los busetones y busetas de estándar de emisiones tipo Euro II y III con año modelo igual o superior a 2009, que de acuerdo con los datos analizados corresponden con alrededor de 1.027 vehículos.

#### 5.2.4.2 Vida útil remanente

El objeto de este análisis es evaluar la pertinencia de la implementación de la medida en diferentes buses respecto de su vida útil remanente con relación a la fecha de instalación y los beneficios ambientales con el reacondicionamiento. Así las cosas se evalúa la vida útil remanente a la fecha de recolectada la información<sup>38</sup>, kilometrajes para fases I y II y año modelo para zonales.

Se ha establecido que se podrá disponer del suministro de DPF a partir del mes de julio de 2015, por lo que se define la fecha inicial probable de instalación a partir de ese mes. Así el análisis se realiza contemplando que los primeros filtros sean instalados a partir de julio de 2015, por lo que se debe determinar la vida útil remanente esperada de los buses para esa fecha, con esta información se podrá cuantificar el potencial de emisiones evitadas con el uso del filtros durante la vida útil remanente de los buses.

#### Componente Troncal

Como es sabido públicamente los contratos de concesión para los operadores de las fases I y II de TM han sido prorrogados por 240.000 km adicionales al millón inicialmente contratado, de esta manera se determina que los vehículos podrán operar hasta completar 1.240.000 kilómetros cada uno o promedio flota por operador. La Tabla 14 – Kilometrajes remanentes en la flota troncal a Agosto de 2014 muestra la estimación promedio, mínima y máxima de los kilómetros remanentes de la flota de las fases I y II contado a partir del mes de agosto de 2014, fecha en que se documentó el kilometraje de cada vehículo.

Tabla 14 – Kilometrajes remanentes en la flota troncal a Agosto de 2014

Estándar	Promedio de KM REMANENTES	Mín. de KM REMANENTES	Máx. de KM REMANENTES
EURO II	279.142	161.664	569.721
EURO III	582.347	440.968	1.009.183
EURO IV	808.201	719.357	1.057.829
EURO V	1.073.242	778.938	1.177.174

Transmilenio S.A ha informado<sup>39</sup> que en promedio un bus articulado opera 7.437 km/mes; tomando un valor aproximado de 7.500 km/mes se puede establecer una aproximación al kilometraje remanente para la flota troncal con relación al mes probable de inicio de instalación de los filtros de partículas, es decir julio de 2015.

Tabla 15 – Estimado de kilometraje y meses remanentes a instalación estimada del sistema DPF.

Operador	Mín. de KM REMANENTE a INST.	Máx. de KM REMANENTE a INST.	Mín. de Meses remanentes	Máx. de Meses remanentes
Ciudad Móvil	83.533	715.789	11	95
Connexión Móvil	260.050	537.008	35	72
Express del Futuro	69.657	657.160	9	88
Metrobús	78.954	548.178	11	73
SI99	93.436	598.238	12	80
Somos K	285.745	475.221	38	63
Transmasivo	347.068	775.649	46	103

<sup>38</sup> Agosto de 2014

<sup>39</sup> TMSA. Dirección Técnica de BRT. Kilometraje promedio septiembre, octubre y noviembre de 2014.

Fuente: TMSA. Dirección Técnica de BRT. Consolida SDA.

En la Tabla 15 – Estimado de kilometraje y meses remanentes a instalación estimada del sistema DPF. **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se puede notar que existen importantes diferencias entre los operadores en los valores para los mínimos remanentes, esto está asociado con las fases de implementación del sistema, y es relevante en virtud del potencial de remoción de material particulado de cada bus durante el periodo de operación con filtro. A menor kilometraje remanente, menor es su potencial de remoción.

De acuerdo con los asesores de la COSUDE<sup>40</sup> y a través de estos la Asociación VERT, se ha establecido que se debe considerar un periodo de dieciocho (18) meses como el mínimo periodo de operación de un bus con DPF, dados los costos del DPF, de su operación y el valor tecnológico de los dispositivos que han sido diseñados para aprovechar su potencial, por lo que un periodo menor al sugerido, podría desaprovechar la potencialidad de la tecnología en relación con el costo de la implementación.

### Componente Zonal

Respecto del componente zonal se proyecta la vida útil remanente con y sin la habilitación de la cláusula de extensión de vida útil de 12 a 14 años, para lo cual en primer lugar se establecen los años que ha estado operando el vehículo desde su fabricación, y posteriormente se define los años que le quedan de operación según contrato.

La Tabla 16 – Años remanentes en la flota zonal a 2014 muestra la cantidad remanente de años de operación para los dos escenarios contractuales, donde se observa que los vehículos de año modelo igual o superior a 2009 tienen, en su escenario crítico, una vida útil remanente de 7 años como mínimo, lo que permite tener un espacio importante de tiempo para definir el periodo de gradualidad para este componente.

Tabla 16 – Años remanentes en la flota zonal a 2014

Año Modelo	Años en operación a 2014	Años restantes A 14 años	Años restantes A 12 años
2.003	11	3	1
2.004	10	4	2
2.005	9	5	3
2.006	8	6	4
2.007	7	7	5
2.008	6	8	6
2.009	5	9	7
2.010	4	10	8
2.011	3	11	9
2.012	2	12	10
2.013	1	13	11
2.014	-	14	12
2.015	N/A	N/A	N/A

Fuente: Información de TMSA. Consolida SDA.

<sup>40</sup> COSUDE. Visita de la delegación Suizo-Chilena a Bogotá. 2014  
43/64

## 5.2.5 Análisis de la relación costo-beneficio

### 5.2.5.1 Beneficio Ambiental –Potencial de reducción

El beneficio ambiental de la utilización de filtros de partículas está asociado a la reducción de las emisiones del material particulado grueso, fino y ultra fino que emiten los motores Diésel de los buses usados del SITP. Cada kilómetro que un bus recorre empleando un DPF significa una reducción de por lo menos el 90% de las emisiones de material particulado, ver numeral b del inciso iii) subcapítulo 4.2.4 página 31.

El potencial de reducción de emisiones está asociado al factor de emisión<sup>41</sup> de material particulado para cada tipología según su tecnología, así como a la cantidad de kilómetros que cada vehículo opere con el filtro instalado, entre más kilómetros de vida útil remanente tenga el vehículo, mayor será su potencial de reducción de emisiones. Para establecer el potencial de reducción se evaluó el total de la flota base de análisis con el supuesto de ser reacondicionada en julio de 2015.

Teniendo en cuenta la sugerencia de la COSUDE respecto del mínimo de vida útil remanente favorable para la operación de los filtros de partículas y la proyección del kilometraje medio recorrido para la flota troncal, en la Tabla 17 – Meses remanentes. Escenario de reacondicionamiento de la flota troncal a julio de 2015 se puede ver un primer análisis de la vida remanente para las flota base.

Se puede observar que alrededor del 62% de la flota base de análisis tendría en este escenario una vida útil remanente de operación con filtro de partículas igual o superior a los 18 meses.

Tabla 17 – Meses remanentes. Escenario de reacondicionamiento de la flota troncal a julio de 2015

Meses remanentes a julio de 2015	Articulado EURO II	Articulado EURO III	Total general
<18 meses	431		431
>=18 meses	275	418	693
<b>Total general</b>	<b>706</b>	<b>418</b>	<b>1124</b>

Fuente: Datos de TMSA. Consolida SDA.

Respecto de la flota zonal se presenta en la Tabla 18 – Años remanentes. Escenario de reacondicionamiento de la flota zonal en 2016, el escenario de vida útil remanente si se instalara el total de la flota en el año 2016, en virtud de la necesidad de priorizar para el año 2015 la finalización en el proceso de implementación del sistema.

Tabla 18 – Años remanentes. Escenario de reacondicionamiento de la flota zonal en 2016

Años remanentes a 2016	Buseta EURO II	Buseta EURO III	Busetón EURO II	Busetón EURO III	Total general
7 años.	159		257		416
8 años.	201		242		443
9 años.		1	117	46	164
<b>Total general</b>	<b>360</b>	<b>1</b>	<b>616</b>	<b>46</b>	<b>1.023</b>

Fuente: Datos de TMSA. Consolida SDA.

Finalmente la primera estimación con el escenario mencionado sugiere que si se reacondicionará el total de la flota base de análisis del componente troncal en julio de 2015 se obtendrían una reducción total de emisiones de PM durante la vida útil de los filtros de alrededor de 92 toneladas. Del mismo modo, para la flota base de análisis del componente zonal se podría obtener una

<sup>41</sup> Metodología COPERTIV en A. Reynoso 2014.

reducción total de emisiones de PM de alrededor de 47 toneladas si se lograra instalar la totalidad de esta flota en 2016.

### 5.2.5.2 Costos asociados

La implementación de filtros de partículas en Bogotá requiere del desarrollo de una cadena de suministro de productos y servicios. La idoneidad del personal que realizará el trabajo, las garantías y suministro de servicios de posventa, son factores relevantes que los distribuidores locales deberán tener en cuenta al momento de realizar sus ofertas comerciales a los operadores.

Para este análisis se contemplaron los costos asociados a i) el desarrollo de la tecnología, lo cual se relaciona directamente a la cantidad de individuos, vehículos, con las mismas necesidades para su reacondicionamiento, ii) la adquisición del sistema DPF instalado según el componente del sistema, troncal o zonal, iii) los costos de mantenimiento, mano de obra requerida para las rutinas de seguimiento y mantenimiento rutinario, así como los costos asociados al mantenimiento correctivo del filtro de partículas.

A modo de ilustración las tablas 19 y 20 muestran el costo promedio de cada kilómetro operado con el sistema DPF instalado, donde se observa que efectivamente los costos por kilómetro aumentan a medida que disminuye la vida útil remanente de operación con el Sistema DPF.

Tabla 19 – Costo promedio por kilómetro operado con DPF. Escenario Troncal Julio 2015.

Vehículo/Vida útil	Promedio de Costo (COP/km)
<b>Articulado EURO II</b>	<b>201</b>
<18 meses	260
>=18 meses	108
<b>Articulado EURO III</b>	<b>80</b>
>=18 meses	80
<b>Total general</b>	<b>156</b>

Fuente: Datos de TMSA. Consolida SDA.

Tabla 20 - Costo promedio por kilómetro operado con DPF. Escenario Zonal Julio 2015

Etiquetas de fila	Promedio de Costo (COP/km)
<b>Buseta EURO II</b>	<b>34</b>
7 años.	35
8 años.	32
<b>Buseta EURO III</b>	<b>31</b>
9 años.	31
<b>Busetón EURO II</b>	<b>47</b>
7 años.	50
8 años.	46
9 años.	43
<b>Busetón EURO III</b>	<b>43</b>
9 años.	43
<b>Total general</b>	<b>42</b>

Fuente: Datos de TMSA. Consolida SDA.

### 5.2.5.3 Relación costo-beneficio

Para establecer la relación de costo beneficio se aplica la siguiente ecuación:

$$\frac{(K_{dis} + K_{inv} + K_{man})}{(Km_{dpf} * FE * FR * K_{ton PM})} \leq 1$$

Dónde:

$K_{dis}$	=	Costos de diseño del Sistema DPF (COP)
$K_{inv}$	=	Costos de inversión (COP)
$K_{man}$	=	Costos de mantenimiento por la vida útil del Sistema DPF (COP)
$Km_{dpf}$	=	Kilómetros remanentes con uso del Sistema DPF (Km)
$FE$	=	Factor de Emisión por tipología y tecnología (ton/Km)
$FR$	=	Factor de reducción de emisiones por uso de DPF (Adimensional)
$K_{tonPM}$	=	Costos de atención en salud evitados por tonelada de PM reducida (COP/ton) <sup>42</sup>

Si la ecuación resuelta para cada vehículo arroja un valor igual o menor a uno (1) sugiere que los beneficios obtenidos, por la implementación y operación del Sistema DPF en el bus analizado, son mayores que los costos asociados a la instalación y operación del mismo.

Así, la flota que no presenta una relación favorable en términos de costo-beneficio, es aquella que en ningún otro escenario será favorable su reacondicionamiento y sugiere que los vehículos que hacen parte de dicha flota sean descartados del proceso y se desarrollen otras acciones para la reducción de sus emisiones.

Para establecer los beneficios finales generados por la implementación de la medida se debe recalculer las fechas de instalación para cada bus de acuerdo con el cronograma y metas establecidas. Así, si en principio se analizó el impacto en emisiones al realizar la instalación del total de sistemas en julio de 2015 para el componente troncal y en 2016 para el zonal, ya se puede precisar el ejercicio definiendo fechas específicas para la flota objeto de *Retrofit*. Es de esperar que los beneficios se reduzcan dado que solamente los primeros lotes de filtros serán instalados en julio de 2015, y a los demás vehículos con posterioridad a esta fecha, por lo que se debe recalculer la relación costo/ beneficio y los potenciales de reducción de emisiones.

### 5.2.6 Flota objeto de *retrofit* –componente troncal

La flota objeto de *retrofit* corresponde con aproximadamente cerca del 62% de la flota base de análisis. Para definir la flota objeto de *retrofit* se realizó el siguiente procedimiento.

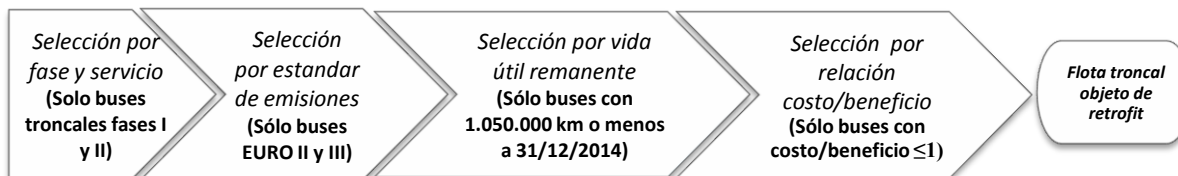


Figura 10 – Procedimiento de definición de la flota objeto de *retrofit* para el componente troncal

Es importante considerar que pese a que los buses alimentadores de las fases I y II del sistema no se contemplaron en este ejercicio pues sus contratos de concesión vencen en su mayoría en 2015, se debe establecer que aquellos buses de ese componente y servicio, que aun cuando sus contratos iniciales hayan vencido y continúen operando en otra empresa operadora, deberán instalar Sistemas DPF y ser considerados dentro de la flota objeto de *retrofit*.

<sup>42</sup> Fuente PDDAB. Consolida F. Quevedo. SDA 2014.

Se ha establecido un límite de 1.050.000 km o menos a diciembre 31 de 2014 partiendo de las estimaciones realizadas respecto del kilometraje que recorren los buses y proyectando hacia atrás los kilometrajes de los buses que han sido designados como parte de la flota objeto de *retrofit*.

### 5.2.7 Flota objeto de retrofit –componente zonal

La flota objeto de *retrofit* corresponde con cerca del 99% de la flota base de análisis. Para el componente zonal se aplicó el siguiente procedimiento.

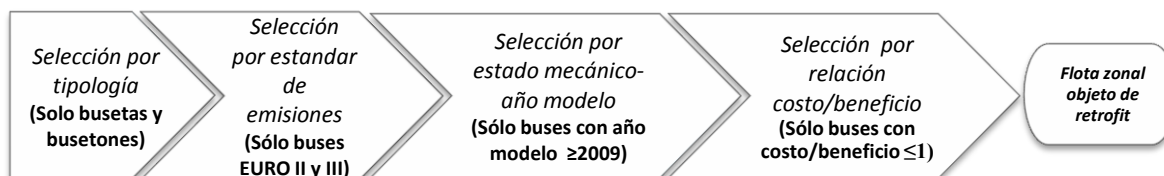


Figura 11 - Procedimiento de definición de la flota objeto de *retrofit* para el componente zonal

Finalmente se propone un esquema de gradualidad atendiendo los anteriores criterios definidos y con las salvedades pertinentes a las posibles variaciones de los escenarios en la práctica. La Tabla 21 - Porcentajes acumulados de flota a instalar DPF por plazos. muestra los porcentajes acumulados de la flota objeto de *retrofit* que debe tener instalada cada operador, según el tamaño de su flota objeto de *retrofit* y los plazos definidos.

Tabla 21 - Porcentajes acumulados de flota a instalar DPF por plazos.

Tamaño de la flota objeto de retrofit. (Cantidad de vehículos)	Componente	Plazos						
		30-sep-15	31-dic-15	31-mar-16	30-jun-16	30-sep-16	31-dic-16	31-mar-17
≤90	Troncal	100%						
	Zonal		15%	36%	100%			
Entre 91 y 180	Troncal	40%	80%	100%				
	Zonal		6%	16%	50%	85%	100%	
>180	Troncal	28%	56%	84%	100%			
	Zonal		3%	8%	30%	53%	75%	100%

Fuente: Elaboración propia

Como se ilustra anteriormente, pese que el primer plazo vence el 30 de septiembre de 2015, es preciso que se dé inicio a las actividades previas como el alistamiento de la flota, la gestión de los sistemas y las pruebas pertinentes para adaptar la tecnología a su flota. Por lo que se considera necesario que para el mes de febrero de 2015 los operadores deberán reportar a la SDA la relación del total de flota donde se de cuenta de los kilometrajes recorridos por cada vehículo a corte diciembre 31 de 2014, así como las demás características técnicas que permitan identificar el vehículo.

### 5.2.8 Requerimientos mínimos de mantenimiento

Atendiendo a los resultados obtenidos en la etapa de selección de la flota para el Piloto de Filtros y a los resultados de las reuniones de asignación, página 25, así como las recomendaciones generadas por la Universidad Nacional de Colombia respecto de las “*Principales factores que inciden en una buena operación e implementación de un DPF*”, se puede establecer que es fundamental que los vehículos de la flota objeto de *retrofit*, así como los demás vehículos del

sistema que no se instalen, deben permanecer en condiciones óptimas de operación, como adicionalmente lo indican las obligaciones contractuales<sup>43</sup> de los operadores.

Para efectos de la gradualidad de la implementación de la medida 5B, es importante que los operadores del sistema contemplen las necesidades de tiempo para realizar los ajustes al estado técnico y mecánico de su flota, en particular atendiendo a los niveles óptimos de opacidad, (coeficiente de extinción de luz  $k \leq 1$ ), y uso y consumo adecuado de aceite, (uso de un aceite de bajo contenido de cenizas y consumo de aceite para motor según lo referenciado por los manuales y especificaciones de los fabricantes de los motores). Y lo que implica poder controlar estos dos factores en cuanto al estado técnico de los motores y su ajuste, así como el de su sistema de inyección de combustible.

Así las cosas, el desarrollo de la implementación de la medida debe contemplar la puesta a punto del total de la flota del sistema: específicamente la flota objeto de *retrofit*, así como los buses que no instalarán sistema DPF.

Estas rutinas de mantenimiento deberán realizarse paralelo a las etapas previas o de preparación a la implementación de la medida, ya sea como ampliación controlada con los siguientes 300 buses, es decir antes de julio de 2015.

## 6 BENEFICIOS DEL PROGRAMA

Los beneficios presupuestados para el proyecto se definen teniendo en cuenta la fecha de instalación de cada uno de los Sistemas DPF de la flota objeto de Retrofit, y los años o kilometraje remanente de operación con el sistema instalado, así, el análisis arrojó unos beneficios calculados como se presentan a continuación.

*Cuadro 3 – Beneficios anuales del BDPF*

<i>Reducción Emisiones (Ton PM/Año)</i>	<i>Costos Evitados (MCOP/Año)</i>
23,54 +/- 3,04	18.000 +/- 2.323

Fuente: Elaboración propia

Los beneficios anuales se calculan como una ponderación de los beneficios anuales de cada vehículo, pese a que cada uno tenga un periodo de operación con DPF diferente, pero sirve como un indicador para contextualizar el efecto de la medida. Hoy el SITP, con sus componentes troncal y zonal, está emitiendo alrededor de 77 ton/año de material particulado.

*Cuadro 4 – Beneficios totales del BDPF*

<i>Emisiones Evitadas (Ton PM)</i>	<i>Costos Evitados (MCOP)</i>
120,56 +/- 15,56	92.192 +/- 11.896

Fuente: Elaboración propia

La incertidumbre de los valores asocia la incertidumbre del kilometraje recorrido mensualmente por un bus del sistema.

<sup>43</sup> TMSA. Cláusulas de los contratos de concesión. SITP Cláusula 17, Fase I cláusula 35 y fase II cláusula 83.





## 7 SEGUIMIENTO Y CONTROL

### 7.1 EFICIENCIA DE LOS FILTROS

Con el objeto de aportar en el cumplimiento de las metas de reducción establecidas en el Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá, y en particular con el objeto de lograr una reducción significativa de las emisiones de material particulado ultra-fino, que por su tamaño es el que mayor impacto genera en la salud humana, y en virtud de las reducciones obtenidas en el marco del Piloto de Filtros de Partículas, se debe exigir que los filtros de partículas que se implementen en virtud del cumplimiento del BDPF deban presentar un valor mínimo de remoción de material particulado del 97%.

Este valor se calcula comparando la concentración en número de partículas por centímetro cúbico antes de la entrada del filtro con el valor de la concentración en número de partículas por centímetro cúbico a la salida del tubo de escape, con el motor encendido y en estado de ralentí o marcha mínima.

Estas mediciones deben realizarse en el marco de las pruebas locales, que buscan que los fabricantes/representantes locales de los filtros desarrollen el conocimiento práctico sobre las condiciones técnicas y de operación del sistema de transporte bogotano. Así, y de acuerdo con las lecciones aprendidas en el marco de ejecución del piloto de filtros se considera que es fundamental que los fabricantes de filtros desarrollen pruebas de adaptación de la tecnología al SITP, en las que evalúen el desempeño de sus sistemas, así como el impacto en la operación de los mismos, revisando los parámetros fundamentales de seguimiento como son la presión y temperatura de los gases de escape del motor, así como los niveles de opacidad y eficiencia en la remoción de materia particulado ultra-fino.

### 7.2 NIVELES DE EMISIÓN

Los vehículos que usan filtro de partículas experimentan una reducción considerable del nivel de opacidad, y en el coeficiente de extinción de luz; en las mediciones realizadas en Bogotá se han encontrado niveles promedio del coeficiente de extinción de luz ( $k$ ) de  $0.011 \text{ m}^{-1}$ , estableciendo reducciones del orden del 96.9%

Por su parte, al efectuar revisión de la experiencia internacional se encuentra que en Suiza, en Chile los valores límite asumidos para el coeficiente de extinción de luz ( $k$ ) corresponden con  $0.24 \text{ m}^{-1}$ <sup>44</sup>, valor que ha sido asumido como referencia en el programa de Retrofit de Santiago de Chile.

Así atendiendo a que los valores registrados en la ciudad de Bogotá son más bajos que los requeridos en el ámbito internacional y a que se trata de un programa con implementación gradual, se considera que un nivel de extinción de luz con el cual debe empezar el Programa de Filtro de Partículas para esta ciudad es de  $0.24 \text{ m}^{-1}$ .

<sup>44</sup> COSUDE. Límite de la Oficina Federal para el Medio Ambiente de Suiza. Misión suiza en Bogotá. 2014.



ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
SECRETARÍA DE AMBIENTE

## **8 CONCEPTO TÉCNICO. RECOMENDACIONES PARA LA MODIFICACIÓN DE LA RESOLUCIÓN 1304 DE 2012 Y REGLAMENTACIÓN DEL ARTÍCULO 1 DE LA RESOLUCIÓN 1223 DE 2013 QUE MODIFICA EL ARTÍCULO 6º DE LA RESOLUCIÓN 1304 DE 2012**

El objetivo del Programa de Filtros de Partículas Diésel para Bogotá es alcanzar el 97% de remoción de partículas sólidas ultra-finas y la remoción del 85% en masa de material particulado emitidas por los motores diésel de los buses y busetas del SITP que instales filtro de partículas diésel.

Desde el punto de vista técnico y atendiendo al análisis presentado con anterioridad se recomienda adoptar el Programa de Filtros de Partículas Diesel para Bogotá con el objetivo anteriormente indicado y compuesto por el esquema de aprobación local y lineamientos técnicos para la implementación de la medida 5B del Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá que a continuación se describen:

### **8.1 ESQUEMA DE APROBACIÓN LOCAL**

#### **8.1.1 Ámbito de aplicación**

Atendiendo al análisis realizado en los numerales 4.2.2.2, 5.1 y 7.1 del presente documento, el presente esquema de aprobación local orienta las acciones que deben realizar fundamentalmente al fabricante, al distribuidor ó representante local de los sistemas DPF que deseen obtener la aprobación local para la implementación de filtros de Partículas en el marco de la implementación del BDPF.

#### **8.1.2 Aprobación local de los filtros de partículas**

Tal como se ha documentado no todas las tecnologías existentes para el pos-tratamiento de las emisiones de escape de motores ciclo diésel son eficientes y efectivas, por lo que se hace necesario propender por el uso de filtros de partículas diésel, como las mejores tecnologías disponibles, en cumplimiento de requisitos mínimos que permitan la remoción de emisiones de material particulado, en masa y en número de partículas.

Por lo cual, es requisito para la implementación de la medida, descrita en el Decreto 098 de 2011, la aprobación local de las tecnologías a instalar en los vehículos con motor ciclo diésel.

En este orden de ideas, todo vehículo con motor ciclo diésel objeto de reacondicionamiento (*retrofit*) con DPF, debe hacer uso de sistemas de pos-tratamiento de emisiones reconocidos y aprobados por la Secretaría Distrital de Ambiente, que serán publicados por la entidad en un listado de filtros de partículas diésel: *Lista de Tecnologías Verificadas para la implementación del Programa de Filtros de Partículas Diésel de Bogotá de la SDA (Lista BDPF-SDA)*, cuyos requisitos para su aprobación se describen a continuación:

##### **8.1.2.1 Requisitos para la aprobación local**

###### ***Solicitud escrita de la aprobación local***

El interesado deberá realizar solicitud escrita de aprobación local del(los) sistema(s) DPF(s) ante la Secretaría Distrital de Ambiente mediante Anexo 1 y adjuntando la siguiente documentación:

**a) Antecedentes técnicos y descriptivos del sistema DPF**

El interesado debe presentar los antecedentes técnicos y descriptivos del sistema de post-tratamiento de emisiones, sistema DPF, que acrediten que:

- El sistema cuenta con certificación internacional soportada en las condiciones normalizadas de medición, reconocido por la Agencia de Protección Ambiental del Estado de California de los Estados Unidos -CA ARB, ó por la Oficina Federal para el Ambiente –FOEN de la Confederación Suiza
- El sistema se encuentra en alguno de los listados referidos a continuación:
  - El listado de sistemas ensayados y aprobados que publica la Oficina Federal para el Ambiente –FOEN de la Confederación Suiza, por sus siglas en inglés; ó
  - Lista de verificación de la agencia de aire limpio CA ARB (CARB's Verified List) nivel 3.

Adicionalmente debe presentar la siguiente información:

- Informe técnico de la certificación del filtro.
- Identificación física del filtro indicando: marca, modelo, código o número de serie de identificación, fabricante, país de origen, diagrama descriptivo del filtro, dimensiones, principio de funcionamiento (medio filtrante, método de regeneración).
- Descripción de la garantía del sistema de post tratamiento de emisiones, la cual en el momento de desarrollar la transacción con el operador/comprador debe extenderse hasta por dos años de operación del filtro.
- Información de consumo de combustible con el uso del sistema de post tratamiento estableciendo la variación del consumo de combustible en porcentaje (%) y en unidad de eficiencia (gal/km)
- Temperatura de regeneración del filtro y condiciones de temperatura requerida para los gases de escape
- Procedimiento de instalación y desinstalación del sistema de post tratamiento
- Programa y requisitos de mantenimiento y limpieza del DPF
- Lineamientos e información para el manejo de residuos generados en el proceso de mantenimiento del filtro
- Especificaciones técnicas, manejo y suministro de aditivos, si corresponde
- Manual de operación y mantenimiento para el usuario en idioma español
- Procedimiento de instalación, desinstalación y requisitos de mantenimiento y limpieza del sistema DPF
- Especificaciones requeridas del lubricante del motor del vehículo
- Tasa máxima de consumo de aceite de lubricante del motor
- Rango admisible de contrapresión
- Requerimientos de calidad o composición del combustible, incluyendo el azufre si procede.

**b) Especificaciones del sistema de monitoreo y alarma por contrapresión y temperatura de los gases de escape**

- Debe indicar:
  - Identificación física del dispositivo informando: marca, modelo, código o número de serie de identificación, fabricante, país de origen
  - Intervalo de medición
  - Tipo de sensores y ubicación
  - Tiempo de almacenamiento de datos

- Forma de entrega de datos
- Software requerido
- Diagrama de instalación del dispositivo
- Descripción del funcionamiento del sistema de monitoreo y alarma por contrapresión y temperatura de los gases de escape, instrucciones de lectura y operación del monitor de contrapresión y diagrama de instalación

Permitir el acceso de la autoridad ambiental a los datos para efectos de seguimiento y control.

**c) Información del fabricante del filtro de partículas y del representante local:**

El interesado en obtener la aprobación local del sistema DPF deberá contar con un socio local que haga las veces de representante local y responsable por entregar el servicio técnico, el cual deberá adjuntar a su solicitud la siguiente documentación:

- Información de la actividad económica y experiencia del fabricante relacionada con los sistemas de post-tratamiento de gases de escape.
- Respecto del representante local: Contrato de representación firmado por las partes (fabricante-representante local), información de la actividad económica y experiencia del representante local relacionada con los sistemas de post tratamiento de gases de escape y/o sector transporte, descripción de la infraestructura de soporte técnico (personal, equipos, instalaciones) para la instalación de sistemas de post –tratamiento de gases de escape.
- Información de contacto para componentes de reposición, mantenimiento, limpieza e instalación del sistema de post tratamiento
- Formato de información del fabricante y representante local (Ver Anexo 1), completamente diligenciado.

**Certificación oficial de los sistemas DPF, y evaluación**

Atendiendo a que en el ámbito internacional se han desarrollado esquemas de certificación y aprobación, y que tanto la CA ARB como la FOEN son entidades del orden gubernamental que han definido requisitos mínimos para la certificación de sistemas de control de emisiones a instalar en vehículos con motor ciclo diésel, el interesado deberá presentar una de estas dos certificaciones para revisión por parte de la Secretaría Distrital de Ambiente.

**Desarrollo de pruebas al sistema DPF objeto de aprobación local**

- El interesado deberá desarrollar un programa de pruebas en la ciudad de Bogotá, el cual contempla los siguientes aspectos:

El interesado podrá desarrollar las pruebas en un bus con motor ciclo diésel que represente la tipología, marca y estándar de emisiones de los vehículos que hacen parte del SITP

El interesado deberá instalar un dispositivo electrónico de monitoreo de temperatura y contrapresión de gases de escape (Data logger) que cumpla con los requisitos establecidos para la certificación internacional de la FOEN o CA ARB nivel 3.

Una vez instalado el sistema o reacondicionado el bus se realizará una medición de la eficiencia en la remoción de material particulado medida en número de partículas ultra-finas, comparando el promedio de la concentración de estas en el tubo de escape antes de la entrada del Filtro con el promedio de la concentración de las mismas a la salida del tubo de escape, en una prueba de en ralentí o marcha mínima.

Una vez transcurridas seis (6) semanas a partir de la fecha en que se realizó la primera medición de eficiencia, se realizará una segunda medición bajo las mismas condiciones.

El interesado deberá presentar por escrito a la Secretaría Distrital de Ambiente, en un plazo mínimo de 3 días hábiles, antes de iniciar las pruebas, el programa de pruebas en el que presente la ficha técnica del vehículo con el cual se desarrollarán las pruebas, la fecha de inicio de operación del vehículo con el filtro instalado y la fecha de finalización de las pruebas. En cualquier momento la Secretaría Distrital de Ambiente citará el vehículo para el desarrollo de las mediciones de eficiencia de filtración. El interesado debe asegurar en todo momento para la Secretaría Distrital de Ambiente el acceso a los datos de monitoreo de contrapresión y temperatura.

### **8.1.2.2 Evaluación para la Aprobación Local**

La evaluación para otorgar o no la Aprobación Local la realizará la Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual de la Secretaría Distrital de Ambiente, con base en la documentación presentada por el interesado bajo, las condiciones definidas más adelante.

Respecto de las pruebas al sistema DPF la SDA evaluará la información del pre-data logging, prueba de eficiencia inicial y prueba de eficiencia final respecto de los siguientes parámetros:

- a) Durante la operación con el Filtro de Partículas instalado la contrapresión medida con el Data Logger antes del filtro deberá estar el 90% del tiempo operativo por debajo de los doscientos milibares (200 mbar).
- b) La eficiencia en la remoción de material particulado medido en número de partículas ultrafinas deberá ser igual o superior al 97% y mantenerse entre la primera y segunda medición de eficiencia.

### **8.1.2.3 Descripción de la aprobación local de sistemas DPF**

La aprobación local se otorga al interesado que ha cumplido satisfactoriamente con los requisitos definidos para dicho efecto por la SDA en los numerales 8.1.2.1 y 8.1.2.2 del presente documento técnico de soporte, conforme la revisión de los antecedentes y documentación presentada por el interesado y el cumplimiento de los requisitos de evaluación respecto de los resultados de los monitoreos de eficiencia de filtración del DPF y contrapresión de los gases de escape.

Se otorgará Aprobación Local y se publicará en la *Lista de Tecnologías Verificadas para la implementación del Programa de Filtros de Partículas Diésel de Bogotá de la SDA (Lista BDPF-SDA)*, cada tecnología de tratamiento de gases de escape que presente cada interesado, dando cuenta de las referencias o modelos de cada tecnología que el interesado somete a aprobación local.

Será publicada la referencia del sistema DPF que ha sido verificado y que cumple el lleno de los requisitos, en la *Lista de Tecnologías Verificadas para la implementación del Programa de Filtros de Partículas Diésel de Bogotá de la SDA (Lista BDPF-SDA)*,

La aprobación local del sistema DPF sólo es válida mientras el sistema de post tratamiento no cambie sus especificaciones, ni características en relación con las que fueron presentadas con motivo de la aprobación local respectiva, cualquier modificación debe especificarse e informarse a la Secretaría Distrital de Ambiente con el fin de evaluar la necesidad de un nuevo proceso de aprobación local.

### **Participantes en el Piloto de Filtros de Partículas para Buses del SITP**

Aquellos fabricantes de filtros de partículas/representantes locales que participaron o participan en el *Piloto de Filtros de Partículas para Buses del SITP*, y cuyos resultados de eficiencia en la remoción de material particulado y el comportamiento de la presión de gases de escape cumplan

los requisitos establecidos en el numeral 8.1.2.2 del presente documento. Interesados en lograr la aprobación local deberán realizar la solicitud por escrito de acuerdo con los lineamientos referidos en el numeral 8.1.2.1 para revisión por parte de la Secretaría Distrital de Ambiente y dar continuidad en el proceso de aprobación local.

## **8.2 LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA MEDIDA 5B DEL PDDAB**

A continuación se hacen las recomendaciones respecto de cuales vehículos deberían instalar los filtros de partículas, así como los periodos que deben atender para realizarlo, los pasos a seguir para dar cumplimiento al Programa, así como los parámetros de seguimiento y control al mismo.

### **8.2.1 Ámbito de aplicación**

Atendiendo al análisis realizado en el presente documento, los lineamientos técnicos que a continuación se establecen se dirigen a:

Los operadores del SITP, en sus componentes troncal y zonal, deberán instalar Filtros de Partículas Diésel a:

1. Buses cuyos motores no cumplan con los límites de emisión en prueba dinámica exigidos en la Resolución 2604 de 2009 de los ministerios de Minas y Energía, de la Protección Social así como el actual Ministerio de Ambiente, y Desarrollo Sostenible.
2. Todos los buses del componente troncal que cumplan con lo establecido en el numeral 1 del presente subtítulo y que al 31 de diciembre de 2014 hayan recorrido un millón cincuenta mil (1.050.000) kilómetros o menos.
3. Todos los buses del componente zonal que cumplan con lo establecido en el numeral 1 del presente subtítulo y que sean de año modelo igual o superior a 2009.

Se exceptúa del cumplimiento del presente programa a los vehículos categorizados como tipología microbús.

Para los buses que no son del ámbito de aplicación de la medida, la SDA implementará los planes de vigilancia y control que especifique para estos.

A partir del 1 de febrero de 2015 los buses que no sean objeto de reacondicionamiento (Retrofit) deberán portar los últimos seis (6) reportes de mediciones de opacidad realizadas por el operador en el marco del cumplimiento del Programa de Autorregulación Ambiental, donde se pueda observar el comportamiento histórico de la opacidad del vehículo.

Para los buses que han prestado el servicio de alimentador en las Fases I y II del sistema, y que pese a que sus contratos iniciales de concesión se hayan terminado, sigan operando en el sistema en cualquiera de sus componentes y tipos de servicio, deberán instalar Sistemas DPF y ser vinculados a la Flota Objeto de Retrofit de operador responsable de estos.

### **8.2.2 Gradualidad**

Atendiendo a los requerimientos de servicio del sistema, la capacidad y experiencia de los distribuidores de filtros o representantes locales, y con el ánimo de establecer un esquema gradual que continúe en una ampliación controlada de la implementación del Programa de Filtros de Partículas Diesel para Bogotá se recomienda su implementación atendiendo a los siguientes plazos de acuerdo con los componentes del SITP:



### 8.2.2.1 Componente troncal.

Para el componente troncal cada operador debe establecer el tamaño de la flota objeto de reacondicionamiento (*retrofit*) con DPF, es decir cuántos buses han recorrido un millón cincuenta mil (1.050.000) kilómetros o menos al 31 de diciembre de 2014, con base en este análisis se establecen las siguientes condiciones de cumplimiento:

1. Para las flotas objeto de reacondicionamiento (*retrofit*) con DPF, menores a 90 vehículos, se deberá realizar las acciones correspondientes para tener a 30 de septiembre de 2015 el 100% de esta flota con los filtros instalados y operando.
2. Para las flotas objeto de reacondicionamiento (*retrofit*) con DPF entre 91 y 180 vehículos se deberán realizar las acciones correspondientes para tener, de acuerdo con los siguientes plazos y en los siguientes porcentajes, los vehículos con los filtros instalados y operando:
  - a. Al 30 de septiembre de 2015 tener el 40% de su flota objeto de reacondicionamiento instalada y operando.
  - b. Al 31 de diciembre de 2015 tener el 80% de su flota objeto de reacondicionamiento instalada y operando.
  - c. Al 31 de marzo de 2016 tener el 100% de su flota objeto de reacondicionamiento instalada y operando.
3. Para las flotas objeto de reacondicionamiento (*retrofit*) con DPF con más de 180 vehículos se deberán realizar las acciones correspondientes para tener, de acuerdo con los siguientes plazos y en los siguientes porcentajes, los vehículos con los filtros instalados y operando:
  - a. Al 30 de septiembre de 2015 tener el 28% de su flota objeto de reacondicionamiento instalada y operando.
  - b. Al 31 de diciembre de 2015 tener el 56% de su flota objeto de reacondicionamiento instalada y operando.
  - c. Al 31 de marzo de 2016 tener el 84% de su flota objeto de reacondicionamiento instalada y operando.
  - d. Al 30 de junio de 2016 tener el 100% de su flota objeto de reacondicionamiento instalada y operando.

### 8.2.2.2 Componente zonal:

Para el componente zonal cada operador debe establecer el tamaño de la flota objeto de reacondicionamiento (*retrofit*) con DPF, es decir cuántos buses desde año modelo 2009 hacia adelante no cumplen con límites de emisión en prueba dinámica exigidos en la Resolución 2604 de 2009. Con base en lo anterior:

1. Para las flotas objeto de reacondicionamiento (*retrofit*) con DPF menores a 90 vehículos deberán realizar las acciones correspondientes para tener, de acuerdo con los siguientes plazos y en los siguientes porcentajes, los vehículos con los filtros instalados y operando:
  - a. Al 31 de diciembre de 2015 tener el 15% de su flota objeto de reacondicionamiento instalada y operando.
  - b. Al 31 de marzo de 2016 tener el 36% de su flota objeto de reacondicionamiento instalada y operando.
  - c. Al 30 de junio de 2016 tener el 100% de su flota objeto de reacondicionamiento instalada y operando.
2. Para las flotas objeto de reacondicionamiento (*retrofit*) con DPF entre 91 y 180 vehículos deberán realizar las acciones correspondientes para tener, de acuerdo con los siguientes plazos y en los siguientes porcentajes, los vehículos con los filtros instalados y operando:



ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
SECRETARÍA DE AMBIENTE

- a. Al 31 de diciembre de 2015 tener el 6% de su flota objeto de reacondicionamiento instalada y operando.
  - b. Al 31 de marzo de 2016 tener el 16% de su flota objeto de reacondicionamiento instalada y operando.
  - c. Al 30 de junio de 2016 tener el 50% de su flota objeto de reacondicionamiento instalada y operando.
  - d. Al 30 de septiembre de 2016 tener el 85% de su flota objeto de reacondicionamiento instalada y operando.
  - e. Al 31 de diciembre de 2016 tener el 100% de su flota objeto de reacondicionamiento instalada y operando.
3. Para las flotas objeto de reacondicionamiento (*retrofit*) con DPF con más de 180 vehículos deberán realizar las acciones correspondientes para tener, de acuerdo con los siguientes plazos y en los siguientes porcentajes, los vehículos con los filtros instalados y operando:
- a. Al 31 de diciembre de 2015 tener el 3% de su flota objeto de reacondicionamiento instalada y operando.
  - b. Al 31 de marzo de 2016 tener el 8% de su flota objeto de reacondicionamiento instalada y operando.
  - c. Al 30 de junio de 2016 tener el 30% de su flota objeto de reacondicionamiento instalada y operando.
  - d. Al 30 de septiembre de 2016 tener el 53% de su flota objeto de reacondicionamiento instalada y operando.
  - e. Al 31 de diciembre de 2016 tener el 75% de su flota objeto de reacondicionamiento instalada y operando.
  - f. Al 31 de marzo de 2017 tener el 100% de su flota objeto de reacondicionamiento instalada y operando.

### 8.2.3 Niveles de emisión

Se presentan las recomendaciones técnicas respecto de los niveles de emisión de material particulado y opacidad, teniendo en cuenta los requerimientos para alcanzar las reducciones esperadas así como los requisitos mínimos que permitan garantizar el uso de filtros de partículas certificados por la FOEN o CA ARB para nivel 3 y aprobados para su uso en Bogotá.

#### 8.2.3.1 Eficiencia en Número de partículas

Los filtros de partículas instalados deberán presentar una eficiencia en la remoción de material particulado mínima del 97%, medida en concentración de número de partículas ultra-finas y en condiciones de marcha mínima o ralentí.

Esta eficiencia de remoción se establecerá a partir de la comparación de la concentración en número de partículas ultra-finas presentes en el tubo de escape antes de la entrada del filtro de partículas, con la concentración en número de partículas ultra-finas a la salida del tubo de escape posterior a la salida del filtro de partículas.

$$Eficiencia (\%) = \left[ \frac{(CNPe - CNPs)}{CNPe} \right] \times 100$$

Dónde:

*CNPe* = Concentración en Número de Partículas a la entrada del filtro (NP/cm<sup>3</sup>)

*CNPs* = Concentración en Número de Partículas a la salida del filtro (NP/cm<sup>3</sup>)



Para tal efecto, los fabricantes de filtros garantizarán la disposición de un puerto de medición con diámetro mínimo de cinco (5) centímetros ubicado antes de la entrada del filtro, de tal forma que éste no afecte las condiciones de estanqueidad del ducto ni las condiciones requeridas por la normatividad existente para la medición de opacidad en el método de aceleración libre.

### 8.2.3.2 Límite de Opacidad

Los vehículos que deban tener instalado filtro de partículas deberán cumplir bajo el método de aceleración libre con un límite de coeficiente de extinción de luz (K) máximo de  $0.24 \text{ m}^{-1}$  o un límite de opacidad máxima de 9,8% tomada a una Longitud de Trayectoria Óptica Efectiva de 430 mm, o su equivalente en el método de medición y reporte que defina en el acto administrativo que modifique a sustituya la norma nacional vigente al respecto.

### 8.2.4 Implementación de la medida

Para la implementación del Programa de Filtros de Partículas se definen las acciones presentadas a continuación.

- i. Todos los operadores del componente troncal del SITP deberán radicar en la oficina de correspondencia de la SDA a más tardar el 15 de febrero de 2015, en medio magnético y con formato editable una base de datos que contenga como mínimo para cada vehículo de su flota: Placa, código, año de fabricación y tipología del bus. Marca y modelo del chasis; Marca, modelo y estándar de emisiones del motor, y kilometraje en odómetro con corte a 31 de diciembre de 2014. Adicionalmente deberán indicar cuáles de los buses relacionados son objeto de reacondicionamiento según los parámetros establecidos en el numeral 8.2.1 del presente documento técnico de soporte.
- ii. Todos los operadores del componente zonal del SITP deberán radicar en la oficina de correspondencia de la SDA a más tardar el 31 de mayo de 2015, en medio magnético y con formato editable una base de datos que contenga como mínimo para cada vehículo de su flota: Placa, código, año de fabricación y tipología del bus. Marca y modelo del chasis y Marca, modelo y estándar de emisiones del motor. Adicionalmente deberán indicar cuáles de los buses relacionados son objeto de reacondicionamiento según los parámetros establecidos en el capítulo 8.2.1 del presente documento técnico de soporte.
- iii. Si fuere el caso y a la fecha establecida no se haya implementado el 100% de la flota de alguno de los operadores zonales en el marco de la implementación del SITP, estos deberán actualizar la base de datos presentada, de forma tal que den cuenta de los avances periódicos en la implementación.
- iv. La SDA verificará que el número de vehículos reportado como flota objeto de *retrofit* sea consistente con lo establecido en el numeral 8.2.1 del presente documento.
- v. El operador, de común acuerdo con el representante local del fabricante de los filtros y el fabricante de los mismos deben programar las instalaciones de modo tal que le den cumplimiento a los plazos establecidos y de cada instalación deben generar un Acta de Instalación en la que se documente los trabajos realizados y que contenga como mínimo:
  - Identificación del operador
    - Razón social
    - Nombre y firma del responsable
    - Datos de contacto de la persona responsable
  - Identificación de instalador
    - Razón social
    - Nombre y firma del responsable
    - Datos de contacto de la persona responsable
  - Identificación del Sistema DPF



ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
SECRETARÍA DE AMBIENTE

- Marca, código de producto y número de serie del filtro
  - Fecha de instalación
  - Fecha de mantenimiento próximo
  - Marca, referencia y número de serie del data logger.
  - Número de serie del sello de seguridad instalado en las cubiertas de acceso al cuerpo filtrante del Sistema DPF.
  - Identificación del vehículo, número de placa y número interno en el SITP.
  - Marca, línea y modelo del vehículo
  - Marca, línea, modelo y cilindraje del motor
  - Estándar de emisión (Euro II, Euro III, etc.)
  - Potencia instalada del motor
  - Caudal promedio de los gases de escape
  - Diámetros del tubo de escape a la entrada y salida del silenciador
  - Temperaturas de los gases de escape antes y después de la instalación:
    - Temperatura máxima
    - Temperatura promedio
  - Presión de los gases de escape a la salida del motor(Antes del silenciador o filtro):
    - Presión máxima
    - Presión promedio
  - Estado del vehículo:
    - Opacidad en aceleración libre a la salida del tubo de escape
    - Opacidad en ralentí a la entrada del filtro y a la salida del tubo de escape
    - Niveles de ruido antes y después de la instalación del Sistema DPF
    - Consumo, marca y especificación del aceite motor.
- vi. El fabricante del Sistema y/o el representante local deberán instalar:
- a) Una placa de identificación en un lugar accesible sobre el cuerpo de protección del filtro que contenga por lo menos:
    - Identificación del Sistema DPF
    - Marca, código de producto y número de serie del filtro
    - Fecha de instalación
    - Fecha de mantenimiento próximo
    - Marca, referencia y número de serie del data logger.
  - b) Sellos de seguridad en las cubiertas de acceso al cuerpo filtrante que garanticen la no manipulación por personal no autorizado de los componentes del Sistema DPF. Estos sellos deberán tener una serie de identificación que permita realizar su seguimiento.
- vii. Cada operador deberá reportar a la SDA la información asociada del total de las instalaciones realizadas durante cada mes. Para lo anterior, deberá remitir a la SDA, a más tardar el quinto día hábil del mes inmediatamente siguiente al reportado, las copias de las Actas de Instalación debidamente diligenciadas y firmadas por el responsable del operador y el fabricante/representante local del filtro.

La SDA podrá realizar los controles respectivos que permitan verificar las condiciones de operación de los Sistemas DPF.

### 8.3 VIGILANCIA, SEGUIMIENTO Y CONTROL

### 8.3.1 Cumplimiento en uso.

- i. En cumplimiento del Programa de Filtros de Partículas Diesel para Bogotá, solo se podrán instalar tecnologías de post tratamiento de gases que hayan sido aprobadas por la SDA y publicadas en la Lista BDPF-SDA.
- ii. El cumplimiento en uso corresponde al procedimiento mediante el cual la Secretaría del Ambiente de Bogotá controla el cumplimiento de los requisitos de los sistemas de filtros de partículas instalados por el fabricante o representante en Bogotá, y que se aplica de manera permanente, las veces que se determine, a todos o cualquiera de los fabricantes del listado.
- iii. Para desarrollar este procedimiento todos los operadores del SITP deberán cumplir con el reporte definido en el numeral vii) del capítulo 8.2.4. Dicha lista, con la información adjunta requerida, deberá ser entregada por el operador una primera vez respecto de las primeras 40 instalaciones, o las realizadas dentro del primer mes de instalaciones, lo que primero se cumpla, y posteriormente actualizada cada mes. El plazo máximo para informar dicho listado es de 5 días hábiles una vez cumplido el periodo o número de instalaciones establecidos para su reporte.
- iv. Respecto de las primeras instalaciones de cada fabricante reportadas por los operadores, o respecto del número que determine la Secretaría, ésta podrá iniciar un procedimiento de cumplimiento en uso, informando al fabricante de tal decisión y del listado de vehículos respecto del cual se llevará a cabo. Se iniciará entonces un protocolo de inspección de los aspectos operacionales y técnicos, tanto del vehículo como del sistema.
- v. Dicho protocolo como los criterios de falla de los sistemas será oportunamente establecido por la Secretaría. Sin perjuicio de lo anterior la Secretaría podrá: Verificar la información contenida en Acta de Instalación del filtro. Realizar inspección visual al filtro y al data logger. Medir opacidad antes y después del filtro. Determinar porcentaje de remoción en número de partículas ultra-finas. Verificar comportamiento de la presión de gases de escape.
- vi. Dichas inspecciones serán llevadas adelante por la Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual, otros inspectores de la Secretaría y/o los centros de inspección técnica.
- vii. Para permanecer en la Lista BDPF-SDA, la tasa de fallas de los sistemas no deberá superar el 10% del total de sistemas instalados e informados.
- viii. Una vez concluido el procedimiento o cuando se alcance la tasa máxima de fallas, el resultado de este procedimiento será informado al fabricante. En caso de exceder la tasa máxima de fallas, se le informará que su sistema ha sido suspendido de la Lista BDPF-SDA, quedando impedido de continuar con nuevas instalaciones y debiendo informar a la secretaria, en un término no superior a 5 días hábiles, de aquellas instalaciones que hubiere realizado durante el desarrollo de las inspecciones indicadas en el punto (iv). La Secretaría informará también a los interesados para los fines pertinentes.
- ix. Los fabricantes suspendidos de la Lista BDPF-SDA tendrán plazo máximo de un (1) mes para iniciar un procedimiento de subsanación el cual consistirá en remitir los análisis técnicos que expliquen el origen de las fallas y las medidas técnicas que se adoptarán para solucionarlas. La Secretaría revisará dicha documentación y determinará si se retira el fabricante de la Lista BDPF-SDA.
- x. En caso de mantenerse en la lista, el fabricante deberá informar a la Secretaría las próximas diez (10) instalaciones que realice respecto de las cuales la Secretaría llevará a cabo un procedimiento de cumplimiento en uso. Si durante este procedimiento no se observa la subsanación comprometida por el fabricante, se procederá con el retiro de éste del listado de filtros autorizados.
- xi. Si como parte del proceso de inspección del cumplimiento en uso se detectaran incumplimientos de los operadores al mantenimiento de los sistemas o del motor, tales como: desconexión de componentes o violación de sellos del sistema DPF, opacidad de los gases del

motor antes del filtro fuera de norma, entre otros, se procederá a iniciar los procesos sancionatorios correspondientes al operador.

### **8.3.2 Implementación del programa**

Los operadores del SITP deberán cumplir con los plazos y porcentajes de flota reacondicionada que establece el numeral 8.2.2 del presente documento técnico. El incumplimiento de estos será sancionado según lo establecido en la Ley 1333 de 2009 o en aquella que le modifique o sustituya.

Para tal efecto la Secretaría de Ambiente dispondrá de la documentación que el operador debe entregar según los incisos i e ii del capítulo 8.2.4 y periódicamente según el inciso vii del numeral 8.2.4 del presente documento técnico, la cuál será comparada con los resultados de las inspecciones realizadas en el marco del seguimiento al Cumplimiento en uso definidas en el subcapítulo 8.3.1.

Todos los vehículos que hayan sido objeto de Retrofit deberán portar el acta de instalación verificada por la SDA, la cual será solicitada en cualquier momento por la SDA.

### **8.3.3 Control aleatorio**

La SDA realizará controles aleatorios a la flota objeto de Retrofit en el marco de ejecución de sus funciones de control rutinario a las fuentes móviles del Distrito Capital. Este control asociará tres etapas:

a) Revisión documental. La SDA podrá verificar la información contenida en el acta de instalación que porta el vehículo respecto de los documentos del mismo y la contenida en la placa de identificación del filtro.

b) Inspección visual. La SDA podrá verificar el estado general de mantenimiento e integridad física del filtro y del data logger. Si se evidencia golpes o fisuras en la carcasa o el cuerpo filtrante se realizará una medición de la eficiencia en la remoción de material particulado.

c) Medición de opacidad y/o eficiencia en la remoción de material particulado. La SDA medirá, en aceleración libre, el nivel de opacidad a la salida del tubo de escape el cual deberá cumplir con el límite establecido en el numeral 8.2.3.2 de este documento técnico. Adicionalmente verificará el resultado respecto del registrado en el acta de instalación que porta el vehículo. De existir una variación entre la opacidad registrada en el acta de instalación y la medida en el operativo de control se requerirá una verificación de la eficiencia en la remoción de material particulado según lo establecido en el numeral 8.2.3.1.

Si la eficiencia en la remoción se encuentra por debajo del límite establecido, el operador con el fabricante-representante local deberán implementar las acciones correctivas al respecto. La SDA requerirá al operador para presentar el vehículo dentro de los diez (10) días hábiles siguientes al operativo de control.

Revisado nuevamente el vehículo, si este no llegase a cumplir con el valor mínimo de eficiencia en la remoción de material particulado, la SDA podrá iniciar el proceso sancionatorio contemplado en la Ley 1333 de 2009 o en aquella que le modifique o sustituya.



ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
SECRETARÍA DE AMBIENTE



ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
SECRETARÍA DE AMBIENTE

## ANEXO 1

### Formato de Solicitud. Aprobación Local de sistemas de post tratamiento de emisiones

Bogotá,

Señores  
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual  
Secretaría Distrital de Ambiente  
Avenida caracas No. 54-38  
Ciudad

Asunto. **BDPF - Solicitud inicio de proceso para la aprobación local para tecnología de post tratamiento de gases de escape**

Cordial saludo,

En atención al asunto de la referencia me permito solicitar el inicio de trámite de Aprobación Local para la tecnología de post tratamiento de gases de escape definida más adelante y que ha sido aplicada en el vehículo con placas \_\_\_\_\_ y código \_\_\_\_\_ el cual se ha evaluado según los requerimientos del Programa de Filtros de Partículas Diesel para Bogotá – BDPF y que presentamos para su revisión.

Las pruebas de eficiencia en la remoción de material particulado se realizaron los días \_\_\_\_\_ y \_\_\_\_\_, tal y como consta en la documentación adjunta.

Tecnología instalada: \_\_\_\_\_

Aplicación (Marcar con una X. Solo una opción): Buses troncales \_\_\_\_ Buses Zonales \_\_\_\_

Modelos o referencias: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Se anexa la siguiente información:

Respecto de la Documentación solicitada

- a. Información del fabricante del filtro de partículas y del distribuidor local
- b. Certificación oficial de los sistemas DPF
- c. Información del sistema de post tratamiento de gases de escape
- d. Especificaciones del data logger

Respecto de las Pruebas de Verificación Local

- e. Información y datos del monitoreo de presión y temperatura de gases de escape durante el pre-dataloggin
- f. Documentación respecto la selección de la tecnología y modelo de filtro a aplicar.
- g. Certificación oficial de los sistemas DPF
- h. Resultado de las dos mediciones de eficiencia en la remoción de material particulado expresado en concentración de partículas ultra-finas.



ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
SECRETARÍA DE AMBIENTE

- i. Información y datos del monitoreo de la presión y temperatura de los gases de escape durante el periodo comprendido entre las dos pruebas de eficiencia.

Datos de contacto,

**Empresa solicitante:** \_\_\_\_\_  
Responsable: \_\_\_\_\_  
Cargo: \_\_\_\_\_  
Teléfonos: \_\_\_\_\_  
Correo electrónico: \_\_\_\_\_

Atentamente,

\_\_\_\_\_  
Representante Legal.  
Nombre:  
Documento:  
Correo:  
Teléfonos:



ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
SECRETARÍA DE AMBIENTE

## ANEXO 2

### Abreviaturas

**BDPF:** Programa de Filtros de Partículas Diésel para Bogotá  
**CA ARB:** California Air Resources Board  
**COSUDE:** Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación  
**EPA:** Agencia de Protección Ambiental  
**FOEN:** Oficina Federal para el ambiente, de la Confederación Suiza  
**OEM:** Equipo original de fábrica  
**PDDAB:** Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá  
**RPM:** Revoluciones por minuto  
**TMSA:** Transmilenio S.A  
**UNAL:** Universidad Nacional de Colombia