

I. RESUMEN EJECUTIVO

En la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) se estima que la contaminación por partículas causa 4,000 muertes y 2.5 millones de días de trabajo perdidos al año, siendo una de las principales fuentes de esta contaminación los vehículos a diesel en circulación –transporte de pasajeros y carga.

Por lo que este Informe Final resume los resultados de un proyecto piloto para reducir estos efectos a través de la instalación de tecnología para el control de emisiones en autobuses de pasajeros. El proyecto fue coordinado por el Centro de Transporte Sustentable (CTS), con el apoyo de un amplio número de instituciones gubernamentales y no gubernamentales para evaluar la efectividad en la reducción de emisiones de autobuses y camiones a diesel, de tecnologías actualmente utilizadas en los Estados Unidos y Europa, en condiciones de operación de la Ciudad de México.

Los recursos para llevar a cabo este proyecto fueron otorgados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (*U.S. Environmental Protection Agency, US-EPA*), la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (*U.S. Agency for International Development, USAID*) y el Instituto de Recursos Mundiales (*World Resources Institute, WRI*).

Se retroadaptaron 20 autobuses de la Red de Transporte de Pasajeros del Distrito Federal (RTP) con convertidores oxidativos (*diesel oxidation catalysts, DOC's*) o filtros de partículas (*diesel particulate filters, DPF's*) y fueron abastecidos con diesel de ultrabajo contenido de azufre (*ultra-low sulfur diesel, ULSD*).

Los resultados de la medición de emisiones demostraron que es posible reducir hasta el 90 por ciento de las partículas emitidas por el escape de estos autobuses, aún las consideradas como ultrafinas, altamente dañinas para la salud de la población.

Asimismo, se demuestra también que es posible la operación de vehículos más limpios en una ciudad como la de México, ubicada a una altitud de 2,240 msnm, utilizando tecnología comercialmente disponible y ULSD.

Según la *Propuesta para Limpiar el Aire en México en 10 Años*, de realizarse estas medidas, se estima que se podrían reducir alrededor del 60% la emisiones de partículas con respecto al promedio actual. Lo cual se traduce para la Ciudad de México, en beneficios anuales a la salud de 3 a 5 millones de dólares.

Por lo que, la retroadaptación se convierte en una opción viable para mejorar el desempeño ambiental de los vehículos con motores a diesel, ampliamente utilizados por el transporte público de pasajeros en la ZMVM y otras ciudades de México y el mundo, sólo se requiere diesel limpio.

II. INTRODUCCIÓN: CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD DE MÉXICO.

En las grandes ciudades del mundo, los altos niveles de contaminación atmosférica representan uno de los principales factores que afectan la salud y la calidad de vida de sus habitantes.

La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), conformada por el Distrito Federal y 56 municipios conurbados del Estado de México, no es la excepción. Se estima que la contaminación del aire anticipa alrededor de 4 mil muertes y genera la pérdida de 2.5 millones de días laborales al año¹.

Diversos estudios de salud ambiental han demostrado que la exposición a altos niveles de concentración de contaminantes, especialmente ozono (O₃) y partículas (PM), puede generar muerte prematura, incluso en infantes, enfermedades respiratorias y cardíacas o bien, cáncer². La población más vulnerable son los adultos mayores, niños, asmáticos y personas que padecen enfermedades cardiovasculares.

Bajo este contexto, la contaminación atmosférica en la Ciudad de México representa un alto riesgo para la salud de la población, ya que aún se rebasan significativamente las normas de calidad del aire para los contaminantes mencionados anteriormente. Por lo que, la aplicación de medidas que permitan reducir estos niveles, principalmente los de partículas ultrafinas, se convierte en una prioridad para mejorar la salud pública y la calidad de vida de su población.

Una de las principales fuentes de emisión de estos contaminantes son los vehículos automotores que diariamente circulan en la ZMVM, ya que éstos contribuyen con el 70% del total de los contaminantes emitidos a la atmósfera. De acuerdo al Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002³ se estima que la flota vehicular es superior a los 3.6 millones de vehículos, de los cuales el 68% corresponden a unidades registradas en el Distrito Federal y el 32% en el Estado de México.

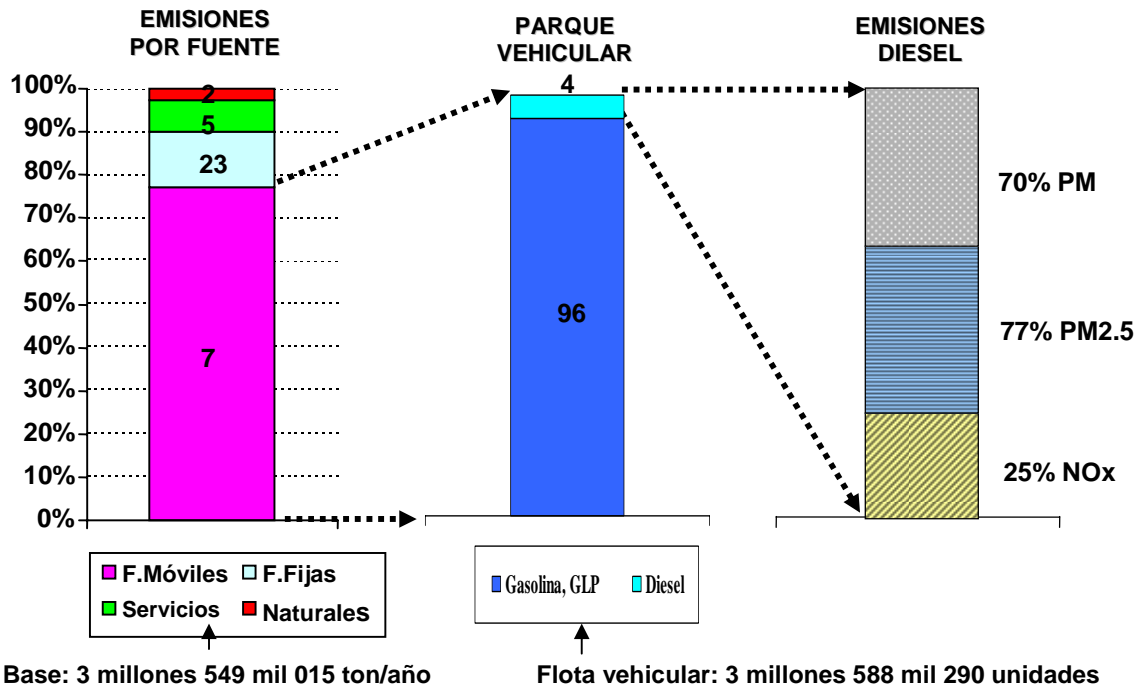
De manera específica, el parque vehicular a diesel contribuye con el 70% de las emisiones de partículas menores a 10 micras (PM₁₀), el 77% de las menores a 2.5 micras (PM_{2.5}) y con el 23% de los óxidos de nitrógeno (NOx), a pesar de representar sólo el 4% del total de la flota, equivalente a 134 mil 825 unidades, de las cuales el 60% son anteriores a 1993, el 13% son modelos entre 1994 y 1997 y el 27% restante, 1998 y posteriores.

¹ Iniciativa para Movilidad en la Ciudad. Transporte y Calidad de Vida. 2005.

² Propuesta para Limpiar el Aire en México en 10 años. Dr. Mario Molina Pasquel. Ciudad de México. Abril 2004.

³ Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México. Gobierno del Distrito Federal. México. 2004.

Contribución de NOx y PM₁₀ por unidades a diesel en la ZMVM



Esto significa que la mayor parte del parque vehicular no cumple con las normas actuales establecidas en México (equivalente a la denominada EPA98 en los Estados Unidos), cuyos niveles máximos de emisión permiten 15.5 g/HP-h de PM, 1.3 g de hidrocarburos (HC), 4.0 g de NOx y 0.1 g de PM y 0.05 para autobuses de más de 250 HP.

Además, estas unidades se mantienen en circulación por largos periodos; por lo que es fundamental reducir la emisión de los contaminantes generados por los vehículos a diesel.

Este reto, así como el mejoramiento de la operación de los vehículos diseñados para cumplir la normatividad EPA98, motivó a las Autoridades y a la Sociedad Civil a instrumentar el *Proyecto Piloto Retrofit para Autobuses Urbanos a Diesel en la Ciudad de México*, cuyo objetivo general fue demostrar la reducción de emisiones en autobuses a diesel, en condiciones de operación y manejo de la ciudad de México, usando diesel de ultra bajo contenido de azufre (ULSD) y dispositivos de control de contaminantes, especialmente filtros de partículas (DPF) y convertidores oxidativos (DOC).

III. OBJETIVOS DEL PROYECTO.

Los objetivos del proyecto fueron asistir al Gobierno mexicano en la instrumentación de un proyecto demostrativo de retroadaptación para reducir de emisiones generadas por autobuses a diesel a través del uso de tecnologías para el control de emisiones contaminantes verificada por la US-EPA o por la Agencia de Recursos del Aire de California (*California Air Resources Board, CARB*) y ULSD.

Así como, determinar el costo-efectividad al utilizar DPF y DOC en las condiciones de operación y manejo de la Ciudad de México.

Los objetivos específicos fueron:

1. Demostrar la efectividad en la reducción de emisiones al utilizar tecnologías como convertidores oxidativos y filtros de partículas, previamente certificados por US-EPA y diesel de ultra bajo contenido de azufre.
2. Desarrollar información cuantitativa sobre costos y reducción de emisiones de estas tecnologías en México.
3. Desarrollar un programa apropiado para México que pueda ser multiplicado en otras ciudades del país y del mundo que presenten problemas de contaminación atmosférica originada por el transporte a diesel.
4. Construir la capacidad técnica en México para instrumentar programas similares, a través de la colaboración estrecha con instituciones y organizaciones mexicanas a lo largo del proyecto.

Este proyecto fue diseñado para realizarse dentro del marco de la Iniciativa de Vehículos y Combustibles Limpios surgida de la Cumbre Mundial para el Desarrollo Sustentable realizada en la Ciudad de Johannesburgo, Sudáfrica en el 2002, la cual tiene como objetivo eliminar el plomo de la gasolina, reducir el azufre de los combustibles e introducir vehículos con tecnologías más limpias; del que México y Estados Unidos son parte. Para mayor información, ver visitar la página www.unep.org/PCFV.

Asimismo, forma parte de las acciones establecidas en el Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002 – 2010⁴.

⁴ Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México, 2002 – 2010. Comisión Ambiental Metropolitana. México. 2003.

IV. PLANEACIÓN Y COORDINACIÓN DEL PROYECTO

Retrofit inició en mayo de 2003 con la conformación de un equipo bilateral integrado por representantes de instituciones gubernamentales de Estados Unidos y México, en el cual participaron la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), la Secretaría del Medio Ambiente (SMA) del Gobierno del Distrito Federal y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA).

Este primer equipo de trabajo definió los elementos clave para el desarrollo del proyecto en la Ciudad de México, lo que permitió a US-EPA mediante una licitación internacional, seleccionar al Centro de Transporte Sustentable (CTS) como responsable de la ejecución y administración de los recursos asignados al mismo.

Estos recursos fueron por un monto total de 526 mil dólares americanos, proporcionados por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (*US Agency for International Development, USAID*) y el Instituto de Recursos Mundiales (*World Resources Institute, WRI*), a través de su Centro de Transporte Sustentable *EMBARQ*.

A. PARTICIPANTES.

Diversas instituciones y organizaciones gubernamentales, nacionales e internacionales, así como, de la sociedad civil, participaron de manera activa y coordinada en la planeación, ejecución y conclusión del Proyecto Piloto Retrofit, la cual incluye tres diferentes niveles de participación:

1. Agencias Internacionales.

- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA, por sus siglas en inglés).
- Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID, por sus siglas en inglés).
- *EMBARQ*, el Centro de Transporte Sustentable de Instituto de Recursos Mundiales (WRI, por sus siglas en inglés).

US-EPA y WRI/*EMBARQ* aportaron además, el conocimiento y experiencia de sus expertos para la planeación y definición de la estrategia para la instrumentación del proyecto y la difusión de sus resultados, así como el soporte técnico y administrativo necesario durante la ejecución del mismo.

2. Agencias Públicas Locales.

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat).
- Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal (SMA).
- Petróleos Mexicanos (Pemex) y sus divisiones Refinación y PMI Comercio Internacional.

La colaboración conjunta entre SEMARNAT y el Gobierno del Distrito Federal fue fundamental para la ejecución de este proyecto.

SEMARNAT colaboró en la integración de los diferentes niveles de gobierno en México, con el objetivo de instrumentar acciones para dar cumplimiento a los compromisos contraídos como

país en el marco de la Alianza para Combustibles y Vehículos Limpios (*Partnership for Clean Fuels and Vehicles*).

Asimismo, el Gobierno del Distrito Federal, a través de SMA y la Red de Transporte de Pasajeros (RTP), brindó el apoyo técnico, operativo y administrativo para llevar a cabo la evaluación de tecnologías de retroadaptación para vehículos a diesel, medida que forma parte del Programa para Mejorar la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de México, 2002 – 2010.

3. Organismos ejecutores y operadores del proyecto.

- Comité Técnico Asesor.
- Centro de Transporte Sustentable de la Ciudad de México (CTS).
- Red de Transporte de Pasajeros del Gobierno del Distrito Federal (RTP).

US-EPA, CTS y WRI/EMBARQ reunieron a un Consejo Técnico Asesor y a un Grupo de Participantes, para asegurar que se involucraran todos los actores relacionados con el proyecto y se lograra una buena coordinación.

El **Comité Técnico Asesor** fue integrado por expertos internacionalmente reconocidos, en las áreas de calidad del aire y tecnología para reducción de emisiones, quienes aportaron un alto nivel de conocimiento técnico al proyecto y de visión estratégica para el diseño del proyecto y la divulgación y publicación de sus resultados.

Este Comité fue integrado por:

- John J. Mooney, Presidente del Instituto de Políticas sobre Tecnologías Ambientales y Energéticas (EETPI) e inventor de los convertidores catalíticos.
- Bruce Bertelsen, Director Ejecutivo del Instituto de Políticas sobre Tecnologías Ambientales y Energéticas (EETPI).
- Nancy Kete, Directora de *EMBARQ/WRI*.
- Lee Schipper, Director Investigador de *EMBARQ/WRI*.
- John Guy, Oficina de Aire y Radicación. Oficina de Transporte y Calidad del Aire (US-EPA).
- Jane Metcalfe, Oficina de Asuntos Internacionales (US-EPA).
- Kate Blumberg, Consejo Internacional para el Transporte Limpio (ICCT, por sus siglas en inglés).
- Rich Kassel, Consejo para la Defensa de los Recursos Naturales (NRDC).

En mayo de 2004, US-EPA, CTS y *EMBARQ/WRI* sostuvieron una reunión con los participantes involucrados en el proyecto, así como con un grupo de asesores técnicos para acordar el diseño final y el marco de ejecución de éste.

El Comité Técnico Asesor participó también en las reuniones de planeación, así como en talleres de trabajo realizados en la Ciudad de México. Además, a lo largo de su ejecución, mantuvo comunicación mediante conferencias telefónicas o por correo electrónico.

CTS coordinó el proyecto en su conjunto y garantizó la unificación de cada uno de sus diferentes elementos, como la disponibilidad de los autobuses, el combustible y los equipos para el control de emisiones, además de la disponibilidad del equipo para medición de gases de escape y del consultor para su realización.

Asimismo, garantizó el adecuado manejo de los recursos y la realización de los reportes correspondientes de avance del proyecto.

Para la instrumentación de este proyecto, el CTS subcontrató a Ambientalis, consultora dirigida por Marco Balam, quien diseñó el Protocolo de Pruebas y realizó la medición de las emisiones, así como el análisis e interpretación de los resultados, en acuerdo con el Grupo Técnico Asesor.

El CTS fue el enlace para la comunicación entre los participantes locales y socios del proyecto y estuvo a cargo de la difusión de los resultados al interior del equipo de trabajo y hacia los tomadores de decisiones de los diferentes niveles de los Gobiernos Federal y Locales, legisladores, académicos, iniciativa privada, organismos no gubernamentales, colegios de profesionistas, comunicadores y público en general.

RTP fue pieza clave en la ejecución del proyecto participando activamente a través de la colaboración de su personal técnico y administrativo, quienes facilitaron los autobuses, las instalaciones para llevar a cabo la evaluación de los equipos de control de emisiones, la adquisición y el suministro de diesel limpio; así como el apoyo para realizar la medición de los gases de escape, elementos que hubieran hecho imposible poner en marcha este proyecto piloto.

V. SELECCIÓN DE LA FLOTA VEHICULAR Y LA TECNOLOGÍA RETROFIT ADECUADA.

A. SELECCIÓN DE LA FLOTA VEHICULAR.

Dado que la Ciudad de México fue seleccionada como sede del primer proyecto piloto fuera de los Estados Unidos, se invitó a participar a RTP, empresa de transporte del Distrito Federal que, además de contar con una flota de más de 1,300 autobuses, ofreció las instalaciones de patios y talleres del Módulo 23 y todas las facilidades para llevar a cabo las actividades correspondientes al proyecto, entre las que destacan:

- Personal comprometido con los objetivos del proyecto. Desde la Directora General y el Gerente del Módulo hasta los mecánicos y operadores de las unidades.
- Viabilidad de seguimiento a la operación de los autobuses.
- Capacidad técnica para la instalación y mantenimiento de los sistemas retrofit.
- Disponibilidad de autobuses de diferentes estratos vehiculares.
- Estación de suministro y tanques de combustible adicionales para el almacenamiento y suministro de diesel limpio.

Para la instrumentación del Proyecto Retrofit, CTS firmó un Convenio de Colaboración con RTP, en el que se acordaron los compromisos entre estas dos instituciones para el seguimiento y operación de los autobuses participantes.

La selección de los autobuses a retroadaptar se realizó de acuerdo a las necesidades del Gobierno del Distrito Federal de crear alternativas para el mejoramiento del parque vehicular a diesel en circulación; el cual se encuentra conformado en un 60% por unidades de más de 10 años de antigüedad, con motores de inyección mecánica y escaso o nulo mantenimiento.

Bajo este argumento, se seleccionaron 8 autobuses modelo 1991 de inyección mecánica y 12 autobuses modelo 2001 de inyección electrónica del Módulo 23, los cuales, dado el programa de mantenimiento preventivo que se les realiza, mostraron buenas condiciones mecánicas y operativas.

Los números de identificación de los 20 autobuses seleccionados fueron:

MERCEDES BENZ PROTOTIPO 1991	INTERNATIONAL AYCO 2001	MERCEDES BENZ TORINO 2002
23-929	23-992	24-1042
23-839	23-1000	24-1053
23-945	23-1003	24-1054
23-850	23-1006	24-1057
23-955	23-1028	
23-959	23-1020	
23-963	23-1022	
23-968	23-1037	

1. Condiciones del vehículo –espacio disponible para Retrofit.

Para la instalación de los DOC's y los DPF's se sustituyó el silenciador de los autobuses, colocándose los soportes adecuados para evitar vibraciones en el equipo y su posible desprendimiento. En el caso de las unidades Prototipo, se requirió realizar algunas adaptaciones para su fijación.

2. Medición de temperatura de los gases de escape (*data logging*).

La temperatura de los gases de escape es un factor crítico para la adecuada selección y operación de la tecnología retrofit, principalmente en el caso de los DPF, ya que estos dispositivos periódicamente realizan un proceso de auto-regeneración, mediante el cual se quema el hollín atrapado en el filtro.

Con el apoyo técnico de NESCCASF, se monitoreó en cada tipo de autobús seleccionado (MB Prototipo 1991, MB Torino 2002 e International Ayco 2001) la temperatura de los gases de escape durante su operación normal. Para ello, se conectó un *data logger* en el sistema de escape y se registró la temperatura antes y después del silenciador por un periodo 3 días en intervalos de 8 segundos.

La temperatura de los gases de escape registrada en los autobuses Prototipo y Torino antes del silenciador turbo fue mayor a los 275 °C el 77% del tiempo de operación. En tanto que en los Ayco, fue solo el 41%.

Esta información fue proporcionada a los proveedores de tecnología que participaron en el proceso de licitación para la preparación de sus propuestas.

3. Número y tipo de los vehículos seleccionados.

RTP proporcionó 20 autobuses del Módulo 23: 8 Internacional Ayco 2001, 4 Mercedes Benz Torino 2002 y 8 Mercedes Benz Prototipo 1991, con las siguientes especificaciones técnicas:

	“International” (Ayco)	“Torino” Mercedes Benz	“Prototipo” Mercedes Benz
Motor	International DT-466 E Electrónico (7.6 L)	Mercedes OM-906 LA Electrónico (6.4 L)	Mercedes OM-366 LA Mecánico
Modelo	2001 (EPA 2001)	2002 (EPA 2001)	1991
Tipo	Diesel 4 tiempos	Diesel 4 tiempos	Diesel 4 tiempos
Cilindros	6 en línea	6 en línea	6 en línea
Potencia Máxima	195 HP @ 2,300 rpm	230 HP @ 2,300 rpm	210 HP @ 2,600 rpm
Rendimiento	1.6 –1.8 km/L	1.6 –1.8 km/L	2.23 km/L
Largo	11,000 mm	11,000 mm	11,230 mm
Capacidad	85 pasajeros	88 pasajeros	60 pasajeros
Tecnología Retrofit	Filtro de Partículas	Filtro de Partículas	Catalizador oxidativo
Combustible	ULSD	ULSD	ULSD

4. Identificación de autobuses como “autobús limpio”

Para facilitar la identificación de los autobuses de RTP participantes en el Proyecto Retrofit, tanto dentro del Módulo 23 como de los usuarios del servicio, éstos fueron identificados mediante la colocación de una etiqueta autoadherible con la leyenda: **“Por tu salud, un transporte más limpio”**, misma que fue acompañada por los logotipos de las instituciones participantes.

5. Contingencias que fueron resueltas.

Dadas las facilidades que presentó el Módulo 23 de RTP para la instalación de los equipos retrofit y el seguimiento a la operación y suministro de combustible de bajo contenido de azufre. Originalmente se planteó realizar la evaluación en los autobuses que éste tenía disponibles - Prototipo y Ayco, ya que el propósito del proyecto no era medir la reducción de emisiones por marcas de autobuses sino por tecnología de control.

Sin embargo, RTP mostró un gran interés para evaluar operativamente los autobuses Mercedes Benz Torino 2002, por lo que se adicionaron al proyecto 4 autobuses Torino 2002, mismos que fueron transferidos del Módulo 12 al 23, para su operación y seguimiento.

B. SELECCIÓN Y ADQUISICIÓN DE TECNOLOGÍA RETROFIT: FILTROS DE PARTÍCULAS (DPF) Y CONVERTIDORES OXIDATIVOS (DOC).

Uno de los principales contaminantes que emiten los automotores a diesel son partículas, las cuales difieren significativamente en su composición y tamaño dependiendo del motor, las condiciones de operación y la calidad del combustible suministrado. Tienen como característica ser de un tamaño menor a 2.5 micrómetros, por lo que son consideradas de fracción respirable, por lo que se decidió evaluar los filtros de partículas (DPF), tecnología que permite retener, incluso las partículas ultrafinas en autobuses con motores certificados EPA94 y posteriores con inyección electrónica de combustible y turbocargadores, diseñados para mejorar la eficiencia en la combustión.

Sin embargo, considerando las características del parque vehicular a diesel que circula en la ZMVM, el cual está constituido en un 60% por automotores de más de 10 años de antigüedad y de inyección mecánica, lo que genera un mayor consumo de diesel y una alta emisión de partículas, se decidió evaluar convertidores oxidativos (DOC) en unidades modelo 1991 de inyección mecánica, ya que se podría afectar la operación de los filtros, significativamente.

El equipo técnico decidió retroadaptar 20 autobuses: 12 con DPF's y 8 con DCC's.

1. Términos de referencia.

El CTS invitó a proveedores nacionales e internacionales a participar en el Proyecto Piloto Retrofit, para proveer e instalar convertidores oxidativos y filtros de partículas certificados por US-EPA o por la Agencia de Recursos del Aire de California (CARB, por sus siglas en inglés), en autobuses de RTP; los cuales, debían estar diseñados para operar con diesel de bajo contenido de azufre (para mayor información visite la página www.epa.gov/otaq/retrofit/).

En el caso de los DPF, se requirió además que contaran con sistemas de alarmas audibles y visibles para alertar sobre un aumento de temperatura o presión en el motor, con la capacidad para el almacenamiento de esta información, con el propósito de realizar un mejor seguimiento al comportamiento de estos parámetros a lo largo de la evaluación del equipo.

Asimismo, se solicitó que los proveedores estuvieran calificados para suministrar los servicios: experiencia en proyectos similares, experiencia en la región, disponibilidad de personal técnico altamente capacitado y con amplios conocimientos y capacidad financiera.

2. Responsabilidades del proveedor.

Las responsabilidades del proveedor fueron:

- Proporcionar 20 dispositivos: 12 DPF con monitores de alarma y 8 DOC.
- Capacitar a mecánicos y operadores de RTP.
- Supervisar la instalación de los equipos.
- Proporcionar el soporte técnico necesario para el seguimiento operativo de los sistemas y la solución de cualquier falla que pudiera generarse en o por el sistema.
- Entregar a RTP un pagaré por 3 millones de pesos como garantía contra los daños y perjuicios que pudiera ocasionar la instalación de los filtros de partículas y los convertidores oxidativos en los motores de sus autobuses.

3. Identificación y notificación de los proveedores potenciales.

La identificación de los proveedores potenciales para el Proyecto se realizó mediante la consulta en la página de Internet de la lista de productos certificados por US-EPA, que pudieran ser factibles de instalarse en la flota vehicular seleccionada; así como por la sugerencia de proveedores de fabricantes y distribuidores de dispositivos anticontaminantes realizada por SMA.

Una vez identificados, CTS envió una Carta de Invitación a cada uno de ellos, junto con los Términos de Referencia para la adquisición del equipo, solicitando previo a la entrega de su propuesta, una Carta de Intención para conocer de su interés para participar en el proyecto.

4. Reunión de aclaración.

Posterior a la recepción de las Cartas de Intención de las empresas interesadas, CTS realizó una junta de aclaración para responder las inquietudes manifestadas, así como para especificar las condiciones de su visita a las instalaciones del Módulo 23 de RTP, donde se les proporcionaron las características técnicas de los autobuses a retroadaptar, permitiéndoles revisar las condiciones mecánicas del motor y hacer mediciones en el sistema de escape para presentar el diseño óptimo.

5. Proceso de selección.

Este proceso se realizó en agosto de 2004, recibándose propuestas técnico – económicas de 5 empresas, las cuales fueron evaluadas por un Comité, integrado por representantes de US-EPA, SEMARNAT, SMA, RTP y CTS. La propuesta ganadora de esta licitación fue la realizada conjuntamente por Fleetguard Nelson México, S. de R.L. de C.V. y Johnson Matthey, cuya tecnología tiene las siguientes características:

TECNOLOGÍA	MODELO DEL MOTOR / APLICACIÓN	AZUFRE MÁXIMO (PPM)	REDUCCIONES (%)				GARANTÍA
			PM	CO	NOx	HC	
Filtros de partículas (tecnología CRT)	Vehículos de 2 y 4 tiempos, 1994 – 2002, turbocargados o naturalmente aspirados	30	60	60	n/a	60	3 años o 150,000 millas o 5,400 horas (mecánica y emisiones)
Convertidor oxidativo para diesel (DOC)	Vehículos ligeros y pesados, no EGR, turbocargados o naturalmente aspirados	≤500	20	40	n/a	50	3 años o 150,000 millas o 5,400 horas (mecánica y emisiones)

a) Contrato de compra.

CTS firmó en octubre de 2004 un Contrato de Compra – Venta de Bienes y Prestación de Servicios con Fleetguard Nelson de México, mediante el cual se estipularon las condiciones de venta de los equipos y los servicios a ser proporcionados por la empresa, entre lo que destaca:

- **8 Sistemas de filtros de partículas Johnson Matthey CRT**, diseñados para vehículos International Ayco Modelo 2001.
- **4 Sistemas de filtros de partículas Johnson Matthey CRT**, diseñados para vehículos Mercedes Benz Modelo 2002.
- **8 Sistemas de convertidores oxidativos Johnson Matthey CEM**, diseñados para vehículos Mercedes Benz Modelo 1991.
- Proporcionar todos los sistemas de ductería para su adaptación, con sistemas para fácil remoción tipo clamp, además del sistema de alarma audible y visual de contrapresión, así como la instrumentación de memoria para almacenamiento de información “*data logging*” e instrumentación eléctrica, electrónica y mecánica para su óptima y total operación.
- Proporcionar manuales de cada tipo de equipo para operación y mantenimiento de los sistemas, en idioma inglés y español; además de información adicional sobre los equipos solicitada por personal técnico de RTP.
- Proveer servicios de instalación, capacitación, mantenimiento, asesoría y respaldo técnico durante el desarrollo del proyecto.
- Comprometerse en forma total y oportuna a la garantía en lo referente al equipo de control de contaminantes y los sistemas periféricos o auxiliares provistos por el proveedor.

VI. ADQUISICIÓN, ALMACENAMIENTO Y SUMINISTRO DE DIESEL DE ULTRA BAJO AZUFRE.

Dado que en México aún no dispone comercialmente de diesel de menos de 15 partes por millón (ppm) de azufre, RTP y CTS realizaron ante Pemex, la gestión correspondiente para su adquisición.

Pemex, con el apoyo de sus filiales Pemex Refinación y PMI Comercio Internacional, definió las especificaciones técnicas y estableció el procedimiento para la importación del combustible desde la Refinería de Valero ubicada en Three Rivers, Texas, Estados Unidos.

A. CONTRATO PARA LA ADQUISICIÓN DE DIESEL DE ULTRABAJO AZUFRE.

Para la adquisición del ULSD, RTP realizó una extensión del Contrato de Compra que dicha empresa tiene con Pemex para el suministro de diesel convencional a sus estaciones de autoabasto, estableciendo que la solicitud para la importación del diesel limpio sería a través de este organismo descentralizado del Gobierno del Distrito Federal.

Pemex, en coordinación de Pemex Refinación y PMI Comercio Internacional, definió las especificaciones técnicas y estableció el procedimiento para la importación.

El procedimiento que se siguió para el abastecimiento del combustible fue el siguiente:

- Pemex desarrolló un contrato de venta de producto especial entre el área jurídica de RTP y Pemex Comercialización.
- Pemex sometió a consideración de su Comité de Precios y de la Secretaría de Hacienda, la aprobación del precio autorizado para la comercialización del ULSD importado.
- Con la aprobación del Comité de Precios, Pemex solicitó la confirmación del volumen de cada entrega, el cual se acordó realizarse con al menos 15 días de anticipación.

Dado que el Proyecto Retrofit es un proyecto que se realizó con fines de investigación, Pemex y la Secretaría de Hacienda definieron que el precio de venta por parte de la paraestatal a RTP sería únicamente el precio de compra en los Estados Unidos más el costo de su transportación hasta el Módulo 23 en la Ciudad de México.

RTP solicitó a Pemex el combustible requerido para la operación de los autobuses durante la etapa de prueba, por el que pagó el precio por litro de diesel de 350 ppm de azufre, en tanto que su sobreprecio fue cubierto con recursos del proyecto.

Para la ejecución de este proyecto se requirió un total de 504,660 litros de diesel limpio. Como puede observarse en la tabla siguiente, el sobreprecio de este combustible se vio afectado por el constante incremento en el precio del petróleo en los Estados Unidos, el cual es sensible incluso a las afectaciones generadas por los fenómenos meteorológicos, tales como huracanes, por lo que el sobreprecio promedio varió desde \$0.6 hasta \$1.89 M.N. por litro.

La recepción del combustible se realizó de la siguiente manera:

Recepción de ULSD y su sobreprecio

FECHA DE RECEPCIÓN	CANTIDAD (L)	COSTO DE DIESEL RTP (\$MX)	SOBREPREGIO PAGADO POR EL CTS (\$ MX/L)
Noviembre 3, 2004	87,946	4.99	0.60
Diciembre 27, 2004	31,548	5.00	0.60
Febrero 1, 2005	59,719	5.03	0.60
Marzo 11, 2005	60,317	5.15	1.2
Abril 20, 2005	59,408	5.16	1.2
Mayo 26, 2005	57,186	5.17	1.2
Julio 4, 2005	59,677	5.20	1.2
Agosto 15, 2005	59,234	5.20	1.37
Octubre 2, 2005	29,625	5.24	1.89
TOTAL	504,660		

B. ALMACENAMIENTO DEL COMBUSTIBLE

El diesel de 15 ppm de azufre se almacenó en la Antigua Estación de Servicio del Módulo 23 de RTP con capacidad para 80 mil litros. Dado que esta estación estaba fuera de servicio fue necesario habilitarla y acondicionarla para el proyecto, lo cual implicó:

1. Lavado mecánico de los 4 tanques de almacenamiento (20 mil litros cada uno).
2. Pruebas de hermeticidad de los 4 tanques.
3. Calibración de volumen de bombas de despacho de la estación.
4. Etiquetado de bombas de despacho.
5. Disposición ambiental de los residuos peligrosos resultado de la limpieza de los tanques de almacenamiento (lodos y agua de lavado).

VII. MEDICIÓN DE EMISIONES

A. MEDICIÓN DE EMISIONES EN CONDICIONES REALES DE OPERACIÓN.

La medición de emisiones de escape de los autobuses del Proyecto Retrofit se realizó con el laboratorio portátil RAVEM (*Ride-along Vehicle Emissions Measurement*), adquirido por el Gobierno del Distrito Federal para evaluar tecnologías de autobuses. Por lo que, el CTS firmó un Convenio de Colaboración con SMA para su formalizar su préstamo.

Para ello, se acordó coordinar cada fase de medición del Proyecto Retrofit con SMA para evitar traslapar los periodos de evaluación con otros proyectos, así como, adquirir gases de calibración y filtros para la medición de los vehículos de RTP.

El RAVEM permitió medir segundo a segundo las emisiones de escape generadas por los vehículos en condiciones reales de operación y manejo de la Ciudad de México. Para simular la carga real de los vehículos, éstos se lastraron al 70% de su capacidad. Se midió la concentración de hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO), bióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NOx) y partículas (PM) y se expresó en gramos por kilómetro (g/km).

1. Protocolo de Pruebas.

Para realizar estas pruebas, CTS contrató a la empresa AMBIENTALIS, encargada de diseñar el Protocolo de Pruebas (ver Anexo 1), realizar las mediciones y los reportes técnicos correspondientes.

Adicionalmente, el desarrollador del RAVEM, Christopher Weaver de la empresa Engine, Fuel and Emissions Engineering, Inc., Sacramento, California, asesoró los trabajos para la definición del Protocolo de Pruebas y la medición de emisiones.

Los principales factores que se consideraron en el diseño del Protocolo de Pruebas fueron:

- Número y tipo de unidades a evaluar.
- Tipo de combustible.
- Número de mediciones por cada vehículo.
- Periodos de prueba.
- Ruta de manejo: línea base y de desempeño ambiental.
- Duración de la prueba.
- Contaminantes a determinar.

Antes del inicio de cada fase de medición, se verificó entre otros, la presión de las llantas, los filtros de aire y aceite y la batería de los autobuses; así como también la presión y temperatura registrados en los DPF's. Esto para garantizar que todos los vehículos fueran operados bajo las mismas condiciones, de acuerdo a las especificaciones técnicas establecidas por los fabricantes.

Debido a restricciones presupuestarias, de los 20 autobuses retroadaptados, se seleccionaron únicamente 15 para la medición de gases de escape; la cual se realizó en tres fases: línea base, fase de estabilización y fase de evaluación de desempeño, después de un año de operación continua.

Fases de medición de emisiones en condiciones reales de operación

	MEDICIÓN	OBSERVACIONES	PERIODO
Primera Fase	Determinación de línea base	Medición de emisiones previo a la instalación de DOC o DPF + diesel convencional (350 ppm S).	Octubre – noviembre de 2004
Segunda Fase	Estabilización	Medición de emisiones con DOC o DPF instalados + ULSD (<15 ppm S) a los 4 mil km de operación.	Enero de 2005
Tercera Fase	Desempeño	Medición de emisiones con DOC o DPF instalados + ULSD (<15 ppm S) a aproximadamente 55 mil km de operación.	Octubre de 2005
Cuarta Fase	Repetición Línea Base	Medición sin DOC o DPF + diesel convencional (350 ppm S)	Noviembre de 2005

ULSD: Ultra-low sulfur diesel fuel – Diesel de Ultra Bajo Contenido de Azufre.

a) Rutas de manejo.

Cada autobús fue evaluado en estas dos rutas previamente definidas y se lastró con ladrillos de plomo al 70% de su capacidad, equivalente a 3.5 toneladas de peso. Se realizaron al menos 3 repeticiones de cada medición, con propósitos estadísticos.

Las dos rutas definidas para la evaluación ambiental de los DOC's y los DPF's consistieron en una ruta representativa de la operación real de los autobuses de pasajeros en la Ciudad de México y segundo, simulando una operación típica, pero en un circuito preestablecido bajo condiciones controladas. Estas rutas fueron denominadas Insurgentes Norte⁵ y Módulo 23, respectivamente.

La Ruta Insurgentes Norte fue seleccionada con el propósito de comparar los resultados obtenidos en la Evaluación de Tecnologías de Autobuses para operar en corredores de transporte en la Ciudad de México (Componente 3), desarrollado por el Gobierno del Distrito Federal paralelamente al Proyecto Retrofit, en el marco del Programa de Introducción de Medidas Ambientalmente Amigables con el Clima en la ZMVM.

La segunda ruta se diseñó dentro del patio de operaciones del Módulo 23 de RTP, simulando la operación normal de un autobús con paradas preestablecidas y bajo condiciones controladas.

La primera y segunda fases de medición siguieron las rutas de manejo Insurgentes Norte y Módulo 23; en tanto que para la tercera, debido a la entrada en operación del corredor Metrobús Insurgentes en junio de 2005, la primera fue sustituida por la ruta Eje 5 Norte, Montevideo.

Esto debido a que las condiciones de operación cambiaron sustancialmente, además que se limitó la circulación a cualquier tipo de vehículo de transporte público diferente a los del sistema.

Para ello, en colaboración con SMA se analizaron diferentes vialidades, considerando sus características de densidad vehicular, tipo de transporte público en circulación, longitud y tipo de actividades realizadas en la zona. Eje 5 Norte, Montevideo fue la que presentó mayor similitud

⁵ La Ruta Insurgentes Norte fue reemplazada por Eje 5 Norte Montevideo, ya que con la entrada en operación del Metrobús Insurgentes cambió sustancialmente las condiciones de operación, además que limitó la circulación a cualquier tipo de autobús diferente al del sistema, esto generó la reubicación de todos los autobuses en otras rutas.

con Insurgente Norte, por lo que ésta fue seleccionada para realizar la última fase de medición, previo acuerdo con el Comité Técnico Asesor.

Las características de estas rutas fueron:

- **Insurgentes Norte.** Esta ruta se diseñó para medir emisiones de Indios Verdes (Norte) a la Glorieta de Insurgentes (Centro) y de regreso. Esto permitió determinar las emisiones generadas por la operación de un autobús de pasajeros, en condiciones reales de tráfico. Esta ruta tuvo un total de 16 paradas en dirección Norte – Centro y 21 en el sentido contrario. Para esta ruta, el autobús de prueba siguió la operación normal de un autobús de RTP, parando en cada sitio establecido por aproximadamente 35 segundos, considerando el tiempo de ascenso y descenso de pasajeros. Esta ruta fue realizada entre las 9:00 y las 14:00 horas. La distancia recorrida fue de 21.4 kilómetros, con una velocidad promedio en la zona comercial de 17 km/h y un tiempo de recorrido de 4,500 segundos (75 minutos).
- **Módulo 23.** Esta ruta fue diseñada para simular la operación normal de los autobuses, pero en un circuito controlado y por tanto, repetible. Para ello, se definieron 4 paradas preestablecidas a cada 300 metros, dentro del patio de operación de este Módulo y realizando 4 vueltas continuas, para completar un ciclo, con una longitud de 2.6 kilómetros y un tiempo de recorrido de 900 segundos (15 minutos).
- **Eje 5 Norte, Montevideo.** Esta avenida fue seleccionada dada la similitud tanto en densidad de tráfico vehicular, como en la variación de velocidades que a lo largo del tramo seleccionado se presentan – zona de mayor velocidad y zona comercial de baja velocidad- similar a lo que mantenía Insurgentes antes de la operación de Metrobús, por la circulación de microbuses.

Esta ruta fue recorrida desde Av. de la Culturas (oeste) hasta Calzada de los Misterios (este), realizando 21 paradas en la sección comercial y 5 en la sección de mayor velocidad, de 17 y 65 km/h, respectivamente. La distancia recorrida fue de 18.9 kilómetros y un tiempo de recorrido de 3,900 segundos (65 minutos).

Número de vehículos evaluados en cada fase de medición de emisiones

MEDICIÓN DE EMISIONES DE ESCAPE			
Primera Fase (Nov '04)	Segunda Fase (Ene '05)	Tercera Fase (Oct '05)	Cuarta Fase (Repetición Línea Base - Nov '05)*
Mercedes Benz "Prototipo" 1991			
6	6	3	3
International "AYCO" 2001			
7	7	7	7
Mercedes Benz "Torino" 2002			
-	-	2	2
TOTAL	13	12	12

* La Cuarta Fase se refiere únicamente a la repetición de la medición de la Línea Base en el caso de los autobuses "Prototipo" y "Ayco". En el caso de los "Torino", se refiere a la medición de su línea base.

b) Integración de datos.

Los datos generados con respecto a la emisión a gases de escape fueron recopilados y almacenados segundo a segundo durante cada prueba por el RAVEM, bajo su propio software de operación. Para el análisis de la información se importaron los datos a hojas de cálculo de formato Excel.

En el caso de la medición de partículas, se utilizaron filtros previamente acondicionados y pesados, por lo que al final de cada prueba, fueron acondicionados y pesados nuevamente para determinar por diferencia de peso, la cantidad de partículas emitidas durante cada prueba.

B. MEDICIÓN DE PARTÍCULAS ULTRAFINAS.

1. Protocolo de pruebas

La medición realizada con el RAVEM permitió conocer la concentración total de partículas emitidas por el escape de los autobuses posterior al sistema de tratamiento. Sin embargo, el Comité Técnico consideró importante determinar la eficiencia de retención de partículas por tamaño, principalmente las ultrafinas que son de fracción sólida y no volátil, con un diámetro que varía entre 20 y 300 nanómetros, ya que se ha demostrado que son las más dañinas al organismo porque pueden penetrar incluso las paredes celulares.

La prueba fue realizada a 4 autobuses, utilizando el equipo conocido como NanoMet-C, propiedad de Matter Engineering, siguiendo el procedimiento de medición establecido por la agencia sueca VERT, para verificar la eficiencia de retención de partículas en los DPF.

No de vehículos	Tipo	Condiciones
2	International Ayco 2001	DPF + ULSD
1	Mercedes Benz Torino 2002	DPF + ULSD
1	Mercedes Benz Prototipo 1991	DOC + ULSD

Para ello, se hizo pasar alternadamente una muestra a volumen constante por dos tubos de cobre: uno conectado antes del DPF y otro a la salida del tubo de escape. Estas muestras fueron diluidas y evaporadas para obtener únicamente las partículas sólidas y no volátiles, para la determinación simultánea de 3 propiedades: número, superficie y masa.

Los rangos de detección de este equipo son:

Propiedad	Rango de detección
Superficie	0 – 2,000 $\mu\text{m}^2/\text{cm}^3$
Concentración de hollín	0.1 – 1,000 $\mu\text{m}/\text{m}^3$
Número	0.1 – 10,000/ cm^3

a) Rutas de manejo.

Esta determinación se realizó bajo dos condiciones diferentes: una, siguiendo la ruta de manejo Módulo 23 y la otra, en aceleración libre.

- **Módulo 23.** Esta ruta de manejo fue similar a la diseñada para la medición con el RAVEM y consistió en simular la operación real de un autobús, por lo que se estableció un recorrido que consistió en dar dos vueltas completas a un circuito preestablecido con 3 paradas de 25 segundos, cada una. El tiempo total de cada circuito fue de entre 7 y 8 minutos.
- **Aceleración libre.** Esta prueba consistió en llevar el motor desde ralentí⁶ hasta corte de gobernador por 5 segundos y soltando el acelerados posteriormente para permitir que el motor regrese a ralentí. Este procedimiento se repitió 5 veces para cada autobús para antes y después del DOC o DPF.

Al igual que para la medición de gases de escape, los autobuses fueron lastrados al 70% de su capacidad.

b) Integración de datos

Los valores de factores de dilución, la superficie total activa, la concentración del número de partículas y el contenido de carbono elemental fueron registrados y almacenados en tiempo real en un archivo electrónico en código ASCII, mediante un software diseñado para recibir información segundo a segundo.

Sin embargo, debido a la inestabilidad del generador de energía para el equipo de medición, algunos datos no fueron registrados, por lo que fue necesario establecer algunas consideraciones para la preparación y análisis de los datos.

VIII. INSTALACIÓN DE TECNOLOGÍA PARA EL CONTROL DE EMISIONES

Dado que RTP ha instrumentado un Programa de Mantenimiento Preventivo para todo su parque vehicular, no se requirió ningún acondicionamiento especial previo a la instalación de los sistemas retrofit.

Como parte de la capacitación a los mecánicos del Módulo 23, personal técnico de Fleetguard asesoró y supervisó la instalación de los primeros DOC y DPF. Esto permitió optimizar el procedimiento para la colocación y adaptación de los equipos y de los monitores de presión y temperatura, en el caso de los filtros y facilitar la instalación de los equipos en el resto de los autobuses.

IX. AUDITORÍA Y CONTROL DE CALIDAD (QA/AC). POLÍTICAS DEL PROYECTO.

A. TECNOLOGÍAS PARA EL CONTROL DE EMISIONES.

Para verificar la adecuada operación de los DPF se colocaron monitores denominados CRTdm, los cuales almacenaron información segundo a segundo de la presión y temperatura de los gases de escape de los autobuses.

⁶ Marcha mínima (idle).

Estos monitores contaron con alarmas de fallas visuales y auditivas. En caso de alcanzar una sobrepresión de 7 inHg se encendería una alarma amarilla en el monitor, pero si la sobrepresión alcanzaba un límite de 9 inHg o una temperatura mayor de 700 °C, el monitor encendería una lámpara de color rojo y una alarma auditiva se escucharía. Una lámpara amarilla también destellaría en caso de una falla del monitor. Todos los eventos de falla y la fecha de referencia fueron almacenados en la memoria del monitor, de acuerdo con los fabricantes del equipo.

B. DIESEL ULTRABAJO AZUFRE.

Para garantizar la calidad del diesel en el sistema de distribución de combustible, previo a la instalación de los DOC y DPF, se drenaron los tanques de cada autobús y se les abasteció de diesel de ultrabajo azufre. Fueron operados normalmente hasta que consumieron al menos un tanque. Este procedimiento permitió limpiar los tanques y las líneas de abastecimiento, evitando con ello, una posible contaminación del diesel limpio por la mezcla con el convencional.

Por otro lado, como parte del control de calidad del combustible importado como del seguimiento para se midió de manera periódica la concentración del contenido de azufre. Para ello, se utilizó un equipo Horiba "sindic 4000", el cual fue prestado por la propia empresa a SMA y operado por personal técnico del CTS.

C. MEDICIÓN DE EMISIONES.

Para asegurar la calidad de la medición de las emisiones realizadas con el sistema RAVEM, previo al inicio de cada campaña, se llevó a cabo la calibración del equipo mediante una Prueba de Recuperación de Combustible. Las emisiones totales de carbono, expresadas como la suma del carbono contenido en el CO₂, CO y Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's), están directamente relacionadas con el consumo de combustible.

Para esta prueba, se utilizó un tanque de combustible portátil que se conectó al sistema de suministro de un autobús, pesándolo antes y después de un recorrido de prueba. Esto permitió realizar un balance de masas entre el contenido de carbono del diesel consumido y el carbono detectado en las emisiones de escape, corroborando con ello, la adecuada operación de los analizadores y del sistema de muestreo.

La medición en la concentración de contaminantes en el sistema RAVEM siguió los métodos especificados por US-EPA y la norma ISO 8178.

Asimismo, para tener datos estadísticos se realizaron 3 mediciones por cada autobús en cada una de las rutas de manejo establecidas.

Los datos generados por los analizadores de gases del RAVEM fueron registrados automáticamente por el equipo y almacenados en archivos electrónicos en una laptop, mediante una interfase de comunicación. Para el análisis de los resultados, esta información fue importada a formato de hoja de cálculo de Excel.

X. CAPACITACIÓN A MECÁNICOS Y OPERADORES DE AUTOBUSES DE RTP.

CTS con apoyo de Fleetguard Nelson de México capacitó a 20 mecánicos y 40 operadores del Módulo 23 de RTP. El curso de capacitación fue teórico – práctico y cubrió los siguientes temas:

- Tecnología Retrofit: principios básicos de funcionamiento.
- Identificación de fallas por saturación de los equipos o por aumentos de temperatura.
- Identificación de las combinaciones posibles de las señales visuales de los monitores de alarma (DPF's).
- Criterios para toma de decisiones, en el caso de activarse una señal de alerta o alarma.

En el caso particular de los mecánicos, su capacitación incluyó sesiones prácticas para la instalación de los DOC y los DPF, así como mostrar los procedimientos para su adaptación, instalación y mantenimiento.

Por su parte, los 40 operadores recibieron capacitación para mejorar sus hábitos de manejo, dado el alto impacto que éste tiene en las emisiones de escape, el cual por ejemplo, puede generar un aumento de más del 30% de partículas. Además del procedimiento a seguir en caso de la activación de la alarma del monitor de sobrepresión.

La capacitación a operadores y mecánicos fue crucial para el éxito del proyecto; logrando con ello, un alto nivel de participación en todas las actividades desarrollados.

Como reconocimiento a su esfuerzo, el CTS les entregó Diplomas a los participantes al curso de capacitación; así como también fueron invitados especiales en el evento de “Demostración pública del pañuelo blanco”, el cual fue presidido por el Jefe de Gobierno del Distrito Federal y Anthony Garza, embajador de EU en México.

Asimismo, su experiencia en este proyecto piloto ha formado parte de los materiales de divulgación elaborados por el CTS.

Para clausurar las actividades desarrolladas en el Módulo 23, se organizó una comida a la que asistieron operadores y mecánicos de RTP, así como otros participantes del proyecto.

XI. INSTRUMENTACIÓN, OPERACIÓN Y SEGUIMIENTO

A. SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE

Los 20 autobuses del proyecto fueron abastecidos diariamente en la Antigua Estación de Servicio. El personal encargado registró en una bitácora de control, la cantidad en litros suministrada a cada uno de estos.

1. Medidas de seguridad

Para evitar que los autobuses del proyecto fueran abastecidos con diesel convencional se colocaron chapas de seguridad en las puertas de los tanques de combustible. Para facilitar el manejo, las 20 chapas abrían con una sola llave, la cual quedó a resguardo del responsable de la estación de servicio.

Además se colocó una etiqueta cerca del tanque de combustible con la frase **“Uso Exclusivamente Diesel Bajo Azufre (15 ppm)”**, para evitar confusiones al momento de la recarga de combustible.

2. Pruebas de control de calidad

El monitoreo de la calidad del combustible se realizó de manera periódica cada vez que un embarque de diesel se recibió en el Módulo 23 de RTP; muestreando en 3 puntos:

- a) Directamente en la pipa en el que fue transportado desde los Estados Unidos
- b) Tanques de almacenamiento de la estación de servicio.
- c) Tanques de combustible de los autobuses participantes, seleccionando aleatoriamente unidades con DOC y DPF.

La medición de la concentración del contenido de azufre en el diesel limpio utilizado en el Proyecto se realizó mediante un equipo Horiba “sindic 4000”.

Los resultados obtenidos mostraron que en promedio, el contenido de azufre en los embarques recibidos fue de 1.63 ppm, en los tanques de almacenamiento de 1.69 ppm y de 3.58 ppm de azufre en el tanque de los autobuses.

Estos valores también se encuentran por debajo del límite máximo especificado que fue 15 ppm.

B. IMPACTO DEL INCREMENTO DEL PRECIO DEL DIESEL IMPORTADO.

El constante incremento que se presentó en el precio del petróleo en los Estados Unidos, debido principalmente a cuestiones meteorológicas como huracanes que se vio reflejado en el diferencial de precios que se pagó por diesel de ultra bajo contenido de azufre importado de dicho país; por lo que se consideró realizar la tercera y última campaña de medición de emisiones en la segunda semana del mes de octubre de 2005, a fin de garantizar la exitosa conclusión del proyecto.

C. SEGUIMIENTO OPERATIVO DE LOS AUTOBUSES.

Para facilitar el seguimiento operativo de los autobuses se utilizaron bitácoras de control, las cuales incluyeron:

- Suministro diario de combustible de la estación.
- Mantenimiento preventivo.
- Mantenimiento correctivo.
- Temperatura y contrapresión del motor (*data logging*).
- Ruta de operación y kilometraje recorrido.
- Recepción de combustible en la estación.
- Control de muestras de ULSD.
- Resultados del análisis.

Adicionalmente, se registró también el equipo instalado en cada autobús:

1. Monitoreo de autobuses.

Como parte del seguimiento realizado a la operación de los dispositivos instalados, personal técnico del CTS y de Fleetguard Nelson de México, mensualmente llevaron a cabo la revisión física y la obtención de la información de presión y temperatura de los gases de escape, registrada por el módulo de control del DPF.

a) Operación DPF's.

Durante los aproximadamente 55 mil kilómetros de operación de los DPF's, se registró en promedio, un incremento promedio de 1.62 pulgadas de mercurio (inHg) en la contrapresión de los gases de escape, con una temperatura promedio de 375 °C, parámetros que muestran una operación normal de los equipos.

TABLA DE CONDICIONES MÁXIMAS DE OPERACIÓN (PRESIÓN Y TEMPERATURA) EN CRT

No. Autobús	No. Serie Sistema CRTdm	Fecha de Instalación	Presión Máxima (inHg)	Temperatura Máxima (°C)
23-992	041001-013	24-11-04	1.82	338
23-1000	041001-014	25-11-04	1.41	368
23-1003	041001-002	28-11-04	1.51	376 (1069) ¹
23-1006	040930-001	26-11-05	1.97	373
23-1020	041001-000	26-11-04	1.53	352
23-1022	040930-007	23-11-04	2.08	399 (1051) ²
23-1028	040930-003	28-11-04	1.62	361
23-1037	041001-015	27-11-04	1.34	337
24-1042	041001-008	23-11-04	2.08	400
24-1053	040930-000	25-11-04	1.56	393

24-1054	041001-014	24-11-04	1.80	390
24-1057	041001-015	27-11-04	1.50	392

¹: Temperatura máxima registrada durante la falla de señal del sistema monitor

²: Temperatura máxima durante la capacitación por manipulación de los termopares en condiciones extremas

A lo largo del proyecto, se registraron condiciones distintas a las normales en la operación de los DPF, generadas por desconexiones o rupturas en la tubería de conexión del sistema de registro de datos, por lo que una vez reparados éstos, la falla desapareció. No se registraron fallas o problemas asociados con estos dispositivos en autobús alguno.

b) Operación DOC's.

Después de 7 meses de operación de los DOC's, 2 autobuses Prototipo 1991 presentaron una emisión visible de humo negro del escape durante su operación normal; por lo que en julio de 2005 fueron desinstalados por personal técnico de Fleetguard Nelson México y Johnson Matthey para su limpieza.

Esta limpieza consistió en inyectar aire comprimido a una presión no mayor de 4.5 kg/cm² (60 libras/pulg²) en dirección opuesta al flujo de los gases.

Los equipos fueron colocados nuevamente en los autobuses, notándose una reducción significativa de humo en el escape.

c) Mantenimiento.

De acuerdo con las bitácoras de RTP, los autobuses recibieron el mantenimiento preventivo correspondiente, según lo programado por el organismo. Este mantenimiento se realiza aproximadamente a cada 5 mil kilómetros de operación, conforme a las especificaciones técnicas del fabricante. Cada autobús recibe en promedio al año 9 servicios.

El mantenimiento incluye la revisión de 3 puntos básicos de seguridad:

- Suspensión.
- Frenos.
- Dirección.

Además, la revisión de otros 8 puntos principales:

- Motor.
- Sistema eléctrico.
- Transmisión.
- Sistema neumático.
- Sistema de enfriamiento.
- Diferencial.
- Carrocería.
- Llantas.

También incluye:

- Cambio de aceite.
- Cambios de filtros de aire y aceite.
- Lubricación de motor y partes móviles.

Durante la etapa de pruebas del proyecto, se realizaron algunos mantenimientos correctivos, sin embargo, ninguno derivado de la operación de los equipos instalados.

d) Consumo de combustible.

Los consumos de combustible registrados y los rendimientos estimados por los autobuses retroadaptados son similares a los generados por el resto de la flota.

TABLA DE CONSUMO Y RENDIMIENTO PROMEDIOS POR TIPO DE AUTOBÚS

Tipo de Autobús	Distancia recorrida promedio (Km/mes)	Consumo promedio de combustible (l/mes)	Rendimiento mensual promedio (Km/l)
MB Prototipo 1991	4,551	2,132	2.1
International Ayco 2001	4,780	2,217	2.2
MB Torino 2002	4,707	2,017	2.3

D. CAMBIO EN EL PLAN DE PRUEBAS.

En respuesta a un notable incremento del sobreprecio del diesel importado, se decidió reducir el periodo para la realización de la última campaña de medición de emisiones y optimizar el combustible adquirido. Para ello, de acuerdo con el Comité Técnico Asesor, SMA y RTP, se concluyó la prueba para 8 de los 20 autobuses retroadaptados: 5 MB Prototipo, 1 International Ayco y 2 MB 2002.

Esto permitió rediseñar la última fase de medición para evaluar el desempeño de los equipos. Por lo que se incluyeron 2 autobuses MB Torino y se les realizaron pruebas con y sin DPF, que originalmente no fueron considerados para su medición.

XII. RESULTADOS

A. MEDICIÓN DE EMISIONES EN CONDICIONES REALES DE OPERACIÓN.

Los resultados muestran que es posible reducir hasta entre un 80 y 92% la concentración de partículas, incluso las ultrafinas de fracción sólida, emitidas por los autobuses a diesel, utilizando filtros de partículas (DPF's) y combustible de ultra bajo contenido de azufre (<15 ppm).

La tabla siguiente muestra los resultados obtenidos del promedio de emisiones por tipo de autobús en cada fase de medición y ruta de manejo, expresados en gramos por kilómetro.

Emisiones Promedio por Tipo de Autobús para Fases I, II y III

Ruta de Manejo	Emisiones - g/km								
	PM			NOx			CO		
Fases	I*	II**	III***	I*	II**	III***	I*	II**	III***
Autobuses Mercedes Benz Prototipo modelo 1991(DOC)									
Módulo 23	2.74	2.39	1.52	20.13	17.31	19.12	38.6	22.1	22.0
Insurgentes Norte	1.70	1.32	---	12.94	11.67	---	22.5	6.2	---
Montevideo	1.68	---	1.19	14.86	---	13.10	31.7	---	7.3
Autobuses Internacional Ayco modelo 2001 (DPFs)									
Módulo 23	0.24	0.05	0.02	14.47	15.85	14.63	4.2	0	0
Insurgentes Norte	0.27	0.02	---	10.99	10.43	---	4.7	0.1	---
Montevideo	0.21	---	0.02	10.33	---	10.65	5.3	---	0

* Primera Fase – Línea Bases (No Retrofit + Diesel 350-ppm S)

** Segunda Fase – Estabilización (Retrofit + Diesel 15 ppm S)

*** Tercera Fase – Desempeño ambiental (Retrofit + Diesel 15 ppm S)

Comparado con los datos de línea base, las emisiones promedio de CO₂ de los autobuses equipados con DOC mostraron reducciones en dos de las tres rutas de manejo utilizadas, en tanto que en algunos de los autobuses equipados con DPF esta concentración se incrementó.

Esto puede deberse a un impacto menor sobre el consumo de combustible, según especificaciones del fabricante, a los diferentes estilos de manejo de los operadores que participaron en las pruebas o bien, por fugas a lo largo del sistema de escape.

Las emisiones de NOx variaron en proporción a las emisiones de CO₂, lo cual es un comportamiento típico en los motores a diesel.

Sin embargo, las reducciones de este contaminante no fueron las esperadas para estos equipos y pudo deberse al cambio de combustible convencional por ULSD o bien, por variaciones en el método para medir este contaminante, el cual es por quimioluminiscencia.

Es importante mencionar que durante la medición de la línea base en Noviembre de 2004, debido al uso de “una punta de prueba” dañada, algunos de los resultados obtenidos fueron incorrectos. No obstante, al final de la tercera fase de medición se repitieron estas mediciones en los autobuses que resultaron afectados.

Los resultados muestran que en unidades modelo 2001 con DPF's la reducción de partículas (PM) es de hasta un 90%. Además, el uso de estos equipos permite también reducir las partículas menores a 300 nanómetros conocidas como ultrafinas en un 99%.

En el caso de los vehículos más antiguos (de inyección mecánica), la concentración de partículas emitidas se redujo hasta en un 44%, lo cual se asume es el resultado de la oxidación de la fracción orgánica soluble de la PM.

Resumen del Porcentaje de Reducción de PM, CO, NOx en la Segunda y Tercera Fases con respecto a la Línea Base

Tipo de autobús	Autobuses 1991 (DOC's)		Autobuses 2001 (DPF's)	
	Fase 2	Fase 3	Fase 2	Fase 3
Reducción de emisiones	13 a 22% PM	29 a 44% PM	79 a 93% PM	90 a 92% PM
	43 a 72% CO	43 a 77% CO	98 a 100% CO	100% CO
	10 a 14% NOx	5 a 12% NOx	+1 a +5% NOx	+1 a +3.1% NOx

B. MEDICIÓN DE PARTÍCULAS ULTRAFINAS.

Los resultados muestran que los DPF medidos operan eficientemente, logrando la retención de más del 99% de las partículas ultrafinas emitidas por el escape de los vehículos a diesel; lo cual concuerda con los resultados obtenidos en estudios similares y en las mediciones de estos sistemas mediante el Protocolo VERT.

En el caso de los DOC's, a pesar de que normalmente presentan una baja capacidad de retención, los resultados del dispositivo evaluado fueron mejores que los esperados. Las razones de este comportamiento atípico no son claras y no pueden ser explicadas con los datos obtenidos, por lo que para establecer un argumento técnico será necesario realizar más mediciones en las mismas condiciones o similares y con diferentes equipos.

Porcentaje de retención de nanopartículas en DOC y DPF

No. económico Autobús	Sistema Retrofit	Porcentaje de retención de partículas		
		Ciclo 1 vs. 2**	Ciclo 3 vs. 4**	Aceleración libre
23-1057	DPF (CRT)	99.6%	99.5%	---
23-1003	DPF (CRT)	99.5%	99.5%	99.9%
23-1006	DPF (CRT)	99.9%	99.9%	99.9%
23-0968	DOC	60.1%	58.4%	---

* O DOC

** Las muestras tomadas después del equipo retrofit corresponden a los Ciclos 1 y 3, y antes, a los Ciclos 2 y 4.

Se presentaron algunas dificultades con la conexión de los equipos de medición a un generador de energía de 230 V de corriente alterna durante la prueba. Esto ocasionó que los datos no fueran registrados segundo a segundo. No obstante, los datos recopilados de las diferentes pruebas pudieron ser analizados siguiendo una estrategia alternativa para su validación.

De manera general, se concluye que los DPF's:

- Sólo permiten la liberación del 1% o menos de partículas sólidas ultrafinas.
- Son de 5 a 10 veces más costo – efectivos por partícula emitida en el escape que los DOC's.
- Son extremadamente durables. Los resultados obtenidos fueron después de un año de operación.

Los recursos para esta prueba fueron otorgados por Johnson Matthey, Corning Incorporated y Fleetguard.

C. ANÁLISIS DE LAS CENIZAS COLECTADAS EN LOS DPF.

1. Procedimiento de recolección de cenizas.

Una vez concluida las pruebas y retirados los filtros de partículas se seleccionaron 3 equipos en igual número de unidades, los cuales fueron desarmados para separar la sección catalítica del filtro y mediante un procedimiento de limpieza aplicando aire a presión entre 60 y 80 psi en contraflujo de los gases de escape, recolectando por el extremo contrario las cenizas de cada uno de estos dispositivos en una bolsa de lona.

Los DPF seleccionados estuvieron operando en los autobuses número 23-1006, 23-992 y 23-1054.

Una vez concluida la limpieza de los filtros, se armaron nuevamente los equipos.

Cantidad de cenizas en colectadas en DPF

Autobús No.	Sección catalítica	Peso cenizas (g)	Sección filtrante	Peso cenizas (g)	Contrapresión registrada (inHg)
231054	DOC	40.8	DPF	32.7	2.15
23992	DOC	27.1	DPF	34.3	1.82
231006	DOC	11.8	DPF	158.4	1.97

El peso de las cenizas no es un indicador directo de la adecuada operación del dispositivo, ya que su acumulación en el filtro puede deberse a diversas variables como el *status* del ciclo de regeneración, las condiciones del propio dispositivo, sin embargo, puede proporcionar información adicional a los resultados de presión y temperatura que se registran a través de la alarma de fallas.

Por ejemplo, en el DPF del autobús No. 23-1006 se detectó la mayor cantidad de cenizas y de acuerdo a los datos registrados, una temperatura de 503 °C, más alta que el resto de los

dispositivos evaluados para esta prueba. Estos parámetros indican que el dispositivo podría haberse encontrado al inicio de su ciclo regenerativo cuando el autobús fue apagado y éste removido.

XIII. ANÁLISIS DE COSTOS

El costo de la retroadaptación de autobuses a diesel en circulación es una consideración importante para determinar la viabilidad de multiplicar esta experiencia en otras flotas vehiculares.

El Proyecto Piloto Retrofit de la Ciudad de México generó costos que pueden ser divididos en 2 partes. Primero, los relacionados con una etapa preliminar a la instalación, definida como etapa de preparación y segundo, los directamente asociados con la operación de los vehículos.

A. ETAPA DE PREPARACIÓN.

- **Acondicionamiento de la estación de servicio**, que incluyó el mantenimiento preventivo a bombas de despacho en partes mecánicas y eléctricas; calibración de bombas, mantenimiento a bomba de combustible y limpieza y pruebas de hermeticidad en los tanques de almacenamiento y pintado de la estación.
- **Equipo**, en el que se consideraron el costo de adquisición de los DOC's y DPF's, servicios de instalación, mano de obra y materiales requeridos para su colocación en cada autobús.

B. ETAPA DE OPERACIÓN.

- **Del combustible**, considerando únicamente el sobreprecio pagado por el ULSD. RTP cubrió el costo de los 504 mil 660 litros importados

Los costos se especifican en la siguiente tabla:

Costos de retroadaptación y operación de 20 autobuses de RTP

Concepto	Costo Total (pesos)	Costo Total (dólares americanos)*
Etapa de preparación		
Acondicionamiento de la estación de servicio	66,255	5,863
Equipo (DOC's y DPF's)	704,888	64,081
Subtotal	771,143	68,243
Etapa de operación		
Combustible (ULSD)	603,040	6,023
Costo total	1'313,163	119,378

* El tipo de cambio considerado fue de \$11 por dólar.

El costo total de la retroadaptación y operación de 20 autobuses de pasajeros en la Ciudad de México fue de \$1'313,163 pesos (119,378 dólares americanos).

La *etapa de preparación* representó el 58.7% del costo total de la instrumentación del proyecto, en tanto que el 41.3% restante fue derivado del sobreprecio pagado por la importación del diesel ultrabajo azufre desde los Estados Unidos a la Ciudad de México para la operación de los autobuses durante aproximadamente un año.

Del total de los costos de preparación, equivalente a \$704,888 (64,081 dólares), el 90% correspondió a la adquisición de los dispositivos de control de contaminantes (8 DOC's y 12 DPF's); el 8.6% fue causado por el acondicionamientos de la estación de suministro.

El 1.4% restante correspondió a costos de instalación como mano de obra y materiales para su colocación; en el que la mano de obra representó menos del 1%, gracias a la capacidad técnica adquirida por los mecánicos de RTP.

C. EQUIPO.

Como puede verse en estos datos, la compra del equipo representó un alto porcentaje de la inversión al proyecto, ya que a pesar de que éstos fueron producidos en México, se trató de un pedido especial. Por lo que, si éstos se produjeran de manera masiva, sus costos podrían ser más accesibles.

D. RENDIMIENTO DE COMBUSTIBLE Y MANTENIMIENTO.

De acuerdo con la información recabada en el área de mantenimiento de RTP a lo largo del proyecto, la instalación de los dispositivos de control de contaminantes en 20 autobuses no modificó el consumo promedio de combustible registrado por el resto de la flota que no fue retroadaptada. Tampoco se incurrió en costos adicionales a los generados por el mantenimiento preventivo de las unidades ni por mantenimiento correctivo por fallas generadas durante la operación de los DOC's y/o los DPF's.

E. COMBUSTIBLE.

A pesar que el costo del diesel ULSD representó solamente su precio de venta en los EU más los gastos de su transportación a la Ciudad de México, el costo de importación se incrementó significativamente, debido al aumento del precio del petróleo y a los huracanes que afectaron la región de Texas.

Esto se vio reflejado en el sobreprecio pagado por el proyecto, el cual incrementó su monto hasta 3 veces más con respecto al pago realizado por los primeros 180 mil litros.

Asimismo, para garantizar que este combustible importado no se mezclara con el diesel convencional, RTP facilitó una estación de servicio y dos tanques de almacenamiento adicionales (40 mil litros cada uno) en las instalaciones del Modulo 23, mismos que fueron reactivados y acondicionados previos al inicio del proyecto.

Para RTP esto implicó la operación simultánea de 2 estaciones de servicio en el mismo Módulo operativo, por lo que se instrumentaron controles para evitar que los autobuses retroadaptados fueran abastecidos con diesel convencional. Estos costos no se trasladaron al proyecto sino que fueron cubiertos por RTP.

F. ASOCIADOS A LA REDUCCIÓN DE EMISIONES.

Estimación de costos por tonelada reducida de contaminante por tipo de autobús

	Prototipo (1991)			International Ayco (2001)			Torino (2002)		
	DOC			DPF			DPF		
	PM	NOx	CO	PM	NOx	CO	PM	NOx	CO
Factores de emisión promedio (g/km)	1.52	19.12	22.0	0.03	10.57	0	0.02	14.63	0
Reducción de emisiones (ton/año)	0.082	1.036	1.192	0.002	0.623	0.000	0.001	0.793	0.000
Costo operativo anual por unidad (pesos/dólares)	43,128 (3,921)			98,336 (8,940)			90,614 (8,238)		
Costo anual por tonelada reducida (pesos/ton)	3,552	44,683	51,413	174	61,226	0	110	71,834	0
(en dólares/ton)	323	4062	4674	16	5566	0	10	6530	0
Costo anual/unidad (pesos/dólares)	99,648 (9,059)			61,400 (5,582)			71,945 (6,540)		

Los datos muestran que para el caso de los DOC's el costo anual por tonelada reducida de contaminantes totales fue de \$99,648 (9,059 dólares) por autobús; en tanto que para los DPF, este costo fue de \$66,672 (6,061 dólares).

En el caso específico de las partículas, la tonelada anual reducida tuvo un costo de \$3,552 (323 dólares) por cada DOC instalado y de \$142 (13 dólares) por DPF. Sin embargo, en el caso de los óxidos de nitrógeno, el costo fue de \$44,683 (4,062 dólares) por DOC, 33% menos que en un DPF.

No obstante, debido al nivel de obsolescencia de la vida útil que presentan el 60% de vehículos a diesel en la ZMVM, el costo de la instalación de un convertidor oxidativo puede no resultar económicamente rentable, a pesar de que ofrece ventajas ambientales.

Por ejemplo, si consideramos que el valor comercial actual de un autobús anterior a EPA94 es mucho menor de lo que representaría el costo de su retroadaptación y operación. Además, de considerar que, de acuerdo con la normatividad vigente en el Distrito Federal, estos vehículos han rebasado el límite establecido para su operación que es de 10 años.

Sin embargo, reconocemos que en vehículos viejos no se pueden usar DPF's, siendo la opción más viable un DOC, dispositivo diseñado para emplear diesel convencional, a pesar de que en este programa fue evaluado con diesel de menos de 15 ppm de azufre, por lo que el costo asociado a su operación podría variar.

XIV. CONCLUSIONES

Retrofit se consolida como una alternativa ambiental para el transporte público de pasajeros, desarrollado de manera exitosa, gracias a la participación y cooperación de diversas dependencias del gobierno federal y local, así como al apoyo recibido por organismos y expertos internacionales, involucrados en la búsqueda de alternativas que ofrezcan opciones para la disminución de emisiones contaminantes.

Retrofit demostró que el uso de filtros de partículas ayuda a reducir hasta el 99% de las partículas ultrafinas, altamente dañinas al organismo, aún después de un año de operación continua.

Asimismo, de acuerdo a lo expresado por RTP, este proyecto fortaleció su decisión de concluir la renovación del 100% de su flota, al retirar del servicio a las unidades que no cumplían con las certificaciones EPA98 o EURO III.

Lo anterior, debido a que el desempeño ambiental de los autobuses con motores de inyección mecánica equipados con convertidores oxidativos fue inferior al que presentan los vehículos de inyección electrónica, aún sin ningún dispositivo de control de emisiones.

Además, de acuerdo con los costos generados, no es rentable para esta empresa de transporte instalar convertidores oxidativos en autobuses con una vida útil mayor a 10 años, ya que su valor comercial actual es mucho menor que el costo de su retroadaptación y operación.

Con la renovación de los autobuses de RTP se abre la opción para que puedan ser retroadaptados con filtros de partículas, tecnología que ha comprobado grandes beneficios, pero se requiere que el diesel de ultrabajo azufre esté comercialmente disponible, abatiendo costos de operación.

Por otro lado, la experiencia de Retrofit –el uso de combustibles de bajo contenido de azufre en combinación con tecnologías de control de emisiones, se convierte en una medida con gran potencial de replicabilidad en ciudades.

Prueba de ello, es el Acuerdo firmado, en noviembre de 2005, por el gobierno federal mexicano con US-EPA, en el marco del Programa Fronterizo 2012, que incluye la realización de proyectos Retrofit en ciudades mexicanas que se encuentran en la frontera con EU.

Las lecciones aprendidas en el proyecto de la Ciudad de México están apoyando la realización proyectos similares que están realizando en otras ciudades del país y del mundo, entre las que se encuentran: Tijuana, Baja California en México, Santiago de Chile en Chile; Bangkok en Tailandia; Pekín en China y Pune en la India.

XV. LECCIONES APRENDIDAS

El Proyecto Piloto Retrofit de la Ciudad de México generó durante su instrumentación una serie de experiencias que pueden ser valiosas para que proyectos similares logren resultados exitosos.

La planeación

En la experiencia de la Ciudad de México, el compromiso institucional de los gobiernos federal y local fue fundamental para la realización de este proyecto, así como el liderazgo de una organización local –como el CTS– en la ejecución del proyecto y la administración de los recursos asignados.

Involucrar a cada uno de los actores que participaron en su ejecución, desde la etapa de planeación, permitió integrar un mejor diseño e identificar barreras a superar para lograr los objetivos planteados, así como el compromiso para apoyar las actividades derivadas del mismo.

Este grupo reunió a autoridades ambientales y de transporte de los gobiernos federal y local, así como la participación de representantes de USEPA, Pemex –como proveedor del combustible–, fabricantes de autobuses y consultores expertos en la medición de emisiones vehiculares.

La integración de un Consejo Técnico Asesor, con expertos internacionalmente reconocidos y con visión estratégica, apoyó y asesoró la toma de decisiones a lo largo del proyecto.

Este consejo mantuvo una interacción constante con el resto de los participantes, logrando un modelo administrativo de gestión plural, participativa y de alta consejería en todo el proceso.

Por lo que es recomendable que esta comunicación sea vía telefónica y correo telefónico cada dos semanas o según sea requerido.

La preparación

El apoyo y la participación activa de RTP, empresa administradora y operadora de la flota, fueron indispensables para el éxito de este proyecto. Proporcionó los patios de servicio, la estación de combustible, los autobuses y el personal técnico y operativo para realizar el proyecto.

La invitación a proveedores de tecnología Retrofit para participar en este proyecto permitió seleccionar al que presentó una mejor propuesta técnico– económica, de acuerdo con las especificaciones de los vehículos a retroadaptar y el tipo de tecnología preferida.

Con ello se evitó que surgieran conflictos de intereses y que la interrelación entre el proveedor RTP –como administrador y operador de la flota– y el CTS fuera clara y transparente.

Seleccionar a un solo proveedor facilitó el proceso administrativo y la coordinación en el seguimiento operativo y el soporte técnico brindado a los dispositivos instalados.

Este soporte fue especificado, como parte de los requisitos a cubrir por el proveedor seleccionado, para fortalecer la capacidad técnica de RTP en la instalación y mantenimiento de equipos evaluados como filtros de partículas o convertidores oxidativos.

La operación y seguimiento

Los operadores de autobuses integraron a su lista de verificación de condiciones del autobús, previa a la operación en ruta, la revisión de los equipos, principalmente los filtros de partículas para detectar posibles fallas.

Asimismo, mensualmente se recopilaron los datos registrados por el módulo de control de los filtros de partículas para monitorear las variaciones en la presión y temperatura de los gases de escape y detectar igualmente fallas en la operación del equipo.

Es importante que estos equipos cuenten con alarmas audibles y visuales que adviertan en caso de que ocurra una saturación en el sistema que pueda dañar el motor.

RTP realizó el mantenimiento preventivo de cada vehículo conforme lo señalado por su proveedor, con lo cual garantizó el adecuado desempeño de las unidades y afectaciones a los equipos Retrofit instalados.

Con respecto al combustible, se realizó periódicamente el monitoreo del contenido de azufre, mediante el análisis de muestras aleatorias tomadas tanto de los tanques de los autobuses como de la estación de servicio y de las pipas donde se transportó el diesel limpio desde Estados Unidos.

Los equipos instalados deben ser sustitutos del mofle, para evitar hacer modificaciones mayores a la configuración del sistema de escape del vehículo.

Recuadros

Para medir emisiones de escape:

-Establecer tres fases de medición: línea base, después de un mes de estabilización y a un año de operación de los equipos.

-Medir hidrocarburos (HC), monóxido y bióxido de carbono (CO y CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x) y partículas (PM).

-Contar con un mismo operador para las pruebas de medición, o bien, que los operadores participantes sean capacitados para que sigan un estilo de manejo similar, con el propósito de reducir esta variable en la determinación principalmente de los NO_x.

-Previo a la medición de cada autobús, revisar fugas en la instalación del equipo Retrofit, las cuales pueden generar interferencias en los resultados.

-En posteriores pruebas que se realicen con el laboratorio portátil RAVEM, realizar una prueba de recuperación de combustible para verificar la exactitud de medición del sistema.

-Desarrollar dos rutas de manejo, preferentemente una en un circuito reproducible y bajo condiciones controladas. Esto permitirá tener parámetros de comparación en caso de que la

otra ruta, diseñada en un circuito real, no pueda ser utilizada, como fue el caso de la de Insurgentes Norte.

NO OLVIDAR

-Identificar gráficamente los autobuses que participan en la prueba.

-Lavar los tanques de almacenamiento de combustible tanto de la estación de servicio como de los autobuses para evitar la contaminación del diesel limpio (<15 ppm de azufre) con residuos del combustible convencional.

-Identificar los tanques de combustible del vehículo y las bombas de despacho de la estación de servicio con la leyenda "Diesel Ultrabajo Azufre".

-Establecer medidas de control para evitar que los autobuses de prueba sean abastecidos con un combustible diferente, como colocar una chapa de seguridad en la puerta del tanque del vehículo.

XVI. ACTIVIDADES DE COMUNICACIÓN Y DISEMINACIÓN DEL CONOCIMIENTO.

A. EVENTOS.

1. Presentación del Proyecto Retrofit.

En una conferencia de prensa realizada en el Bosque de Chapultepec bajo el lema de “*Te llevamos, ahora más limpio*”, el 21 de junio del 2004 se llevó a cabo la presentación del Proyecto de Control de Emisiones para Vehículos a Diesel en la Ciudad de México, mejor conocido como Retrofit.

Este evento enfatizó no sólo la gran importancia de este tipo de iniciativas para la Ciudad de México sino también la visibilidad internacional que tendrían los resultados generados; por ser el primer proyecto realizado por US-EPA fuera de los Estados Unidos

Para la presentación del Proyecto Piloto Retrofit se contó con la asistencia de:

- Dra. Claudia Sheinbaum Pardo, Secretaria del Medio Ambiente del Distrito Federal.
- Dr. David Jhirad, Vice-Presidente de World Resources Institute.
- Sr. Michael Leavitt, Administrator de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América.
- Ing. Sergio Sánchez Martínez. Director General de Gestión de la Calidad del Aire y Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes de SEMARNAT.
- Lic. Luz Elena González Escobar, Directora General de la Red de Transporte de Pasajeros del Distrito Federal.
- Ing. Adriana Lobo, Directora del Centro de Transporte Sustentable de la Ciudad de México.

Se contó con una amplia cobertura tanto en la prensa internacional como nacional. Estuvieron presentes las principales televisoras, estaciones de radio y prensa escrita.

2. Demostración Pública del Pañuelo Blanco.

El 24 de enero del 2005 se realizó, en las instalaciones del Módulo 23, una presentación oficial ante los medios de comunicación del Proyecto Retrofit, enmarcado en una demostración pública de la operación de los sistemas instalados en la flota de RTP.

Para esta demostración, el entonces Jefe de Gobierno del Distrito Federal, Andrés Manuel López Obrador y el Embajador de los Estados Unidos en México, Antonio O. Garza, colocaron un *pañuelo blanco* en el escape de un autobús con filtro de partículas, demostrándose que el guante no se ensucia, dado que no hay presencia de humo negro a la salida de los gases de escape.

Durante esta ceremonia a la que asistieron representantes de las instituciones involucradas en el proyecto, así como un nutrido grupo de periodistas que generaron un importante número de publicaciones en la prensa mexicana, se otorgaron reconocimientos a los mecánicos y operadores de RTP que participaban en el proyecto.

3. Taller de evaluación del proyecto.

Este taller de trabajo se realizó el 28 de abril de 2005 en la Ciudad de México y tuvo como objetivo dar a conocer los avances y resultados preliminares del proyecto derivados de las dos primeras fases de medición de emisiones: línea base y fase de estabilización. Asimismo, permitió establecer los criterios a seguir durante el tiempo restante del proyecto.

Para ello, se reunieron los integrantes del Comité Técnico Asesor, además de las instituciones locales involucradas en su instrumentación, así como de US-EPA y del WRI-EMBARQ, destacándose también la participación del Dr. Mario Molina.

Durante esta reunión, el CTS presentó un video informativo que refleja los principales elementos considerados para la instrumentación del proyecto; así como el compromiso e interés que los representantes de las agencias internacionales y locales tuvieron para la ejecución del proyecto y el punto de vista del personal técnico y operativo de RTP con respecto a los beneficios que observaron por la instalación de dispositivos para el control de contaminantes.

a) Comentarios y discusión.

Los resultados presentados entonces dieron pie a una discusión sobre la conveniencia de difundir públicamente los avances obtenidos, ya que resultados demostraron la necesidad de introducir al mercado mexicano combustibles de menor contenido de azufre, establecer normas más restrictivas en cuanto a emisiones y el continuar con el esfuerzo de retirar, reemplazar y retro-adaptar las unidades de transporte a diesel, ya que de acuerdo con estudios realizados por el Dr. Mario Molina, la contaminación en la ZMVM, representada principalmente por las partículas y el ozono, se estima cuesta 2.5 millones de días perdidos de trabajo, por afectaciones a la salud.

Durante esta reunión se destacó que los autobuses de inyección electrónica de RTP han logrado reducir en más del 90% las emisiones de partículas; en tanto que en los de inyección mecánica la reducción es de aproximadamente 20%.

b) Difusión de los resultados.

Como parte de los acuerdos generados en este taller se decidió realizar una serie de acciones para difundir los resultados y experiencias obtenidos por la instrumentación del proyecto, que apoyaran el proceso de replicación en otras ciudades mexicanas y de otras partes del mundo. Por lo que, se acordó:

- Organizar una conferencia de prensa para informar sobre los resultados preliminares del proyecto y presentar el video elaborado por el CTS, además,
- Presentar una posición común para solicitarle a PEMEX la entrega de diesel de bajo contenido de azufre en el corto plazo.

4. Conferencia de Prensa para la Presentación de Resultados Preliminares del Proyecto Retrofit.

En el marco de la celebración del Primer Aniversario de la presentación del "Plan para Limpiar el Aire en México en 10 Años", del Dr. Mario Molina, el 25 de mayo de 2005 se llevó a cabo una conferencia de prensa en la que se presentaron los resultados de la primera campaña de medición de emisiones del Proyecto Retrofit.

El evento, realizado en el Hotel Sheraton María Isabel, tuvo como invitado especial al Dr. Mario Molina, Premio Nobel de Química y fue organizado en forma conjunta con las siguientes Instituciones:

- Secretaría del Medio Ambiente del GDF (SMA).
- Red de Transporte de Pasajeros del GDF (RTP).
- Instituto Nacional de Ecología (INE).
- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA).
- World Resources Institute-EMBARQ.
- Centro de Transporte Sustentable (CTS).

Para el efecto se realizó la producción de un video con duración aproximada de 10 minutos y se produjo una carpeta de prensa en la que se incluyó un comunicado, una presentación en power point y el resumen de políticas.

La conferencia contó con la asistencia de más de 80 personas, entre ellos representantes de los principales medios de comunicación de las fuentes de Transporte y Medio Ambiente.

5. Expo - Transporte ANPACT 2004 - 17,18 y 19 de noviembre de 2004, Guadalajara, Jalisco, México.

El evento sirvió como marco para realización del Panel Internacional sobre Tecnologías Limpias para el Autotransporte convocado por el Centro Mario Molina bajo el auspicio de la ANPACT el cual reunió a personalidades de la talla del Jefe de Gobierno del D.F. Alejandro Encinas Rodríguez, así como los Gobernadores del Estado de México y Jalisco, Enrique Peña Nieto y Francisco Ramírez Acuña, respectivamente. En la muestra comercial se exhibió un stand del proyecto Retrofit, se distribuyeron trípticos y videos.

6. Foro de Monitoreo Atmosférico y Gestión Ambiental del Aire, Ciudad de México, 19 – 21 de abril de 2006, Auditorio del Museo Tecnológico de la CFE, Bosque de Chapultepec, 2ª Sección.

El evento, fue planteado por la Secretaría de Medio Ambiente como un espacio de intercambio de las experiencias de la Ciudad de México en el monitoreo atmosférico y en programas diseñados para mejorar la calidad del aire, con expertos de otras ciudades de América. El proyecto Retrofit fue presentado a los asistentes como un caso de éxito. Se contó con un stand dedicado al tema.

7. Presentación Final de Resultados.

Con el objetivo de contribuir a la difusión de los resultados finales del proyecto se integró un estrategia que consiste en la realización de un taller de trabajo del equipo técnico, la edición de una revista especial sobre Retrofit y la realización de una conferencia de prensa.

B. PIEZAS DE COMUNICACIÓN.

1. Página Web del CTS.

Durante el mes de agosto de 2005 quedó concluida la página Web del CTS (www.cts-ceiba.org), la cual permite conocer su historia, misión y líneas de trabajo, así como sus proyectos exitosos, entre los que destaca Retrofit. En el espacio dedicado a este proyecto se

cuenta con un link a la página de la Secretaría de Medio Ambiente del GDF en la que también se difunde el proyecto (www.sma.df.gob.mx/retrofit).

2. Tríptico Retrofit, Ciudad de México.

Para difundir las características del proyecto piloto Retrofit realizado en la Ciudad de México, en noviembre de 2005 se produjo un tríptico en el que se hace una caracterización de la problemática que originó el proyecto, así como una descripción puntual de la flota, tecnología, combustibles y sistemas de medición usados durante su realización. El tríptico tuvo un tiraje de 1,000 piezas.

3. Video de Retrofit

En el marco del taller de trabajo del Comité Técnico realizado en el mes de abril de 2005 se presentó un video con duración de 12 minutos en el que se exponen las características y resultados, entonces preeliminarios, del proyecto. El video fue traducido al idioma inglés con el objetivo de reforzar la difusión del proyecto.

C. DISEMINACIÓN DE LOS RESULTADOS EN MEDIOS DE COMUNICACIÓN.

1. Difusión en Medios

En noviembre del 2004 se puso en marcha una estrategia de posicionamiento en medios que ha permitido ir colocando al CTS como un líder de opinión en materia de transporte sustentable, principalmente en temas BRT, Retrofit, No Motorizados y Seguridad Vial.

En tal sentido, se logró el contacto con medios de comunicación y líderes de opinión. Se concedieron entrevistas a periódicos de circulación nacional como Reforma, El Universal, La Jornada, Milenio Diario, Crónica, Excélsior, Sol de México, El Financiero y Diario D.F.

El CTS tuvo presencia en espacios radiofónicos como InfoRed, Formato 21, Radio fórmula, Radio 13, MVS Radio, W Radio, 98. 5 de Grupo Imagen, Radio Capital, y ABC Radio.

Se logró tener acceso a espacios informativos de televisoras como Televisa, TV Azteca, Canal 11, y CNI Canal 40.

Se obtuvieron espacios en revistas especializadas en el tema del transporte entre ellas: Transportes y Turismo, México Automotriz, Automotores, Alianza Flotillera, Énfasis Logística, Mundo Logístico, Motor a Diesel, Transporte Siglo XXI, Indicador Automotriz, Auto transporte 2000, y Hombre-Camión.

Mediante la emisión de comunicados institucionales sobre el tema se tuvo presencia en portales informativos como: automotriz.net, portalautomotriz.com, sportcar.com, automotriz.net, notimex.com, todito.com, y anpact.com.

2. Entrenamiento en Medios

Con el fin de tener mayores y mejores herramientas para posicionar públicamente al CTS y sus proyectos, se brindó un entrenamiento en medios a su personal, lo cuál permitió que el Coordinador de Tecnología Ambiental incrementar su capacidad para comunicar las características y beneficios del proyecto. El curso-taller se realizó el 18 y 19 de octubre y fue impartido a todo el personal del CTS, en cuya biblioteca se conserva una carpeta y un video de este taller.

XVII. APÉNDICES

- A. RUTA CRÍTICA (ROAD MAP)**
- B. REPORTE DE MEDICIÓN DE EMISIONES DE ESCAPE CON EL RAVEM**
- C. REPORTE DE MEDICIÓN DE PARTÍCULAS ULTRAFINAS REALIZADO POR MATTER ENGINEERING**
- D. REPORTE DATALOGGING**
- E. REPORTE ANÁLISIS DIESEL + CERTIFICADOS REFINERÍA VALERO**
- F. REPORTE FINAL AMBIENTALIS**
- G. REPORTE FINAL MATTER ENGINEERING**
- H. PRESENTACIÓN RESULTADOS FLEETGUARD**
- I. VIDEO RETROFIT VERSIÓN ESPAÑOL/INGLÉS**
- J. TRÍPTICO CTS + EMBARQ (?)**
- K. NOTAS PERIODÍSTICAS (?)**

