



**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL MECÁNICO  
POR: CRISTIÁN IGNACIO ACEVEDO HERRERA  
FECHA: 15/01/2007  
PROF. GUÍA: S. MAURICIO OSSES ALVARADO

**DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE FACTORES  
DE EMISIÓN EN VEHÍCULOS PESADOS DE TRANSPORTE  
PÚBLICO**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO**

**CRISTIÁN IGNACIO ACEVEDO HERRERA**

**PROFESOR GUÍA:  
MAURICIO OSSES ALVARADO**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
SEBASTIÁN TOLVETT CARO  
ALIOSHA REINOSO DURÁN**

**SANTIAGO DE CHILE  
ENERO 2007**

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>2</b>
1.1. Marco general . . . . .	2
1.2. Objetivos . . . . .	3
1.2.1. Objetivos Generales . . . . .	3
1.2.2. Objetivos Específicos . . . . .	3
<b>2. Antecedentes teóricos</b>	<b>4</b>
2.1. Emisiones en vehículos de combustión interna . . . . .	4
2.2. Generalidades sobre contaminación. . . . .	5
2.2.1. Óxidos de carbono. . . . .	6
2.2.2. Óxidos de nitrógeno. . . . .	6
2.2.3. Compuestos orgánicos volátiles, VOC. . . . .	7
2.2.4. Partículas y aerosoles. . . . .	7
2.3. Legislación internacional . . . . .	7
2.3.1. Estados Unidos . . . . .	8
2.3.2. Europa . . . . .	9
2.3.3. Legislación Chilena . . . . .	10
2.4. Formación y control de contaminantes . . . . .	12
2.4.1. Dióxido de carbono . . . . .	12
2.4.2. Monóxido de carbono . . . . .	13
2.4.3. Hidrocarburos no quemados . . . . .	13
2.4.4. Óxidos de Nitrógeno . . . . .	15

2.4.5.	Material particulado . . . . .	16
2.5.	Tecnologías diesel . . . . .	18
2.5.1.	Bombas de inyección . . . . .	18
2.5.2.	Inyector bomba o unitario . . . . .	20
2.5.3.	Common rail . . . . .	21
2.5.4.	EDC: Control electrónico diesel . . . . .	21
2.6.	Sistemas de control de emisiones . . . . .	22
2.6.1.	Filtro de partículas . . . . .	22
2.6.2.	Regeneración de los filtros . . . . .	23
2.6.3.	Regeneración pasiva y activa . . . . .	25
2.6.4.	Sistema CRT . . . . .	25
2.6.5.	El sistema CCRT . . . . .	27
2.6.6.	Emisiones de dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ) . . . . .	28
2.6.7.	Regeneración Activa en sistemas DPF . . . . .	29
2.6.8.	Combustión del $HC$ dentro del catalítico . . . . .	29
2.6.9.	Regeneración mediante un calentador eléctrico . . . . .	30
2.7.	Generalidades sobre el sistema de transporte de pasajeros de Santiago . . . . .	31
2.7.1.	Introducción . . . . .	31
2.7.2.	Resumen de las características técnicas de los buses . . . . .	32
2.8.	Tecnologías de análisis . . . . .	34
2.8.1.	Dióxido de carbono . . . . .	35
2.8.2.	Monóxido de carbono . . . . .	36
2.8.3.	Óxido nítrico . . . . .	36
2.8.4.	Hidrocarburos . . . . .	37
2.8.5.	Material particulado . . . . .	38
2.9.	Descripción equipos de medición . . . . .	38
2.9.1.	Semtech-D . . . . .	39
2.9.2.	Dekati DMM 230 . . . . .	40
2.9.3.	ISSRC Diluter . . . . .	40

2.9.4. Semtech EFM . . . . .	41
<b>3. Metodología experimental</b>	<b>42</b>
3.1. Campaña de mediciones . . . . .	42
3.2. Procedimiento de medición . . . . .	45
3.2.1. Chequeo del estado de los sistemas durante el Warm-Up Semtech-D .	45
3.2.2. Preparación del vehículo a medir . . . . .	45
3.2.3. Proceso de medición . . . . .	47
3.2.4. Circuito de prueba . . . . .	47
3.3. Procesamiento de datos . . . . .	49
<b>4. Resultados</b>	<b>53</b>
4.1. Material particulado . . . . .	54
4.1.1. Comportamiento de sistemas de abatimiento de emisiones de material particulado . . . . .	63
4.2. Gases . . . . .	65
4.3. Calibraciones para offset curvas de medición y validación método inspección	79
4.3.1. Resultados para los offset mediante el método de inspección . . . . .	79
4.3.2. Análisis de sensibilidad . . . . .	80
4.4. Herramientas matemáticas para correlacionar curvas . . . . .	82
<b>5. Conclusiones</b>	<b>87</b>

# Índice de figuras

2.1. Bomba en línea y rotatoria. . . . .	20
2.2. Common Rail. . . . .	21
2.3. Flujo a través de las paredes del filtro. . . . .	23
2.4. Razón de combustión del hollín con respecto a la temperatura de los gases de escape. . . . .	24
2.5. Principio de funcionamiento CRT. . . . .	25
2.6. Comparación del funcionamiento del sistema CRT para un motor Euro I. . .	26
2.7. Principio de funcionamiento para el sistema CCRT. . . . .	27
2.8. Combustión del <i>HC</i> dentro del Catalítico. . . . .	30
2.9. Cuadro comparativo entre las emisiones existentes al año 1997, el año 2000, las metas del PPDA y la reducción lograda por el plan Transantiago. . . . .	32
2.10. Tipos de buses que operan el plan Transantiago. . . . .	33
2.11. Fotografía real del Semtech-D. . . . .	39
2.12. Fotografía real del Dekati Dmm 230. . . . .	40
2.13. Fotografía real del ISSRC Diluter. . . . .	40
2.14. Fotografía real del Semtech EFM. . . . .	41
3.1. Bus tipo convencional medido . . . . .	43
3.2. Bus standard Transantiago medido. . . . .	44
3.3. Bus standard Transantiago articulado medido. . . . .	44
3.4. Esquema de la disposición de los equipos en el bus en proceso de medición. .	46
3.5. Circuito de pruebas. . . . .	48
3.6. Interfaz procesamiento de datos. . . . .	50

3.7.	Interfaz procesamiento de datos para MP y curva se calibración offset para MP.	51
3.8.	Curva calibración $CO$ , $CO_2$ , $HC$ , $NO_X$ , velocidad y flujo de escape. . . . .	52
4.1.	Gráfico comparativo emisiones PM 2,5. . . . .	55
4.2.	Gráfico comparativo emisiones PM 2,5 entre tecnologías. . . . .	58
4.3.	Gráfico comparativo emisiones PM 2,5 normalizadas por unidad de potencia.	60
4.4.	Gráfico comparativo emisiones PM 2,5 normalizadas por pasajero. . . . .	60
4.5.	Gráfico comparativo emisiones PM 2,5 normalizadas por unidad de potencia promedio. . . . .	62
4.6.	Gráfico comparativo emisiones PM 2,5 normalizadas por pasajero promedio.	62
4.7.	Comportamiento sistema CRT de regeneración continuo. . . . .	63
4.8.	Comportamiento sistema CRT de regeneración discreto. . . . .	64
4.9.	Comportamiento sistema DPF. . . . .	64
4.10.	Gráfico comparativo emisiones $HC$ . . . . .	66
4.11.	Gráfico comparativo emisiones $CO$ . . . . .	66
4.12.	Gráfico comparativo emisiones $NO_X$ . . . . .	67
4.13.	Gráfico comparativo emisiones $CO_2$ . . . . .	67
4.14.	Gráfico comparativo emisiones $HC$ , experimental y dinamómetro. . . . .	70
4.15.	Gráfico comparativo emisiones $CO$ , experimental y dinamómetro. . . . .	71
4.16.	Gráfico comparativo emisiones $NO_X$ , experimental y dinamómetro. . . . .	71
4.17.	Gráfico comparativo emisiones $CO_2$ , experimental y dinamómetro. . . . .	72
4.18.	Gráfico comparativo emisiones $HC$ normalizadas por unidad de potencia. . .	74
4.19.	Gráfico comparativo emisiones $HC$ normalizadas por pasajero. . . . .	75
4.20.	Gráfico comparativo emisiones $CO$ normalizadas por unidad de potencia. . .	75
4.21.	Gráfico comparativo emisiones $CO$ normalizadas por pasajero. . . . .	76
4.22.	Gráfico comparativo emisiones $CO_2$ normalizadas por unidad de potencia. . .	76
4.23.	Gráfico comparativo emisiones $CO_2$ normalizadas por pasajero. . . . .	77
4.24.	Gráfico comparativo emisiones $NO_X$ normalizadas por unidad de potencia. . .	77
4.25.	Gráfico comparativo emisiones $NO_X$ normalizadas por pasajero. . . . .	78

4.26. Calibración offset mediante XCore para emisiones de <i>HC</i> . . . . .	84
4.27. Calibración offset mediante XCore para emisiones de <i>CO</i> . . . . .	84
4.28. Calibración offset mediante XCore para emisiones de <i>NO<sub>x</sub></i> . . . . .	85
4.29. Calibración offset mediante XCore para emisiones de <i>CO<sub>2</sub></i> . . . . .	85
4.30. Calibración offset mediante XCore para velocidad. . . . .	86

# Índice de tablas

2.1. Estándares de Emisión EPA para motores diesel en buses, $\left[\frac{g}{bhp \cdot hr}\right]$ . . . . .	9
2.2. Estándares de Emisión de California para motores diesel en buses, $\left[\frac{g}{bhp \cdot hr}\right]$ . . . . .	9
2.3. Estándares de emisiones en la UE para motores diesel, $\left[\frac{g}{kWh}\right]$ (humos en $[m^{-1}]$ ). . . . .	10
3.1. Categorías de Buses y Cantidad Medida. . . . .	42
3.2. Especificaciones técnicas buses medidos. . . . .	43
4.1. Especificaciones técnicas buses con mediciones válidas. . . . .	53
4.2. Cantidad de Buses con mediciones válidas. . . . .	54
4.3. Detalle de Buses con mediciones no válidas. . . . .	54
4.4. Resumen de resultados experimentales para <i>MP</i> . . . . .	55
4.5. Resultados experimentales para <i>MP</i> en buses con norma Euro-I. . . . .	56
4.6. Resultados experimentales para <i>MP</i> en buses con norma Euro-II. . . . .	56
4.7. Resultados experimentales para <i>MP</i> en buses con norma Euro-II con filtro de partículas. . . . .	57
4.8. Resultados experimentales para <i>MP</i> en buses con norma Euro-III. . . . .	57
4.9. Resumen de resultados experimentales para <i>MP</i> estándar Transantiago tipo B7RLE. . . . .	57
4.10. Resumen de resultados experimentales para <i>MP</i> estándar Transantiago tipo B7RLE con filtro. . . . .	57
4.11. Resumen de resultados experimentales para <i>MP</i> estándar Transantiago tipo B9SALF. . . . .	57
4.12. Emisiones <i>PM</i> 2,5 normalizadas por unidad de potencia. . . . .	59

4.13. Emisiones <i>PM</i> 2,5 normalizadas por pasajero. . . . .	59
4.14. Emisiones <i>PM</i> 2,5 normalizadas promedio. . . . .	61
4.15. Resumen de resultados experimentales para Gases. . . . .	65
4.16. Resumen emisiones promedio <i>HC</i> , experimental y dinamómetro. . . . .	69
4.17. Resumen emisiones promedio <i>CO</i> , experimental y dinamómetro. . . . .	69
4.18. Resumen emisiones promedio <i>NO<sub>x</sub></i> , experimental y dinamómetro. . . . .	69
4.19. Resumen emisiones promedio <i>CO<sub>2</sub></i> , experimental y dinamómetro. . . . .	70
4.20. Resumen emisiones normalizadas promedio <i>HC</i> . . . . .	73
4.21. Resumen emisiones normalizadas promedio <i>CO</i> . . . . .	73
4.22. Resumen emisiones normalizadas promedio <i>CO<sub>2</sub></i> . . . . .	73
4.23. Resumen emisiones normalizadas promedio <i>NO<sub>x</sub></i> . . . . .	74
4.24. Resumen offset obtenidos. . . . .	80
4.25. Resultados análisis sensibilidad test 3. . . . .	80
4.26. Resultados análisis sensibilidad test 23. . . . .	81
4.27. Resultados análisis XCore test 3. . . . .	83
5.1. Factores de Emisión para las tecnologías disponibles. . . . .	87

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. Marco general

En 1996, la Región Metropolitana fue declarada Zona Saturada de contaminantes como el Material Particulado, Monóxido de Carbono y Ozono. Esto llevó a que se ideara el Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana (PPDA), el cual, en una de sus tantas funciones, establece una serie de medidas que se aplican a las emisiones provenientes del sector del transporte público de Santiago.

En Santiago especialmente, el parque de buses de transporte público realiza un considerable aporte a las emisiones de material particulado, lo que es importante si se considera la peligrosidad que tiene este tipo de emisiones en la salud de la población.

Según lo expresado por el inventario de emisiones de 1997, un 43 % de las emisiones de material particulado MP10 proveniente de los buses se emite a través de los gases de escape, y el 13 % de las emisiones totales de material particulado en la Región Metropolitana corresponde a buses de transporte público.

El PPDA estableció que el sector del transporte público, en especial los buses, deberían reducir sus emisiones de material particulado en un 50 % al año 2005, con respecto a la situación que se presentaba en el año 1997, así como las emisiones de óxidos de nitrógeno deberían ser reducidas en un 25 % al año 2005, y en un 50 % al año 2011.

El presente trabajo, efectuado en el marco del trabajo de titulación de la carrera de Ingeniería Civil Mecánica de la Universidad de Chile, tiene como objetivo llevar a cabo la determinación de los factores de emisión para el sector de los buses de transporte público, me-

diante una campaña de mediciones a bordo nunca antes realizada para contaminantes como el  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $NO_x$ ,  $HC$  y  $PM_{2,5}$ , que permitirá contribuir, de cierta manera, a los instrumentos existentes para llevar a cabo los planes de descontaminación de la ciudad de Santiago.

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivos Generales

- Generar antecedentes para la determinación de factores de emisión para vehículos pesados de transporte público en le Gran Santiago en forma experimental y on-board.

### 1.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar campaña de medición de contaminantes como  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $NO_x$ ,  $HC$  y material particulado en vehículos pesados de transporte de pasajeros.
- Desarrollar metodologías para la determinación de factores de emisión en vehículos pesados de transporte de pasajeros.
- Determinar los *Factores de Emisión* para cada una de las emisiones de interés.

# Capítulo 2

## Antecedentes teóricos

### 2.1. Emisiones en vehículos de combustión interna

En el motor Diesel, una mezcla inflamable de aire/combustible se obtiene a partir de la inyección de combustible a alta presión en aire comprimido con una alta temperatura dentro de la cámara de combustión. El combustible se auto inflama, forzando al pistón a bajar, produciendo un trabajo que es recogido por el cigüeñal. El uso de altas razones de compresión - típicamente entre el rango 15:1 a 23:1 - asegura una alta temperatura que permita que el combustible se auto inflame.

En el Diesel, u otro combustible, cuando se realiza la combustión teórica, se forma solamente agua ( $H_2O$ ) y dióxido de carbono ( $CO_2$ ) como producto de esta combustión. Sin embargo, en la combustión real es siempre incompleta, y un completo cóctel de especies están presentes en los gases de combustión, los que incluyen hidrocarburos no quemados y productos parcialmente oxidados como aldehídos y monóxido de carbono. Los óxidos de nitrógeno, compuestos sulfurados y particulados son otros importantes componentes de los gases de escape.

Actualmente, los óxidos de nitrógeno ( $NO_X$ ), monóxido de carbono ( $CO$ ), hidrocarburos totales ( $HC$ ), material particulado son objeto de regulación para los motores Diesel. Atención especial tienen los elementos visibles, asociados a riesgos a la salud, que han llevado a la introducción de sistemas de control para el humo y el material particulado.

Otras emisiones, como por ejemplo, los formalehidos, pueden ser un importante componente de las emisiones de los motores Diesel, pero no están reguladas en la mayoría de los países. Todas estas emisiones deben ser controladas, debido a que tienen una estrecha relación con asuntos ambientales, como por ejemplo, el efecto invernadero, la baja en el nivel

de ozono, o efectos potenciales en la salud humana.

## 2.2. Generalidades sobre contaminación.

Podemos definir contaminación ambiental como la presencia en el ambiente de sustancias, elementos energía o combinación de ellos, en concentraciones y permanencia superiores o inferiores, según corresponda, a las establecidas en la legislación vigente. También se puede definir como el agregado de materiales y energías residuales al entorno que provocan directa o indirectamente una pérdida reversible o irreversible de la condición normal de los ecosistemas y de sus componentes en general, traducida en consecuencias sanitarias, estéticas, recreacionales, económicas y ecológicas negativas e indeseables.

Las emisiones se pueden clasificar de varias formas, y acá se verán algunas de estas clasificaciones. Primeramente, las emisiones las podemos clasificar en biogénicas, las cuales corresponden a emisiones producidas por procesos naturales, tales como la descomposición de elementos biológicos, que producen metano  $CH_4$ , y en antropogénicas, que son las que tienen que ver con las actividades humanas, tales como la industria, generación de energía, transporte, etc. Así también podemos clasificar las emisiones según su efecto. Existen los contaminantes locales, los cuales, tal como su nombre lo indica, poseen un efecto solo en el área donde son emitidos, tales como el material particulado, los  $NO_x$ , etc., y los contaminantes globales, que su efecto es a nivel de planeta, sin importar su lugar de origen. Este es el caso del dióxido de carbono y el metano, entre otros.

Así también los contaminantes pueden ser clasificados como contaminantes primarios, que son aquellos que son directamente emitidos por una fuente, los contaminantes secundarios son aquellos que pueden ser producidos en la atmósfera por procesos físicos o químicos, a partir de contaminantes primarios u otras sustancias presentes como resultado de emisiones de fuentes estacionarias o móviles, y los contaminantes de transferencia son el paso de un contaminante de un medio a otro.

Los siguientes contaminantes son considerados como primarios:

- Monóxido de Carbono,  $CO$ .
- Hidrocarburos,  $HC$ .
- Óxidos de Azufre,  $SO_x$ .

- Óxidos de Nitrógeno,  $NO_x$ .
- Material Particulado,  $PM$
- Metales

Además, estos contaminantes pueden ser considerados como contaminantes secundarios:

- Ozono,  $O_3$
- Oxidantes fotoquímicos
- Hidrocarburos oxidados

En lo que sigue, se hará una descripción de los principales contaminantes atmosféricos.

### 2.2.1. Óxidos de carbono.

- Los óxidos de carbono presentes en la atmósfera son el  $CO$  y  $CO_2$ .
- Se caracterizan por no tener olor, sabor ni color.
- Buena parte del  $CO$  presente en la atmósfera se origina en forma natural y se va eliminando por su oxidación, transformándose en  $CO_2$ .
- Origen Atropogénico del  $CO$ : motores.
- $CO_2$  no es dañino a nivel local, si a nivel global.

### 2.2.2. Óxidos de nitrógeno.

- Los óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ), son el conjunto de  $NO$  y  $NO_2$ .
- $NO_2$  predomina en la atmósfera.
- Su origen corresponde principalmente a procesos de combustión a alta temperatura.
- El  $N_2O$  corresponde a emisiones biogénicas principalmente (naturales) y en menor fracción a actividades agrícolas y ganaderas.
- El  $NH_3$  proviene principalmente de actividades agrícolas y ganaderas y se encuentra presente en bajas concentraciones en la atmósfera.

### 2.2.3. Compuestos orgánicos volátiles, VOC.

- Incluyen compuestos tales como el metano ( $CH_4$ ), otros hidrocarburos volátiles, los clorofluorocarburos, entre otros.
- El  $CH_4$  es el más abundante en la atmósfera. A pesar de no ser dañino para la salud, influye significativamente en el efecto invernadero.
- En la atmósfera existen muchos otros tipos de hidrocarburos, formados en forma natural o de origen antropogénico, provenientes de las operaciones de extracción, refinado y utilización de petróleo y sus derivados. Intervienen en las reacciones que dan origen al smog fotoquímico.
- Los clorofluorocarburos son moléculas formadas por  $Cl$  y  $F$  unidos a  $C$ . Son los principales responsables del rompimiento de la capa de ozono en las partes altas de la atmósfera.

### 2.2.4. Partículas y aerosoles.

- En la atmósfera hay partículas y aerosoles (partículas líquidas o sólidas de pequeño tamaño).
- Algunas son altamente tóxicas.
- Los aerosoles primarios provienen de la acción volcánica, desde la superficie de los océanos, incendios forestales y actividades humanas.
- Los aerosoles secundarios se forman a través de reacciones químicas que tienen lugar en la atmósfera entre gases, otros aerosoles, humedad, etc.

## 2.3. Legislación internacional

En principio, el monóxido de carbono, los hidrocarburos no quemados y los óxidos de nitrógeno, junto con las emisiones no reguladas pueden ser medidas en los gases de combustión en el tubo de escape. Sin embargo, las regulaciones relativas con clases específicas de motores en ciertos países demandan que los componentes de los gases de escape no sean medidas en el tubo de escape, pero otros métodos pueden ser empleados. Estos métodos no necesariamente son dictados bajo consideraciones técnicas pero nacen por la necesidad de expresar el resultado de una cierta manera. Estos procedimientos son usados actualmente, pero pueden cambiar en el futuro.

### 2.3.1. Estados Unidos

La regulación de emisiones comenzó en Estados Unidos. Esto ha sido el resultado de que el *Acta por el Aire Limpio* se formuló para producir y mantener una calidad aceptable de aire. Claramente vehículos de pasajeros, camiones ligeros y pesados, locomotoras, barcos y plantas de generación que utilizan motores Diesel han contribuido a la contaminación del aire.

Sin embargo, las contribuciones relativas varían y consecuentemente la regulación es diferente para las distintas categorías.

En los motores de vehículos pesados, se realizan pruebas para cada motor, chasis, transmisión, y todas las posibles combinaciones entre ellos en un banco de pruebas. La regulación solo se hace efectiva para los vehículos en ruta.

El motor se opera en un régimen transiente, que incluye estados constantes, aceleraciones, desaceleraciones y condiciones de sobrecarga. La prueba dura a lo menos 20 minutos. Esto requiere una instalación computacional en el dinamómetro.

El equipo analizador consiste en equipos analizadores a volumen constante similares a los que se utilizan para medir emisiones en automóviles y camiones livianos. El monóxido de carbono, dióxido de carbono y óxidos de nitrógeno pueden ser medidos continuamente o cada ciertos períodos de tiempo, después que se recolectan en sistemas almacenadores. Los hidrocarburos son medidos continuamente en el tubo de disolución.

El material particulado también está legislado y es medido en forma similar a como se hace en los vehículos livianos, a una temperatura de 52°C, debido a que a temperaturas mayores, este material se pierde. Si esto ocurre, una mucho menor masa de material particulado es registrada.

Los estándares de emisiones EPA y los utilizados en California para los vehículos diesel construidos entre 1988 y el 2003, en especial buses y camiones, se presentan en las tablas 2.1 y 2.2. El contenido de sulfuro en los combustibles, a partir del año 1994, se reduce a 500 ppm, y se aplica a los estándares acá expuestos.

Tabla 2.1: Estándares de Emisión EPA para motores diesel en buses,  $\left[\frac{g}{bhp \cdot hr}\right]$ 

Año	HC	CO	NO <sub>X</sub>	PM
1991	1,3	15,5	5	0,25
1993	1,3	15,5	5	0,1
1994	1,3	15,5	5	0,07
1996	1,3	15,5	5	0,05
1998	1,3	15,5	4	0,05

Tabla 2.2: Estándares de Emisión de California para motores diesel en buses,  $\left[\frac{g}{bhp \cdot hr}\right]$ 

Año	NMHC	THC	CO	NO <sub>X</sub>	PM
1991	1,2	1,3	15,5	5	0,1
1994	1,2	1,3	15,5	5	0,07
1996	1,2	1,3	15,5	4	0,05

### 2.3.2. Europa

Originalmente, la regulación europea fue formulada primeramente por la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (UN-ECE). La mayoría de los países europeos apoyaron esta regulación, pero su adopción fue voluntaria. La Comunidad Europea tendió a utilizar regulaciones similares a la realizada por la ECE. Gradualmente el panorama cambió, y ahora la Comunidad Europea ha llegado a jugar un rol protagónico en el desarrollo de nuevas regulaciones. La aplicación de estas regulaciones es obligatorio para sus miembros.

La legislación para las emisiones en vehículos pesados están especificadas en la ley 91/542/ECC de la Comunidad Europea. El procedimiento de prueba es conocido como ECE 49 y los motores son probados en un banco de pruebas bajo 13 condiciones de funcionamiento estático. El procedimiento utilizado es similar al que se especifica en modo de procedimiento US 13, que ahora está obsoleto, donde se han cambiado los factores de peso para asemejar las condiciones de manejo europeas. Las emisiones medidas de CO, HC, NO<sub>X</sub> y PM se expresan en g/kWh. Estas regulaciones definen las concentraciones máximas permitidas en términos de la masa por unidad de volumen de aire. Los motores deben ser operados de forma que estas emisiones no sean infringidas.

En la tabla 2.3 se muestran los estándares de emisiones europeos y sus fechas de implementación.

Tabla 2.3: Estándares de emisiones en la UE para motores diesel,  $[\frac{g}{kWh}]$  (humos en  $[m^{-1}]$ ).

Tier	Año	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM	Humo
Euro I	1992, < 85kW	4,5	1,1	8	0,612	
	1992, > 85kW	4,5	1,1	8	0,36	
Euro II	oct-96	4	1,1	7	0,25	
	oct-98	4	1,1	7	0,15	
Euro III	oct-99, solo EEVs	1,5	0,25	2	0,02	0,15
	oct-00	2,1	0,66	5	0,1 0,13*	0,8
Euro IV	oct-05	1,5	0,46	3,5	0,02	0,5
Euro V	oct-08	1,5	0,46	2	0,02	0,5

\* para motores de menos de 0.75 dm<sup>3</sup> por cilindro y revoluciones mayores a 3000 min<sup>-1</sup>.

### 2.3.3. Legislación Chilena

La Constitución Política de la República de Chile<sup>1</sup> establece el *Reglamento para la Dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión*.

Este reglamento establece que los buses destinados a la prestación de servicios de locomoción colectiva urbana en la Provincia de Santiago y/o en las comunas de San Bernardo y Puente Alto, que soliciten su primera inscripción en el Registro de Servicios de Transporte de Pasajeros de Santiago, a contar del 1° de septiembre de 2002, deberán contar con un motor diseñado y construido para cumplir, en condiciones normalizadas de medición, con los niveles máximos de emisión de Monóxido de Carbono (CO), Hidrocarburos Totales (HCT), Hidrocarburos no Metánicos (HCNM), Metano (CH<sub>4</sub>), Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y Material Particulado (MP), que se indican:

**Motores Diesel:** Deberán cumplir, indistintamente, los niveles de emisión señalados en los siguientes puntos.

- Emisiones provenientes del sistema de escape:

- CO:  $15,5 \left[ \frac{g}{bhp \cdot hr} \right]$

<sup>1</sup>Artículos 19 N° 8 y 32 N° 8 y el artículo 32 de la ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, el Ministerio Secretaría General de la Presidencia.

- HCT:  $1,3 \left[ \frac{g}{bhp \cdot hr} \right]$
- $NO_x$ :  $4,0 \left[ \frac{g}{bhp \cdot hr} \right]$
- MP:  $0,05 \left[ \frac{g}{bhp \cdot hr} \right]$

2. Emisiones provenientes del sistema de escape:

- a) Motores Diesel convencionales, incluyendo los que incorporen equipos electrónicos de inyección de combustible, recirculación de los gases de escape (EGR) y/o catalizadores de oxidación:
- CO:  $2,1 \left[ \frac{g}{kWh} \right]$
  - HCT:  $0,66 \left[ \frac{g}{kWh} \right]$
  - $NO_x$ :  $5,0 \left[ \frac{g}{kWh} \right]$
  - MP:  $0,10 (0,13^2) \left[ \frac{g}{kWh} \right]$
- b) Motores Diesel que incorporen sistemas avanzados de tratamiento posterior de los gases de escape, incluyendo catalizadores para eliminar  $NO_x$  y/o purgadores de partículas, además de los niveles señalados en el punto anterior, deberán cumplir con los siguientes valores:
- CO:  $5,45 \left[ \frac{g}{kWh} \right]$
  - HCNM:  $0,78 \left[ \frac{g}{kWh} \right]$
  - $NO_x$ :  $5,0 \left[ \frac{g}{kWh} \right]$
  - MP:  $0,16 (0,21^3) \left[ \frac{g}{kWh} \right]$

Los procedimientos de medición de las normas de emisión son los siguientes:

- Las condiciones normalizadas de medición, serán las previstas por la Agencia de Protección del Ambiente de los Estados Unidos de Norteamérica (USEPA), en el método denominado test en condiciones de operación transiente.
- Las condiciones normalizadas de medición, serán las previstas por las comunidades Europeas en la directiva 88/77/CEE modificada por la directiva 99/96/CEE, en los métodos de pruebas denominados Ciclo Europeo de Estado Continuo (ESC) y Ciclo Europeo de Transición (ETC), según corresponda.
- El ensayo será el establecido en el Código CFR 40 parte 86 de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica.

<sup>2</sup>Para motores con una cilindrada unitaria inferior a  $0,75 \text{ dm}^3$  y un régimen de potencia nominal superior a  $3000 \text{ min}^{-1}$ .

<sup>3</sup>Para motores con una cilindrada unitaria inferior a  $0,75 \text{ dm}^3$  y un régimen de potencia nominal superior a  $3000 \text{ min}^{-1}$ .

- La medición de opacidad en condiciones de carga deberá realizarse conforme al método señalado en la letra b.1 del artículo 4° del decreto supremo N° 4 de 1994, del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones y la opacidad en flujo parcial, en el ensayo de aceleración libre, medida conforme al método señalado en la letra b.2 del artículo 4° del decreto supremo indicado precedentemente.
- Las mediciones de gases deberán efectuarse en ralentí y en un modo de alta velocidad ( $2500 \pm 300$  RPM).

## 2.4. Formación y control de contaminantes

### 2.4.1. Dióxido de carbono

El dióxido de carbono ( $CO_2$ ) existe naturalmente en la atmósfera y es un producto normal de la combustión. Idealmente, la combustión de un combustible hidrocarburo debe producir solo dióxido de carbono y agua. La proporción relativa de estos dos depende de la razón carbono-hidrógeno en el combustible, alrededor de 1:1,75 para diesel común. Sin embargo, las emisiones de  $CO_2$  provenientes del motor pueden reducirse mediante la reducción del contenido de carbono por unidad de energía, o por mejoramiento de la eficiencia del combustible en el motor. La alta eficiencia del motor diesel le da una ventaja ambiental sobre los combustibles fósiles.

Las emisiones de  $CO_2$  provenientes de la combustión de combustibles fósiles ha atraído recientemente una considerable atención. Vapor de agua y  $CO_2$  (además de otros gases) permiten que la energía solar reaccione sobre la Tierra, atrapando energía térmica que debería ser sacada de esta. Este *Efecto Invernadero* hace al planeta mucho más caluroso de lo que debería ser. Esto es vital para nuestro clima; necesitamos del efecto invernadero para sobrevivir. Sin embargo, los niveles atmosféricos de  $CO_2$  han crecido desde el comienzo de la Revolución Industrial, aparentemente debido al desproporcionado crecimiento del uso de los combustibles fósiles para obtener energía. Esto es una evidencia de que el clima global se ha visto afectado por este cambio (algunas medidas del promedio de temperatura ambiental han mostrado el incremento de esta, fenómeno que es conocido como *calentamiento global*). Otras medidas, como las mediciones satelitales, muestran que la temperatura del planeta no ha cambiado. Esto hace que sea difícil identificar al  $CO_2$  como el responsable del calentamiento global. Muchos otros factores climáticos, como los océanos, nubosidades, hielos polares, erupciones volcánicas, y los ciclos solares también son importantes. En 1996 el *Panel Intergubernamental sobre los Cambios Climáticos* (IPCC), el cual aconseja a la ONU en materias climáticas, opinó que el balance de las evidencias sugiere una *discernible influencia humana en el clima*. Sin embargo, una legislación que restrinja específicamente las emisiones de  $CO_2$  es prácticamente inexistente. Si consideramos la conexión intrínseca

entre las emisiones de  $CO_2$  y los estándares de consumo de combustible (como los estándares CAFE en los Estados Unidos), se observa que existe una regulación indirecta.

Como un inevitable punto final de la combustión, el  $CO_2$  no puede ser reducido mediante medidas de post-tratamiento (como los convertidores catalíticos). Es más, la oxidación catalítica del  $CO$  y  $HC$  puede incrementar las emisiones de  $CO_2$  levemente.

### 2.4.2. Monóxido de carbono

El monóxido de Carbono es tóxico. Es un producto intermedio entre la combustión de un combustible hidrocarburo, del cual resultan emisiones de una combustión incompleta. Emisiones de monóxido de carbono dependen fuertemente de la razón aire/combustible relativa a las proporciones estequiométricas. Una combustión rica invariablemente produce  $CO$ , y las emisiones crecen aproximadamente en forma lineal con la desviación desde la mezcla estequiométrica. Como el motor diesel opera en un régimen de mezcla pobre, sus emisiones de  $CO$  son normalmente bien limitadas bajo una legislación. Algunas emisiones de  $CO$  provenientes de motores diesel se deben a una mezcla incompleta: el motor toma lugar en una mezcla rica localmente. Una catálisis de oxidación en el escape puede bajar los niveles de  $CO$  y de hidrocarburos no quemados. Este proceso es ayudado por un exceso de aire en los gases de escape.

### 2.4.3. Hidrocarburos no quemados

Las emisiones de hidrocarburos no quemados consisten en combustible no quemado o quemado en forma parcial. El término hidrocarburo significa compuesto orgánico en estado gaseoso; hidrocarburos sólidos son parte del material particulado. El mecanismo que lidera las emisiones de hidrocarburos desde el motor diesel es completamente diferente al que prepondera en los motores a gasolina. En este último, una mezcla casi homogénea de aire-combustible es comprimida, y la llama pasa a través de la cámara de combustión. Las emisiones de hidrocarburos aparecen en el motor a gasolina cuando la mezcla aire-combustible se esconde en lugares inaccesibles a la llama. El lugar más significativo es el volumen contenido entre el pistón y la pared del cilindro, sobre el anillo del pistón. En un motor diesel solo el aire es comprimido dentro de este volumen. En efecto, esto reduce el aire disponible para la combustión, pero esto no permite que una importante cantidad de combustible escape de la combustión. En el motor diesel, con una combustión no homogénea, las emisiones de HC resultan de problemas de la mezcla de aire y combustible, y no se ven afectadas por la razón aire-combustible. Existen dos mecanismos primarios por los cuales el combustible escapa de la combustión principal en un motor diesel; sobre-mezcla, regiones de extra-pobreza

formadas antes de la ignición, y mezclas bajas de combustible inyectado a baja velocidad cerca del final de la combustión.

El primero de estos mecanismos consiste en una sobremezcla en regiones de extra pobreza formadas antes de la ignición. El diesel es inyectado dentro del aire comprimido caliente cuando el pistón está cerca del punto muerto superior. Después de un corto período de retraso en el cual la mezcla del combustible y el aire se lleva a cabo, el combustible es calentado por el aire, y una reacción química comienza: la combustión espontánea del combustible toma lugar. Solo mezclas limitadas de combustible pueden ser quemadas; el combustible inyectado, el cual es muy rico, debe esperar hasta que sea mezclado con suficiente aire para soportar su combustión. Algo de ese combustible inyectado antes de la ignición, sin embargo, ya ha sido mezclado con mucho aire, y ya es muy pobre para ser quemado. Mezclas posteriores no son deseables para revertir esta condición. Oxidaciones térmicas lentas pueden ocurrir, pero son muy lentas para consumir el combustible en el tiempo disponible. El combustible inyectado después de la ignición no puede sobre mezclarse con aire, porque como este viene dentro de los límites de combustión, se quema. Sobre mezclas empobrecidas de combustible inyectadas durante la ignición retrasan el escape de la combustión principal, y representan una fuente significativa de combustible no quemado. Factores como el tamaño del retraso de ignición pueden incrementar las emisiones de *HC*.

La segunda mayor fuente de emisiones de *HC* provenientes de motores diesel es la mezcla de combustible inyectada cerca del final de la combustión. Como el combustible es inyectado, esta razón de inyección con aire depende de un movimiento relativamente vigoroso. Después que la inyección termina, inyecciones secundarias pueden ocurrir, o combustible dejado en un pequeño volumen residual puede entrar a la cámara de combustión. Con lo último, existe una pequeña demora mientras este combustible se evapora. Algo de combustible (vapor o líquido) entra a baja velocidad dentro y enfría la cámara de combustión. Este combustible no se mezcla efectivamente con el aire, y algo de este deja el cilindro no siendo quemado o siendo quemado parcialmente. Esta fuente de *HC* es controlada diseñando sistemas de inyección de combustible que tengan términos de inyección rápidos y limpios. Los inyectores que minimizan los espacios residuales ahora son equipamiento estándar en la mayoría de los vehículos.

Adicionalmente, unas de las fuentes de *HC* proveniente de los motores diesel son el *wall quench* y el *misfire*. El *misfire* es raro en los motores diesel. El combustible líquido que impregna las paredes del cilindro no está lo suficientemente caliente o lo suficientemente mezclado con aire para quemar rápidamente.

La oxidación catalítica del *HC* es posible si se adhiere una cantidad suficiente de oxígeno en los gases de escape, pero las bajas temperaturas de estos gases demoran la conversión. Cambios en el motor que lleven a reducir el material particulado y el consumo de combustible

reduce las emisiones de *HC*: *todo deriva de la ineficiencia de la combustión de los motores.*

#### 2.4.4. Óxidos de Nitrógeno

Los óxidos de nitrógeno están compuestos por el óxido nítrico (*NO*) y el dióxido de nitrógeno (*NO<sub>2</sub>*), el cual corresponde entre un 70 %-90 % del total de los *NO<sub>X</sub>* provenientes de los motores diesel. A diferencia de los otros contaminantes expuestos anteriormente, el *NO<sub>X</sub>* es un efecto colateral de la combustión, no un paso incompleto en ella. Combustibles hidrocarburos con oxígeno energiza el motor; el nitrógeno atmosférico es atrapado en los procesos de reacción.

La formación de *NO* es bien comprendida, un exceso de aire en el cilindro puede llevar los niveles de *NO<sub>X</sub>* sobre las concentraciones de equilibrio.

La formación de *NO* dependen en pleno de la cantidad de oxígeno y de las altas temperaturas. El gas que se quema después del tiempo de presión máxima en el cilindro es particularmente importante. La parte inicial de la combustión es muy importante para la formación de *NO<sub>X</sub>*, al menos todo el *NO<sub>X</sub>* se forma en los primeros 20° del giro del cigüeñal después del inicio de la combustión. Técnicas de control de *NO<sub>X</sub>* se enfocan en este momento de la combustión. Sin embargo, la mayoría de estas técnicas reducen la temperatura de combustión, y penalizan en las emisiones de *HC*, material particulado y consumo de combustible. Es común referirse a los *trade-offs* entre las emisiones de *NO<sub>X</sub>*, material particulado, y el consumo de combustible para los motores diesel.

La mayoría de los factores que afectan la tasa inicial de calor también afectarán la tasa de formación de *NO<sub>X</sub>* en la misma dirección. La cantidad de combustible quemado en una fase de premezclado puede ser reducida por una suavización de la tasa (una baja en la tasa de inyección tempranamente en el período de inyección) y una inyección piloto (una pequeña inyección separada para iniciar la combustión con un mínimo de combustible). La suavización de la tasa es comúnmente usada. Mientras que la inyección piloto requiere un equipamiento extra, esta se vuelve prometedora en el futuro. Acortando el período de retraso se puede obtener una reducción de la cantidad de combustible quemado en el período de requemado: un mayo índice metano produce menores emisiones de *NO<sub>X</sub>*. La temperaturas del aire altamente comprimido (vía temperaturas elevadas de entrada de aire, altas razones de compresión, o turbo cargadores) puede reducir las emisiones de *NO<sub>X</sub>* para bajas cargas, pero para altas cargas los pecas de temperatura de combustión mayores incrementan las emisiones de *NO<sub>X</sub>*. Algunos factores que promueven la mezcla aire-combustible en los períodos de retraso también incrementan la razón de liberación de calor, y, por lo tanto, las emisiones de *NO<sub>X</sub>*. El tiempo de ignición puede ser fácilmente retardado para reducir no solo los peaks de

temperatura en el gas sino que también los tiempos en los que se mantiene esta temperatura, pero el consumo de combustible se ve penalizado en forma severa. El *Aftercooling* también reduce la temperatura del aire, con un *trade-off* de emisiones de  $NO_X$ /consumo de combustible superior y una mayor potencia del motor. Diluidores como el EGR o la inyección de agua reducen el peak de la temperatura en ciertos lugares, y son los métodos más efectivos para el control de las emisiones de  $NO_X$  dentro del cilindro. Sin embargo, estas estrategias son aplicables a un número reducido de motores con especificaciones bien especiales (motores de automóviles medianos o pequeños para EGR, motores estacionarios grandes para inyección de agua). Todos estos factores son parámetros de diseño u operacionales que cambian los *trade-off* entre  $NO_X$ /material particulado y  $NO_X$ /consumo de combustible.

El otro factor principal en la producción de  $NO_X$  es la razón aire/combustible. Los motores diesel con inyección indirecta (IDI) producen bajas emisiones de  $NO_X$  no solo por las grandes pérdidas térmicas en la cámara de combustión y conductos, sino que también su quema de premezcla toma lugar en sectores donde existen condiciones de mezcla rica.

La tecnología para el post tratamiento catalítico del  $NO_X$  se sigue desarrollando. Los gases de escape del diesel poseen un exceso de oxígeno y son relativamente fríos, por lo que la oxidación catalítica del  $NO_X$  es difícil. Las dos tecnologías más eficientes usan aditivos en los gases de escape para actuar como agentes reductores. La reducción catalítica selectiva (SCR) usa amonio o urea inyectada en un metal precioso de catálisis. La eficiencia de la reducción es alta (sobre el 90 %), pero costosa. La catálisis De- $NO_X$  activa usa hidrocarburos, como el mismo combustible que actúa como agente reductor. Su eficiencia de conversión es baja (alrededor del 20 %) y sus aplicaciones son muy limitadas. La catálisis De- $NO_X$  pasiva no usa agentes reductores. Mientras resuelve mucho de los problemas de la catálisis De- $NO_X$  activa, su eficiencia de reducción es muy baja.

### 2.4.5. Material particulado

El material particulado ( $PM$ ) es otra de las emisiones del motor diesel que, conjuntamente con el  $NO_X$ , tienen el mayor grado de importancia dentro del conjunto de las emisiones. Esta se compone de hollín (material carbónico sólido similar al carbón) y de una *fracción extraíble* (Hidrocarburos extraíbles con un solvente fuerte) absorbido dentro del hollín, y otra compuesta de material inorgánico (sulfatos, agua y cenizas). Las concentraciones de material particulado se miden a través de una muestra de gases de escape que pasan a través de un filtro que está a 52°C, y se tabula el cambio en el peso del filtro. Debido a los métodos, existe una cierta transposición entre esta medida, la medida de ambos hidrocarburos y la medición de varios humos. El hollín que compone el material particulado corresponde al humo medido, mientras que la fracción extraíble corresponde a la porción (25-50 %) de emisiones de

hidrocarburos gaseosos. La fracción exacta depende del tipo de motor y las condiciones de operación, y esto afecta el rango de evaporación de estas emisiones de hidrocarburos gaseosos.

Las partículas de hollín están compuestas de esférulas rugosas ubicadas en arreglos irregulares llamados *clusters* o *cadena*s. El hollín se forma en el cilindro, a partir de hidrocarburos pesados en fase gaseosa los cuales condensan o coalescen en zonas deficientes de oxígeno tocadas por el combustible atomizado. El hollín se forma a partir de una reacción de pirólisis: esta necesita condiciones ricas y alta temperatura. Ajustando el balance entre la razón de mezcla y la evolución de la temperatura puede cambiar la razón de formación. Mezclar rápido después de que la temperatura suba puede reducir la formación de hollín. Después, cuando se mezcla hollín y aire, el primero encuentra oxígeno y se quema si la temperatura es lo suficientemente alta. Las concentraciones de tope de hollín dentro del cilindro son mucho mayores que las encontradas en los gases de escape; alrededor de un 90 % se oxida dentro del cilindro. Sin embargo, esto es una evidencia de que la formación de hollín se ajusta a los cambios en los parámetros de diseño del motor y su operación. Las principales estrategias para reducir las emisiones de hollín apuntan hacia el incremento de la razón de mezcla, y que se requieren sistemas de inyección más avanzados, como el sistema FIE, así como de cámaras de combustión más optimizadas. Pequeñas gotas de combustible poseen mayor área para su volumen, y se evaporan y mezclan más rápidamente con el aire. Para hacer gotas pequeñas se requieren inyectores con agujeros más pequeños y mayores velocidades de inyección, así como que para lograr ambos objetivos se requieren mayores presiones de inyección. Atomizaciones de combustible más simétricas (inyectores verticales en los motores con inyección directa) pueden producir una más lejana y uniforme dispersión de las gotas de combustible. Los *turbo cargadores* y *aftercoolings* entregan más aire a tasas dadas de aporte de combustible, e incrementan la razón aire/combustible. Incrementando la temperatura de combustión (usando una mayor razón de compresión, por ejemplo) se puede incrementar la formación de hollín y las emisiones a altas cargas del motor, pero puede reducirlas a bajas cargas debido al acortamiento del tiempo de retraso de la ignición, y con la consecuente reducción de los hidrocarburos no quemados. Turbo cargadores sin *aftercooling* también incrementan la temperatura de los gases, pero el incremento de la disponibilidad de oxígeno la complementa, por lo que las emisiones de hollín se reducen.

La fracción extraíble de material particulado ha sido tradicionalmente removida desde el hollín mediante un solvente, a través de métodos cromatográficos lo suficientemente sensibles. La fracción extraíble está compuesta por hidrocarburos pesados que condensan cuando están fríos en el sistema de escape y en la atmósfera, y son absorbidos por las partículas sólidas de hollín. Alrededor de un 15-45 % de la masa del material particulado es extraíble, pero esta fracción varía dependiendo del tipo de motor, tamaño y condiciones de operación. Mientras que el combustible es la principal fuente de estos hidrocarburos, los lubricantes también son una fuente importante. Es esta fracción extraíble la que provoca el riesgo a la salud asociado al material particulado. Muchos de estos compuestos son dañinos al cuerpo

humano y con el ambiente. El retardo en los tiempos de inyección, mientras reduce el hollín que se forma en la combustión, aumenta el material particulado debido al tamaño de este retraso y su relación con la aparición de hidrocarburos no quemados. Esto es una evidencia de que los compuestos poliaromáticos complejos del combustible contribuyen a la formación de material particulado, al menos, en su fracción extraíble.

Los sulfuros en el diesel son la fuente principal de material inorgánico remanente. Las concentraciones de sulfuros en el material particulado están relacionadas linealmente con las concentraciones de sulfuros en el combustible, con un 1-2% del sulfuro proveniente del combustible convertido y subsecuentemente depositado en el material particulado. Reduciendo la cantidad de sulfuro en el combustible se puede reducir la fracción inorgánica en el material particulado, sin embargo, la eliminación es limitada dado los bajos contenidos de sulfuros en los combustibles actuales y la baja porción del material particulado compuesta de estos sulfuros (10-15%).

La distribución del tamaño del material particulado puede variar con la velocidad del motor, su carga, y probablemente con el tipo de motor y combustible. La atención reciente se ha enfocado en el *PM10*, que es el material particulado donde el tamaño de las partículas no supera los 10  $\mu m$ . Su importancia en la salud humana radica en la profundidad de penetración dentro del sistema respiratorio. Los efectos exactos en la salud humana provocados por el *PM10* no están claramente definidos, sin embargo.

Los post-tratamientos para el material particulado son posibles. Los convertidores catalíticos son efectivos a la hora de controlar los hidrocarburos extraíbles, que son componentes del material particulado, pero solo si la temperatura de los gases de escape es lo suficientemente alta. El paso de los gases por filtros limpiadores no es práctico para aplicaciones automotrices. Los filtros oxidantes son regenerativos: El material particulado es periódicamente oxidado *in-situ* para limpiar el filtro, pero estas tecnologías requieren una inyección de combustible adicional en el filtro para comenzar la oxidación. El filtro regenerador continuo (CRT) hace este proceso continuo, y no necesita aportes extras de calor.

## 2.5. Tecnologías diesel

### 2.5.1. Bombas de inyección

Las bombas son un elemento mecánico por excelencia para la inyección de combustible Diesel, han presentado importantes avances técnicos y tecnológicos durante sus cerca de 75 años de producción. Se presenta en dos modelos, las rotatorias y las bombas de inyección en

línea.

- **Rotatorias:** Deben su nombre al eje de leva radial el cual alimenta a un solo elemento de bomba de alta presión el cual distribuye el combustible a los inyectores. Se les puede regular las revoluciones de forma mecánica, electrónica o a través de un variador de avance integrado. Se pueden presentar con émbolo axial o radial.

En la bomba de inyección rotativa convencional de émbolo axial VE con regulador mecánico de revoluciones por fuerza centrífuga, o con mecanismo actuador regulado electrónicamente, existe una corredera de regulación que determina la carrera útil y dosificar el caudal de inyección. El comienzo de suministro de la bomba puede regularse mediante un anillo de rodillos (variador de avance). En la bomba de inyección rotativa de émbolo axial controlada por electro válvula, existe una electroválvula de alta presión controlada electrónicamente, que dosifica el caudal de inyección, en lugar de una corredera de regulación. Las señales de control y regulación son procesadas en dos unidades de control electrónicas (unidad de control de bomba y unidad de control del motor). El número de revoluciones es regulado mediante la activación apropiada del elemento actuador. En la bomba de inyección rotativa de émbolos radiales, el suministro del combustible lo realiza una bomba de aletas. Una bomba de émbolos radiales con anillo de levas y entre dos y cuatro émbolos radiales, asume la generación de alta presión y el suministro de los inyectores. Un electro válvula de alta presión dosifica el caudal de inyección. El comienzo de suministro se regula mediante el giro del anillo de levas, con el variador de avance. Igual que en la bomba de émbolo axial controlada por electro válvula, todas las señales de control y regulación se procesan en dos unidades de control electrónicas (Unidad de control de bomba y unidad de control del motor). Mediante la activación apropiada del elemento actuador se regula el número de revoluciones.

En el caso de la bomba de inyección rotativa de émbolo axial, existe una bomba de aletas que suministra combustible a la cámara de la bomba. Un émbolo distribuidor central que gira mediante un disco de leva, asume la generación de presión y la distribución a los diversos cilindros. Durante una vuelta del eje de accionamiento, el émbolo realiza tantas carreras como cilindros del motor a abastecer. Los resaltes de leva en el lado inferior del disco de leva se deslizan sobre los rodillos del anillo de rodillos y originan así en el émbolo distribuidor un movimiento de elevación adicional al movimiento de giro.

- **Bomba en línea.** Funciona a través del accionamiento de un eje de leva en línea que se conecta al cigüeñal del motor, el accionamiento es mecánico y a cada leva el corresponde activar un elemento de bomba el cual entrega combustible a un cilindro. La regulación de la entrega de combustible es a través de una barra reguladora. Este tipo

de bomba no ha sufrido grandes cambios tecnológicos a través del tiempo, y se utiliza para maquinaria pesada.



Figura 2.1: Bomba en línea y rotatoria.

### 2.5.2. Inyector bomba o unitario

En este caso el inyector y la bomba de inyección forman una sola unidad, esta unidad se instala en cada uno de los cilindros, el sistema es directa o indirectamente accionado por el eje de levas del motor. Comparativamente puede inyectar a una mayor presión (200 bar aprox.) que las bombas de inyección, gracias a esta elevada presión de inyección y la regulación electrónica del caudal de inyección, ocurre una importante reducción de emisiones de contaminantes. El sistema responde a los sensores y a la unidad de control electrónico (ECU), que a través de la información entregada por los distintos sensores que son evaluados por la computadora a bordo que compara con los registros del ECU, se puede determinar los tiempos y las cantidades de inyección para un funcionamiento óptimo del motor a un determinado régimen. Características generales del inyector bomba.

- Presiones de hasta 2000 bar.
- Diagrama de aumento de tasa de inyección casi ideal.
- Capacidad de generar una inyección piloto.
- Total control electrónico en la entrega de combustible (cantidad y tiempo).
- Control de todas las funciones del motor.
- Ajuste del combustible *inyección a inyección*.
- Posibilidad de comunicación con otros sistemas del vehículo.
- Total capacidad de diagnóstico.

### 2.5.3. Common rail

La palabra *Common Rail* puede traducirse como rampa de inyección, es decir, se hace alusión al elemento característico del sistema de inyección gasolina. La diferencia fundamental entre los dos sistemas viene dada por el funcionamiento con mayores presiones de trabajo en los motores Diesel, del orden de 1350 bar que puede desarrollar este sistema en comparación a los 5 bar que desarrolla un sistema de inyección gasolina.

La presión de inyección se genera independientemente del régimen del motor y del caudal de inyección. El combustible para la inyección está a disposición en el acumulador de combustible de alta presión Rail o acumulador de presión. El conductor preestablece el caudal de inyección, la unidad de control electrónica (ECU) calcula a partir de campos característicos programados, el momento de inyección y la presión de inyección, y el inyector realiza las funciones en cada cilindro del motor, a través de una electroválvula controlada.



Figura 2.2: Common Rail.

### 2.5.4. EDC: Control electrónico diesel

La regulación electrónica Diesel EDC (Electronic Diesel Control) a diferencia de los motores equipados con bombas convencionales de inyección (bombas en línea y bombas rotativas), el conductor no tiene ninguna influencia directa sobre el caudal de combustible inyectado. El caudal de inyección se determina, por el contrario, a través de diversas magnitudes.

El sistema monitorea los distintos sensores que se encuentran dentro del motor, determina los parámetros de funcionamiento y controla el funcionamiento para lograr el óptimo en el motor. El sistema se integra además con los demás sistemas electrónicos (frenos, transmisión,

tracción, etc.) para un rendimiento óptimo e integral del vehículo. El EDC debe cumplir con los siguientes requerimientos de los vehículos Diesel.

- Altas presiones de inyección.
- Conformación del desarrollo de la inyección.
- Comienzo de inyección variable.
- Inyección previa.
- Caudal de inyección, presión de sobrealimentación y comienzo de la inyección adaptados a todos los estados de servicio.
- Caudal de arranque dependiente de la temperatura.
- Regulación de la velocidad de marcha.
- Retroalimentación regulada de gases de escape.
- Tolerancias reducidas y alta precisión durante toda la vida útil.

## 2.6. Sistemas de control de emisiones

### 2.6.1. Filtro de partículas

Un filtro de partículas remueve el material particulado desde los gases de escape mediante filtración física. El tipo más común corresponde a un monolito de cerámica (corderita o carburo de sílice) en forma de panal de abeja. La estructura 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, tal como se muestra en la figura 2.3.

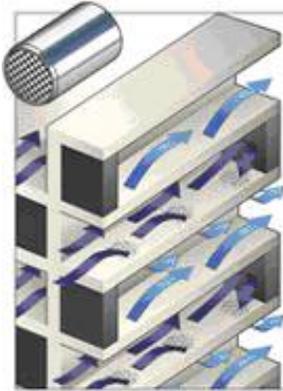


Figura 2.3: Flujo a través de las paredes del filtro.

Se dispone también de otros tipos de filtros, que consisten en estructuras de metal sintetizado o forjado como medio de filtración.

La eficiencia de filtración en los filtros de material particulado es mayor al 99% para material sólido. Cuando el material particulado tiene una porción sólida, la eficiencia es bajo el 90%.

Una variante de estos sistemas es la filtración parcial. Estos sistemas pueden ser diseñados para atrapar, por ejemplo, un 60% del material particulado. Las ventajas son la menor presión de trabajo y un menor riesgo de bloqueo.

Todos los sistemas de filtros poseen conceptos de regeneración.

### 2.6.2. Regeneración de los filtros

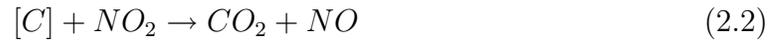
Todos los filtros poseen una capacidad finita de filtrado. Los filtros de partículas pueden ser limpiados, intermitentemente o continuamente, si no se quiere que estos se bloqueen. Esto es importante a partir del hecho que un filtro sobrecargado puede dañar el motor debido a la excesiva presión de los gases de escape.

El material atrapado en el filtro es en su mayor parte partículas de carbono (C) con algunos hidrocarburos absorbidos. Existen dos técnicas principales para remover las partículas.

1. Combustión con oxígeno ( $O_2$ )



2. Combustión con dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ )



Los méritos de ambas técnicas pueden resumirse como sigue. En la regeneración a base de  $O_2$  se requiere una temperatura cercana a los  $600^\circ\text{C}$ , o bien cercana a los  $400^\circ\text{C}$  cuando se ayuda mediante inyección de combustible, utilizando  $O_2$  en gran cantidad en los gases de escape como medio que permite la reacción de regeneración. En la regeneración a base de  $NO_2$  la reacción ocurre sobre los  $250^\circ\text{C}$  y en  $NO_2$  necesita ser producido a partir del  $NO$  en el flujo de escape.

Los sistemas de regeneración en base al  $NO_2$  se favorecen por el hecho que la temperatura que toma lugar la reacción tiene lugar en la mayoría de los sistemas de gases de escape de motores diesel. El líder en sistemas de filtración alrededor del mundo es el **CRT (Continuously Regenerating Trap)** que utiliza un catalítico de oxidación antes del filtro para generar el  $NO_2$  requerido para mantener limpio el filtro.

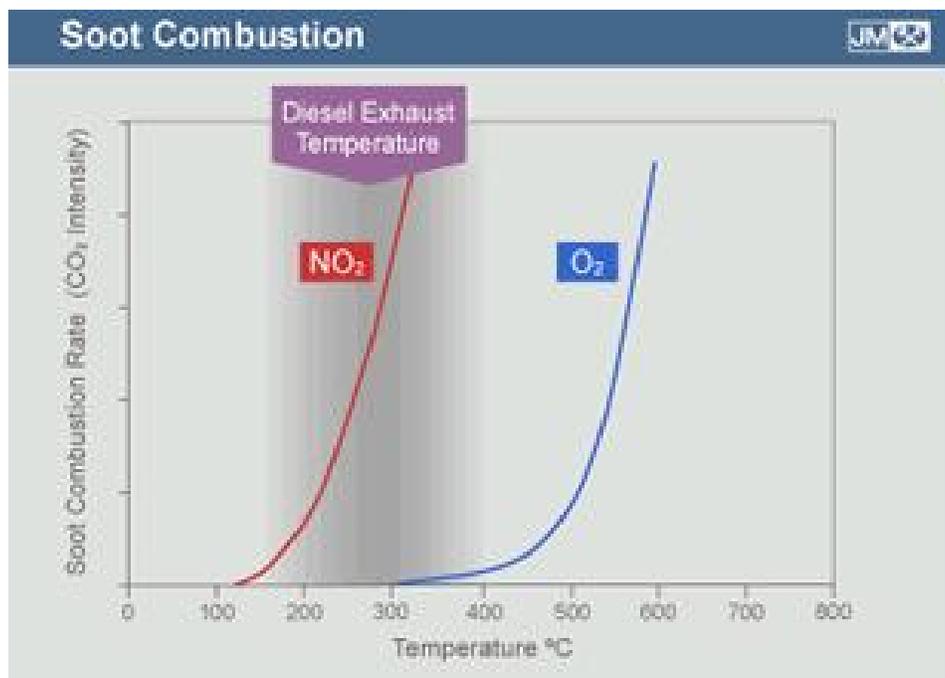


Figura 2.4: Razón de combustión del hollín con respecto a la temperatura de los gases de escape.

### 2.6.3. Regeneración pasiva y activa

Los sistemas DPF que son capaces de regenerarse a si mismos usando solamente el flujo de gases de escape, sin aportes de energía adicional, son conocidos como sistemas pasivos. El sistema CRT es capaz de funcionar en un amplio rango de condiciones, a diferencia de otros sistemas, y esa es la base de su éxito. Esta ventaja se puede ver de forma más clara en aplicaciones con bajas temperaturas de escape, y esta ventaja se fortalece aun más en los sistemas CCRT.

Los sistemas pasivos son favorables, particularmente para aplicaciones de mejoramiento, porque estas no requieren una integración con el motor, además no tienen otra fuente de energía más que el flujo de gases de escape, así como no poseen sistemas de control demasiado complejos.

Aplicaciones con ciclos de conducción variables o más exigentes, o con condiciones no apropiadas para sistemas pasivos, requieren regeneración activa.

### 2.6.4. Sistema CRT

El sistema CRT es el sistema DPF más comúnmente usado en el mundo. Este comprende un catalizador de oxidación seguido por el filtro de partículas. El principio de operación se muestra en la figura 2.5.

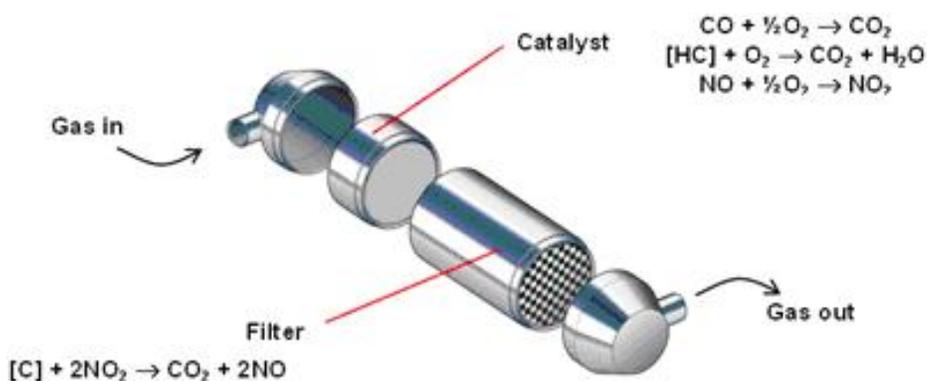


Figura 2.5: Principio de funcionamiento CRT.

La catálisis de oxidación remueve el  $\text{CO}$  y el  $\text{HC}$  y oxida una parte del  $\text{NO}$  presente en los gases de escape en  $\text{NO}_2$ . Este  $\text{NO}_2$  reacciona con el  $\text{PM}$  atrapado en el filtro produciendo

$NO$  y  $CO_2$ , limpiando el filtro.

### Funcionamiento del sistema CRT

En la figura 2.6 muestra la reducción de emisiones logradas por el sistema CRT como accesorio de un motor diesel Euro I sobre el ciclo de conducción ESC 13. Las conversiones mostradas son típicas del funcionamiento del sistema CRT.

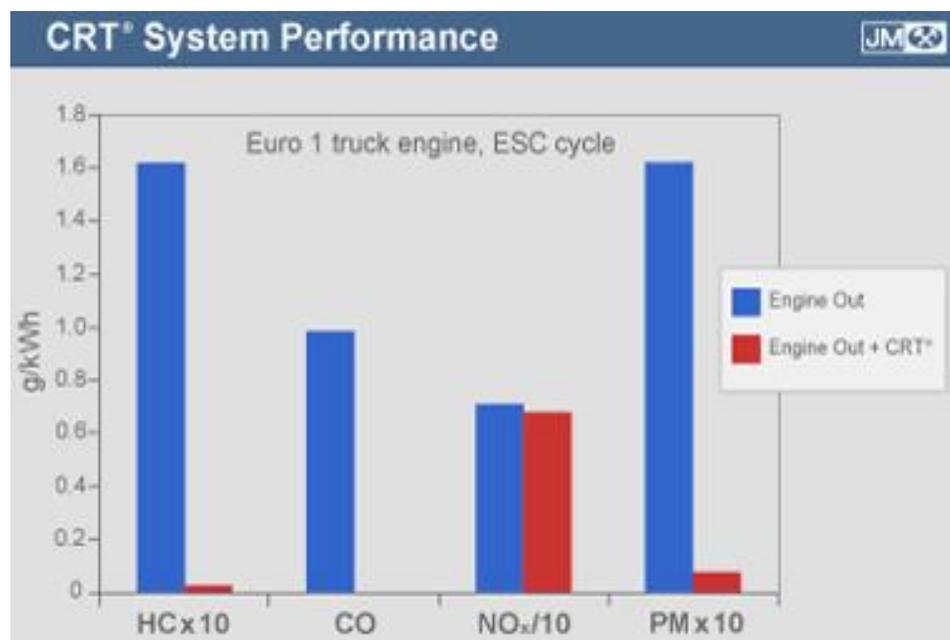


Figura 2.6: Comparación del funcionamiento del sistema CRT para un motor Euro I.

### Condiciones de operación

Las condiciones normales para una operación confiable del sistema CRT son:

1. Una proporción significativa (alrededor del 50%) del tiempo de operación con una temperatura de gases de escape sobre los 250°C.
2. Una razón de  $NO_x:PM$  en los gases de escape de 20:1 o mayor.
3. Uso de combustible con un máximo de 50 ppm de contenido de sulfuros.

Estas condiciones son dependientes entre si y los requerimientos exactos dependen del sistema y de la aplicación. Si esas condiciones no son conocidas, se puede considerar un sistema CCRT en su reemplazo.

### 2.6.5. El sistema CCRT

El sistema CCRT es un sistema CRT, pero se aplica un principio catalizador al filtro de partículas. El principio de funcionamiento se observa en la figura 2.7.

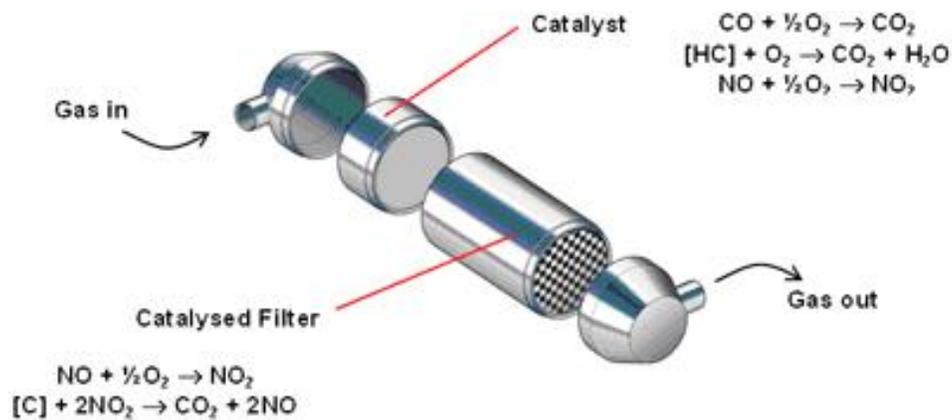


Figura 2.7: Principio de funcionamiento para el sistema CCRT.

La catálisis de oxidación remueve el  $\text{CO}$  y el  $\text{HC}$  y oxida parte del  $\text{NO}$  en los gases de escape en  $\text{NO}_2$ . Este  $\text{NO}_2$  reacciona con el  $\text{PM}$  atrapado en el filtro, produciendo  $\text{NO}$  y  $\text{CO}_2$ . Parte de este  $\text{NO}$  es reoxidado en  $\text{NO}_2$  en el filtro, el cual reacciona con más  $\text{PM}$  atrapado en este. Esto permite que el sistema regenere en condiciones de baja temperatura de gases de escape o bajas razones de  $\text{NO}_x:\text{PM}$  en los gases de escape.

### Condiciones de funcionamiento del sistema CCRT

El funcionamiento en la reducción de emisiones del sistema CCRT es el mismo o un poco mejor que el del sistema CRT. Su ventaja radica en que posee un mayor rango de condiciones de operación.

### Condiciones de operación

El sistema CCRT ofrece todas las ventajas del sistema CRT pero es capaz de operar en aplicaciones donde la temperatura de los gases de escape son mucho menores que donde se utiliza el sistema CRT. Esto ha sido verificado por la EPA en aplicaciones que tienen temperaturas menores a 210°C en un 40% del tiempo de operación. Es también capaz de operar en motores con una tasa de NO<sub>x</sub>:PM que sería insuficiente para el sistema CRT.

#### 2.6.6. Emisiones de dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ )

Los motores diesel emiten  $NO_x$ , que consiste en óxido de nitrógeno ( $NO$ ) y dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ). El porcentaje de ambos puede variar, pero típicamente en  $NO_2$  puede ser un 10% de los  $NO_x$  totales que salen fuera del motor. Las investigaciones relacionan los filtros con sistema de regeneración continua con el incremento de las emisiones de  $NO_2$  en el tubo de escape. Estas afirmaciones no necesariamente poseen la información suficiente que permita efectuar un juicio informado sobre este hecho.

Algunos puntos clave se desarrollan a continuación.

- El  $NO_2$  producido en la catálisis es un componente clave usado para quemar el hollín recolectado en el filtro, y, por lo tanto, los sistemas pasivos de regeneración que usan metales del grupo del platino pueden incrementar la cantidad de  $NO_2$  en el tubo de escape.
- El exceso de  $NO_2$  producido varía acorde a factores como la cantidad de material particulado y  $NO_x$  producido por cada motor, así como también de las condiciones de conducción. Por lo tanto, esta es la mayor dificultad para diseñar el sistema de filtro óptimo.
- Los filtros con sistema de regeneración continua no incrementan la cantidad total de  $NO_x$ , pero si pueden cambiar el balance entre  $NO$  y  $NO_2$  en el tubo de escape. El  $NO$  reacciona más lentamente en la atmósfera para formar  $NO_2$  en el caso en que el  $NO_2$  afecta la calidad del aire cercano a caminos.
- Todo el  $NO$  producido por el motor puede ser oxidado en  $NO_2$  en la atmósfera, indiferente a la presencia de sistemas de post-tratamiento.
- Las emisiones directas de  $NO_2$  desde los sistemas de catálisis son solo una parte de la formación de  $NO_2$  en la atmósfera y otras fuentes también necesitan ser consideradas.

### 2.6.7. Regeneración Activa en sistemas DPF

En cualquier aplicación en la cual no se pueda garantizar que las condiciones de los gases de escape sean las adecuadas para un sistema de regeneración pasiva, es necesario utilizar el principio de regeneración activa. Solo en esos casos, es deseable que se maximice la cantidad que se logra con una regeneración pasiva desde el momento en que no requiere un aporte mayor de energía.

Casi todos los filtros de regeneración activa operan con un incremento de temperatura cercano a los 600 °C. Esta es la temperatura donde el PM recolectado en el filtro se quema rápidamente con el oxígeno presente en los gases de escape.

### 2.6.8. Combustión del *HC* dentro del catalítico

Los sistemas CRT y CCRT pueden formar parte de los sistemas de regeneración activos en los cuales el contenido de *HC* en el flujo de escape es periódicamente enriquecido mediante una post inyección por cilindro, o bien por inyección directa de combustible en el flujo de escape. El *HC* se quema fuera del catalizador, levantando la temperatura del DPF para quemar el *PM* recolectado.

En la figura 2.8 se muestra este proceso y sus efectos. En el gráfico, la línea roja corresponde a las temperaturas medidas en el sistema CRT antes de la catálisis, entre el catalizador y el filtro y después del filtro. La temperatura se muestra en el eje y de la izquierda. La línea azul muestra la caída de presión en el filtro, lo cual es un indicador de la cantidad de *PM* contenido en este. La caída de presión se muestra en el eje y de la derecha.

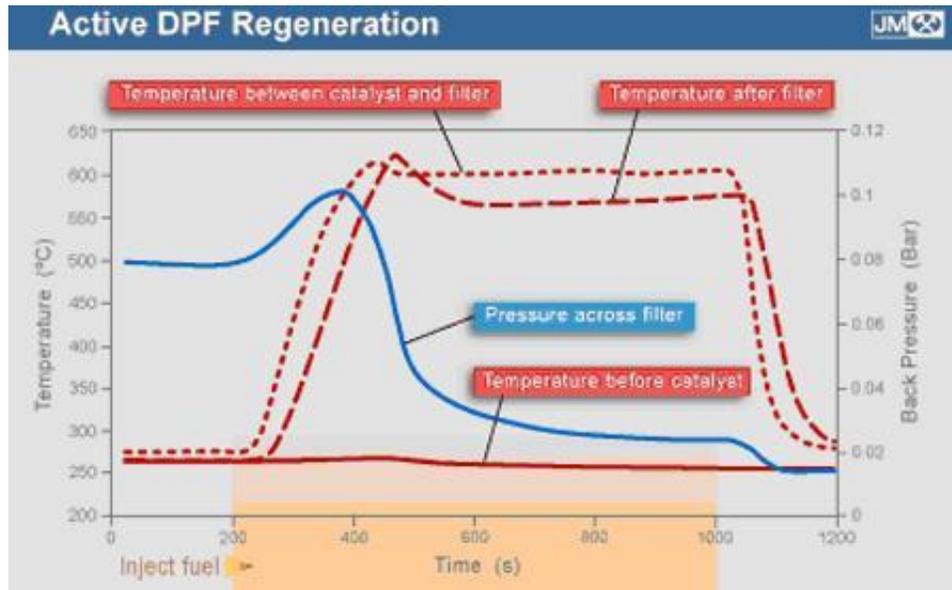


Figura 2.8: Combustión del *HC* dentro del Catalítico.

- 0-200 segundos. La temperatura a través del sistema es cercana a los 260 °C y la presión es de 80 mbar.
- 200-400 segundos. Cuando el diesel es inyectado flujo arriba en el catalizador, la catálisis se vuelve constante pero la temperatura después de la catálisis y después del filtro se incrementa hacia los 600 °C. La presión también se incrementa como resultado del incremento del flujo de gas por la combustión dentro del catalizador.
- 400-1000 segundos. Como la temperatura en el filtro se acerca a los 600 °C, la presión cae suavemente cuando el hollín en el filtro se empieza a quemar. Como se puede ver en la línea azul, este proceso se completa en los primeros 200 segundos.
- Después de 1000 segundos. Después que la inyección de combustible se termina, la temperatura a través del sistema rápidamente retorna a los 300 °C y el efecto en la presión causado por la combustión se detiene.

### 2.6.9. Regeneración mediante un calentador eléctrico

En algunos tipos de sistemas DPF se puede incorporar un calentador eléctrico. Este sistema se utiliza en aplicaciones de mejoramiento de equipos en los cuales la temperatura de los gases de escape es demasiado baja para asegurar una adecuada regeneración pasiva en los sistemas CRT. Cuando el motor está apagado, un flujo de aire proveniente de un compresor es calentado a 600 °C y pasa a través del filtro, quemando así el *PM* recolectado por este.

## 2.7. Generalidades sobre el sistema de transporte de pasajeros de Santiago

### 2.7.1. Introducción

En Santiago, con anterioridad a la implementación del Plan Transantiago, existían 7659 buses urbanos licitados, en los cuales no había uniformidad en tecnologías que permitieran controlar, de forma efectiva, las emisiones pertenecientes a estas fuentes. Con la implementación del Plan Transantiago se logrará, en forma gradual, unificar tecnologías, así como disminuir el parque de buses en Santiago. Al año 2005, la flota de buses disminuyó a 6147 buses, evolucionando desde un sistema de transporte desintegrado y competitivo, a un sistema integrado y complementario, lo que es uno de los principales objetivos estratégicos del plan.

Otro de los objetivos estratégicos del plan Transantiago hace referencia a la cantidad de servicios y empresas que los prestan. Hasta el año 2005, los servicios ascendían a 297, los que se agrupaban en 127 empresas y 3000 microempresarios. Con el plan, las empresas que prestan los servicios son solo 15 a 20, las cuales poseen entre 200 y 700 buses cada una.

Este objetivo contribuye a la disminución de la distancia de cada uno de los recorridos. En el sistema anterior, el recorrido promedio de un microbús ascendía a 62 km. Con los nuevos servicios, la extensión de los recorridos será en promedio de 25 km (Alimentadores: 18,6 km, Troncales: 36 km), contribuyendo a la disminución de la capacidad subutilizada.

Otro de los objetivos estratégicos va de la mano con el ámbito social y laboral. Los salarios de los conductores pasan de ser variables, es decir, por pasajero transportado, a un sueldo fijo, así como la ganancia de los operadores cambia de ser por pasajero transportado, a, en caso de los operadores de troncales por oferta provista (bus-kilómetro), y en el caso de los alimentadores por pasajero transportado con exclusividad dentro del área.

En el ámbito ambiental, según estimaciones del Transantiago, la sola reestructuración del transporte público de Santiago permite el cumplimiento de las metas del PPDA, respecto a las emisiones del año 1997, tal como se muestra en la figura 2.9.

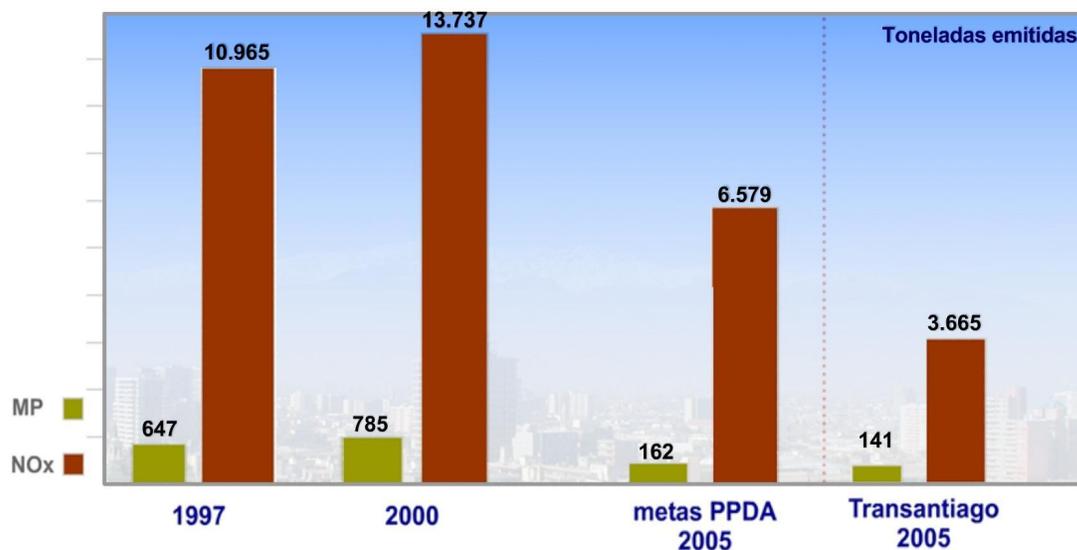


Figura 2.9: Cuadro comparativo entre las emisiones existentes al año 1997, el año 2000, las metas del PPDA y la reducción lograda por el plan Transantiago.

Desde la implementación del plan Transantiago, alrededor de 20% de los buses que se utilicen serán nuevos. Desde entonces y hasta el año 2010, el parque de buses se renovará paulatinamente, para finalmente reemplazar el parque en su totalidad.(10)

### 2.7.2. Resumen de las características técnicas de los buses

Las características de los buses a utilizar por el plan Transantiago están definidas por el Decreto Supremo N°122<sup>4</sup>, la cual indica que los motores de todos los buses nuevos tendrán que cumplir con las normas de emisión vigentes en Chile (Euro III o EPA 98), además la transmisión deberá ser automática y el sistema de dirección hidráulica o servo asistida.

De acuerdo a su longitud, los buses serán de tres clases:

- Clase A: 8 a 11 metros.
- Clase B: 11 a 14 metros.

<sup>4</sup>Publicado en el Diario Oficial de 19 de julio de 1991.

- Clase C: más de 14 metros.

Estos tipos de buses se muestran en la figura 2.10.

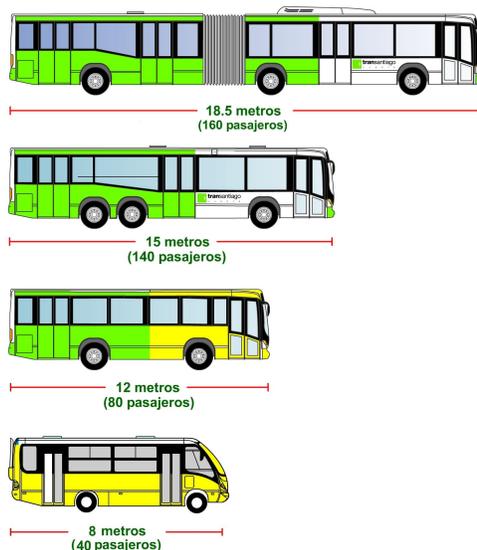


Figura 2.10: Tipos de buses que operan el plan Transantiago.

Los buses clase B y C son vehículos de transporte masivo con una mayor capacidad respecto de los buses actuales; se usarán en los servicios troncales y su diseño será del tipo *entrada baja*, con parte de la superficie para pasajeros llana sin peldaños. Además, estos buses deben tener, en al menos una de las puertas de entrada baja, una rampa que posibilitará el acceso de modo fácil y seguro a personas en sillas de ruedas, con un espacio destinado especialmente para este tipo de usuario, ubicado junto al acceso, claramente señalizado. El espacio mínimo debe ser de 90 cm x 140 cm, y cuenta con un sistema de anclaje complementado con un pasamano que permite que el usuario viaje asegurado a la estructura del bus. Todos los mecanismos de sujeción deben ser sencillos y rápidos de operar, y se puede usar el área como espacio libre para pasajeros de pie cuando no sea utilizado por usuarios con discapacidad o movilidad reducida.

La suspensión de los buses clase B y C debe ser del tipo neumática completa, similar a la que poseen los buses interurbanos. Además, deben incluir retardador integrado a la transmisión automática, mecanismo que brinda una mayor seguridad de frenado y apoyo al freno de servicio, indispensable en buses con un alto peso bruto vehicular.

Para los accesos de entrada baja -entrada directa al bus, sin peldaños- se acepta una altura máxima de 40 cm, y para los accesos con escalones la altura del primer peldaño debe

tener 35 cm como máximo. Se autorizan hasta dos peldaños adicionales.

Los buses Clase B deben tener un mínimo de dos puertas dobles de servicio. Sin embargo, los vehículos de esta clase con más de 12 metros de longitud tendrán un mínimo de tres puertas dobles de servicio. En ambos casos, al menos la delantera es de entrada baja. Las dimensiones mínimas de éstas deberán ser: 1.90 m de altura y 70 cm de ancho en el caso de las puertas simples y 1.10 m de ancho para las puertas dobles. Los buses clase B deben tener al menos cuatro salidas de emergencia y los clase C, al menos cinco, uniformemente distribuidas a lo largo del bus. Los buses articulados, pertenecientes a la clase C, se aceptan con una longitud máxima de 18,5 metros.

Los buses clase A son vehículos de una menor capacidad de transporte, orientados a cubrir los servicios locales. Deben tener, como mínimo, dos puertas de servicio -una simple y otra doble- y están provistos de al menos tres salidas de emergencia. Todos los materiales y revestimiento de paneles interiores, incluidos los asientos, deben tener propiedades que dificulten la propagación de llamas en caso de incendio. Los buses deben contar con sistemas electrónicos de identificación de recorridos, los que se ubican en su exterior y deben ser visibles tanto de día como de noche.

## 2.8. Tecnologías de análisis

Los analizadores utilizados para medir las emisiones de los gases de escape de los motores diesel deben ser lo suficientemente sensibles para detectar, a veces, los bajos niveles de contaminantes en los gases de escape, especialmente en gases diluidos, y que pueden ser una interferencia significativa para la medición de otros gases que pueden estar presentes.

Para las emisiones que son cubiertas por la legislación, como el monóxido de carbono, dióxido de carbono y óxidos de nitrógeno e hidrocarburos, existen analizadores específicos los cuales son aprobados por cuerpos regulatorios bastante exigentes. Sin embargo, para las emisiones no reguladas existen un número de procedimientos los cuales pueden ser empleados. La opción del método es controlada por el equipo disponible en un laboratorio específico.

En lo que sigue, los principios de operación de los analizadores serán descritos. Claramente existen factores que difieren de fabricante a fabricante y de modelo a modelo. La información que acá se muestra solo puede ser tomada como el principio de funcionamiento. Los analizadores están ordenados por el gas que analizan.

### 2.8.1. Dióxido de carbono

El dióxido de carbono es medido de forma invariable mediante un dispositivo infrarrojo no dispersivo (NDIR). Esto es posible debido a que el dióxido de carbono absorbe radiación de la zona infrarroja del espectro. Por lo tanto, una vez que la radiación atraviesa en dióxido de carbono, esta se atenúa. El grado de atenuación depende de la cantidad de dióxido de carbono que se encuentra en la zona, a mayor cantidad de dióxido de carbono, mayor es la atenuación.

El analizador consiste en 4 elementos, una fuente de luz infrarroja, una celda de referencia, una celda de prueba y un detector con su electrónica asociada.

La fuente de luz infrarroja es, por lo general, un alambre calentado. La radiación se divide hacia la celda de referencia, y otra parte a la celda de prueba. Luego que la radiación reacciona en la celda, pasa por un filtro, que puede ser un film delgado, o bien, un gas no absorbedor de radiación, típicamente nitrógeno. La celda de referencia esta llena de aire seco libre de dióxido de carbono. La celda de prueba esta llena de un gas de prueba. El gas puede o es probado distintamente o, como es más común para el trabajo del análisis de motor Diesel, continuamente. Muchos analizadores tienen varias variables de salida disponibles. Esto se logra en parte por la electrónica y en parte por el uso de una celda de pruebas que consiste en dos elementos de distinto tamaño, el más pequeño es usado para rangos más concentrados, y el más grande, para mezclas más diluidas.

Existe un número de detectores diferentes disponibles. Uno de los más comunes es el detector tipo *LUFT*. Esto consiste en dos cámaras selladas separadas por una membrana delgada, la cual se puede mover debido al cambio de presión dentro de las cámaras.

Cuando la presión cambia ocurre lo siguiente: Ambas cámaras del detector están llenas del gas que se analizará, en este caso dióxido de carbono. La radiación llega a cada lado del del detector y, cuando es absorbida por el dióxido de carbono, hace que este aumente su temperatura. Como el volumen es fijo, aumenta la presión. El lado de referencia recibe toda la radiación desde la fuente mientras que el lado de prueba recibe mucho menos, la diferencia entre ambos es lo que absorbió el dióxido de carbono en el gas de prueba. La diferencia resultante de presiones hace que la membrana se mueva hacia el lado de prueba. Este es el movimiento que se detecta.

Un tipo de detector alternativo consiste en una cámara de absorción y una cámara de compensación las cuales están conectadas por un paso de gas. Ambas cámaras están llenas con el gas a analizar, llámese dióxido de carbono. La radiación recibida causa que el gas se caliente, se expanda y empiece a moverse hacia la la cámara de compensación. El flujo entre

las cámaras se determina usando un detector apropiado. El uso de un *chopper* produce que una señal alterna cuando el gas oscila entre ambas cámaras, la cual es más fácil de monitorear y manejar electrónicamente y, además, reduce interferencias desde, por ejemplo, efectos térmicos.

### 2.8.2. Monóxido de carbono

El monóxido de carbono también se mide usando detectores infrarrojos no dispersivos. Estos pueden ser idénticos en su principio de funcionamiento a los expuestos en el punto anterior con la excepción de que el film que actúa de filtro no se utiliza, las celdas son llenadas de dióxido de carbono puro para permitir una interferencia de este, y el detector contendría monóxido de carbono.

### 2.8.3. Óxido nítrico

El óxido nítrico puede ser medido usando el principio infrarrojo no dispersivo. En esta instancia, si el film que se utiliza de filtro no se utiliza, las celdas del filtro serían llenadas de una mezcla de dióxido de carbono y monóxido de carbono para evitar que intervengan con la medición de óxido nítrico. El detector podría contener óxido nítrico.

El vapor de agua absorbe radiación infrarroja y desde los gases de escape del motor Diesel, si es puro o diluido con aire, el contenido de vapor de agua de la muestra puede ser drenado antes que pase a través de la celda de prueba. Esto se logra usando algún agente de secado, como el gel de sílice o el perclorato de magnesio.

El que desplaza al detector de luz infrarroja es el analizador de quimioluminiscencia. Esta tiene la ventaja que puede ser usada para detectar solo en óxido nítrico pero también el dióxido de nitrógeno. Esto es particularmente importante para la medida de los gases de escape para los motores de mediana velocidad. Para motores de alta velocidad, las emisiones son mayoritariamente de óxido nítrico, y a lo más un 30% de dióxido puede ser detectado bajo ciertas condiciones de operación como conducción a baja velocidad o altas razones de aire/combustible. Por lo tanto, los motores grandes tienden a emitir proporcionalmente más  $\text{NO}_2$ , y por lo tanto la medición de dióxido de nitrógeno llega a incrementarse en forma importante.

Para medir el óxido nítrico dentro de los gases de escape se hace pasar estos gases dentro de una cámara donde reacciona con ozono generado por los instrumentos. Esto produce

dióxido de nitrógeno en un estado electrónico excitado. Las moléculas se relajan emitiendo fotones de radiación. Estos son detectados y amplificados por un filtro y un fotomultiplicador que se aloja dentro de la cámara. La señal de salida de el fotomultiplicador es proporcional a a la concentración de óxido nítrico.

Luego de esto, el gas de escape pasa a un sistema catalítico, que reduce el dióxido o el óxido nítrico. El gas reducido pasa a una cámara de reacción de ozono donde el total de óxido contenido es medido. Esta suma es generalmente referida como  $\text{NO}_x$  u *óxidos de nitrógeno*.

#### 2.8.4. Hidrocarburos

Los hidrocarburos son medidos universalmente en los motores Diesel utilizando un *detector calentado de ionización de llama* (HFID). Este esta compuesto de una celda detectora de flama ionizada, junto con toda la electrónica necesaria para el procesamiento de señales. En el escape del Diesel el peso molecular de los hidrocarburos es mucho mayor y , por ende, posee un punto de fusión más alto, es esencial prevenir las pérdidas debido a la condensación en cualquier superficie de contacto con la cámara de gas. Esto se logra manteniendo las lineas de prueba y cualquier sector donde se tome contacto con el gas a una temperatura superior a los  $191^\circ\text{C}$ . Esta temperatura ha sido seleccionada para obtener la mayor respuesta en los sensores de medición de hidrocarburos.

Cuando el hidrocarburo se quema en una flama, se producen iones. En el detector de ionización de llama, el gas de escape de prueba pasa a través de un capilar, para controlar la cantidad de flujo, y dentro de la llama obtenida, controlar la mezcla de hidrógeno y helio, o bien, de nitrógeno en el aire. Las mezclas posteriores sufren menos por la interferencia debido a los distintos niveles de oxígeno encontrados en los gases de escape.

Una diferencia de potencial se aplica a través de la llama y como los hidrocarburos que-man los iones producidos por el movimiento hacia uno de los electrodos. Esto produce una corriente eléctrica la cual es medida y amplificada, la magnitud de la corriente es proporcional al número de átomos de carbono que pasan a través de la llama. El analizador puede ser calibrado con un gas hidrocarburo conocido, usualmente propano. Los resultados son usualmente especificados en partes por millón de carbono, lo que le da una una medida verdadera de la cantidad de hidrocarburos presentes sin la necesidad de individualizarlos.

### 2.8.5. Material particulado

Material particulado se define como cualquier inclusión en los gases de combustión del motor que pueden ser filtrados después de que el gas se diluye con el aire. El dispositivo para la medición consiste en un túnel, en el cual los gases de escape se mezclan con aire, para posteriormente ser filtrado, y así remover la porción contenida en el escape diluido.

Las proporciones de este túnel están especificadas en forma relevante en las regulaciones. Básicamente los gases de escape y el aire se mezclan antes de que se tome la muestra.

Debido a la regulación americana, la temperatura del gas de prueba no debe superar los 52°C. Esto tiene muy buenas razones técnicas para definir esta temperatura, a lo menos, en el filtro. Esto se debe a que a esta temperatura, los materiales recolectados serán líquidos y sólidos. Otros materiales serán gases, que pasarán a través del filtro. Sin embargo, si la temperatura se incrementa a, por decir, 150°C, el material que se funde entre 50°C y 150°C se escaparía. La baja masa del material particulado entonces puede ser medida. La cantidad de material recolectado por el filtro se determina gravimetricamente.

El material particulado consiste en sustancias que pueden ser mutagénicas o cancerígenas y ahí si hay algún interés en la composición de este material particulado.

La composición del material particulado puede variar considerablemente desde un 5 % de hidrocarburos y un 95 % de carbono a un 20 % de carbono y 80 % de hidrocarburos dependiendo de las condiciones de operación del motor.

## 2.9. Descripción equipos de medición

Los equipos que se utilizarán para el muestreo directo de emisiones on board consisten en una batería de equipos analizadores y sistemas de medición de material particulado portátiles, los cuales pueden ser transportados en el mismo vehículo que está siendo estudiado, con capacidad de medición en tiempo real. Los equipos analizadores de gases pueden ser de distintos tipos, pero de preferencia se consideran los sistemas tradicionales utilizados en laboratorio, tales como detector de ionización de llama (FID) para hidrocarburos, analizador infrarrojo no dispersivo (NDIR) para monóxido y dióxido de carbono, y analizador ultravioleta no dispersivo (NDUV) o de luminiscencia química (CHLM) para óxidos de nitrógeno. De preferencia se deben usar este tipo de analizadores en lugar de sensores electroquímicos, siendo estos últimos más económicos pero de menor precisión y corta vida útil. Algunos de los principios de funcionamiento de estos equipos se desarrolló en la sección 2.8.

Con respecto a los equipos que permiten la medición de material particulado, la regulación internacional ha estado basada exclusivamente en el método gravimétrico con filtros, que resulta en una medición acumulativa de la emisión másica correspondiente al ciclo completo de conducción. Como sistemas alternativos, recientemente se han reportado instrumentos con capacidad de medición en tiempo real que ofrecen información segundo a segundo de concentración másica de partículas, basados en la detección eléctrica de las partículas, mediante etapas de carga y posterior clasificación por tamaño e inercia.

Un detalle de los equipos que se utilizarán, y sus características, se mencionan a continuación.

### 2.9.1. Semtech-D

Este equipo (figura 2.11) presenta una combinación de detector de ionización de llama (FID) con analizadores infrarrojo y ultravioleta no dispersivo (NDIR y NDUV). Estos métodos permiten medición simultánea para *THC*, *CO*, *CO<sub>2</sub>*, *NO* y *NO<sub>2</sub>* en tiempo real, con línea de muestreo a 190°C. Diseño robusto capaz de soportar los golpes y vibraciones existentes en mediciones en terreno. Acoplado con el sistema de medición de gases de escape, GPS y computador a bordo, es posible medir emisiones directamente en g/m (o g/km), g/kg fuel o g/bhp hr. Sus dimensiones, en mm son 355(H)x432(W)x549(D), y su peso asciende a 35.4 kg.



Figura 2.11: Fotografía real del Semtech-D.

### 2.9.2. Dekati DMM 230

El Dekati Mass Monitor (DMM) (figura 2.12) es un instrumento para mediciones en tiempo real de emisiones vehiculares de material particulado, en el rango  $0.03 - 1.5 \mu m$ . El principio de operación está basado en cuatro etapas: carga de partículas, medición de densidad, clasificación por tamaño usando impactadores inerciales (6), y detección eléctrica de partículas cargadas. Sus dimensiones en mm son 300(H)x560(W)x420(D); su peso es de 50 kg.



Figura 2.12: Fotografía real del Dekati Dmm 230.

### 2.9.3. ISSRC Diluter

El ISSRC Diluter (figura 2.13) permite realizar muestreo bajo condiciones de alta concentración, temperatura, humedad, y por períodos prolongados de tiempo. Este sistema de dilución permite medir la tasa de dilución segundo a segundo. Aire de dilución es filtrado con sistema HEPA. Elimina condensación y nucleación de compuestos volátiles y permite obtener una muestra seca de aerosoles. Específicamente diseñado para ser usado en mediciones vehiculares en el tubo de escape y unidades Dekati DMM-230 y Semtech-D.



Figura 2.13: Fotografía real del ISSRC Diluter.

#### 2.9.4. Semtech EFM

Este equipo (figura 2.14) permite el análisis de flujo de gases de escape en ruta y en tiempo real. Es un dispositivo robusto y compacto que mide directamente flujo total en el escape de un vehículo en forma continua mientras este se encuentra en operación.



Figura 2.14: Fotografía real del Semtech EFM.

# Capítulo 3

## Metodología experimental

### 3.1. Campaña de mediciones

La campaña de medición de buses se realizó entre el 21 de agosto y el 01 de septiembre del 2006, en el recinto de Mersan, con instalaciones acondicionadas especialmente para la experiencia. En la campaña se midieron 25 buses, que se desglosan en la tabla 3.1.

Tabla 3.1: Categorías de Buses y Cantidad Medida.

<b>Standard</b>	<b>Tipo</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Convencionales</b>	Euro-I	2
	Euro-II	3
	Euro-II con filtro	3
	Euro-III	2
<b>Transantiago</b>	Volvo B9SALF Euro-III	4
	Volvo B7RLE Euro-III	6
	Volvo B7RLE Euro-III con filtro	5

El detalle de los buses medidos y sus especificaciones técnicas se expresan en la tabla 3.2.

Tabla 3.2: Especificaciones técnicas buses medidos.

Operador	Patente	Año	Marca	Modelo	Marca	Modelo	Cilind.	Trans.	Euro	Filtro
Red Bus S.A.	LY-1419	1995	MBz	OF-1318	Santo Amaro	Transport	4249	Mec	E1	NO
Red Bus S.A.	TE-3776	1999	MBz	OH -1420	Marcopolo	Torino	5958	AT	E2	CRT
Comer.Nvo.Milenium	VK-6359	2002	MBz	OH-1420	Cuatro Ases	Metropol	5958	Mec	E2	NO
Comer.Nvo.Milenium	YE-9703	2005	MBz	OH-1115	Metalpar	Tronador		AT	E3	NO
Trans-Trece S.A.	RS-1009	1998	MBz	OH-1420	Ciferal	GLS Bus	5958	AT	E2	DPF
Trans-Trece S.A.	TZ-7737	2001	MBz	OH-1420			5958	AT	E2	DPF
Trans-Trece S.A.	NY-4070	1996	MBz	OH-1421			5958	AT	E2	NO
Trans-Trece S.A.	XV-1909	2003	MBz	OH-1418	Caio	Apache	5958	Mec	E3	NO
Trans-Trece S.A.	RV-7986	1998	MBz	OH-1420	Ciferal	GLS Bus	5958	AT	E2	NO
Trans-Trece S.A.	LG-3259	1994	MBz	OF-1318	Inrecar		4249	Mec	E1	NO
Subus S.A.	ZN-5374	2005	Vv	B7RLE	Caio	Mondego	7000	AT/Ret	E3	CRT
Subus S.A.	ZN-5566	2006	Vv	B9SALF	Caio	Mondego	9400	AT/Ret	E3	NO
Subus S.A.	ZN-5580	2006	Vv	B9SALF	Caio	Mondego	9400	AT/Ret	E3	NO
Subus S.A.	ZN-5590	2006	Vv	B9SALF	Caio	Mondego	9400	AT/Ret	E3	NO
Subus S.A.	ZN-6267	2006	Vv	B7RLE	Caio	Mondego	7000	AT/Ret	E3	CRT
Subus S.A.	ZN-6605	2005	Vv	B7RLE	Caio	Mondego	7000	AT/Ret	E3	CRT
Subus S.A.	ZN-6259	2005	Vv	B7RLE	Caio	Mondego	7000	AT/Ret	E3	CRT
Subus S.A.	ZN-6262	2005	Vv	B7RLE	Caio	Mondego	7000	AT/Ret	E3	CRT
Express Stgo.uno S.A.	ZN-5161	2005	Vv	B7RLE	Marcopolo	Gran Viale	7000	AT/Ret	E3	NO
Express Stgo.uno S.A.	ZN-5580	2005	Vv	B7RLE	Marcopolo	Gran Viale	7000	AT/Ret	E3	NO
Express Stgo.uno S.A.	ZN-3238	2005	Vv	B7RLE	Marcopolo	Gran Viale	7000	AT/Ret	E3	NO
Express Stgo.uno S.A.	ZN-4401	2005	Vv	B7RLE	Marcopolo	Gran Viale	7000	AT/Ret	E3	NO
Express Stgo.uno S.A.	ZN-4402	2005	Vv	B7RLE	Marcopolo	Gran Viale	7000	AT/Ret	E3	NO
Express Stgo.uno S.A.	ZN-5161	2005	Vv	B7RLE	Marcopolo	Gran Viale	7000	AT/Ret	E3	NO
Express Stgo.uno S.A.	WA-8534	2005	Vv	B9SALF	Busscar	Urbanuss	9400	AT/Ret	E3	NO

Nomenclatura	
MBz	Mercedes Benz
Vv	Volvo
Mec	Transmisión Mecánica
AT	Transmisión Automática
Ret	Retardador
CRT	Filtro de Partículas del tipo CRT
DPF	Filtro de Partículas sin especificación
E1	Euro 1
E2	Euro 2
E3	Euro 3

Un ejemplo de los buses medidos se puede observar en las figuras 3.1, 3.2 y 3.3.



Figura 3.1: Bus tipo convencional medido .



Figura 3.2: Bus standard Transantiago medido.



Figura 3.3: Bus standard Transantiago articulado medido.

Para la campaña de medición de emisiones de los buses anteriormente mencionados, se utilizaron los equipos que se describen en la sección 2.9, conjuntamente con equipos auxiliares o de apoyo a las mediciones, tales como un generador eléctrico, que permite energizar los equipos a bordo del vehículo; sacos de arena, los cuales permiten simular una carga media de operación del vehículo; y elementos de seguridad, tales como extintores y otros, así como un set de computadores portátiles que permiten registrar y revisar la información obtenida por los equipos en tiempo real.

## 3.2. Procedimiento de medición

Para efectuar el procedimiento de medición de cada uno de los buses, al inicio de la jornada de medición se deben efectuar procedimientos de calentamiento y calibración del Semtech-D, los cuales se detallan a continuación.

### 3.2.1. Chequeo del estado de los sistemas durante el Warm-Up Semtech-D

Durante el calentamiento del equipo, el status del sistema puede ser monitoreado usando la interfaz del computador del equipo. Como el equipo ha estado a temperatura ambiente durante el descanso, hay que efectuar un calentamiento o warm-up completo durante alrededor de 60 minutos hasta que se estabilice.

Durante este periodo, se efectúan los chequeos de las presiones y temperaturas del sistema, se enciende el FID, y se setean los analizadores, además de chequear posibles advertencias o faltas que existan en el sistema.

En el diagrama de flujos que provee la interfaz, se deben chequear las presiones del combustible de FID, que debe encontrarse sobre los 200 psig, así como chequear que la línea de medición de temperatura ambiental este conectada, chequear la presión de vacío y determinar si los filtros requieren cambio. Luego de este procedimiento, se efectúa lo que se denomina *Leak Test*, que es para comprobar la presión de vacío del sistema. Luego se efectúa la calibración o el *Zero* de los analizadores del equipo, que consiste en inyectarle al equipo un gas neutro, como puede ser una mezcla baja de dióxido de carbono, o bien aire limpio, el cual se efectúa a partir de una purga del gas controlada por la interfaz del equipo, que calibra en orden cada uno de los analizadores.

### 3.2.2. Preparación del vehículo a medir

Luego de efectuada la calibración diaria de los equipos, en especial del Semtech-D, se prepara el vehículo a medir cargándolo con sacos de arena, proporcionales a la capacidad de pasajeros que posea el vehículo, es decir, en el caso de un articulado, que posee una carga de 180 pasajeros, se carga con 140 sacos de arena, con un peso aproximado de 40 kg cada uno, así como un bus Standard Transantiago tipo B7RLE, se carga con 70 sacos, debido a que puede transportar hasta 80 personas. Luego se efectúa el montaje del generador eléctrico, y de los equipos, tanto exteriormente como en su interior. El montaje de los equipos exteriores

se efectúa a partir de una estructura que consta de 2 ventosas, las cuales permiten adherirse a una superficie plana, libre de poros y suciedad, en la cual van incorporadas el Dekati Diluter y el Semtech EFM, conectados al tubo de escape del vehículo a través de un adaptador y una manguera flexible. A esto se le suma una antena GPS adherida en el techo del vehículo.

El montaje de los equipos interiores consta en subir al vehículo el Semtech-D, el Dekati DMM 230, una batería de respaldo del Semtech-D, otros equipos accesorios como un flujómetro digital, una bomba de vacío que permite el correcto funcionamiento del Dekati DMM 230, así como también un set de equipos eléctricos tales como alargadores, transformadores, etc., conjuntamente con los computadores portátiles de apoyo.

Un esquema de los equipos y su montaje se muestra en la figura 3.4.

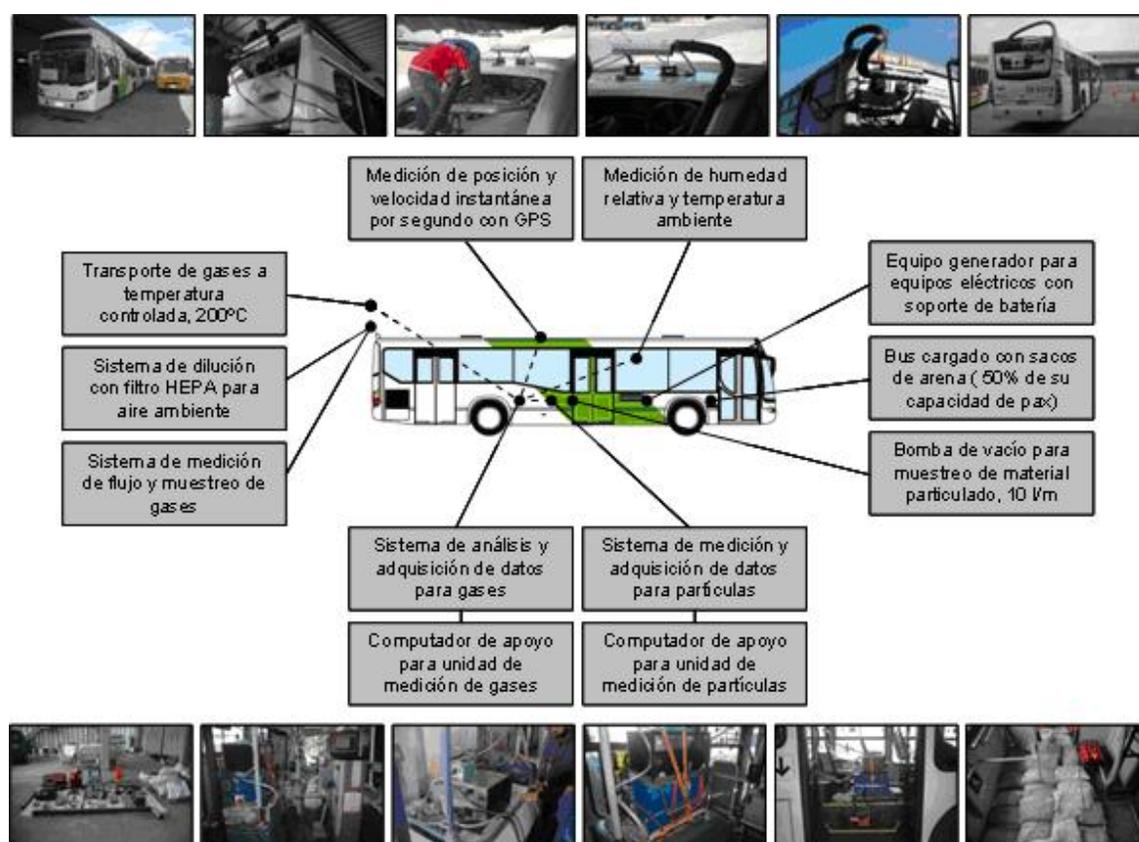


Figura 3.4: Esquema de la disposición de los equipos en el bus en proceso de medición.

### 3.2.3. Proceso de medición

La medición comienza al mismo tiempo para ambos equipos, con el motor del vehículo detenido, para capturar las emisiones desde el momento de la partida, así como la medición termina cuando el motor se apaga y ya no hay flujo por el escape del vehículo.

El vehículo se somete a un recorrido por un circuito definido con anterioridad, cuyos detalles se analizan en la sección siguiente.

Los datos obtenidos luego de cada medición son recogidos por cada uno de los computadores, para después obtener, mediante un post-proceso de datos, los valores de medición de emisiones del vehículo en el circuito.

### 3.2.4. Circuito de prueba

Para efectuar la medición de cada uno de los buses, estos son sometidos a un recorrido a través de un circuito urbano previamente diseñado, que consta de las siguientes calles:

- **Galpón Mersan.**
- **Salida Mersan por Américo Vespucio hacia el este hasta Gran Avenida:** Sector de tránsito expedito, permite desarrollar velocidades elevadas de circulación. Se efectúan paradas esporádicas. El terreno es llano, con un estado del pavimento bueno. Nivel de tráfico es regular, encontrándose, por lo general, con atochamientos al final de este tramo, dependiendo de la hora del día.
- **Gran Avenida hacia el norte, hasta J. J. Vallejos:** Sector con tránsito abundante en toda su extensión. Se logra gran número de aceleraciones y desaceleraciones en el bus, debido a la alta presencia tanto de semáforos como de sectores de recolección de pasajeros. Nivel de velocidad media a baja. El estado del pavimento es regular. La presencia de atochamientos depende de la hora del día en que se circule, siendo más comunes al atardecer.
- **J. J. Vallejos hacia el poniente, hasta San Ignacio:** Sector de tránsito lento, calle bastante angosta, con un pavimento regular, con alto número de desaceleraciones por presencia de dispositivos reductores de velocidad.
- **San Ignacio al sur, hasta La Marina:** Sector de velocidad media, con paradas intermedias. Se logra un nivel de velocidad constante en varios sectores de este tramo. Poca presencia de atochamiento vehicular. Pavimento en regular estado.



### 3.3. Procesamiento de datos

Posterior a la realización de la campaña de mediciones, se efectúa el procesamiento de la información obtenida en las mediciones de cada uno de los buses. La primera etapa de este procesamiento es reunir todos los datos obtenidos en la campaña y revisar exhaustivamente los archivos, para descartar la presencia de archivos corruptos y anomalías en estos, así como también corroborar que la toma de datos se ha efectuado en forma correcta. En este punto se pueden descartar algunos buses debido a archivos con una extensión no apropiada o corruptos.

Luego de esto, los datos obtenidos se procesan mediante el uso de una planilla Excel estandarizada, en la cual se adhieren los datos obtenidos para un bus en particular, tanto en el Semtech-D como en el Dekati DMM. Debido que estos dos equipos, y en especial, el Semtech-D es un conjunto de sistemas de medición de emisiones, existen retrasos, también llamados *offset*, entre los datos obtenidos para cada uno de los contaminantes, el material particulado y los datos de velocidad y posición entregados por el GPS. Por lo tanto, hay que efectuar un proceso de ajuste, que consiste en encontrar el *offset* adecuado entre cada una de las curvas utilizando un método de inspección visual.

La interfaz que muestra la planilla excel se puede ver en la figura 3.6. En esta planilla inicial, se pueden ver los resultados globales obtenidos para un bus en particular, así como es donde se ajustan los *offset* tanto para la velocidad, el *HC*, el *NO<sub>x</sub>*, el *CO* y el *CO<sub>2</sub>*. En la figura 3.7 podemos ver la planilla que permite obtener los resultados exclusivamente para *MP*, en la cual se efectúa un ajuste con respecto a los valores entregados tanto por el Semtech-D y el Dekati DMM, el flujo de escape, y la velocidad. El método de buscar los *offset* óptimos se realiza a través de gráficos, en los cuales se superponen las curvas, en primera etapa, de emisión de MP proveniente del Dekati DMM, la velocidad proveniente del sistema GPS, y el flujo de escape que entrega el Semtech-D. Esta superposición de curvas se muestra en la figura 3.7.

The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet with the following data structure:

1	Test 03													
2	License Plate		Total Distance	HC	CO	Nox corr	CO2	PM2.5 g/second						
3	Odometer Engine		G total	10.84	(mi)	17.448	(km)	(km)						
4	Vehicle ID		g/mi avg	0.758		42.573		171.917	24307.175	0.026				
5	Air/Fuel Cut		g/km avg	0.070		3.927		15.857	2242.026	0.003				
6		Begin	End	Running Time	Soak Time									
7	ColdStart	10:40:51	10:44:11	0:03:20	12:00:00									
8	RunT	10:40:52	11:26:04	0:45:12	0									
9					7637969.490	128.452	33983.171	191.73	semtech values					
10														
11	Offset for Column													
12	0	7	7	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1
13	Time(seconds)	Speed (mph)	Altitude (m)	Flow sfpm	HC g/second	CO g/second	Nox g/second	CO2 g/second	PM2.5 g/second	speed (m/s)	a m/s2	unreasonable	GPS	frozen
14	10:40:51	0	510.6	3.66	4.58611E-06	0.000191061	0.000200354	0.011222616	2.19518E-07	0	0	0	0	0
15	10:40:52	0	510.2	3.75	4.58611E-06	0.000129819	0.000213359	0.016080529	2.52277E-07	0	0	0	0	0
16	10:40:53	0	510.2	4.12	4.58611E-06	0.000135836	0.000235546	0.019335665	2.45727E-07	0	0	0	0	0
17	10:40:54	0	509.9	3.73	4.2481E-06	0.000122978	0.000208616	0.017502126	2.1826E-07	0	0	0	0	0
18	10:40:55	0	509.6	3.07	3.6729E-06	0.000165239	0.000177377	0.016889837	2.24298E-07	0	0	0	0	0
19	10:40:56	0	509.2	3.77	3.57804E-06	0.000186445	0.000167851	0.013314566	2.24887E-07	0	0	0	0	0
20	10:40:57	0	507.6	3.61	3.42619E-06	0.000176549	0.000189271	0.012483878	2.12657E-07	0	0	0	0	0
21	10:40:58	0	507.5	3.65	4.15699E-06	0.000160454	0.000220376	0.015440546	2.52288E-07	0	0	0	0	0
22	10:40:59	0	507.4	4.04	5.36802E-06	0.000126539	0.000262260	0.020746347	2.65413E-07	0	0	0	0	0
23	10:41:00	0	507.4	3.9	4.44171E-06	0.000107153	0.000243759	0.021620313	4.82561E-07	0	0	0	0	0
24	10:41:01	0	507.4	3.71	4.01607E-06	0.000128435	0.000219207	0.019324025	4.38367E-06	0	0	0	0	0
25	10:41:02	0	507.3	4.51	5.29053E-06	0.000230477	0.000280104	0.020058083	4.85142E-06	0	0	0	0	0
26	10:41:03	0	507.3	4.11	5.48103E-06	0.000289891	0.000292546	0.020953207	5.58902E-06	0	0	0	0	0
27	10:41:04	0	507.3	3.91	5.19528E-06	0.00023634	0.00034325	0.022742656	5.88297E-06	0	0	0	0	0
28	10:41:05	0	507.2	4.21	7.19215E-06	0.000182758	0.000421801	0.02988336	5.60038E-06	0	0	0	0	0
29	10:41:06	0	507.2	4.47	8.14541E-06	0.000287363	0.000469847	0.030637649	5.74502E-06	0	0	0	0	0
30	10:41:07	0	507.2	13.82	2.65335E-05	0.001093549	0.004455532	0.121770148	5.78248E-06	0	0	0	0	0
31	10:41:08	0	507.2	6.36	8.4903E-06	0.000513739	0.000617422	0.057065917	6.76445E-06	0	0	0	0	0
32	10:41:09	0	507.2	4.51	8.46779E-06	0.000413867	0.000495599	0.035863391	6.60282E-06	0	0	0	0	0
33	10:41:10	0	507.2	0.4	7.59267E-07	3.49482E-05	4.84282E-05	0.003551403	6.71127E-06	0	0	0	0	0
34	10:41:11	0	507.2	0	0	0	0	0	6.821E-06	0	0	0	0	0
35	10:41:12	0	507.1	4.37	8.60664E-06	0.000333783	0.000449648	0.043670658	6.91317E-06	0	0	0	0	0
36	10:41:13	0	507.1	3.88	5.27538E-06	0.000324073	0.00032854	0.035071778	6.91201E-06	0	0	0	0	0
37	10:41:14	0	507.1	4.34	6.5716E-06	0.000403936	0.000362475	0.029398944	7.13718E-06	0	0	0	0	0
38	10:41:15	0	507.1	4.91	7.3929E-06	0.00040025	0.000359973	0.029196919	7.17829E-06	0	0	0	0	0
39	10:41:16	0	507.1	3.9	6.66257E-06	0.000362175	0.000382183	0.026419214	7.26046E-06	0	0	0	0	0
40	10:41:17	0	507.1	4.14	7.699E-06	0.00031394	0.000437642	0.032084638	7.74511E-06	0	0	0	0	0
41	10:41:18	0	507.1	4.33	8.26838E-06	0.000308834	0.000435383	0.030843663	7.26771E-06	0	0	0	0	0
42	10:41:19	0	507.1	3.9	5.21684E-06	0.000312895	0.00033954	0.031716528	7.04379E-06	0	0	0	0	0
43	10:41:20	0	507.1	4.45	5.91279E-06	0.000413251	0.000390177	0.030567684	6.98295E-06	0	0	0	0	0
44	10:41:21	0	507.1	4.67	7.93367E-06	0.00059535	0.000618933	0.032417629	7.05833E-06	0	0	0	0	0
45	10:41:22	0	507.1	8.92	2.38712E-05	0.00337949	0.0022568	0.077702013	7.3006E-06	0	0	0	0	0
46	10:41:23	0	507.1	80.91	0.00039117	0.023389884	0.025159722	1.486133488	7.20135E-06	0	0	0	0	0
47	10:41:24	0	507.1	87.52	0.000398825	0.20997072	0.024217441	2.21626048	6.85232E-06	0	0	0	0	0
48	10:41:25	0	507.1	94.75	0.001143906	0.390384307	0.028199753	2.714184718	6.48632E-06	0	0	0	0	0
49	10:41:26	0	507.1	95.82	0.001834725	0.348688762	0.038204257	3.287531068	6.54471E-06	0	0	0	0	0

Figura 3.6: Interfaz procesamiento de datos.

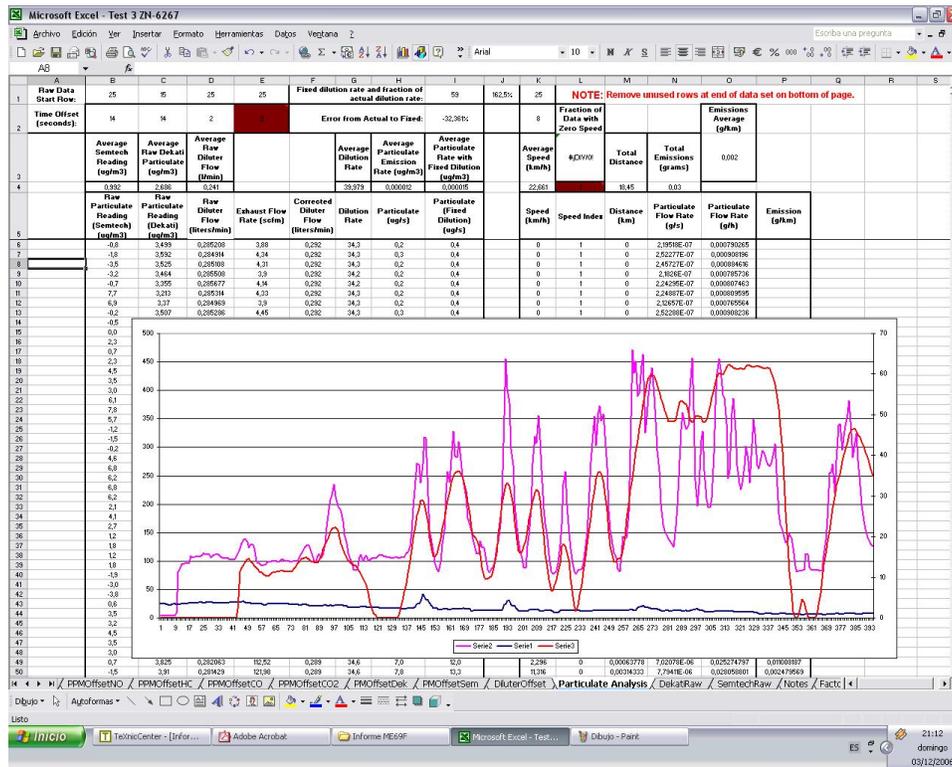


Figura 3.7: Interfaz procesamiento de datos para MP y curva se calibración offset para MP.

Posteriormente lograda la superposición de las curvas, se efectúa la calibración de las curvas del resto de los contaminantes y la velocidad, con respecto al flujo de escape. Esta superposición se efectúa mediante un gráfico que se muestra en la figura 3.8.

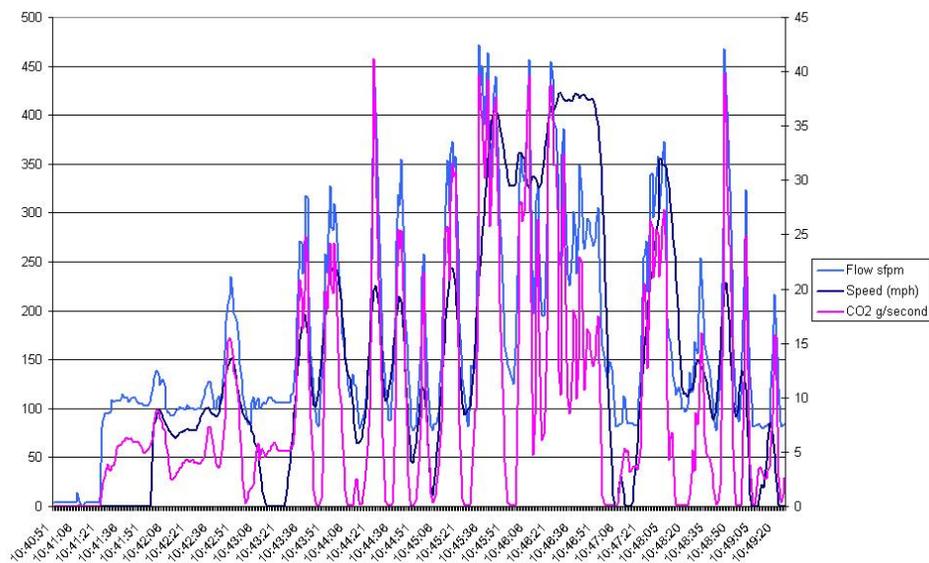


Figura 3.8: Curva calibración  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $HC$ ,  $NO_X$ , velocidad y flujo de escape.

Luego de efectuar las calibraciones, y de rectificar, en forma visual, la correcta superposición de estas, se tabulan los resultados entregados por la planilla principal, que se muestra en la figura 3.6, la cual entrega los valores, en gr/km, para el  $HC$ ,  $NO_X$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $PM 2.5$ , distancia recorrida, velocidad media, máxima aceleración, máxima desaceleración y tiempo de duración de la medición. Esta operación se efectúa para cada uno de los buses con mediciones válidamente emitidas.

# Capítulo 4

## Resultados

En esta sección se mostrarán los resultados obtenidos a partir de la campaña de medición efectuada. Inicialmente se midieron 25 buses, los cuales se muestran en detalle en la tabla 3.2. En la tabla 4.1 se muestran los buses que presentan mediciones válidas, y para los cuales se obtuvieron valores de emisiones válidos.

Tabla 4.1: Especificaciones técnicas buses con mediciones válidas.

Test	Bus		Chasis		Carrocería		Cilind.	Trans.	Euro	PostTrat.
	Patente	Año	Marca	Modelo	Marca	Modelo				
1	ZN-5800	2005	Vv	B9SALF	Marcopolo	Gran Viale	9400	AT/Ret	E3	NO
2	ZN-6605	2005	Vv	B7RLE	Caio	Mondego	7000	AT/Ret	E3	CRT
3	ZN-6267	2006	Vv	B7RLE	Caio	Mondego	7000	AT/Ret	E3	CRT
4	ZN-5161	2005	Vv	B7RLE	Marcopolo	Gran Viale	7000	AT/Ret	E3	NO
5	ZN-3238	2005	Vv	B7RLE	Marcopolo	Gran Viale	7000	AT/Ret	E3	NO
9	ZN-5374	2005	Vv	B7RLE	Caio	Mondego	7000	AT/Ret	E3	CRT
10	ZN-6259	2005	Vv	B7RLE	Caio	Mondego	7000	AT/Ret	E3	CRT
11	ZN-5561	2006	Vv	B9SALF	Caio	Mondego	9400	AT/Ret	E3	NO
14	RV-7986	1998	MBz	OH-1420	Ciferal	GLS Bus	5958	AT	E2	NO
15	TE-3776	1999	MBz	OH-1420	Marcopolo	Torino GV	5958	AT	E2	CRT
16	RV-7985	1998	MBz	OH-1420	Ciferal	GLS Bus	5958	AT	E2	NO
17	XV-1909	2003	MBz	OH-1418	Caio	Apache	5958	Mec	E3	NO
18	YE-9703	2005	MBz	OH-1115	Metalpar	Tronador		AT	E3	NO
21	TZ-7737	2001	MBz	OH-1420			5958	AT	E2	DPF
22	RS-1009	1998	MBz	OH-1420	Ciferal	GLS Bus	5958	AT	E2	DPF
23	LY-1419	1995	MBz	OF-1318	Santo Amaro	Transport II	4249	Mec	E1	NO
24	VK-6359	2002	MBz	OH-1420	Cuatro Ases	Metropol	5958	Mec	E2	NO
25	ZN-5590	2006	Vv	B9SALF	Caio	Mondego	9400	AT/Ret	E3	NO

Por lo tanto, estos buses los podemos desglosar de la que se muestra en la tabla 4.2.

Tabla 4.2: Cantidad de Buses con mediciones válidas.

Estándar	Norma	Buses
Convencional	Euro I	1
	Euro II	3
	Euro II c/Filtro	3
	Euro III	2

Estándar	Tipo	Buses
Transantiago	Volvo B7RLE	2
	Volvo B7RLE c/Filtro	4
	Volvo B9SALF	3

Por lo tanto, se tienen mediciones válidas para 18 buses. Los buses que presentaron fallas en el proceso de medición se muestran en la tabla 4.3, mostrando el motivo de por cual su medición no es válida.

Tabla 4.3: Detalle de Buses con mediciones no válidas.

Test	Patente	Bus	Estándar	Norma Emisión	Filtro	Observaciones
6	ZN-5566	Vv B9SALF	Transantiago	Euro III		Datos insuficientes en archivos
7	ZN-4401	Vv B7RLE	Transantiago	Euro III		Datos insuficientes en archivos
8	ZN-4402	Vv B7RLE	Transantiago	Euro III		Bus presenta problemas mecánicos
12	WA-8534	Vv B9SALF	Transantiago	Euro III		Sin medición de flujo de escape
13	LG-3259	MB OH1318	Convencional	Euro I		Problemas con antena GPS, sin recepción datos de velocidad
19	ZN-6262	Vv B7RLE	Transantiago	Euro III	c/filtro	Sin post-procesamiento de datos
20	NY-4070	MB OH1420	Convencional	Euro II		Sin post-procesamiento de datos

Inicialmente los resultados obtenidos en la campaña de medición se mostrarán con una calibración de curvas lograda mediante un método de inspección. Posteriormente, en este informe, este método anteriormente mencionado se reemplazará por una herramienta matemática proveída por *Matlab*, llamada **XCORE**, con la cual se tratará de encontrar calibraciones en forma automática para las curvas.

## 4.1. Material particulado

Para poder analizar los valores obtenidos en la campaña de mediciones primeramente se presentarán los valores obtenidos para las emisiones de material particulado, en forma individual para cada bus. Estos valores se muestran en la tabla 4.4.

Tabla 4.4: Resumen de resultados experimentales para *MP*.

Test	PPU	Año	Marca	Modelo	Norma	Filtro	PM 2,5 [g/km]
1	ZN-5800	2005	Volvo	B9SALF	E-III	NO	0,496
2	ZN-6605	2005	Volvo	B7RLE	E-III	DPF	0,084
3	ZN-6267	2006	Volvo	B7RLE	E-III	DPF	0,0016
4	ZN-5161	2005	Volvo	B7RLE	E-III	NO	0,192
5	ZN-3238	2005	Volvo	B7RLE	E-III	NO	0,194
9	ZN-5374	2005	Volvo	B7RLE	E-III	DPF	–
10	ZN-6259	2005	Volvo	B7RLE	E-III	DPF	0
11	ZN-5561	2006	Volvo	B9SALF	E-III	NO	0,713
14	RV-7986	1998	MBz	OH-1420	E-II	NO	0,4
15	TE-3776	1999	MBz	OH -1420/51	E-II	DPF	0,002
16	RV-7985	1998	MBz	OH-1420	E-II	NO	0,19
17	XV-1909	2003	MBz	OH-1418	E-III	NO	0,153
18	YE-9703	2005	MBz	OH -1115 L/46	E-III	NO	0,09
21	TZ-7737	2001	MBz	OH-1420	E-II	DPF*	0,234
22	RS-1009	1998	MBz	OH-1420	E-II	DPF*	0,108
23	LY-1419	1995	MBz	OF-1318/51	E-I	NO	0,176
24	VK-6359	2002	MBz	OH -1420/51	E-II	NO	0,053
25	ZN-5590	2006	Volvo	B9SALF	E-III	NO	0,152

En el gráfico 4.1 se muestran en forma comparativa las emisiones de material particulado para cada uno de los buses medidos.

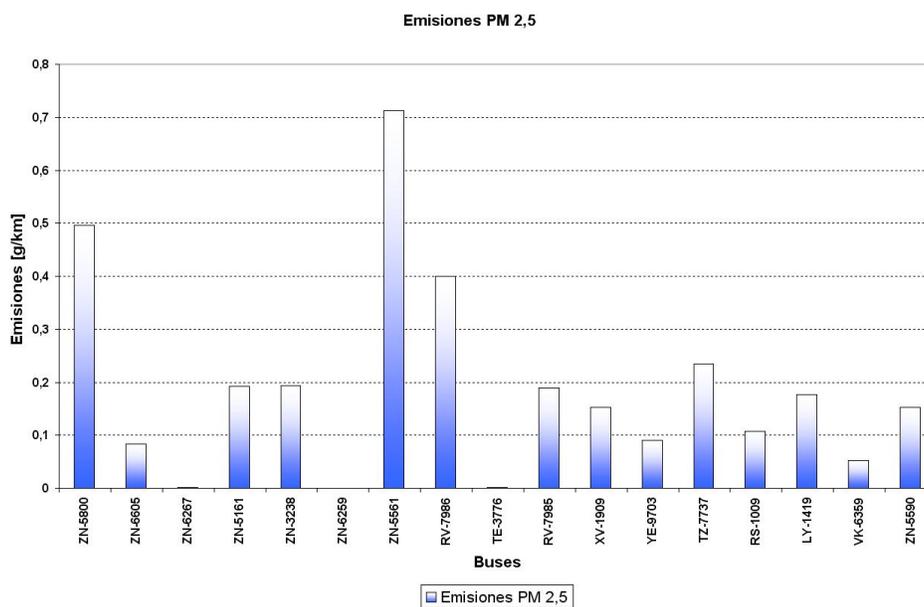


Figura 4.1: Gráfico comparativo emisiones PM 2,5.

En un análisis inicial, se puede estimar que existe una tendencia clara entre los buses Euro II, Euro II con filtro y Euro III, estándar convencional, debido a que son buses con

potencias comparativas, es decir, que los motores de estos buses poseen potencias en orden de magnitud cercanas a los 200 hp. Por lo tanto, se aprecia que existe una reducción de emisiones efectivas comparando las emisiones obtenidas en buses que cumplen la norma de emisión Euro II y Euro III. Los buses Euro II con filtro presentan emisiones sustancialmente menores que los buses Euro II sin dispositivo de abatimiento, y menores que los buses convencionales Euro III. Esta reducción de emisiones es mucho mayor en el bus TE-3776, que es un dispositivo CRT sin regeneración continua. Este filtro posee una eficiencia bastante alta con respecto a los buses Euro II con filtro identificados como TZ-7737 y Rs-1009, debido a que estos dispositivos DPF no se encuentran en buenas condiciones, o bien, ya pasaron su vida útil, por lo que no están realizando labores de abatimiento en lo que a reducir las emisiones de PM se refiere, y prácticamente se comportan en forma similar a un bus del tipo Euro II sin filtro. Referente a los buses estándar Transantiago, debido a que los buses poseen motores con mayor potencia, las emisiones totales de material particulado son mayores que los buses anteriormente analizados, con excepción de los del tipo B7RLE con sistema CRT, que poseen emisiones casi inexistentes. Estos buses poseen un sistema CRT de regeneración continua, por lo que sus emisiones de material particulado son mayores que el sistema CRT con regeneración pero muestran una reducción efectiva con respecto a los buses del mismo tipo sin dispositivo de abatimiento. Los buses del tipo B9SALF poseen emisiones cuantitativamente mayores debido a que son los buses con mayor cilindrada dentro del estudio. También hay que tener en consideración que la mantención mecánica de los buses es un factor esencial en la cantidad de material particulado emitido, debido a que si los buses poseen una mala mantención, puede haber una influencia en las emisiones de material particulados por factores, como por ejemplo, lubricantes filtrados en los cilindros del motor.

Un segundo análisis consiste en comparar las emisiones por tecnología. Para este efecto se calcula las emisiones promedio para cada una de las tecnologías. Estas emisiones promedio se presentan en las tablas 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 y 4.11.

Tabla 4.5: Resultados experimentales para  $MP$  en buses con norma Euro-I.

PPU	Año	Marca	Modelo	Norma	Filtro	PM 2,5 [g/km]	Emisiones Promedio [g/km]
LY-1419	1995	MBz	OF-1318/51	E-I	NO	0,176	0,176

Tabla 4.6: Resultados experimentales para  $MP$  en buses con norma Euro-II.

PPU	Año	Marca	Modelo	Norma	Filtro	PM 2,5 [g/km]	Emisiones Promedio [g/km]
RV-7986	1998	MBz	OH-1420	E-II	NO	0,4	0,214
RV-7985	1998	MBz	OH-1420	E-II	NO	0,19	
VK-6359	2002	MBz	OH -1420/51	E-II	NO	0,053	

Tabla 4.7: Resultados experimentales para  $MP$  en buses con norma Euro-II con filtro de partículas.

PPU	Año	Marca	Modelo	Norma	Filtro	PM 2,5 [g/km]	Emisiones Promedio [g/km]
TZ-7737	2001	MBz	OH-1420	E-II	DPF*	0,234	0,115
RS-1009	1998	MBz	OH-1420	E-II	DPF*	0,108	
TE-3776	1999	MBz	OH -1420/51	E-II	CRT	0,002	

Tabla 4.8: Resultados experimentales para  $MP$  en buses con norma Euro-III.

PPU	Año	Marca	Modelo	Norma	Filtro	PM 2,5 [g/km]	Emisiones Promedio [g/km]
XV-1909	2003	MBz	OH-1418	E-III	NO	0,153	0,122
YE-9703	2005	MBz	OH -1115 L/46	E-III	NO	0,09	

Tabla 4.9: Resumen de resultados experimentales para  $MP$  estándar Transantiago tipo B7RLE.

PPU	Año	Marca	Modelo	Norma	Filtro	PM 2,5 [g/km]	Emisiones Promedio [g/km]
ZN-5161	2005	Volvo	B7RLE	E-III	NO	0,192	0,193
ZN-3238	2005	Volvo	B7RLE	E-III	NO	0,194	

Tabla 4.10: Resumen de resultados experimentales para  $MP$  estándar Transantiago tipo B7RLE con filtro.

PPU	Año	Marca	Modelo	Norma	Filtro	PM 2,5 [g/km]	Emisiones Promedio [g/km]
ZN-6605	2005	Volvo	B7RLE	E-III	CRT	0,084	0,029
ZN-6267	2006	Volvo	B7RLE	E-III	CRT	0,0016	
ZN-6259	2005	Volvo	B7RLE	E-III	CRT	0	

Tabla 4.11: Resumen de resultados experimentales para  $MP$  estándar Transantiago tipo B9SALF.

PPU	Año	Marca	Modelo	Norma	Filtro	PM 2,5 [g/km]	Emisiones Promedio [g/km]
ZN-5800	2005	Volvo	B9SALF	E-III	NO	0,496	0,454
ZN-5561	2006	Volvo	B9SALF	E-III	NO	0,713	
ZN-5590	2006	Volvo	B9SALF	E-III	NO	0,152	

En la figura 4.2 se puede ver un gráfico comparativo para las emisiones de  $PM$  2,5 entre las diferentes tecnologías.

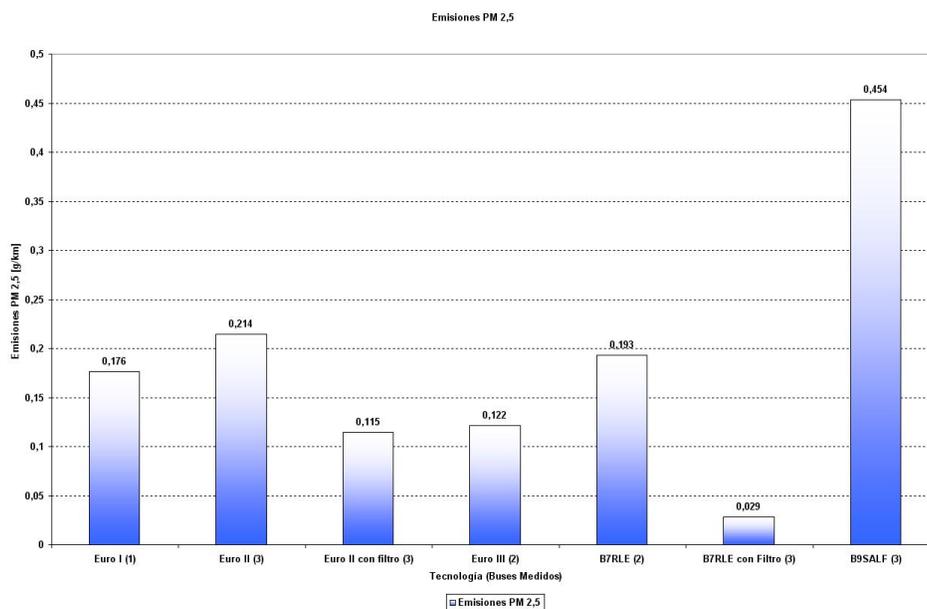


Figura 4.2: Gráfico comparativo emisiones PM 2,5 entre tecnologías.

Analizando los resultados obtenidos por tecnología, se puede afirmar que para los buses con norma de emisión Euro II poseen emisiones de material particulado mayores que los buses con norma de emisión Euro III en torno a un 43%. Los buses convencionales Euro II con filtro de partículas reducen sus emisiones en torno a un 46,5%. Estas comparaciones se pueden realizar debido a que la potencia de los buses convencionales medidos que cumplen las normas de emisiones Euro II y Euro III poseen potencias similares, como se puede apreciar en las fichas técnicas presentes en los anexos de este texto. Con relación a los buses estándar Transantiago, comparando los buses del tipo B7RLE con y sin filtro, los buses que poseen dispositivo de abatimiento para las emisiones de material particulado reducen sus emisiones en un 85,22% con respecto a los buses que no poseen filtro. Estos buses, al poseer las mismas características técnicas, como se estipula en las especificaciones técnicas, pueden ser comparados directamente entre ellos. En cambio, si comparamos estos buses con respecto a los buses medidos del tipo B9SALF, estos poseen emisiones bastante mayores que los anteriores, y mayores que los buses que comparten las demás categorías. Esto se debe principalmente a que estos buses poseen una cilindrada mucho mayor al resto de los buses y con una potencia muy superior. En forma particular se debe mencionar al bus con norma de emisión Euro I, debido a que como es el único bus medido de este tipo, no puede ser comparado directamente con el resto de las categorías anteriormente mencionadas, además que es un bus que posee una cilindrada y potencia mucho menor que los otros buses medidos.

Lo ideal para haber podido comparar, en forma directa, el cumplimiento de las normas de emisión y poder efectuar una comparación global entre todos los buses medidos, lo ideal sería

poder calcular las emisiones de material particulado en g/kWh. En esta experiencia esto fue imposible, debido a que para poder lograr estos valores habría que agregar, por ejemplo, la potencia disipada en el trayecto recorrido y las revoluciones por minuto del motor segundo a segundo, entre otros parámetros, que no se midieron en este estudio. Pero en cambio se efectuó un análisis en el cual se normaliza las emisiones de  $PM_{2,5}$  por la potencia de bus y por la capacidad de pasajeros, con el fin de obtener las emisiones de  $PM_{2,5}$  por hp y por pasajero. Este análisis se muestra en la tablas 4.12 y 4.13.

Tabla 4.12: Emisiones  $PM_{2,5}$  normalizadas por unidad de potencia.

Test	PPU	Año	Marca	Modelo	Norma	Filtro	Potencia Motor [hp]	$PM_{2,5}/hp$ [g/km hp]
1	ZN-5800	2005	Volvo	B9SALF	E-III	NO	335,3	0,00148
2	ZN-6605	2005	Volvo	B7RLE	E-III	CRT	256,4	0,00033
3	ZN-6267	2006	Volvo	B7RLE	E-III	CRT	256,4	0,00001
4	ZN-5161	2005	Volvo	B7RLE	E-III	NO	256,4	0,00075
5	ZN-3238	2005	Volvo	B7RLE	E-III	NO	256,4	0,00076
10	ZN-6259	2005	Volvo	B7RLE	E-III	CRT	256,4	0,00000
11	ZN-5561	2006	Volvo	B9SALF	E-III	NO	335,3	0,00213
14	RV-7986	1998	MBz	OH-1420	E-II	NO	208,1	0,00192
15	TE-3776	1999	MBz	OH-1420	E-II	CRT	208,1	0,00001
16	RV-7985	1998	MBz	OH-1420	E-II	NO	208,1	0,00091
17	XV-1909	2003	MBz	OH-1418	E-III	NO	174,5	0,00088
18	YE-9703	2005	MBz	OH-1115	E-III	NO	148	0,00061
21	TZ-7737	2001	MBz	OH-1420	E-II	DPF	208,1	0,00112
22	RS-1009	1998	MBz	OH-1420	E-II	DPF	208,1	0,00052
23	LY-1419	1995	MBz	OF-1318	E-I	NO	177,5	0,00099
24	VK-6359	2002	MBz	OH-1420	E-II	NO	208,1	0,00025
25	ZN-5590	2006	Volvo	B9SALF	E-III	NO	335,3	0,00045

Tabla 4.13: Emisiones  $PM_{2,5}$  normalizadas por pasajero.

Test	PPU	Año	Marca	Modelo	Norma	Filtro	Capacidad Pax.	$PM_{2,5}/pax$ [g/km pax]
1	ZN-5800	2005	Volvo	B9SALF	E-III	NO	160	0,0031
2	ZN-6605	2005	Volvo	B7RLE	E-III	CRT	91	0,0009
3	ZN-6267	2006	Volvo	B7RLE	E-III	CRT	91	0,0000
4	ZN-5161	2005	Volvo	B7RLE	E-III	NO	91	0,0021
5	ZN-3238	2005	Volvo	B7RLE	E-III	NO	91	0,0021
10	ZN-6259	2005	Volvo	B7RLE	E-III	CRT	91	0,0000
11	ZN-5561	2006	Volvo	B9SALF	E-III	NO	160	0,0045
14	RV-7986	1998	MBz	OH-1420	E-II	NO	75	0,0053
15	TE-3776	1999	MBz	OH-1420	E-II	CRT	77	0,0000
16	RV-7985	1998	MBz	OH-1420	E-II	NO	75	0,0025
17	XV-1909	2003	MBz	OH-1418	E-III	NO	76	0,0020
18	YE-9703	2005	MBz	OH-1115	E-III	NO	62	0,0015
21	TZ-7737	2001	MBz	OH-1420	E-II	DPF	75	0,0031
22	RS-1009	1998	MBz	OH-1420	E-II	DPF	75	0,0014
23	LY-1419	1995	MBz	OF-1318	E-I	NO	75	0,0023
24	VK-6359	2002	MBz	OH-1420	E-II	NO	70	0,0008
25	ZN-5590	2006	Volvo	B9SALF	E-III	NO	160	0,0010

Este análisis se ve graficamente en los gráficos 4.3 y 4.4.

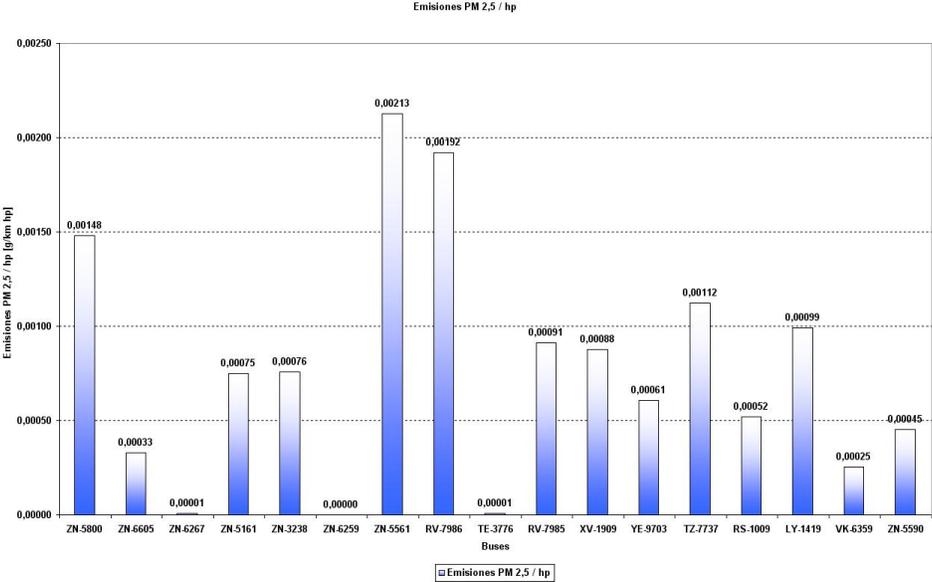


Figura 4.3: Gráfico comparativo emisiones PM 2,5 normalizadas por unidad de potencia.

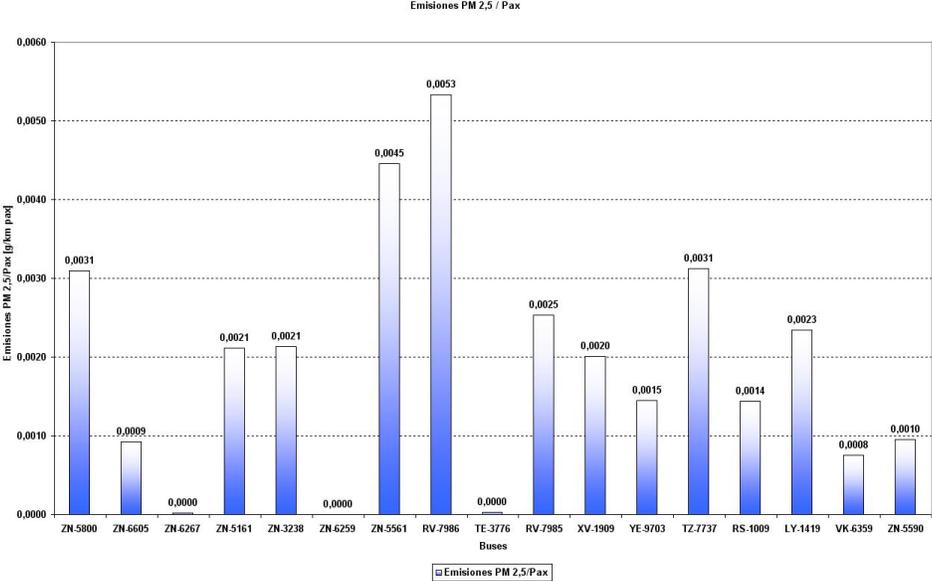


Figura 4.4: Gráfico comparativo emisiones PM 2,5 normalizadas por pasajero.

Al analizar los resultados presentados en el gráfico 4.3 se observa que existe un aporte bastante reducido de *PM* 2,5, para la categoría Euro II, en el bus que posee CRT, mientras que los buses que poseen DPF poseen un aporte similar a los buses Euro II que no poseen dispositivo, lo que evidencia el mal estado de funcionamiento de estos dispositivos. Los buses

Euro III poseen un aporte menor en su mayoría a los buses Euro II, aunque no es significativa la diferencia entre categorías. Para los buses con estándar Transantiago, se observa que los buses del tipo B7RLE que poseen dispositivos CRT, las emisiones de  $PM_{2,5}$  son casi nulas, a diferencia de los buses similares sin los dispositivos de abatimiento. En relación a los buses del tipo B9SALF, se observa que para 2 buses las emisiones son mucho mayores que para las demás categorías, mientras que existe uno de los buses que posee emisiones que, teóricamente, se comporta correctamente para lo que se esperaría como producto de este análisis.

Con respecto a los presentado en el gráfico 4.4 se puede observar que en este punto se presenta una tendencia que se esperaría teóricamente para la mayoría de los buses. Para los buses convencionales Euro II, el bus que posee dispositivo CRT reduce sustancialmente sus emisiones con respecto a los buses Euro II sin dispositivo. Para los buses que poseen dispositivo DPF, su comportamiento, como se observó en el análisis anterior, su comportamiento es similar a un Euro II sin dispositivo, lo que vuelve a poner de manifiesto el nulo aporte que efectúa el dispositivo en estos buses particularmente. En los buses convencionales Euro III se observa una reducción con respecto a la categoría anterior, con lo que se manifiesta el cumplimiento de la reducción de emisiones en el paso tecnológico. Con respecto a los buses estándar Transantiago, se observa un buen comportamiento, al igual que en el análisis anterior, para los buses del tipo B7RLE, los que disponen de dispositivo CRT disminuyen sus emisiones a un nivel casi nulo, mientras que los buses B7RLE, con respecto a los buses convencionales Euro III se comportan en ordenes de magnitud similares de emisiones. Para los buses del tipo B9SALF, al igual que en el análisis anterior, existe un bus que cumple con la teoría y se comporta dentro de los parámetros esperados, mientras que los otros dos se alejan de la tendencia.

En la tabla 4.14 se muestran ambos análisis anteriores con los promedios para cada categoría.

Tabla 4.14: Emisiones  $PM_{2,5}$  normalizadas promedio.

Categoría	$PM_{2,5}/hp$ [g/km hp] Promedio	$PM_{2,5}/pax$ Promedio [g/km pax]
Euro I	0,00099	0,0023
Euro II	0,00103	0,0029
Euro II c/filtro	0,00055	0,0015
Euro III	0,00074	0,0017
B7RLE	0,00075	0,0021
B7RLE c/filtro	0,00011	0,0003
B9SALF	0,00135	0,0028

En las figuras 4.5 y 4.6 se muestra gráficamente lo expresado en la tabla anterior.

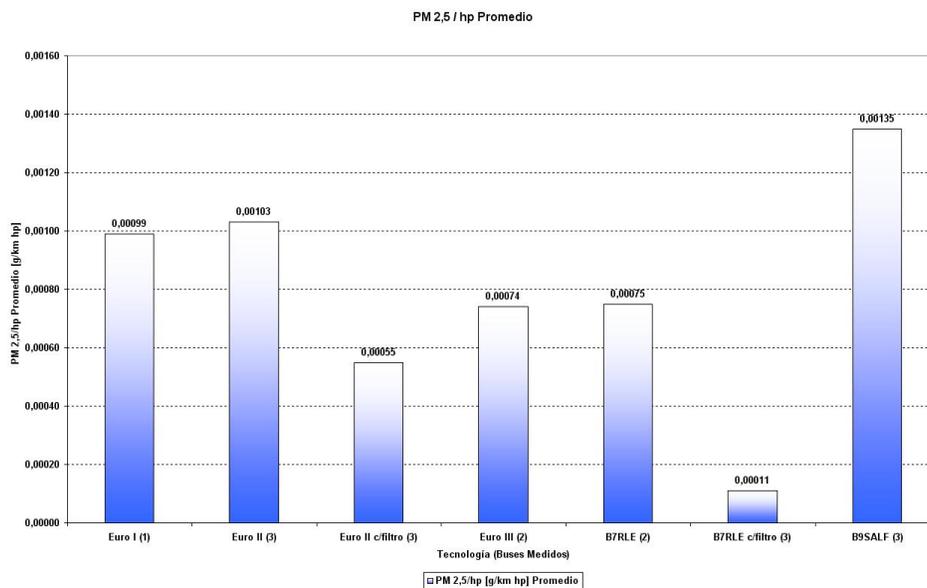


Figura 4.5: Gráfico comparativo emisiones PM 2,5 normalizadas por unidad de potencia promedio.

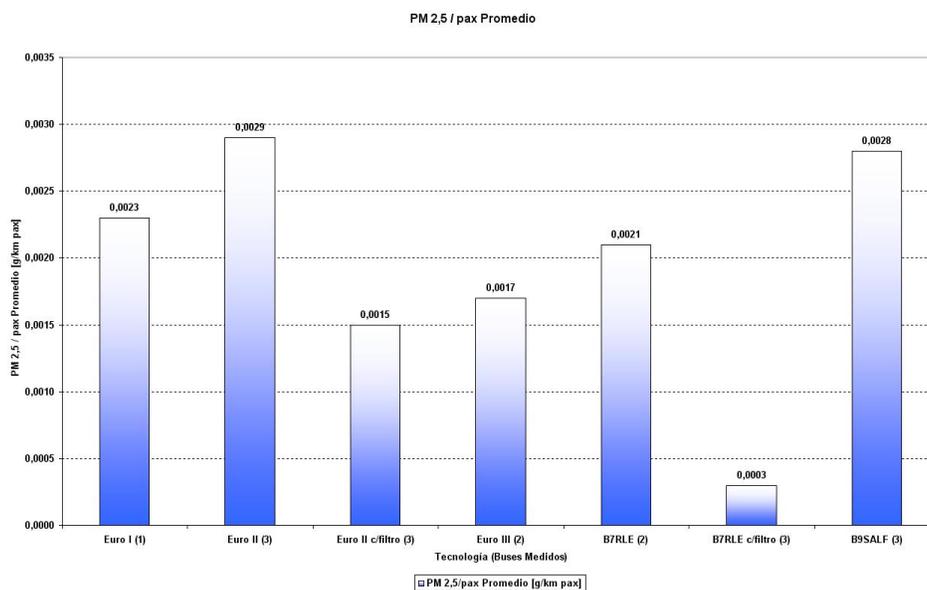


Figura 4.6: Gráfico comparativo emisiones PM 2,5 normalizadas por pasajero promedio.

En ambos gráficos anteriores se observa la tendencia esperada. Se observa un comportamiento aislado del bus perteneciente a la categoría Euro I, mientras que para la categoría Euro II se observa un aumento de las emisiones con respecto a la tendencia anterior. Existe

una reducción entre las emisiones de la categoría Euro II con filtro y Euro II en un 46,6 % para el análisis correspondiente a la potencia, y de un 48,28 % para el análisis por pasajero. Con respecto a la categoría Euro III, se evidencia una reducción de las emisiones en un 28,16 % para el análisis correspondiente a la potencia, mientras que existe una reducción de un 41,38 % en el análisis por pasajero. Con respecto a los buses correspondientes al estándar Transantiago, los buses del tipo B7RLE se comportan en forma similar a los Euro III convencionales, y existe una reducción entre los buses B7RLE con sistema CRT y sin este sistema de un 85,33 % para el análisis por unidad de potencia, y de un 85,71 % para el análisis por pasajero. Los buses del tipo B9SALF muestran un incremento en sus emisiones para ambos casos, esto se debe principalmente a la dispersión de los datos, pero teóricamente, esta categoría debería mostrar un comportamiento similar a la anterior.

#### 4.1.1. Comportamiento de sistemas de abatimiento de emisiones de material particulado

Debido a que los datos recopilados a partir de la campaña de medición permiten reconstruir las curvas de emisiones segundo a segundo para todas las emisiones, y en especial para el  $PM_{2,5}$ , en esta sección se efectuará un análisis del comportamiento de las emisiones de este contaminante para el caso de un bus que posee un sistema CRT de regeneración continuo, para el caso de un bus con sistema CRT de regeneración discreta y para un bus que posee DPF. En las figuras 4.7, 4.8 y 4.9 se presentan los 3 casos anteriormente descritos.

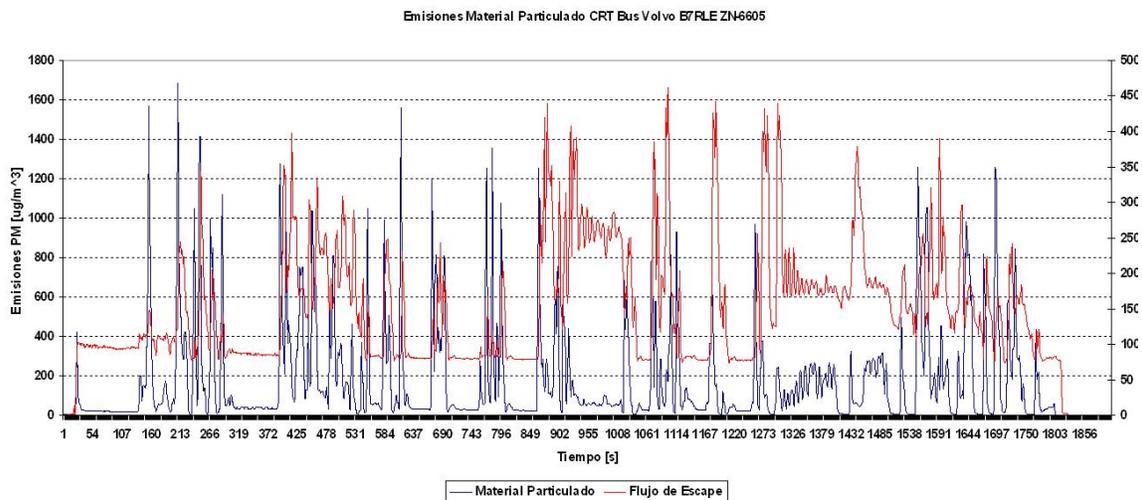


Figura 4.7: Comportamiento sistema CRT de regeneración continuo.

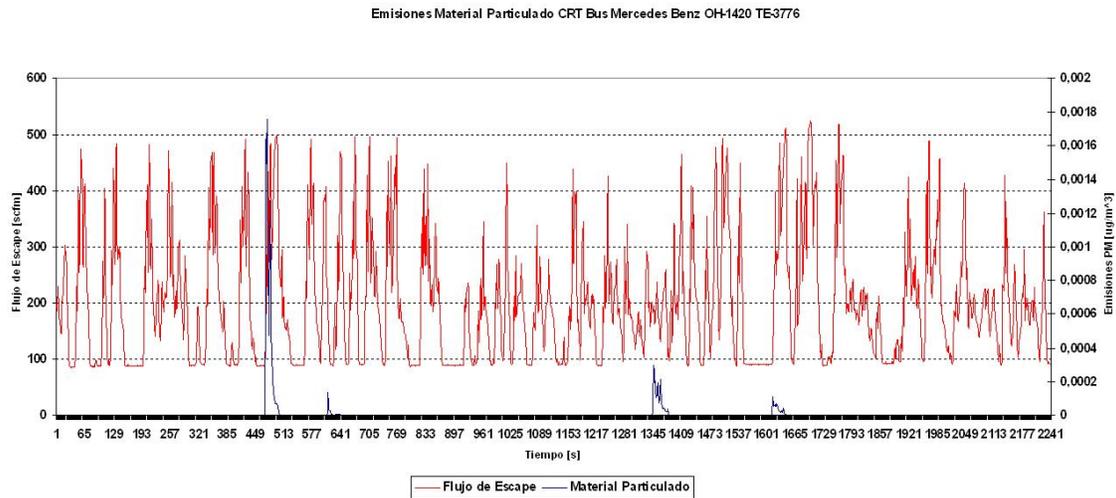


Figura 4.8: Comportamiento sistema CRT de regeneración discreto.

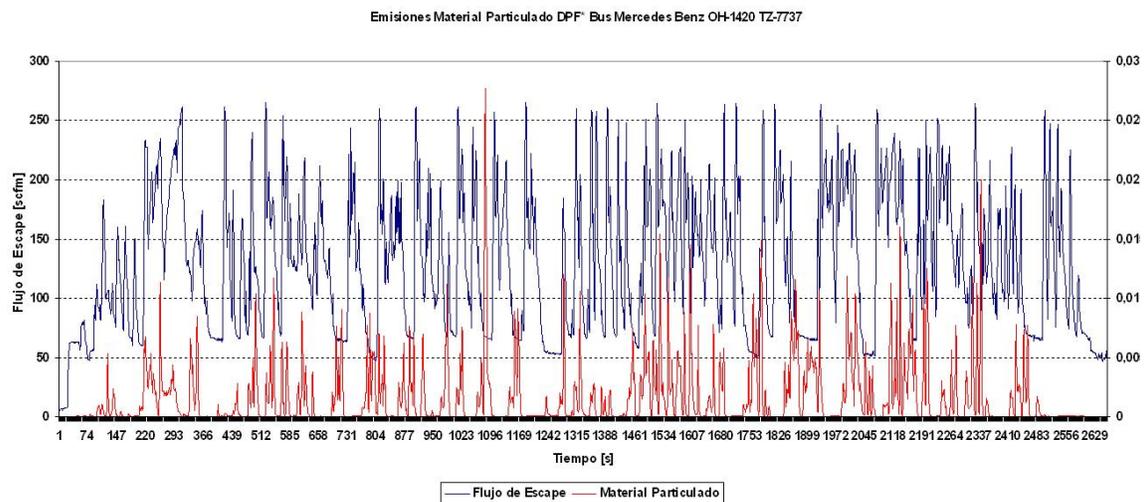


Figura 4.9: Comportamiento sistema DPF.

En la figura 4.7 se puede observar que el sistema CRT se comporta de manera bastante óptima en la reducción de emisiones de  $PM_{2,5}$  disminuyendo las emisiones en un 85,33% con respecto a buses similares sin este dispositivo. La diferencia con el comportamiento observado en la figura 4.8 es que, debido a que este último al poseer regeneramientos discretos, en los *peaks* observados las emisiones son bastante altas, pero en el global la eficiencia de este es mucho mayor, disminuyendo las emisiones en casi un 99,5% con respecto a los buses similares que no poseen este dispositivo, y entregando un comportamiento mucho mejor que el caso anterior. Lo observado en la figura 4.9 es bastante particular. Este bus posee un

sistema DPF el cual, por lo observado en la figura, tiene una eficiencia muy baja. Esto se debe, principalmente, a que estos filtros ya pasaron su vida útil, lo que hace que las emisiones efectivas de este bus sean bastante cercanas a sus similares Euro II sin dispositivo de abatimiento. Por lo tanto, mientras el sistema cumpla con su vida útil y, si es posible, se le hagan las mantenciones debidas, sin importar su principio de funcionamiento, se pueden reducir de buena forma las emisiones de  $PM_{2,5}$ , en comparación con los buses que no poseen estos sistemas.

## 4.2. Gases

A partir de la campaña de mediciones efectuada, se obtuvieron valores para las emisiones de  $HC$ ,  $CO$ ,  $NO_x$  y  $CO_2$ . Los valores obtenidos para cada uno de los buses se presentan en la tabla 4.15.

Tabla 4.15: Resumen de resultados experimentales para Gases.

Test	PPU	Año	Marca	Modelo	Norma	Filtro	HC [g/km]	CO [g/km]	NOx [g/km]	CO2 [g/km]
1	ZN-5800	2005	Volvo	B9SALF	E-III	NO	0,559	14,606	16,762	2009,949
2	ZN-6605	2005	Volvo	B7RLE	E-III	CRT	0,015	0,29	7,21	862,29
3	ZN-6267	2006	Volvo	B7RLE	E-III	CRT	0,043	2,44	9,853	1393,13
4	ZN-5161	2005	Volvo	B7RLE	E-III	NO	0,106	17,915	10,044	1304,573
5	ZN-3238	2005	Volvo	B7RLE	E-III	NO	0,126	19,311	10,734	1465,208
9	ZN-5374	2005	Volvo	B7RLE	E-III	CRT	0,03	2,065	8,978	1146,265
10	ZN-6259	2005	Volvo	B7RLE	E-III	CRT	0,042	4,028	9,343	1333,921
11	ZN-5561	2006	Volvo	B9SALF	E-III	NO	0,447	33,094	16,127	1818,396
14	RV-7986	1998	MBz	OH-1420	E-II	NO	2,574	38,423	11,713	1631,424
15	TE-3776	1999	MBz	OH-1420	E-II	CRT	0,102	2,558	2,48	1191,224
16	RV-7985	1998	MBz	OH-1420	E-II	NO	0,675	12,319	0,87	1372,939
17	XV-1909	2003	MBz	OH-1418	E-III	NO	0,308	14,237	0,309	718,981
18	YE-9703	2005	MBz	OH-1115	E-III	NO	0,234	11,561	7,801	1125,843
21	TZ-7737	2001	MBz	OH-1420	E-II	DPF	0,21	14,08	10,147	1038,225
22	RS-1009	1998	MBz	OH-1420	E-II	DPF	0,226	2,967	13,93	990,028
23	LY-1419	1995	MBz	OF-1318	E-I	NO	0,722	19,562	10,168	857,618
24	VK-6359	2002	MBz	OH-1420	E-II	NO	0,494	5,803	6,406	729,085
25	ZN-5590	2006	Volvo	B9SALF	E-III	NO	0,456	29,488	13,636	1431,262

Estos valores se muestran comparativamente para cada bus en los gráficos 4.10, 4.11, 4.12 y 4.13.

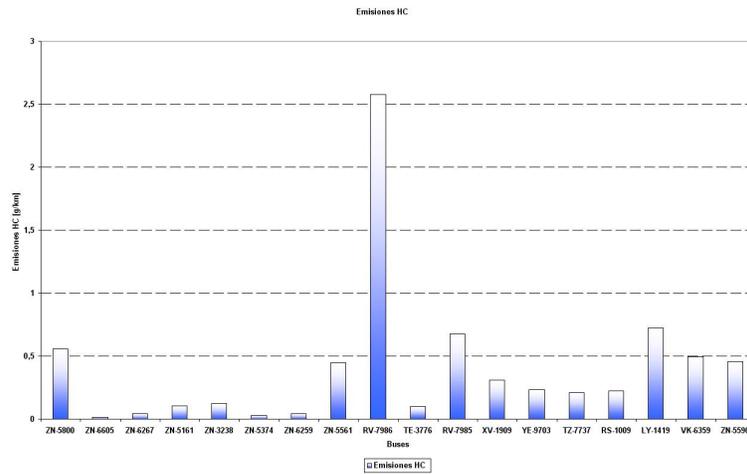


Figura 4.10: Gráfico comparativo emisiones *HC*.

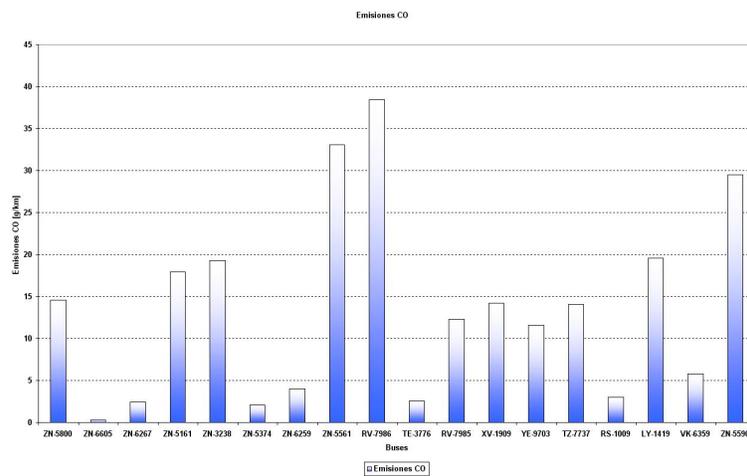


Figura 4.11: Gráfico comparativo emisiones *CO*.

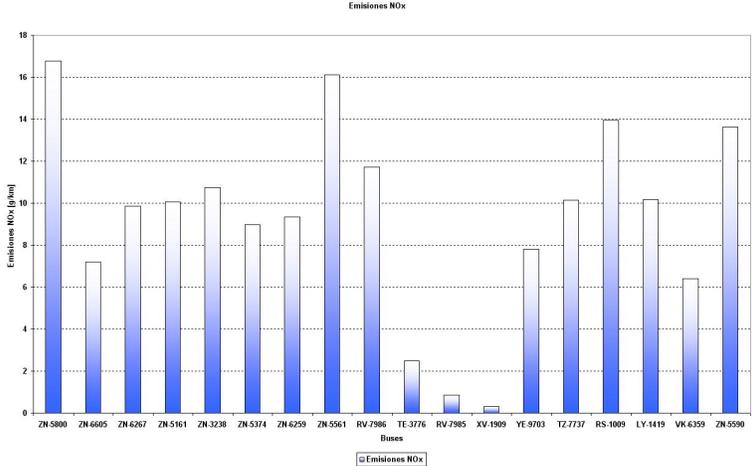


Figura 4.12: Gráfico comparativo emisiones  $NO_x$ .

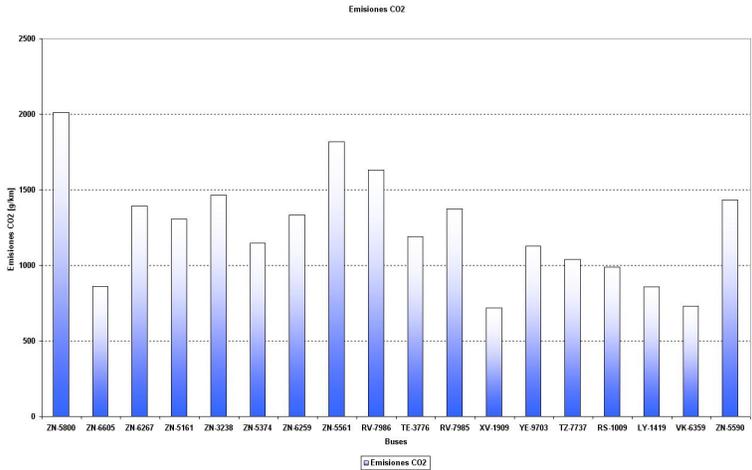


Figura 4.13: Gráfico comparativo emisiones  $CO_2$ .

Como análisis inicial se presenta el hecho que se puede apreciar una disminución en la cantidad emitida de  $HC$ , para los buses de estándar convencional, cuando se avanza de norma de emisión, es decir, cuando se pasa de Norma de emisión Euro I a Euro II, y de Norma Euro II a Euro III. Sumado a lo anterior, se ve una disminución considerable de las emisiones de  $HC$  para los buses Euro II con filtro de partículas. Con respecto a los buses de estándar Transantiago, las emisiones de  $HC$  disminuyen en mayor medida comparados con los buses de estándar convencional, es decir, los buses del tipo B7RLE poseen una menor cantidad de emisiones de  $HC$  con respecto a los buses convencionales Euro III, y los buses B7RLE con filtro poseen emisiones del orden de un 25 % de las emisiones pertenecientes a los buses del tipo B7RLE. En el caso de los buses del tipo B9SALF las emisiones de  $HC$  se escapan con

respecto a las categorías anteriores, debido a que la cilindrada de estos motores son mucho mayores que las categorías anteriores, así como también el consumo de combustible de estos, que está alrededor de 1,5 km/lt, con respecto a buses Mercedes Benz OH-1420 que poseen un consumo cercano a los 3 km/lt. Por lo tanto, debido a que el consumo de los buses anteriormente mencionados es mucho mayor, sus emisiones son mayores. Es importante mencionar que dentro de la categoría de los buses Euro II existe uno en particular que sus emisiones de HC se escapan considerablemente con respecto a las emisiones de sus pares. Con respecto del bus convencional con norma de emisión Euro I, sus emisiones de HC son menores con respecto a los buses de norma Euro II debido a que es un bus que posee una cilindrada mucho menor que los buses que integran el grupo de los buses Euro II.

Con respecto a las emisiones de  $CO$ , se puede afirmar que también existe una disminución con respecto al avance de normas de emisión. Hay que hacer notar que en algunas categorías, como por ejemplo, Euro II, Euro II con filtro de partículas, B7RLE con filtro y B9SALF hay buses que se escapan de la tendencia de emisiones de sus pares, ya sea disminuyéndolas o aumentándolas, aunque esto no evita que se pueda afirmar que la tendencia existente permite afirmar que se cumple con la existencia de una disminución de las emisiones de  $CO$ . Con respecto a los buses del tipo Transantiago, existe una disminución considerable entre los buses B7RLE y los buses B7RLE con filtro de partículas. Esta disminución se traduce en que las emisiones en estos últimos son cercanos a un 10% de los primeros. Con respecto a los buses B9SALF, las emisiones de HC aumentan.

Referente a las emisiones de  $NO_x$ , en los buses con estándar Transantiago, las emisiones de los buses del tipo B7RLE y B7RLE con filtro disminuyen en los segundos con respecto a los primeros. Esto se debe principalmente al dispositivo de abatimiento que poseen estos últimos. En cuanto a las emisiones de los buses del tipo B9SALF, estas aumentan al aumentar la cilindrada del motor, y al no poseer sistema de abatimiento, aunque si poseen motores térmicamente más eficientes que los buses con mayor antigüedad, apoyado por los sistemas electrónicos de inyección de combustible. Con respecto a los buses de estándar convencional, en estos existe una gran desviación estándar en las mediciones de las emisiones de  $NO_x$ , por lo que, a priori, se puede decir que existe una disminución en las emisiones de  $NO_x$  con respecto al avance de las normas de emisión, y sobre todo con la aparición de los dispositivos de abatimiento en buses del tipo Euro II, esto sumado a que los motores del tipo Euro III ya incorporan sistemas de inyección más eficientes, así como el rendimiento térmico de los motores es mayor, y su desgaste, debido a que son más contemporáneos, es menor.

Con respecto a las emisiones de  $CO_2$ , en los buses de estándar convencional se aprecia un aumento en las emisiones con respecto a las emisiones presentadas entre la norma Euro I y Euro II debido principalmente al aumento en el consumo de combustible, el aumento de la eficiencia en la combustión, y el aumento de la potencia, aunque disminuye en los buses Euro II con filtro de partículas, debido a que con la temperatura de regeneración, parte del carbono

se vuelve a quemar. Lo expresado anteriormente justifica también el aumento de emisiones de  $CO_2$  en los buses del tipo Euro III. Con respecto a los buses estándar Transantiago, se puede afirmar que existe una disminución en las emisiones de  $CO_2$  entre buses B7RLE que no poseen filtro de partículas y los que si lo poseen, esto se debe, en forma similar, a lo expresado para los buses Euro II con filtro. Aunque empíricamente debiese pensarse que las emisiones de  $CO_2$  en este tipo de buses debieran ser menores, hay que considerar que son buses con una mayor cilindrada, y que poseen una mejor combustión del combustible dentro del motor, es decir una combustión más eficiente, lo que conlleva la disminución en la aparición de otros contaminantes en desmedro de las emisiones de  $CO_2$ . Para los buses del tipo B9SALF, globalmente las emisiones son mayores, aunque existe bastante desviación en los datos obtenidos.

En lo que sigue se presentarán los resultados de emisiones obtenidos para cada una de las categorías medidas, y estas serán comparadas con datos obtenidos en dinamómetro. En las tablas 4.16, 4.17, 4.18 y 4.19 se muestran las emisiones promedio para cada una de las tecnologías, conjuntamente con los datos obtenidos en dinamómetro.

Tabla 4.16: Resumen emisiones promedio  $HC$ , experimental y dinamómetro.

Estándar	Tecnología	Emisiones Promedio HC [g/km]	Emisiones Promedio HC dinamómetro [g/km]	Dif%
Convencional	Euro I	0,722	0,657	9,00 %
	Euro II	1,248	0,51	59,13 %
	Euro II c/filtro	0,179	0,073	59,22 %
	Euro III	0,217	0,283	30,41 %
Transantiago	B7RLE	0,116	0,064	44,83 %
	B7RLE c/filtro	0,029	0	100,00 %
	B9SALF	0,487	-	

Tabla 4.17: Resumen emisiones promedio  $CO$ , experimental y dinamómetro.

Estándar	Tecnología	Emisiones Promedio CO [g/km]	Emisiones Promedio CO dinamómetro [g/km]	Dif%
Convencional	Euro I	19,562	4	79,55 %
	Euro II	18,848	2	89,39 %
	Euro II c/filtro	6,535	0,374	94,28 %
	Euro III	12,899	2	84,49 %
Transantiago	B7RLE	18,613	5	73,14 %
	B7RLE c/filtro	1,598	0,354	77,85 %
	B9SALF	25,729	-	

Tabla 4.18: Resumen emisiones promedio  $NO_x$ , experimental y dinamómetro.

Estándar	Tecnología	Emisiones Promedio NOx [g/km]	Emisiones Promedio NOx dinamómetro [g/km]	Dif%
Convencional	Euro I	10,168	12	18,02 %
	Euro II	6,33	7	10,58 %
	Euro II c/filtro	8,852	9	1,67 %
	Euro III	4,055	7	72,63 %
Transantiago	B7RLE	10,389	12	15,51 %
	B7RLE c/filtro	8,68	10	15,21 %
	B9SALF	15,608	-	

Tabla 4.19: Resumen emisiones promedio  $CO_2$ , experimental y dinamómetro.

Estándar	Tecnología	Emisiones Promedio $CO_2$ [g/km]	Emisiones Promedio $NOx$ dinamómetro [g/km]	Dif%
Convencional	Euro I	857,618	1040,1	21,28 %
	Euro II	1244,483	979,9	21,26 %
	Euro II c/filtro	1073,159	1275,6	18,86 %
	Euro III	922,412	1018,5	10,42 %
Transantiago	B7RLE	1384,891	1655	19,50 %
	B7RLE c/filtro	1133,895	1337,7	17,97 %
	B9SALF	1753,202	-	

Los valores anteriormente expuestos se muestran gráficamente en los gráficos 4.14, 4.15, 4.16 y 4.17.

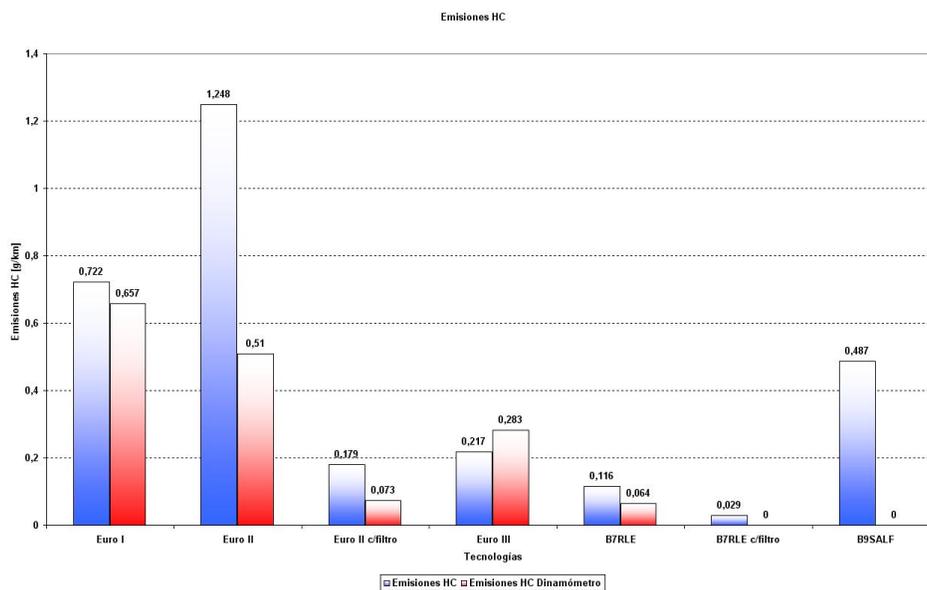


Figura 4.14: Gráfico comparativo emisiones  $HC$ , experimental y dinamómetro.

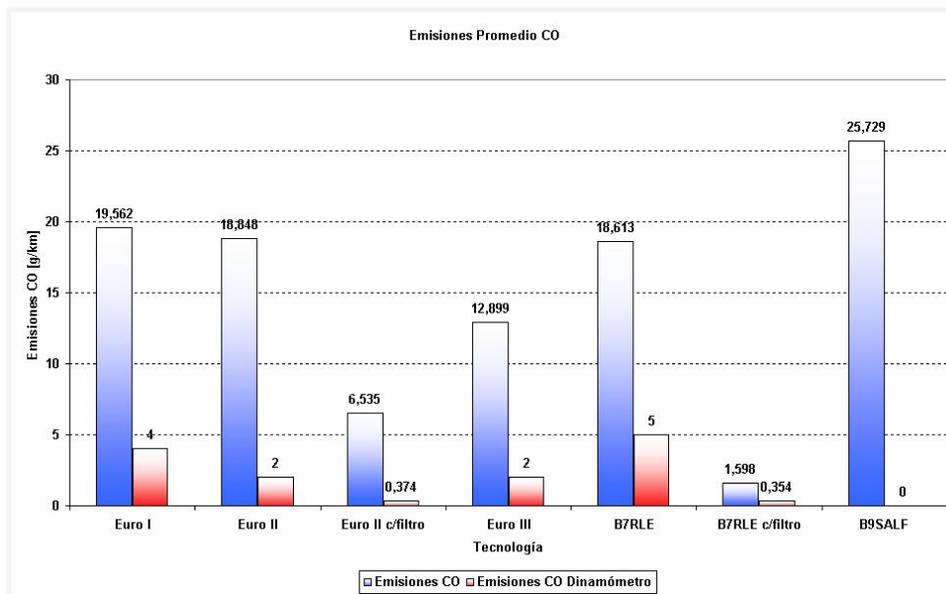


Figura 4.15: Gráfico comparativo emisiones  $CO$ , experimental y dinamómetro.

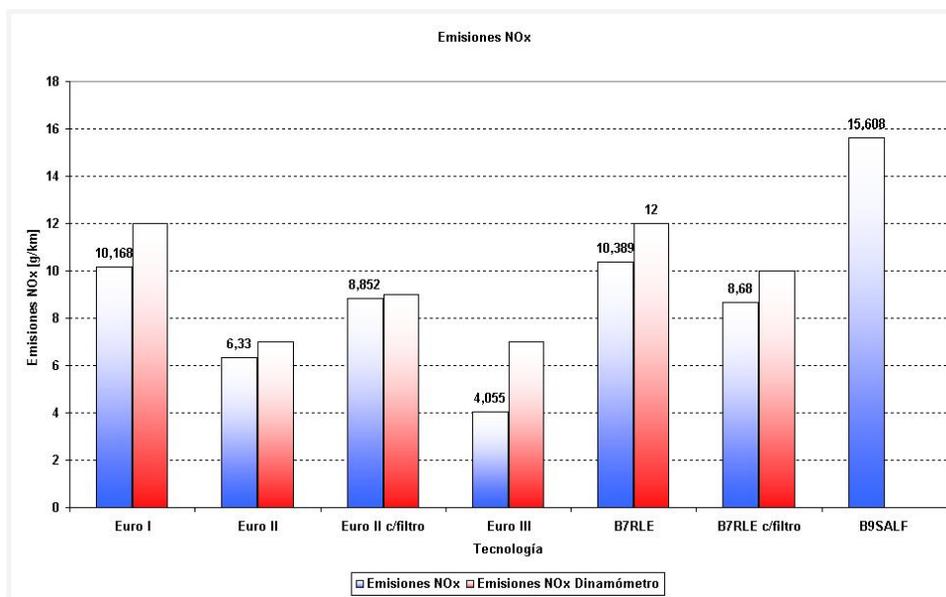


Figura 4.16: Gráfico comparativo emisiones  $NO_x$ , experimental y dinamómetro.

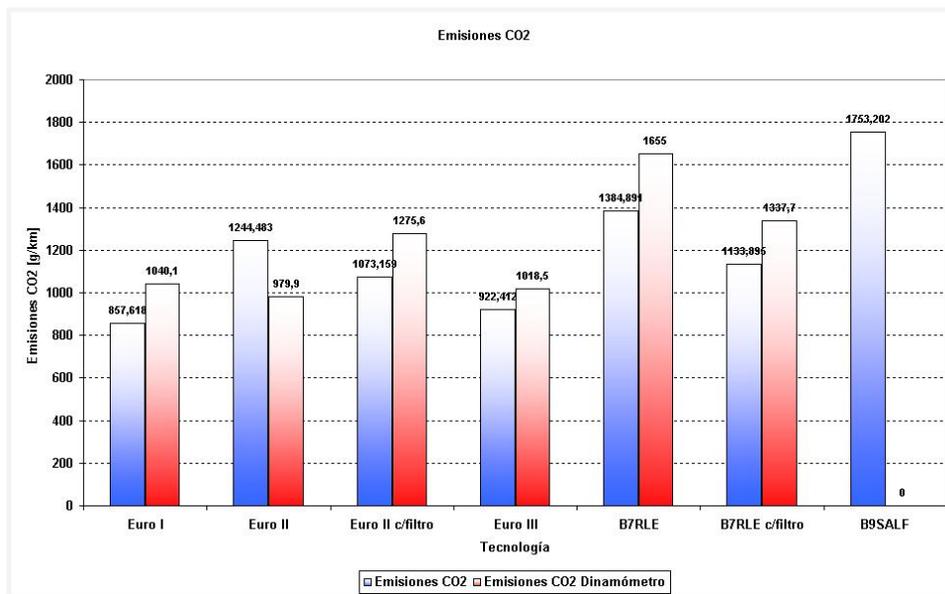


Figura 4.17: Gráfico comparativo emisiones  $CO_2$ , experimental y dinámometro.

Analizando la información que presentan los gráficos anteriores, se puede observar que existe una tendencia, entre las emisiones obtenidas en la campaña de mediciones y la información obtenida a partir de mediciones en dinámometro. Lo normal es que estas dos mediciones se mantengan en un orden de magnitud similar, lo que se cumple para todos los gases con excepción del  $CO$ . Esto se puede explicar, probablemente, por la falta de calibración de los equipos durante la campaña de medición. Hay que agregar, además, que los valores entregados por el 3CV corresponde a un solo bus en la categoría, información que se está comparando con un promedio de emisiones de varios buses, que, en algunos casos, contiene un alto nivel de desviación. Otro factor que influye en la diferencia es el hecho que los ciclos en los cuales se mide para ambos casos son distintos, por lo cual las emisiones de los gases varían, así como también las condiciones ambientales y temporales son distintas, es decir, los días en los que se mide son días que poseen condiciones de temperatura y humedad distintos, así como las condiciones mecánicas pueden variar.

Lo que es claro es que para los del tipo convencional, se mantiene una tendencia a la reducción de emisiones si comparamos buses con norma de emisión Euro I, Euro II y Euro III. La presencia de filtros de partículas en los buses Euro II aportan a una reducción significativa de las emisiones de  $CO$  y  $HC$ , en cambio aumentan las emisiones de  $CO_2$  y  $NO_X$ . El aumento de las emisiones de  $NO_X$  se revisará en forma individual con posterioridad en este informe.

Considerando los buses estándar Transantiago, se observa que existe una reducción de

emisiones sustantiva de  $HC$  con respecto a los buses convencionales, pero aumenta las emisiones de los demás gases, debido a que la potencia y cilindrada son mayores, así como también el consumo de combustible.

Para esquematizar de mejor manera la reducción de emisiones que involucra el paso de una tecnología a otra, se presenta un último análisis. Este consiste en normalizar las emisiones por la potencia del motor y por pasajero. Hay que aclarar que este análisis no es del todo correcto, en el sentido de que para poder efectuarlo de mejor manera hay que considerar otros parámetros. En las tablas 4.20, 4.21, 4.22 y 4.23 se muestran los resultados de los análisis efectuados.

Tabla 4.20: Resumen emisiones normalizadas promedio  $HC$ .

Categoría	HC/hp [g/km hp] Promedio	HC/pax Promedio [g/km pax]
Euro I (1)	0,004067606	0,009626667
Euro II (3)	0,005995515	0,016792381
Euro II c/filtro (3)	0,000861765	0,002379336
Euro III (2)	0,001673062	0,003913413
B7RLE (2)	0,000452418	0,001274725
B7RLE c/filtro (4)	0,000101404	0,000285714
B9SALF (3)	0,001453425	0,003045833

Tabla 4.21: Resumen emisiones normalizadas promedio  $CO$ .

Categoría	CO/hp [g/km hp] Promedio	CO/pax Promedio [g/km pax]
Euro I (1)	0,110208451	0,110208451
Euro II (3)	0,090573442	0,090573442
Euro II c/filtro (3)	0,031403172	0,031403172
Euro III (2)	0,079851129	0,079851129
B7RLE (2)	0,072593604	0,072593604
B7RLE c/filtro (4)	0,006882215	0,006882215
B9SALF (3)	0,076735262	0,076735262

Tabla 4.22: Resumen emisiones normalizadas promedio  $CO_2$ .

Categoría	CO <sub>2</sub> /hp [g/km hp] Promedio	CO <sub>2</sub> /pax Promedio [g/km pax]
Euro I (1)	4,831650704	4,831650704
Euro II (3)	5,98021464	5,98021464
Euro II c/filtro (3)	5,156938972	5,156938972
Euro III (2)	5,863641127	5,863641127
B7RLE (2)	5,401289002	5,401289002
B7RLE c/filtro (4)	4,617400546	4,617400546
B9SALF (3)	5,228757332	5,228757332

Tabla 4.23: Resumen emisiones normalizadas promedio  $NO_x$ .

Categoría	$NO_x$ /hp [g/km hp] Promedio	$NO_x$ /pax Promedio [g/km pax]
Euro I (1)	0,057284507	0,057284507
Euro II (3)	0,030416466	0,030416466
Euro II c/filtro (3)	0,042538844	0,042538844
Euro III (2)	0,027240117	0,027240117
B7RLE (2)	0,040518721	0,040518721
B7RLE c/filtro (4)	0,03450078	0,03450078
B9SALF (3)	0,046252113	0,046252113

En las figuras 4.18, 4.19, 4.20, 4.21, 4.22, 4.23, 4.24 y 4.25 se esquematiza gráficamente este análisis.

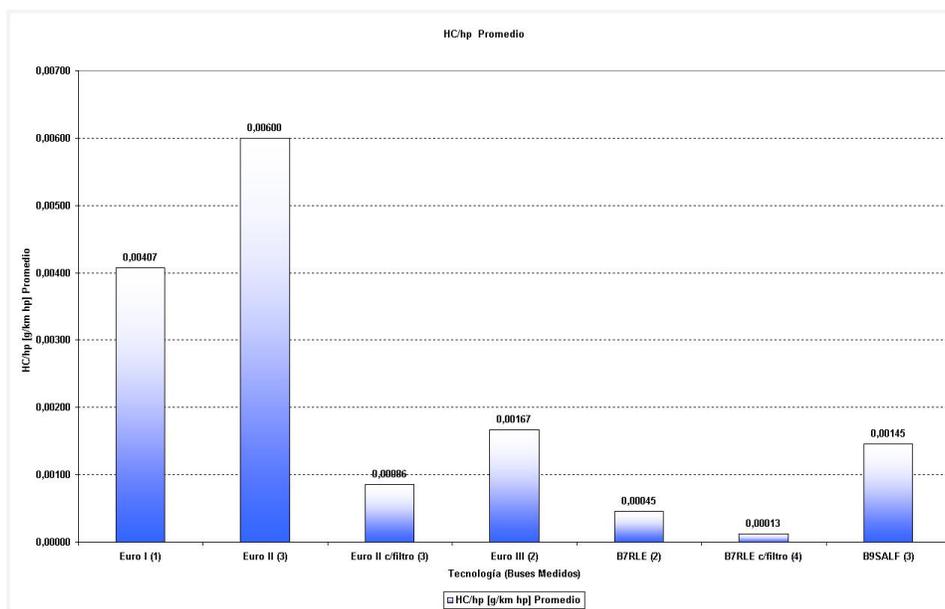


Figura 4.18: Gráfico comparativo emisiones  $HC$  normalizadas por unidad de potencia.

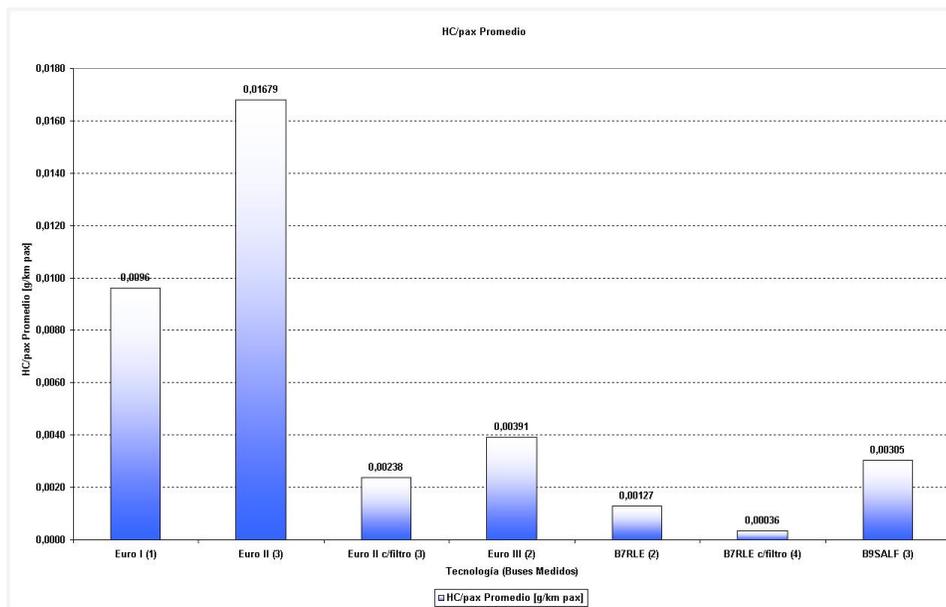


Figura 4.19: Gráfico comparativo emisiones  $HC$  normalizadas por pasajero.

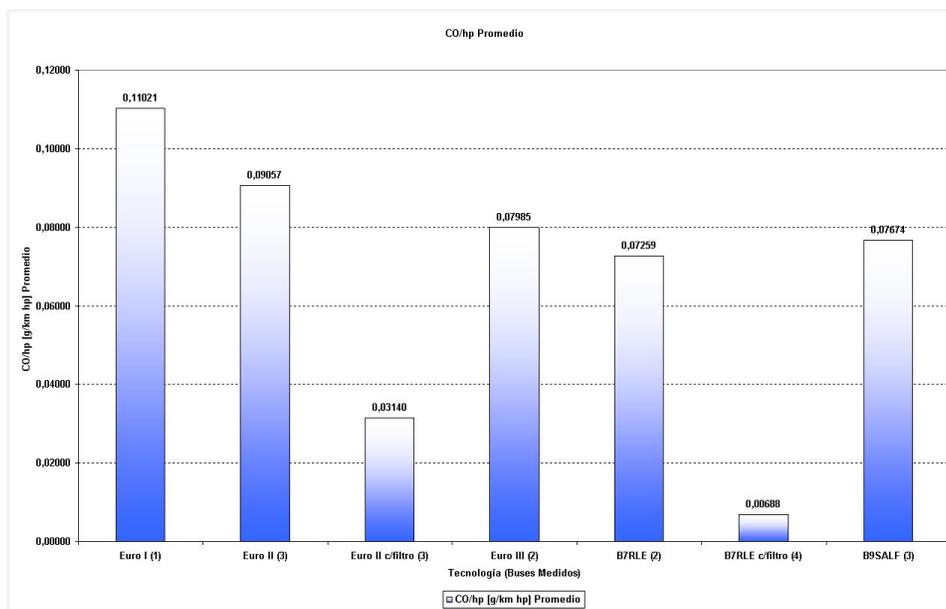


Figura 4.20: Gráfico comparativo emisiones  $CO$  normalizadas por unidad de potencia.

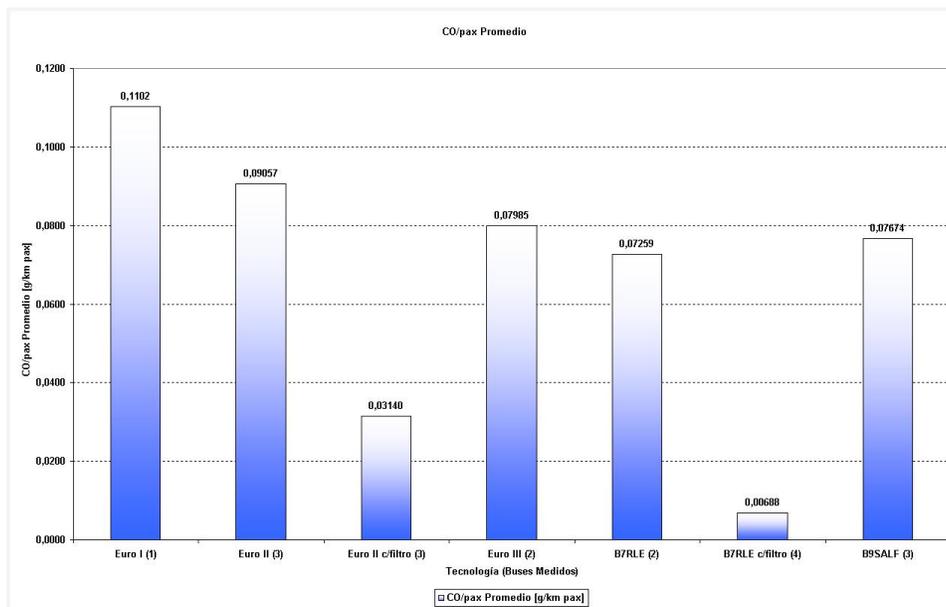


Figura 4.21: Gráfico comparativo emisiones  $CO$  normalizadas por pasajero.

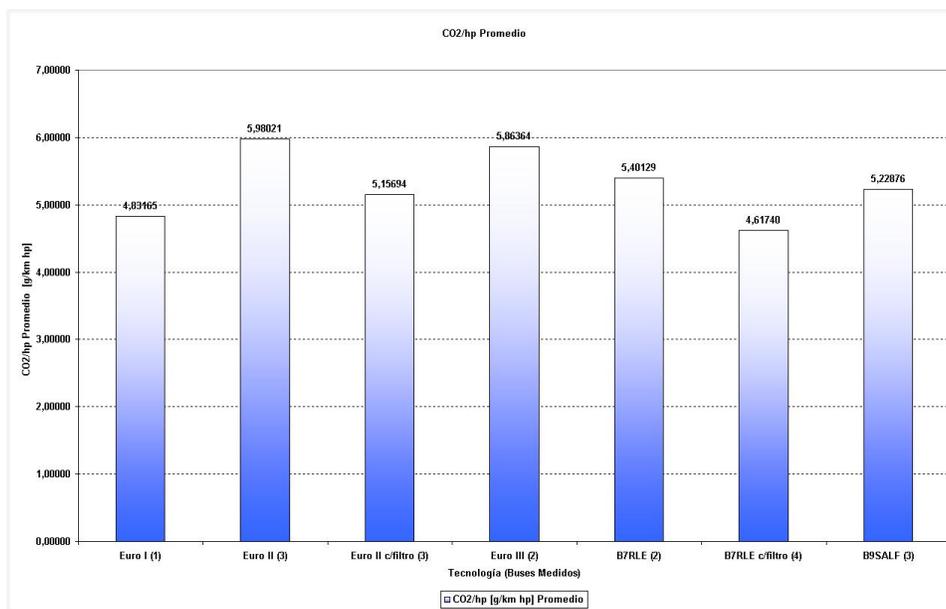


Figura 4.22: Gráfico comparativo emisiones  $CO_2$  normalizadas por unidad de potencia.

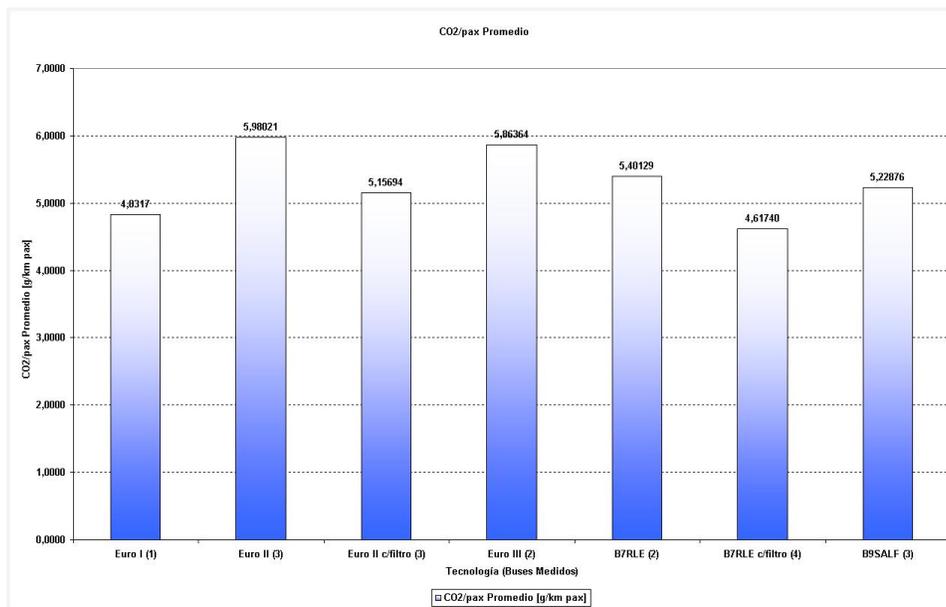


Figura 4.23: Gráfico comparativo emisiones  $CO_2$  normalizadas por pasajero.

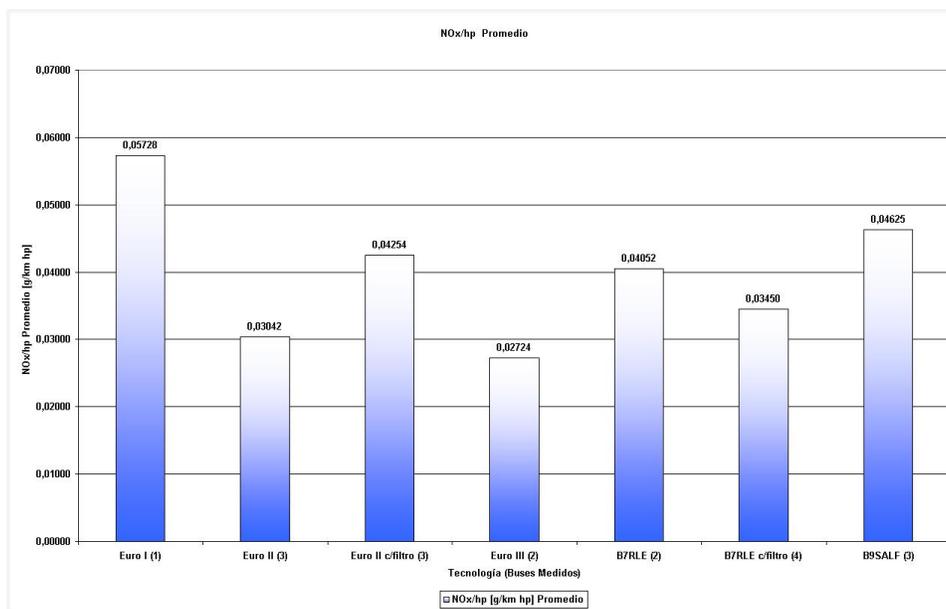


Figura 4.24: Gráfico comparativo emisiones  $NO_x$  normalizadas por unidad de potencia.

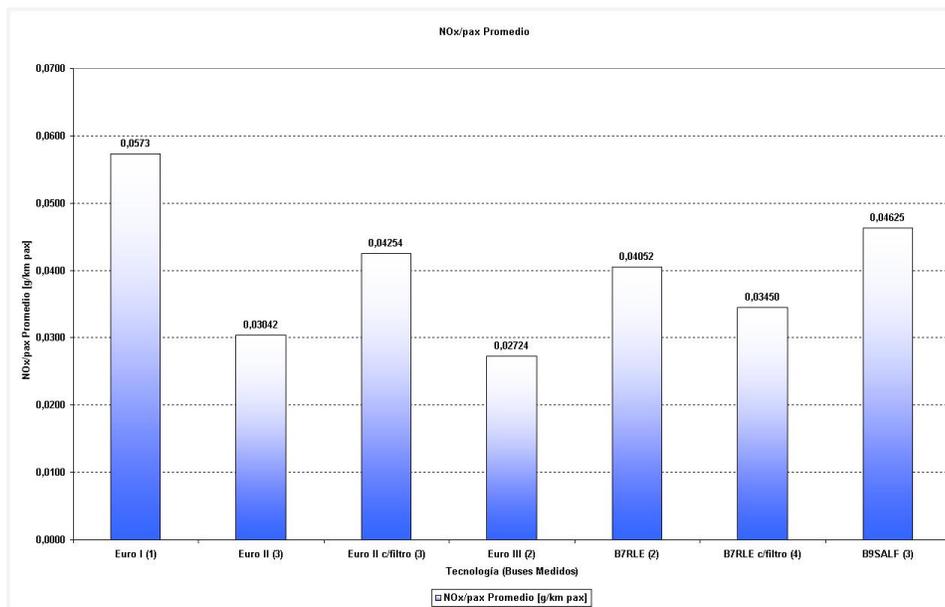


Figura 4.25: Gráfico comparativo emisiones  $NO_X$  normalizadas por pasajero.

Se puede apreciar, para los buses de estándar convencional, que existe una tendencia a la disminución de emisiones efectiva con respecto a la tecnología a la cual pertenecen, con la salvedad del comportamiento que presenta el análisis de  $HC$  y  $CO_2$ , donde se aprecia que las emisiones normalizadas de la tecnología Euro I es menor que el resto. Esto se debe a que existe solamente un bus Euro I medido y esto conlleva un sesgo en la información con respecto a las otras tecnologías. En cifras, la reducción de emisiones normalizadas para el  $HC$  de un 85,63 % en el caso de la normalización por unidad de potencia, y de un 85,83 % en el caso de la normalización por pasajero, si se compara entre los buses Euro II y Euro II con filtro. La reducción existente para los buses Euro III alcanza un 72,09 % para la normalización por unidad de potencia, y de un 76,70 % para el caso de la normalización por pasajero. Comparando los buses estándar Transantiago, podemos ver que en el tipo B7RLE existe una disminución de las emisiones de  $HC$  entre los buses que poseen CRT, que asciende a un 77,56 % en el caso de la normalización por unidad de potencia, y de el mismo porcentaje en el caso de la normalización por pasajero.

Para el caso del  $CO$ , se observa que las emisiones disminuyen en un 65,33 % entre los buses Euro II con y sin filtro, para ambas normalizaciones, entre los buses Euro II y Euro III existe una disminución de un 11,84 % para ambas normalizaciones, y para los buses estándar Transantiago, las emisiones de  $CO$  entre los buses B7RLE con filtro y sin filtro poseen una disminución de un 90,52 %.

En el caso de las emisiones de  $CO_2$ , se observa una disminución de un 13,77 % para ambas

normalizaciones en la comparación entre buses Euro II con filtro y sin filtro, mientras que si se comparan los buses Euro II y Euro III, estos últimos disminuyen las emisiones de  $CO_2$  en un 1,95 % para ambas normalizaciones. En el caso de los buses con estándar Transantiago, los buses B7RLE con filtro reducen las emisiones de  $CO_2$  en un 14.51 %, y los buses B9SALF se comportan de manera similar a los buses B7RLE.

En el caso de las emisiones de  $NO_X$  se observa un aumento de las emisiones entre las tecnologías Euro II y Euro II con filtro de un 39.85 %. Esto se debe a que por el funcionamiento del dispositivo CRT, en el bus TE-3776, aumentan las emisiones de  $NO_2$  debido a la oxidación y proceso de regeneración de este sistema en el proceso de abatimiento de las emisiones de  $PM$ , tal como se explica en la sección 2.6. Comparando las emisiones de  $NO_X$  entre buses Euro II y Euro III, se observa que estos últimos reducen las emisiones en un 10.44 % para ambas normalizaciones. En el caso de los buses estándar Transantiago, se esperaría que al comparar los buses del tipo B7RLE sin CRT y con CRT, en estos últimos las emisiones deberían aumentar, pero se obtiene que las emisiones se reducen entre ambos tipos en un 14,85 % para ambas normalizaciones. Los buses del tipo B9SALF se comportan de manera similar a los B7RLE sin dispositivo CRT.

### 4.3. Calibraciones para offset curvas de medición y validación método inspección

Para poder obtener los resultados de emisiones a partir de los datos recogidos en la campaña de mediciones, es necesario, como se mencionó en la sección 3.3, efectuar la calibración de los offset de cada uno de los sistemas que permiten medir las emisiones de los diferentes contaminantes, así como también obtener información relevante como la velocidad y el flujo de escape. En una primera etapa se efectuó la calibración de estos offset mediante un método de inspección anteriormente explicado, y que en esta sección se mostrarán los valores obtenidos para estos offset mediante este método. Así también se presentará un análisis de sensibilidad efectuado a dos test, que permitirá validar este método. Además se presentará un método mediante el cual se pretende efectuar las calibraciones de forma más precisa, a partir de una herramienta que proporciona Matlab, llamada *XCORE*, que permite correlacionar dos curvas con la mayor precisión posible.

#### 4.3.1. Resultados para los offset mediante el método de inspección

En la tabla 4.24 se presentan los valores obtenidos para cada uno de los test, de los offset correspondientes a los contaminantes medidos.

Tabla 4.24: Resumen offset obtenidos.

Test	PPU	Año	Marca	Modelo	Speed offset	HC offset	CO offset	NOx offset	CO2 offset
1	ZN-5800	2005	Volvo	B9SALF	8	0	-3	-2	0
2	ZN-6605	2005	Volvo	B7RLE	7	0	2	3	4
3	ZN-6267	2006	Volvo	B7RLE	7	0	1	1	0
4	ZN-5161	2005	Volvo	B7RLE	7	0	2	2	0
5	ZN-3238	2005	Volvo	B7RLE	7	0	2	2	0
9	ZN-5374	2005	Volvo	B7RLE	7	0	2	2	0
10	ZN-6259	2005	Volvo	B7RLE	7	0	2	4	0
11	ZN-5561	2006	Volvo	B9SALF	7	0	2	2	0
14	RV-7986	1998	MBz	OH-1420	7	0	2	2	2
15	TE-3776	1999	MBz	OH-1420/51	7	0	2	1	2
16	RV-7985	1998	MBz	OH-1420	6	0	2	3	2
17	XV-1909	2003	MBz	OH-1418	8	0	2	2	2
18	YE-9703	2005	MBz	OH-1115 L/46	2	0	2	1	2
21	TZ-7737	2001	MBz	OH-1420	7	0	0	2	2
22	RS-1009	1998	MBz	OH-1420	7	0	4	4	4
23	LY-1419	1995	MBz	OF-1318/51	6	0	2	2	2
24	VK-6359	2002	MBz	OH-1420/51	6	2	3	4	3
25	ZN-5590	2006	Volvo	B9SALF	6	1	4	4	4

### 4.3.2. Análisis de sensibilidad

Para validar el método de inspección antes expuesto, se realizó un análisis de sensibilidad, que consistió simplemente, en una primera etapa, en variar el offset de un contaminante, dejando los demás parámetros fijos, tanto los demás contaminantes, como el offset de la velocidad y el flujo de escape, y en una segunda etapa variar el offset de la velocidad y tabular el comportamiento de los contaminantes con respecto a esta variación. En las tablas 4.25 y 4.26 se muestra el análisis de sensibilidad que se efectuó al test 3, y luego el realizado al test 23.

Tabla 4.25: Resultados análisis sensibilidad test 3.

Material Particulado					
Raw Particulate Dekati			Speed		
Offset [s]	PM [g/km]	% Variación	Offset [s]	PM [g/km]	% Variación
11	0,0017	0	11	0,0017	0
12	0,0017	0	12	0,0017	0
13	0,0017	0	13	0,0017	0
14	0,0017	0	14	0,0017	0
15	0,0017	0	15	0,0017	0
16	0,0017	0	16	0,0017	0
17	0,0017	0	17	0,0017	0

Offset [s]	NOx [g/km]	% Variación	Offset [s]	HC [g/km]	% Variación
0	10,032	1,81	0	0,043	0
1	9,853	0	1	0,042	2,32
2	9,515	3,43	2	0,042	2,32
3	9,134	7,29	3	0,042	2,32
4	8,755	11,14	4	0,042	2,32

Offset [s]	CO [g/km]	% Variación	Offset [s]	CO2 [g/km]	% Variación
0	2,841	16,43	0	1393,13	0
1	2,44	0	1	1368,371	1,77
2	2,186	10,4	2	1304,524	6,36
3	2,096	14,1	3	1233,238	11,47
4	2,102	13,85	4	1171,407	15,91

Variación Velocidad con respecto a todos los contaminantes						
Offset [s]	HC		NOx		CO	
	[g/km]	% Variación	[g/km]	% Variación	[g/km]	% Variación
5	0,043	0	9,839	0,14	2,437	0,122
6	0,043	0	9,846	0,07	2,438	0,08
7	0,043	0	9,853	0	2,44	0
8	0,043	0	9,86	0,07	2,442	0,08
9	0,044	2,32	9,866	0,13	2,443	0,12

Offset [s]	CO2		PM	
	[g/km]	% Variación	[g/km]	% Variación
5	1391,142	0,14	0,016	0
6	1392,178	0,06	0,016	0
7	1393,13	0	0,016	0
8	1394,034	0,06	0,016	0
9	1394,975	0,13	0,016	0

Tabla 4.26: Resultados análisis sensibilidad test 23.

Material Particulado					
Raw Particulate Dekati			Speed		
Offset [s]	PM [g/km]	% Variación	Offset [s]	PM [g/km]	% Variación
11	0,164	5,75	11	0,174	0
12	0,169	2,87	12	0,174	0
13	0,173	0,57	13	0,174	0
14	0,174	0	14	0,174	0
15	0,17	2,30	15	0,174	0
16	0,164	5,75	16	0,174	0
17	0,157	9,77	17	0,174	0

Offset [s]	NOx [g/km]	% Variación	Offset [s]	HC [g/km]	% Variación
0	10,229	0,60	0	0,722	0
1	10,242	0,73	1	0,727	0,69
2	10,168	0	2	0,725	0,42
3	9,9	2,64	3	0,716	0,83
4	9,591	5,67	4	0,705	2,35

Offset [s]	CO [g/km]	% Variación	Offset [s]	CO2 [g/km]	% Variación
0	19,002	2,86	0	1393,13	6,79
1	19,456	0,54	1	1368,371	4,89
2	19,562	0	2	1304,524	0
3	18,799	3,90	3	1233,238	5,46
4	17,806	8,98	4	1171,407	10,20

Variación Velocidad con respecto a todos los contaminantes						
Offset [s]	HC		NOx		CO	
	[g/km]	% Variación	[g/km]	% Variación	[g/km]	% Variación
4	0,722	0	10,169	0,0098	19,563	0,005
5	0,722	0	10,169	0,0098	19,562	0
6	0,722	0	10,168	0	19,562	0
7	0,722	0	10,168	0	19,562	0
8	0,722	0	10,168	0	19,561	0,005

Offset [s]	CO2		PM	
	[g/km]	% Variación	[g/km]	% Variación
4	857,657	0,005	0,176	0
5	857,637	0,002	0,176	0
6	857,618	0	0,176	0
7	857,601	0,002	0,176	0
8	857,583	0,004	0,176	0

En lo que se observa en los valores anteriormente entregados, el material particulado es prácticamente insensible a las variaciones de offset, es decir, si la calibración de la curva no es muy prolija, la variación en el resultado entregado no varía. En cambio, podemos observar que existen emisiones bastante sensibles a cambios en la calibración del offset, como es el ejemplo del  $CO$  y del  $CO_2$ . En este caso, como se busca no tener una variación mayor al 10 % del resultado óptimo, el rango de error en la calibración por inspección queda bastante limitado solo a un par de segundos. Por lo tanto, el método de validación se puede validar en el caso en que, para casos como el del  $CO$  y del  $CO_2$  no se cometa un error que supere los 2 segundos. Hay que hacer notar que estos análisis de sensibilidad varían de un bus a otro, como por ejemplo podemos observar en el análisis efectuado para el test 23, que los parámetros son mas insensibles a las variaciones en comparación con el test 3, que para todos los parámetros se encuentra dentro del 10 % de error. Por lo tanto, podemos validar el método de inspección restringiendo el conjunto de valores donde puede estar acotado el offset óptimo para la curva, y este intervalo de valores dependerá fuertemente del test a analizar.

#### 4.4. Herramientas matemáticas para correlacionar curvas

Para efectos de conseguir una calibración de los offset lo más óptima posible, se utilizará una herramienta proporcionada por Matlab que se denomina XCORE. Esta herramienta recibe como entrada dos vectores, que corresponden a la sección de las curvas que se quieren ajustar, por ejemplo, valores para el flujo de escape y emisiones de material particulado, y entrega como respuesta un gráfico donde entrega una distribución de la diferencia entre ambos valores del vector, desplazados en una posición por vez, donde por lo general es una distribución normal, y un valor óptimo del desfase que existe entre las

curvas, que corresponde al máximo de la curva anteriormente descrita. Este valor se puede ingresar posteriormente a las planillas excel que permiten el cálculo de las emisiones, y se verifica que el ajuste de la curva es el óptimo. Se recomienda, para este caso, que se utilice un subconjunto de los datos cercano al origen, debido a que si se considera toda la curva, el ajuste óptimo posiblemente no sea la transposición de las curvas.

Para el test 3 se realizó una calibración a través del método XCore, lo que arrojó los resultados que se muestran en la tabla 4.27.

Tabla 4.27: Resultados análisis XCore test 3.

Offset Test 3						
Offset	Velocidad	HC	CO	NOx	CO2	PM 2,5
Inspección	7	0	1	1	0	14
Xcore	143	-2	-2	0	0	14

Se puede observar que para las curvas de  $HC$ ,  $CO$ ,  $NO_X$ ,  $CO_2$  y  $PM$  los offset encontrados a partir de esta herramienta son bastante cercanos a los encontrados mediante el método de inspección. En el caso del  $HC$  podría existir una variación de un 2,32% en el resultado de las emisiones finales, para el  $CO$  el resultado supera el 16% de variación, por lo cual puede ser bastante incierto confiar en la herramienta XCore. Para las emisiones de  $NO_X$ ,  $CO_2$  y  $PM$  los resultados encontrados son cercanos al método de inspección, por lo que la variación porcentual en las emisiones es mínima. La gran dificultad de este método se presenta para el caso de la velocidad. Claramente la diferencia en los offset encontrados es muy distante, por lo que podemos afirmar que el método es erróneo en este caso. Gráficamente se observa lo anterior en las figuras 4.26, 4.27, 4.28, 4.29 y 4.30.

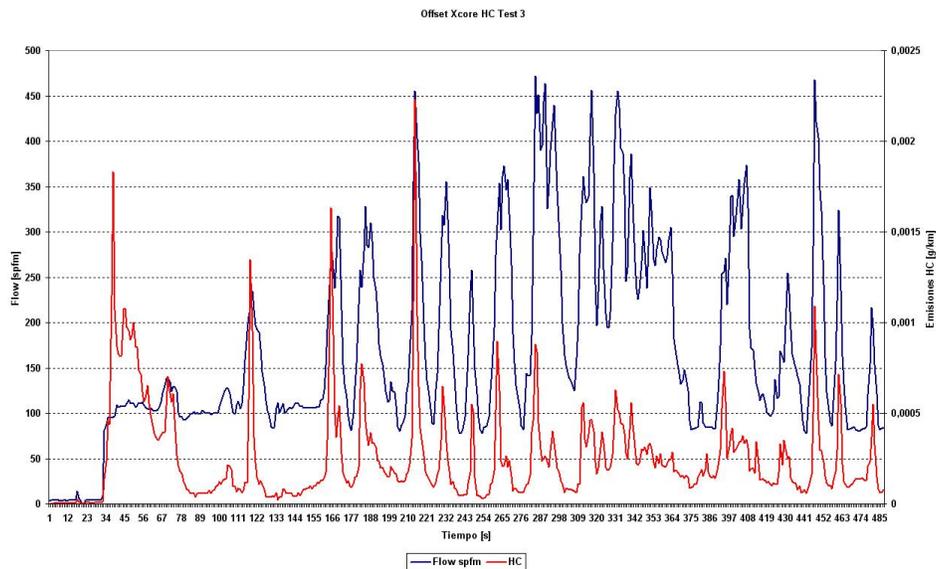


Figura 4.26: Calibración offset mediante XCore para emisiones de  $HC$ .

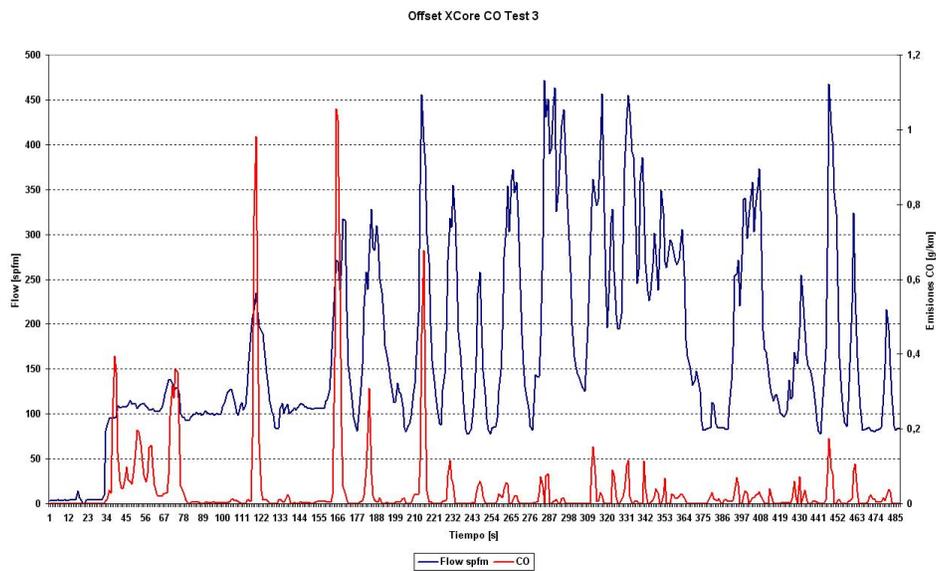


Figura 4.27: Calibración offset mediante XCore para emisiones de  $CO$ .

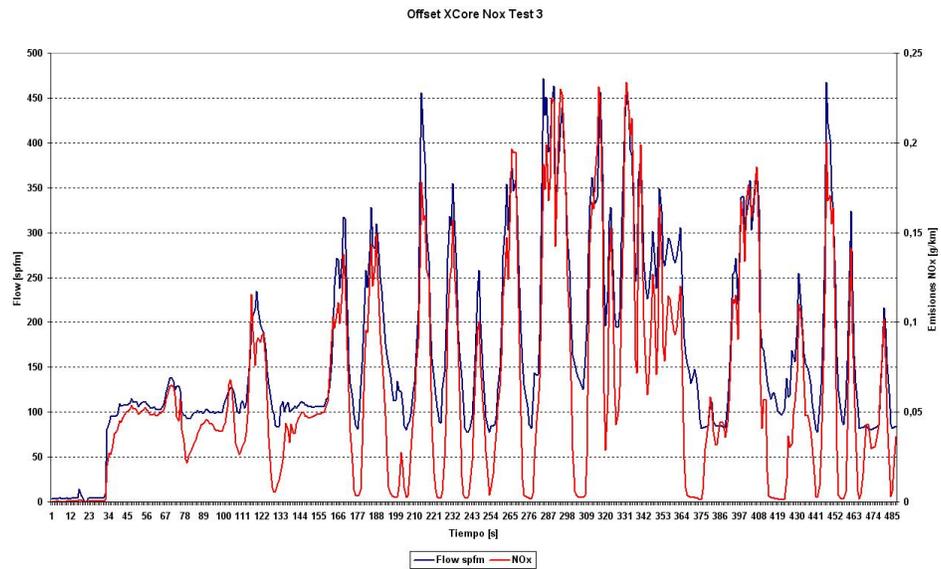


Figura 4.28: Calibración offset mediante XCore para emisiones de  $NO_X$ .

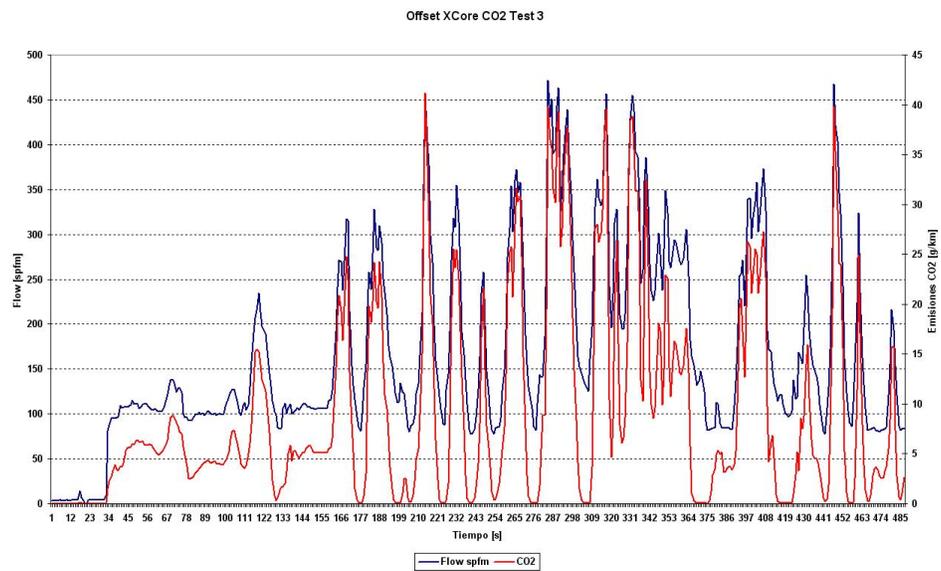


Figura 4.29: Calibración offset mediante XCore para emisiones de  $CO_2$ .

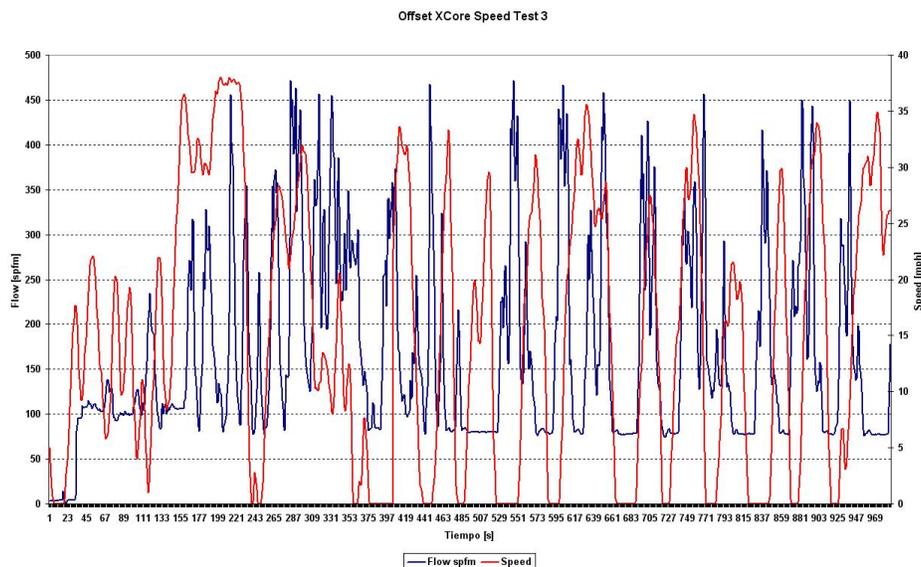


Figura 4.30: Calibración offset mediante XCore para velocidad.

En estas figuras se puede apreciar que la herramienta XCore presenta un buen comportamiento, por lo general, para las emisiones de gases debido a que la forma de las curvas, tanto de el flujo de escape y del gas en cuestión, es bastante similar. Por lo tanto, el nivel de error que genera XCore es bastante razonable. En el caso de la curva de velocidad, hay una gran diferencia sobretodo en el subconjunto de inicio de la curva, por lo que, como la herramienta XCore es una herramienta estadística, busca la mejor similitud, lo que lleva a que posea un alto nivel de error. La forma de solucionar esto es acotar en forma bastante exacta el subconjunto de la curva de velocidad y flujo a calibrar, y de preferencia que no sea un subconjunto en el inicio, con el fin de evitar las diferencias en la pendiente de la curva en su parte inicial.

# Capítulo 5

## Conclusiones

- La principal conclusión de este trabajo esta determinada por la obtención de los *factores de emisión* obtenidos a partir del procesamiento de datos proveniente de la campaña de medición efectuada. Estos factores de emisión permiten estimar las emisiones de material particulado  $PM_{2,5}$ ,  $HC$ ,  $CO$ ,  $CO_2$  y  $NO_x$  para cada una de las tecnologías presentes en la actualidad en el parque de buses de transporte público de Santiago. En la tabla 5.1 se presentan estos factores de emisión.

Tabla 5.1: Factores de Emisión para las tecnologías disponibles.

Factores de Emisión						
Estándar	Tecnología	HC [g/km]	CO [g/km]	NO <sub>x</sub> [g/km]	CO <sub>2</sub> [g/km]	PM 2,5 [g/km]
Convencional	Euro I	0,722	19,562	10,168	857,618	0,176
	Euro II	1,248	18,848	6,330	1244,483	0,214
	Euro II c/filtro	0,179	6,535	8,852	1073,159	0,115
	Euro III	0,217	12,899	4,055	922,412	0,122
Transantiago	B7RLE	0,116	18,613	10,389	1384,891	0,193
	B7RLE c/filtro	0,029	1,598	8,680	1133,895	0,029
	B9SALF	0,487	25,729	15,608	1753,202	0,454

- En la tabla anterior se observa que existe una disminución en las emisiones de  $NO_x$  de un 21,78 % entre las tecnologías Euro I y Euro II. En el caso de los buses Euro II con filtro se produce un aumento de emisiones de un 28,49 % debido a la presencia de sistemas de abatimiento CRT. Efectivamente este aumento podría ser variable debido a la presencia de buses con filtros que no operan en la forma debida, ya sea por falta de mantención o por haber sobrepasado la vida útil de funcionamiento. En el caso del  $HC$  existe una disminución en las emisiones de este entre los buses Euro II sin filtro y Euro II con filtro de un 85,66 %, y una disminución de un 82,61 % entre los buses Euro II y los convencionales Euro III. Para los buses estándar Transantiago, la disminución de  $HC$  entre los buses B7RLE csin filtro y los B7RLE con filtro es de un 75 %. En el caso del  $CO$  se observa una disminución de un 65,33 % entre los buses Euro II sin filtro

y los Euro II con filtro, de un 31,56 % entre los buses Euro II y Euro III, y en el caso del estándar Transantiago, las emisiones de  $CO$  disminuyen en un 91,41 % en el caso de los buses B7RLE sin filtro y los B7RLE con sistema CRT.

- En el caso del  $PM$  2,5 se observa que existe un aumento de las emisiones entre tecnologías Euro I y Euro II de un 21,78 %, así como existe una reducción sustancial de las emisiones entre buses Euro II y Euro II con filtro de un 86,92 %. En el caso de los buses Euro III, la reducción con respecto a los buses del tipo Euro II es de un 43,31 %. Para los buses estándar Transantiago, Existe una reducción de un 85,22 % entre los buses B7RLE sin filtro y con CRT.
- Se implantó una metodología de medición de emisiones, en la cual se especifica la forma de operación de los equipos de medición, disposición de la instalación experimental y equipamiento auxiliar y especificación de la construcción de circuito de pruebas, lo que permitirá la realización de futuras experiencias similares tanto en buses como en otro tipo de vehículos, tanto diesel como a gasolina.
- Se implantó una metodología de procesamiento de datos obtenidos a partir de una campaña de mediciones en terreno, que consiste en la recopilación de archivos de datos desde los equipos, ordenamiento y verificación de estos, instauración de la interfaz de cálculo, calibración de offset de los distintos contaminantes mediante métodos de inspección o a través de herramientas matemáticas, con el fin de obtener los factores de emisión para cada uno de los contaminantes anteriormente mencionados para cada uno de los buses medidos.
- Para cada una de las tecnologías disponibles en los estándares considerados para este estudio se calcularon los factores de emisión teniendo en consideración la cantidad y dispersión de los datos disponibles, así como la presencia de buses que, por razones mecánicas o ambientales, escapan de la tendencia esperada en sus emisiones.
- Para todos los contaminates, y en especial para el  $PM$  2,5, se realizaron análisis para estimar el comportamiento de las emisiones para cada una de las tecnologías mediante la normalización de estas por variables como la cantidad de pasajeros o la potencia del motor. En forma especial se observó el comportamiento de los sistemas de abatimiento de emisiones disponibles en el estudio, como filtros CRT y DPF, estimando su aporte a la reducción de emisiones.
- En el caso de las calibraciones de offset, se determinó que existen curvas de contaminantes muy sensibles a la variación del tiempo de retraso de la curva. En el caso de la variación de los tiempos de retraso con el tiempo de retraso del flujo de escape constante se observa que los  $NO_x$  son muy sensibles a los cambios de tiempo, mientras que el  $PM$  2,5 se comporta en forma insensible. En el caso de la variación de todos

los contaminantes con respecto a la velocidad todos tienen un comportamiento insensible. Para el caso de uso de XCore, se concluyó que es muy efectiva para todos los contaminantes, encontrando valores de offset cercanos a los encontrados por el método de inspección, pero para el caso de la velocidad se comporta con una alta tasa de error. Esto se debe principalmente a la forma y pendiente de la curva. Hay que aclarar que todo lo dicho anteriormente en este punto varía de un test a otro, por lo cual hay que ir variando el subconjunto de datos a utilizar para poder obtener valores óptimos. Por lo tanto se estimó que la mejor forma de encontrar los valores óptimos de offset es mediante el método de inspección, debido a que de esta forma se evita el hecho de tener que probar con distintos subconjuntos de valores para obtener un buen resultado.

- Los factores de emisión quedan determinados por variables propias del vehículo, es decir, su tecnología, así como también por variables externas como el estado de mantenimiento de estos, las condiciones de circulación representadas por el circuito de pruebas, por variables ambientales como la temperatura y humedad ambiental, entre otras.
- El cambio de tecnología en los buses ha contribuido en buena forma a la reducción efectiva de las emisiones de contaminantes, sobre todo en lo que a material particulado se refiere. La reducción de emisiones para algunos contaminantes no es tan clara debido a que en ella influyen aspectos como la potencia de los buses, la cilindrada y el consumo de combustible.
- El cambio de tecnología no es suficiente para asegurar una reducción de emisiones sustantiva y efectiva. También es necesario mejorar las políticas de mantenimiento de los buses, así como también optimizar su utilización, para evitar capacidad ociosa, que contribuye en forma innecesaria a aumentar las emisiones.

# Bibliografía

- [1] Bernard Challen, Rodica Baranescu: *Diesel Engine, Reference Book*. Editorial SAE International.
- [2] Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, Subsecretaría de Transportes: *Normas de emisión para Monóxido de Carbono(CO), Hidrocarburos Totales(HCT), Hidrocarburos no Metánicos(HCNM), Metano(CH<sub>4</sub>), Óxidos de Nitrógeno(NO<sub>x</sub>) y Material Particulado(MP) Para motores de Locomoción Colectiva en el Gran Santiago*.
- [3] Apuntes del curso ME740: *Tópicos Avanzados en Contaminación Atmosférica*. Profesor Roberto Corvalán Paiva.
- [4] <http://www.dieselnets.com>
- [5] <http://www.sensors-inc.com/semtechd.htm>
- [6] <http://dekati.com/dmm.shtml>
- [7] <http://dekati.com/diluter.shtml>
- [8] <http://www.sensors-inc.com/efm.htm>
- [9] <http://ect.jmcatalysts.com/>
- [10] Mauricio Osses: *Transantiago: Nuevas Tecnologías e Impactos Ambientales*. Presentación Departamento Ingeniería Mecánica, Universidad de Chile, Septiembre 2005.
- [11] Sensors Inc.: *Semtech-D User´s Manual*.
- [12] Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, Subsecretaría de Transportes: *Decreto N° 122: Requisitos Dimensionales y Funcionales a Vehículos que presten servicios de Locomoción Colectiva Urbana*. 19 de Julio de 1991.
- [13] Centro de Control y Certificación Vehicular: *Informe 2º Serie de Medición de Emisiones, Proyecto Transporte Sostenible y Calidad de Aire para Santiago*.

# Apéndice

Apéndice 1: Resumen resultados buses medidos

Apéndice 2: Fichas técnicas buses medidos

## Apéndice 1: Resumen resultados buses medidos

Test	PPU	Año	Marca	Modelo	Norma	Filtro	HC [g/km]	CO [g/km]	NOx [g/km]	CO2 [g/km]	PM 2,5 [g/km]
1	ZN-5800	2005	Volvo	B9SALF	E-III	NO	0,559	14,606	16,762	2009,949	0,496
2	ZN-6605	2005	Volvo	B7RLE	E-III	CRT	0,015	0,29	7,21	862,29	0,084
3	ZN-6267	2006	Volvo	B7RLE	E-III	CRT	0,043	2,44	9,853	1393,13	0,0016
4	ZN-5161	2005	Volvo	B7RLE	E-III	NO	0,106	17,915	10,044	1304,573	0,192
5	ZN-3238	2005	Volvo	B7RLE	E-III	NO	0,126	19,311	10,734	1465,208	0,194
9	ZN-5374	2005	Volvo	B7RLE	E-III	CRT	0,03	2,065	8,978	1146,265	s/d
10	ZN-6259	2005	Volvo	B7RLE	E-III	CRT	0,042	4,028	9,343	1333,921	0
11	ZN-5561	2006	Volvo	B9SALF	E-III	NO	0,447	33,094	16,127	1818,396	0,713
14	RV-7986	1998	MBz	OH-1420	E-II	NO	2,574	38,423	11,713	1631,424	0,4
15	TE-3776	1999	MBz	OH-1420	E-II	CRT	0,102	2,558	2,48	1191,224	0,002
16	RV-7985	1998	MBz	OH-1420	E-II	NO	0,675	12,319	0,87	1372,939	0,19
17	XV-1909	2003	MBz	OH-1418	E-III	NO	0,308	14,237	0,309	718,981	0,153
18	YE-9703	2005	MBz	OH-1115	E-III	NO	0,234	11,561	7,801	1125,843	0,09
21	TZ-7737	2001	MBz	OH-1420	E-II	DPF	0,21	14,08	10,147	1038,225	0,234
22	RS-1009	1998	MBz	OH-1420	E-II	DPF	0,226	2,967	13,93	990,028	0,108
23	LY-1419	1995	MBz	OF-1318	E-I	NO	0,722	19,562	10,168	857,618	0,176
24	VK-6359	2002	MBz	OH-1420	E-II	NO	0,494	5,803	6,406	729,085	0,053
25	ZN-5590	2006	Volvo	B9SALF	E-III	NO	0,456	29,488	13,636	1431,262	0,152

Test	PPU	Año	Marca	Modelo	Norma	Filtro	Vel Prom. [km/h]	Vel Máx [km/h]	Máx Ac. [m/s^2]	Máx Desac. [m/s^2]
1	ZN-5800	2005	Volvo	B9SALF	E-III	NO	14,93	61,8	5,86	-12,47
2	ZN-6605	2005	Volvo	B7RLE	E-III	CRT	24,18	61,64	1,39	-4,78
3	ZN-6267	2006	Volvo	B7RLE	E-III	CRT	23,79	62,12	8,63	-2,46
4	ZN-5161	2005	Volvo	B7RLE	E-III	NO	19,3	61,48	3,58	-3
5	ZN-3238	2005	Volvo	B7RLE	E-III	NO	20,93	58,9	2,37	-3,22
9	ZN-5374	2005	Volvo	B7RLE	E-III	CRT	25,83	60,99	2,64	-4,02
10	ZN-6259	2005	Volvo	B7RLE	E-III	CRT	22,83	61,64	1,97	-2,82
11	ZN-5561	2006	Volvo	B9SALF	E-III	NO	20,29	60,99	1,43	-3,49
14	RV-7986	1998	MBz	OH-1420	E-II	NO	18,47	56,06	--	--
15	TE-3776	1999	MBz	OH-1420	E-II	CRT	23,58	70,49	2,07	-3,34
16	RV-7985	1998	MBz	OH-1420	E-II	NO	20,58	59,28	6,51	-6,68
17	XV-1909	2003	MBz	OH-1418	E-III	NO	21,28	57,22	2,53	-3,55
18	YE-9703	2005	MBz	OH-1115	E-III	NO	18,6	58,37	4,55	-9,9
21	TZ-7737	2001	MBz	OH-1420	E-II	DPF	24,3	67,49	2,63	-4,9
22	RS-1009	1998	MBz	OH-1420	E-II	DPF	21,73	54,07	2,64	-2,46
23	LY-1419	1995	MBz	OF-1318	E-I	NO	21,42	57,13	1,83	-3,26
24	VK-6359	2002	MBz	OH-1420	E-II	NO	19,93	72,26	1,52	-3,31
25	ZN-5590	2006	Volvo	B9SALF	E-III	NO	18,92	62,44	1,88	-2,59

Test	PPU	Año	Marca	Modelo	Norma	Filtro	Speed offset	HC offset	CO offset	NOx offset	CO2 offset
1	ZN-5800	2005	Volvo	B9SALF	E-III	NO	8	0	-3	-2	0
2	ZN-6605	2005	Volvo	B7RLE	E-III	CRT	7	0	2	3	4
3	ZN-6267	2006	Volvo	B7RLE	E-III	CRT	7	0	1	1	0
4	ZN-5161	2005	Volvo	B7RLE	E-III	NO	7	0	2	2	0
5	ZN-3238	2005	Volvo	B7RLE	E-III	NO	7	0	2	2	0
9	ZN-5374	2005	Volvo	B7RLE	E-III	CRT	7	0	2	2	0
10	ZN-6259	2005	Volvo	B7RLE	E-III	CRT	7	0	2	4	0
11	ZN-5561	2006	Volvo	B9SALF	E-III	NO	7	0	2	2	0
14	RV-7986	1998	MBz	OH-1420	E-II	NO	7	0	2	2	2
15	TE-3776	1999	MBz	OH-1420	E-II	CRT	7	0	2	1	2
16	RV-7985	1998	MBz	OH-1420	E-II	NO	6	0	2	3	2
17	XV-1909	2003	MBz	OH-1418	E-III	NO	8	0	2	2	2
18	YE-9703	2005	MBz	OH-1115	E-III	NO	2	0	2	1	2
21	TZ-7737	2001	MBz	OH-1420	E-II	DPF	7	0	0	2	2
22	RS-1009	1998	MBz	OH-1420	E-II	DPF	7	0	4	4	4
23	LY-1419	1995	MBz	OF-1318	E-I	NO	6	0	2	2	2
24	VK-6359	2002	MBz	OH-1420	E-II	NO	6	2	3	4	3
25	ZN-5590	2006	Volvo	B9SALF	E-III	NO	6	1	4	4	4

Factores de Emisión						
Estándar	Tecnología	HC [g/km]	CO [g/km]	NOx [g/km]	CO2 [g/km]	PM 2,5 [g/km]
Convencional	Euro I	0,722	19,562	10,168	857,618	0,176
	Euro II	1,248	18,848	6,330	1244,483	0,214
	Euro II c/filtro	0,179	6,535	8,852	1073,159	0,115
	Euro III	0,217	12,899	4,055	922,412	0,122
Transantiago	B7RLE	0,116	18,613	10,389	1384,891	0,193
	B7RLE c/filtro	0,029	1,598	8,680	1133,895	0,029
	B9SALF	0,487	25,729	15,608	1753,202	0,454

## **Apéndice 2: Fichas técnicas buses medidos**

FICHA TECNICA BUS		T4_ZN5800_C2.1
<b>Identificación</b>	Test	1
	Operador	Express Stgo.uno S.A.
	Patente	ZN-5800
	Tipo Bus	C2
<b>Chasis</b>	Dirección	HI
	Marca	Vv
	Modelo	B9SALF
<b>Carrocería</b>	Carrocería	Marcopolo
	Modelo	Gran Viale - Articulado
	Año	2005
<b>Proveedor</b>	Representante Chile	Epysa
	Origen	Brasil
<b>Dimensiones</b>	P.Bruto [Kg]	16180
	P.Vacio (kg)	
	P.Chasis [Kg]	
	Largo [m]	18,5
	Ancho [m]	2,65
	Alto [m]	3,35
<b>Motor</b>	Marca	Vv
	Modelo	D9A
	Tipo de Inyección	IB
	Pot. Máxima [CV]	340 (1900 rpm)
	Par Motor [Nm]	1600 (1200 rpm)
	Cilindrada [cm3]	9400
	Nº Cilindros	6
	Posición Cilindros	Linea
	Nº Válv. X Cilindro	4
	Turbo	SI
	Intercooler	SI
	Norma Emisión	E3
	Sist. Post-Trat. Gases	NO
<b>Caja de cambios</b>	Marca	ZF
	Modelo	6HP602 CN
	Tipo	Aut. C/retar.
	Nº Marchas	6
<b>Capac. de Pasajeros</b>	Nº Asientos	35
	Pasajeros Total	160
<b>Capacidad de Lubricantes</b>	Motor [lts]	34
	Caja [lts]	20
	Dirección [lts]	
	Diferencial [lts]	
<b>Neumáticos - llantas</b>	Dimen. Eje Delantero	295/80R22,5
	Dimen. Eje Trasero	295/80R22,5
	Llantas Eje Delantero*	9,0X22,5
	Llantas Eje Trasero*	9,0X22,5
<b>Sistema de frenos</b>	Accionamiento	Sistema EBS
	Delantero	Disco
	Trasero	Disco
	Area de frenado (cm2)	
<b>Sistema eléctrico</b>	Nº Baterías	2
	Tensión	24V
	Alternad.	80A
	Bater.(Ah)	170
<b>Combustible</b>	Tipo HC	D
	Capacidad de est. [lts]	320
	Consumo específico	



FICHA TECNICA BUS	T2_ZN6605_B2.2	
<b>Identificación</b>	Test	2
	Operador	SUBUS S.A.
	Patente	ZN-6605
	Tipo Bus	B2
<b>Chasis</b>	Dirección	HI
	Marca	Vv
	Modelo	B7RLE
<b>Carrocería</b>	Carrocería	CAIO
	Modelo	Mondego
	Año	2005
<b>Proveedor</b>	Representante Chile	Brasil Buses
	Origen	Brasil
<b>Dimensiones</b>	P.Bruto [Kg]	8000
	P.Vacio (kg)	
	P.Chasis [Kg]	5475
	Largo [m]	12,12
	Ancho [m]	2,52
	Alto [m]	3,2
<b>Motor</b>	Marca	Vv
	Modelo	D7C 275 EC99
	Tipo de Inyección	BIE
	Pot. Máxima [CV]	260 (2200 rpm)
	Par Motor [Nm]	1100 (1300 rpm)
	Cilindrada [cm3]	7000
	Nº Cilindros	6
	Posición Cilindros	Linea
	Nº Válv. X Cilindro	2
	Turbo	SI
	Intercooler	SI
	Norma Emisión	E3
	Sist. Post-Trat. Gases	DPF
<b>Caja de cambios</b>	Marca	ZF
	Modelo	5HP500
	Tipo	Aut. C/retar.
	Nº Marchas	5D
<b>Capac. de Pasajeros</b>	Nº Asientos	25
	Pasajeros Total	91
<b>Capacidad de Lubricantes</b>	Motor [lts]	24
	Caja [lts]	19-22
	Dirección [lts]	6
	Diferencial [lts]	20
<b>Neumáticos - llantas</b>	Dimen. Eje Delantero	295/80R22,5
	Dimen. Eje Trasero	295/80R22,5
	Llantas Eje Delantero*	9,0X22,5
	Llantas Eje Trasero*	9,0X22,5
<b>Sistema de frenos</b>	Accionamiento	Aire comprimido de 3 circuitos
	Delantero	Disco
	Trasero	Disco
	Area de frenado (cm2)	6860
<b>Sistema eléctrico</b>	Nº Baterías	2
	Tensión	24V
	Alternad.	1 - 80A
	Bater.(Ah)	135
<b>Combustible</b>	Tipo HC	D
	Capacidad de est. [lts]	280
	Consumo específico	



FICHA TECNICA BUS		T2_ZN6267_B2.2	
<b>Identificación</b>	Test	3	
	Operador	SUBUS S.A.	
	Patente	ZN-6267	
<b>Chasis</b>	Tipo Bus	B2	
	Dirección	HI	
	Marca	Vv	
	Modelo	B7RLE	
<b>Carroceria</b>	Carroceria	CAIO	
	Modelo	Mondego	
	Año	2006	
<b>Proveedor</b>	Representante Chile	Brasil Buses	
	Origen	Brasil	
<b>Dimensiones</b>	P.Bruto [Kg]	8000	
	P.Vacio (kg)		
	P.Chasis [Kg]	5475	
	Largo [m]	12,12	
	Ancho [m]	2,52	
<b>Motor</b>	Alto [m]	3,2	
	Marca	Vv	
	Modelo	D7C 275 EC99	
	Tipo de Inyección	BIE	
	Pot. Máxima [CV]	260 (2200 rpm)	
	Par Motor [Nm]	1100 (1300 rpm)	
	Cilindrada [cm3]	7000	
	Nº Cilindros	6	
	Posición Cilindros	Linea	
	Nº Válv. X Cilindro	2	
	Turbo	SI	
	Intercooler	SI	
	Norma Emisión	E3	
	Sist. Post-Trat. Gases	NO	
	<b>Caja de cambios</b>	Marca	ZF
		Modelo	5HP500
		Tipo	Aut. C/retar.
Nº Marchas		5D	
<b>Capac. de Pasajeros</b>	Nº Asientos	25	
	Pasajeros Total	91	
<b>Capacidad de Lubricantes</b>	Motor [lts]	24	
	Caja [lts]	19-22	
	Dirección [lts]	6	
	Diferencial [lts]	20	
<b>Neumáticos - llantas</b>	Dimen. Eje Delantero	295/80R22,5	
	Dimen. Eje Trasero	295/80R22,5	
	Llantas Eje Delantero*	9,0X22,5	
	Llantas Eje Trasero*	9,0X22,5	
<b>Sistema de frenos</b>	Accionamiento	Aire comprimido de 3 circuitos	
	Delantero	Disco	
	Trasero	Disco	
	Area de frenado (cm2)	6860	
<b>Sistema eléctrico</b>	Nº Baterías	2	
	Tensión	24V	
	Alternad.	1 - 80A	
	Bater.(Ah)	135	
<b>Combustible</b>	Tipo HC	D	
	Capacidad de est. [lts]	280	
	Consumo específico		



FICHA TECNICA BUS		T4_ZN5161_B2.1	
<b>Identificación</b>	Test	4	
	Operador	Express Stgo.uno S.A.	
	Patente	ZN-5161	
<b>Chasis</b>	Tipo Bus	B2	
	Dirección	HI	
	Marca	Vv	
	Modelo	B7RLE	
<b>Carroceria</b>	Carroceria	Marcopolo	
	Modelo	Gran Viale - Rigido	
	Año	2005	
<b>Proveedor</b>	Representante Chile	Epysa	
	Origen	Brasil	
<b>Dimensiones</b>	P.Bruto [Kg]	8000	
	P.Vacio (kg)		
	P.Chasis [Kg]	5475	
	Largo [m]	12,12	
	Ancho [m]	2,52	
<b>Motor</b>	Alto [m]	3,2	
	Marca	Vv	
	Modelo	D7C 275 EC99	
	Tipo de Inyección	BIE	
	Pot. Máxima [CV]	260 (2200 rpm)	
	Par Motor [Nm]	1100 (1300 rpm)	
	Cilindrada [cm3]	7000	
	Nº Cilindros	6	
	Posición Cilindros	Linea	
	Nº Válv. X Cilindro	2	
	Turbo	SI	
	Intercooler	SI	
	Norma Emisión	E3	
	Sist. Post-Trat. Gases	NO	
	<b>Caja de cambios</b>	Marca	ZF
		Modelo	5HP500
		Tipo	Aut. C/retar.
Nº Marchas		5D	
<b>Capac. de Pasajeros</b>	Nº Asientos	25	
	Pasajeros Total	91	
<b>Capacidad de Lubricantes</b>	Motor [lts]	24	
	Caja [lts]	19-22	
	Dirección [lts]	6	
	Diferencial [lts]	20	
<b>Neumáticos - llantas</b>	Dimen. Eje Delantero	295/80R22,5	
	Dimen. Eje Trasero	295/80R22,5	
	Llantas Eje Delantero*	9,0X22,5	
	Llantas Eje Trasero*	9,0X22,5	
<b>Sistema de frenos</b>	Accionamiento	Aire comprimido de 3 circuitos	
	Delantero	Disco	
	Trasero	Disco	
	Area de frenado (cm2)	6860	
<b>Sistema eléctrico</b>	Nº Baterías	2	
	Tensión	24V	
	Alternad.	1 - 80A	
	Bater.(Ah)	135	
<b>Combustible</b>	Tipo HC	D	
	Capacidad de est. [lts]	280	
	Consumo específico		



FICHA TECNICA BUS		T4_ZN3238_B2.1	
<b>Identificación</b>	Test	5	
	Operador	Express Stgo.uno S.A.	
	Patente	ZN-3238	
<b>Chasis</b>	Tipo Bus	B2	
	Dirección	HI	
	Marca	Vv	
	Modelo	B7RLE	
<b>Carroceria</b>	Carroceria	Marcopolo	
	Modelo	Gran Viale - Rigido	
	Año	2005	
<b>Proveedor</b>	Representante Chile	Epysa	
	Origen	Brasil	
<b>Dimensiones</b>	P.Bruto [Kg]	8000	
	P.Vacio (kg)		
	P.Chasis [Kg]	5475	
	Largo [m]	12,12	
	Ancho [m]	2,52	
<b>Motor</b>	Alto [m]	3,2	
	Marca	Vv	
	Modelo	D7C 275 EC99	
	Tipo de Inyección	BIE	
	Pot. Máxima [CV]	260 (2200 rpm)	
	Par Motor [Nm]	1100 (1300 rpm)	
	Cilindrada [cm3]	7000	
	Nº Cilindros	6	
	Posición Cilindros	Linea	
	Nº Válv. X Cilindro	2	
	Turbo	SI	
	Intercooler	SI	
	Norma Emisión	E3	
	Sist. Post-Trat. Gases	NO	
	<b>Caja de cambios</b>	Marca	ZF
		Modelo	5HP500
		Tipo	Aut. C/retar.
<b>Capac. de Pasajeros</b>	Nº Marchas	5D	
	Nº Asientos	25	
	Pasajeros Total	91	
<b>Capacidad de Lubricantes</b>	Motor [lts]	24	
	Caja [lts]	19-22	
	Dirección [lts]	6	
	Diferencial [lts]	20	
<b>Neumáticos - llantas</b>	Dimen. Eje Delantero	295/80R22,5	
	Dimen. Eje Trasero	295/80R22,5	
	Llantas Eje Delantero*	9,0X22,5	
	Llantas Eje Trasero*	9,0X22,5	
<b>Sistema de frenos</b>	Accionamiento	Aire comprimido de 3 circuitos	
	Delantero	Disco	
	Trasero	Disco	
	Area de frenado (cm2)	6860	
<b>Sistema eléctrico</b>	Nº Baterías	2	
	Tensión	24V	
	Alternad.	1 - 80A	
	Bater.(Ah)	135	
<b>Combustible</b>	Tipo HC	D	
	Capacidad de est. [lts]	280	
	Consumo específico		



FICHA TECNICA BUS		T2_ZN5566_C2.1
<b>Identificación</b>	Test	6
	Operador	SUBUS S.A.
	Patente	ZN-5566
<b>Chasis</b>	Tipo Bus	C2
	Dirección	HI
	Marca	Vv
	Modelo	B9SALF
<b>Carrocería</b>	Carrocería	CAIO
	Modelo	Mondego - Articulado
	Año	2006
<b>Proveedor</b>	Representante Chile	Brasil Buses
	Origen	Brasil
<b>Dimensiones</b>	P.Bruto [Kg]	16180
	P.Vacio (kg)	
	P.Chasis [Kg]	
	Largo [m]	18,58
	Ancho [m]	2,65
<b>Motor</b>	Alto [m]	3,35
	Marca	Vv
	Modelo	D9A
	Tipo de Inyección	IB
	Pot. Máxima [CV]	340 (1900 rpm)
	Par Motor [Nm]	1600 ( 1200 rpm)
	Cilindrada [cm3]	9400
	Nº Cilindros	6
	Posición Cilindros	Linea
	Nº Válv. X Cilindro	4
	Turbo	SI
	Intercooler	SI
	Norma Emisión	E3
	Sist. Post-Trat. Gases	NO
	<b>Caja de cambios</b>	Marca
Modelo		6HP602 CN
Tipo		Aut. C/retar.
Nº Marchas		6
<b>Capac. de Pasajeros</b>	Nº Asientos	35
	Pasajeros Total	161
<b>Capacidad de Lubricantes</b>	Motor [lts]	34
	Caja [lts]	20
	Dirección [lts]	
<b>Neumáticos - llantas</b>	Diferencial [lts]	
	Dimen. Eje Delantero	295/80R22,5
	Dimen. Eje Trasero	295/80R22,5
	Llantas Eje Delantero*	9,0X22,5
	Llantas Eje Trasero*	9,0X22,5
<b>Sistema de frenos</b>	Accionamiento	Sistema EBS
	Delantero	Disco
	Trasero	Disco
	Area de frenado (cm2)	
<b>Sistema eléctrico</b>	Nº Baterías	2
	Tensión	24V
	Alternad.	80A
	Bater.(Ah)	170
<b>Combustible</b>	Tipo HC	D
	Capacidad de est. [lts]	320
	Consumo específico	



FICHA TECNICA BUS		T4_ZN4401_B2.1	
<b>Identificación</b>	Test	7	
	Operador	Express Stgo.uno S.A.	
	Patente	ZN-4401	
<b>Chasis</b>	Tipo Bus	B2	
	Dirección	HI	
	Marca	Vv	
	Modelo	B7RLE	
<b>Carroceria</b>	Carroceria	Marcopolo	
	Modelo	Gran Viale - Rigido	
	Año	2005	
<b>Proveedor</b>	Representante Chile	Epysa	
	Origen	Brasil	
<b>Dimensiones</b>	P.Bruto [Kg]	8000	
	P.Vacio (kg)		
	P.Chasis [Kg]	5475	
	Largo [m]	12,12	
	Ancho [m]	2,52	
<b>Motor</b>	Alto [m]	3,2	
	Marca	Vv	
	Modelo	D7C 275 EC99	
	Tipo de Inyección	BIE	
	Pot. Máxima [CV]	260 (2200 rpm)	
	Par Motor [Nm]	1100 (1300 rpm)	
	Cilindrada [cm3]	7000	
	Nº Cilindros	6	
	Posición Cilindros	Linea	
	Nº Válv. X Cilindro	2	
	Turbo	SI	
	Intercooler	SI	
	Norma Emisión	E3	
	Sist. Post-Trat. Gases	NO	
	<b>Caja de cambios</b>	Marca	ZF
		Modelo	5HP500
		Tipo	Aut. C/retar.
Nº Marchas		5D	
<b>Capac. de Pasajeros</b>	Nº Asientos	25	
	Pasajeros Total	91	
<b>Capacidad de Lubricantes</b>	Motor [lts]	24	
	Caja [lts]	19-22	
	Dirección [lts]	6	
	Diferencial [lts]	20	
<b>Neumáticos - llantas</b>	Dimen. Eje Delantero	295/80R22,5	
	Dimen. Eje Trasero	295/80R22,5	
	Llantas Eje Delantero*	9,0X22,5	
	Llantas Eje Trasero*	9,0X22,5	
<b>Sistema de frenos</b>	Accionamiento	Aire comprimido de 3 circuitos	
	Delantero	Disco	
	Trasero	Disco	
	Area de frenado (cm2)	6860	
<b>Sistema eléctrico</b>	Nº Baterías	2	
	Tensión	24V	
	Alternad.	1 - 80A	
	Bater.(Ah)	135	
	Tipo HC	D	
<b>Combustible</b>	Capacidad de est. [lts]	280	
	Consumo específico		



FICHA TECNICA BUS		T4_ZN4402_B2.1	
<b>Identificación</b>	Test	8	
	Operador	Express Stgo.uno S.A.	
	Patente	ZN-4402	
<b>Chasis</b>	Tipo Bus	B2	
	Dirección	HI	
	Marca	Vv	
	Modelo	B7RLE	
<b>Carroceria</b>	Carroceria	Marcopolo	
	Modelo	Gran Viale - Rigido	
	Año	2005	
<b>Proveedor</b>	Representante Chile	Epysa	
	Origen	Brasil	
<b>Dimensiones</b>	P.Bruto [Kg]	8000	
	P.Vacio (kg)		
	P.Chasis [Kg]	5475	
	Largo [m]	12,12	
	Ancho [m]	2,52	
<b>Motor</b>	Alto [m]	3,2	
	Marca	Vv	
	Modelo	D7C 275 EC99	
	Tipo de Inyección	BIE	
	Pot. Máxima [CV]	260 (2200 rpm)	
	Par Motor [Nm]	1100 (1300 rpm)	
	Cilindrada [cm3]	7000	
	Nº Cilindros	6	
	Posición Cilindros	Linea	
	Nº Válv. X Cilindro	2	
	Turbo	SI	
	Intercooler	SI	
	Norma Emisión	E3	
	Sist. Post-Trat. Gases	NO	
	<b>Caja de cambios</b>	Marca	ZF
		Modelo	5HP500
		Tipo	Aut. C/retar.
Nº Marchas		5D	
<b>Capac. de Pasajeros</b>	Nº Asientos	25	
	Pasajeros Total	91	
<b>Capacidad de Lubricantes</b>	Motor [lts]	24	
	Caja [lts]	19-22	
	Dirección [lts]	6	
	Diferencial [lts]	20	
<b>Neumáticos - llantas</b>	Dimen. Eje Delantero	295/80R22,5	
	Dimen. Eje Trasero	295/80R22,5	
	Llantas Eje Delantero*	9,0X22,5	
	Llantas Eje Trasero*	9,0X22,5	
<b>Sistema de frenos</b>	Accionamiento	Aire comprimido de 3 circuitos	
	Delantero	Disco	
	Trasero	Disco	
	Area de frenado (cm2)	6860	
<b>Sistema eléctrico</b>	Nº Baterías	2	
	Tensión	24V	
	Alternad.	1 - 80A	
	Bater.(Ah)	135	
<b>Combustible</b>	Tipo HC	D	
	Capacidad de est. [lts]	280	
	Consumo específico		



FICHA TECNICA BUS		T4_ZN5561_C2.1
<b>Identificación</b>	Test	9
	Operador	Subus S.A
	Patente	ZN-5561
<b>Chasis</b>	Tipo Bus	C2
	Dirección	HI
	Marca	Vv
	Modelo	B9SALF
<b>Carroceria</b>	Carroceria	Caio
	Modelo	Mondego
	Año	2005
<b>Proveedor</b>	Representante Chile	Brasil Buses
	Origen	Brasil
<b>Dimensiones</b>	P.Bruto [Kg]	16180
	P.Vacio (kg)	
	P.Chasis [Kg]	
	Largo [m]	18,5
<b>Motor</b>	Ancho [m]	2,65
	Alto [m]	3,35
	Marca	Vv
	Modelo	D9A
	Tipo de Inyección	IB
	Pot. Máxima [CV]	340 (1900 rpm)
	Par Motor [Nm]	1600 (1200 rpm)
	Cilindrada [cm3]	9400
	Nº Cilindros	6
	Posición Cilindros	Linea
	Nº Válv. X Cilindro	4
	Turbo	SI
	Intercooler	SI
<b>Caja de cambios</b>	Norma Emisión	E3
	Sist. Post-Trat. Gases	NO
	Marca	ZF
<b>Capac. de Pasajeros</b>	Modelo	6HP602 CN
	Tipo	Aut. C/retar.
	Nº Marchas	6
	Nº Asientos	35
<b>Capacidad de Lubricantes</b>	Pasajeros Total	160
	Motor [lts]	34
	Caja [lts]	20
<b>Neumáticos - llantas</b>	Dirección [lts]	
	Diferencial [lts]	
	Dimen. Eje Delantero	295/80R22,5
	Dimen. Eje Trasero	295/80R22,5
	Llantas Eje Delantero*	9,0X22,5
	Llantas Eje Trasero*	9,0X22,5
	Accionamiento	Sistema EBS
<b>Sistema de frenos</b>	Delantero	Disco
	Trasero	Disco
	Area de frenado (cm2)	
<b>Sistema eléctrico</b>	Nº Baterías	2
	Tensión	24V
	Alternad.	80A
	Bater.(Ah)	170
<b>Combustible</b>	Tipo HC	D
	Capacidad de est. [lts]	320
	Consumo específico	



FICHA TECNICA BUS		T2_ZN5374_B2.2	
<b>Identificación</b>	Test	10	
	Operador	SUBUS S.A.	
	Patente	ZN-5374	
<b>Chasis</b>	Tipo Bus	B2	
	Dirección	HI	
	Marca	Vv	
	Modelo	B7RLE	
<b>Carrocería</b>	Carrocería	CAIO	
	Modelo	Mondego	
	Año	2005	
<b>Proveedor</b>	Representante Chile	Brasil Buses	
	Origen	Suecia	
<b>Dimensiones</b>	P.Bruto [Kg]	8000	
	P.Vacio (kg)		
	P.Chasis [Kg]	5475	
	Largo [m]	12,12	
	Ancho [m]	2,52	
<b>Motor</b>	Alto [m]	3,2	
	Marca	Vv	
	Modelo	D7C 275 EC99	
	Tipo de Inyección	BIE	
	Pot. Máxima [CV]	260 (2200 rpm)	
	Par Motor [Nm]	1100 (1300 rpm)	
	Cilindrada [cm3]	7000	
	Nº Cilindros	6	
	Posición Cilindros	Linea	
	Nº Válv. X Cilindro	2	
	Turbo	SI	
	Intercooler	SI	
	Norma Emisión	E3	
	Sist. Post-Trat. Gases	DPF	
	<b>Caja de cambios</b>	Marca	ZF
		Modelo	5HP500
		Tipo	AT/Ret
Nº Marchas		5D	
<b>Capac. de Pasajeros</b>	Nº Asientos	25	
	Pasajeros Total	91	
<b>Capacidad de Lubricantes</b>	Motor [lts]	24	
	Caja [lts]	19-22	
	Dirección [lts]	6	
	Diferencial [lts]	20	
<b>Neumáticos - llantas</b>	Dimen. Eje Delantero	295/80R22,5	
	Dimen. Eje Trasero	295/80R22,5	
	Llantas Eje Delantero*	9,0X22,5	
	Llantas Eje Trasero*	9,0X22,5	
<b>Sistema de frenos</b>	Accionamiento	Aire comprimido de 3 circuitos	
	Delantero	Disco	
	Trasero	Disco	
	Area de frenado (cm2)	6860	
<b>Sistema eléctrico</b>	Nº Baterías	2	
	Tensión	24V	
	Alternad.	1- 80A	
	Bater.(Ah)	135	
<b>Combustible</b>	Tipo HC	D	
	Capacidad de est. [lts]	280	
	Consumo específico		



FICHA TECNICA BUS		T2_ZN6259_B2.2
<b>Identificación</b>	Test	11
	Operador	SUBUS S.A.
	Patente	ZN-6259
	Tipo Bus	B2
<b>Chasis</b>	Dirección	HI
	Marca	Vv
	Modelo	B7RLE
<b>Carrocería</b>	Carrocería	CAIO
	Modelo	Mondego
	Año	2005
<b>Proveedor</b>	Representante Chile	Brasil Buses
	Origen	Brasil
<b>Dimensiones</b>	P.Bruto [Kg]	8000
	P.Vacio (kg)	
	P.Chasis [Kg]	5475
	Largo [m]	12,12
	Ancho [m]	2,52
	Alto [m]	3,2
<b>Motor</b>	Marca	Vv
	Modelo	D7C 275 EC99
	Tipo de Inyección	BIE
	Pot. Máxima [CV]	260 (2200 rpm)
	Par Motor [Nm]	1100 (1300 rpm)
	Cilindrada [cm3]	7000
	Nº Cilindros	6
	Posición Cilindros	Linea
	Nº Válv. X Cilindro	2
	Turbo	SI
	Intercooler	SI
	Norma Emisión	E3
	Sist. Post-Trat. Gases	DPF
<b>Caja de cambios</b>	Marca	ZF
	Modelo	5HP500
	Tipo	Aut. C/retar.
	Nº Marchas	5D
<b>Capac. de Pasajeros</b>	Nº Asientos	25
	Pasajeros Total	91
<b>Capacidad de Lubricantes</b>	Motor [lts]	24
	Caja [lts]	19-22
	Dirección [lts]	6
	Diferencial [lts]	20
<b>Neumáticos - llantas</b>	Dimen. Eje Delantero	295/80R22,5
	Dimen. Eje Trasero	295/80R22,5
	Llantas Eje Delantero*	9,0X22,5
	Llantas Eje Trasero*	9,0X22,5
<b>Sistema de frenos</b>	Accionamiento	Aire comprimido de 3 circuitos
	Delantero	Disco
	Trasero	Disco
	Area de frenado (cm2)	6860
<b>Sistema eléctrico</b>	Nº Baterías	2
	Tensión	24V
	Alternad.	1 - 80A
	Bater.(Ah)	135
<b>Combustible</b>	Tipo HC	D
	Capacidad de est. [lts]	280
	Consumo específico	



FICHA TECNICA BUS		T4_WA-8534_C2.1
<i>Identificación</i>	Test	12
	Operador	Express Stgo.uno S.A.
	Patente	WA-8534
	Tipo Bus	C2
<i>Chasis</i>	Dirección	HI
	Marca	Vv
	Modelo	B9SALF
<i>Carrocería</i>	Carrocería	Busscar
	Modelo	Urbanuss Plus
	Año	2005
<i>Proveedor</i>	Representante Chile	Vivipra
	Origen	Brasil
<i>Dimensiones</i>	P.Bruto [Kg]	16180
	P.Vacio (kg)	
	P.Chasis [Kg]	
	Largo [m]	18,5
	Ancho [m]	2,65
	Alto [m]	3,35
<i>Motor</i>	Marca	Vv
	Modelo	D9A
	Tipo de Inyección	IB
	Pot. Máxima [CV]	340 (1900 rpm)
	Par Motor [Nm]	1600 (1200 rpm)
	Cilindrada [cm3]	9400
	Nº Cilindros	6
	Posición Cilindros	Linea
	Nº Válv. X Cilindro	4
	Turbo	SI
	Intercooler	SI
	Norma Emisión	E3
	Sist. Post-Trat. Gases	NO
<i>Caja de cambios</i>	Marca	ZF
	Modelo	6HP602 CN
	Tipo	Aut. C/retar.
	Nº Marchas	6
<i>Capac. de Pasajeros</i>	Nº Asientos	35
	Pasajeros Total	160
<i>Capacidad de Lubricantes</i>	Motor [lts]	34
	Caja [lts]	20
	Dirección [lts]	
	Diferencial [lts]	
<i>Neumáticos - llantas</i>	Dimen. Eje Delantero	295/80R22,5
	Dimen. Eje Trasero	295/80R22,5
	Llantas Eje Delantero*	9,0X22,5
	Llantas Eje Trasero*	9,0X22,5
<i>Sistema de frenos</i>	Accionamiento	Sistema EBS
	Delantero	Disco
	Trasero	Disco
	Area de frenado (cm2)	
<i>Sistema eléctrico</i>	Nº Baterías	2
	Tensión	24V
	Alternad.	80A
	Bater.(Ah)	170
<i>Combustible</i>	Tipo HC	D
	Capacidad de est. [lts]	320
	Consumo específico	

FICHA TECNICA BUS		A1_LG-3259_M.1.1	
<i>Identificación</i>	<i>Test</i>	13	
	<i>Operador</i>	Buses Metropolitana	
	<i>Patente</i>	LG-3259	
	<i>Tipo Bus</i>	M	
<i>Chasis</i>	<i>Dirección</i>	HI	
	<i>Marca</i>	MBz	
	<i>Modelo</i>	OF-1318/51	
<i>Carrocería</i>	<i>Carrocería</i>	Inrekar	
	<i>Modelo</i>		
<i>Proveedor</i>	<i>Año</i>	1995	
	<i>Representante Chile</i>		
<i>Dimensiones</i>	<i>Origen</i>		
	<i>P.Bruto [Kg]</i>	13500	
	<i>P.Vacio (kg)</i>	9340	
	<i>P.Chasis [Kg]</i>		
	<i>Largo [m]</i>	10,8	
	<i>Ancho [m]</i>	2,5	
<i>Motor</i>	<i>Alto [m]</i>	2,7	
	<i>Marca</i>	MBz	
	<i>Modelo</i>	OM366 LA	
	<i>Tipo de Inyección</i>	Bomba en línea (B)	
	<i>Pot. Máxima [CV]</i>	180 (2600 rpm)	
	<i>Par Motor [Nm]</i>	675 (1200-1500 rpm)	
	<i>Cilindrada [cm3]</i>	4249	
	<i>Nº Cilindros</i>	4	
	<i>Posición Cilindros</i>	Linea	
	<i>Nº Válv. X Cilindro</i>	2	
	<i>Turbo</i>	SI	
	<i>Intercooler</i>	SI	
	<i>Norma Emisión</i>	E1	
	<i>Sist. Post-Trat. Gases</i>	NO	
<i>Caja de cambios</i>	<i>Marca</i>	MB	
	<i>Modelo</i>	G 60-6/9.20	
	<i>Tipo</i>	Mec	
	<i>Nº Marchas</i>	5	
<i>Capac. de Pasajeros</i>	<i>Nº Asientos</i>	40	
	<i>Pasajeros Total</i>	75	
<i>Capacidad de Lubricantes</i>	<i>Motor [lts]</i>	19	
	<i>Caja [lts]</i>	5	
	<i>Dirección [lts]</i>	2	
	<i>Diferencial [lts]</i>	6	
<i>Neumáticos - llantas</i>	<i>Dimen. Eje Delantero</i>	10.00R22.5	
	<i>Dimen. Eje Trasero</i>	10.00R22.5	
	<i>Llantas Eje Delantero*</i>	7,50x22,5	
	<i>Llantas Eje Trasero*</i>	7,50x22,5	
<i>Sistema de frenos</i>	<i>Accionamiento</i>	Aire comprimido de 2 circuitos	
	<i>Delantero</i>	Tambor	
	<i>Trasero</i>	Tambor	
	<i>Area de frenado (cm2)</i>	5437	
<i>Sistema eléctrico</i>	<i>Nº Baterías</i>	2	
	<i>Tensión</i>	24V	
	<i>Alternad.</i>	1	
	<i>Bater.(Ah)</i>	130	
<i>Combustible</i>	<i>Tipo HC</i>	D	
	<i>Capacidad de est. [lts]</i>	200	
	<i>Consumo específico</i>		

FICHA TECNICA BUS		A1_RV-7986_M.2.2	
<i>Identificación</i>	Test	14	
	Operador	Comer.Nvo.Milenium	
	Patente	RV-7986	
	Tipo Bus	M	
<i>Chasis</i>	Dirección	HI	
	Marca	MBz	
	Modelo	OH -1420/51	
<i>Carrocería</i>	Carrocería	Ciferal	
	Modelo	GLS BUS	
	Año	2002	
<i>Proveedor</i>	Representante Chile	Brasil Buses	
	Origen	Brasil	
<i>Dimensiones</i>	P.Bruto [Kg]	13950	
	P.Vacio (kg)		
	P.Chasis [Kg]	4770	
	Largo [m]	11,6	
	Ancho [m]	2,5	
	Alto [m]	2,7	
<i>Motor</i>	Marca	MBz	
	Modelo	OM366 LA	
	Tipo de Inyección	P3000 (Bosch)	
	Pot. Máxima [CV]	211 (2600 rpm)	
	Par Motor [Nm]	660 (1400 rpm)	
	Cilindrada [cm3]	5958	
	Nº Cilindros	6	
	Posición Cilindros	Linea	
	Nº Válv. X Cilindro	2	
	Turbo	SI	
	Intercooler	SI	
	Norma Emisión	E2	
	Sist. Post-Trat. Gases	NO	
<i>Caja de cambios</i>	Marca	ZF	
	Modelo	S 5-680/7 4,3	
	Tipo	Mec	
	Nº Marchas	5	
<i>Capac. de Pasajeros</i>	Nº Asientos	44	
	Pasajeros Total	75	
<i>Capacidad de Lubricantes</i>	Motor [lts]	15	
	Caja [lts]	8	
	Dirección [lts]	3,5	
	Diferencial [lts]	10	
<i>Neumáticos - llantas</i>	Dimen. Eje Delantero	275/80R22,5	
	Dimen. Eje Trasero	275/80R22,5	
	Llantas Eje Delantero*	7,50x22,5	
	Llantas Eje Trasero*	7,50x22,5	
<i>Sistema de frenos</i>	Accionamiento	Aire comprimido de 2 circuitos	
	Delantero	Tambor	
	Trasero	Tambor	
	Area de frenado (cm2)	5437	
<i>Sistema eléctrico</i>	Nº Baterías	2	
	Tensión	24V	
	Alternad.	1-75A	
	Bater.(Ah)	135	
<i>Combustible</i>	Tipo HC	D	
	Capacidad de est. [lts]	210	
	Consumo específico	197 g/kWh ( 1950 rpm )	

FICHA TECNICA BUS		A1_TE3776_M.2.2
<b>Identificación</b>	Test	15
	Operador	Red Bus S.A.
	Patente	TE-3776
	Tipo Bus	M
<b>Chasis</b>	Dirección	HL
	Marca	MBz
	Modelo	OH -1420/51
<b>Carrocería</b>	Carrocería	Marcopolo
	Modelo	Torino GV
	Año	1999
<b>Proveedor</b>	Representante Chile	Epysa
	Origen	Brasil
<b>Dimensiones</b>	P.Bruto [Kg]	13950
	P.Vacio (kg)	9510
	P.Chasis [Kg]	4770
	Largo [m]	11,6
	Ancho [m]	2,5
	Alto [m]	2,7
<b>Motor</b>	Marca	MBz
	Modelo	OM366 LA
	Tipo de Inyección	P3000 (Bosch)
	Pot. Máxima [CV]	211 (2600 rpm)
	Par Motor [Nm]	660 (1400 rpm)
	Cilindrada [cm3]	5958
	Nº Cilindros	6
	Posición Cilindros	Linea
	Nº Válv. X Cilindro	2
	Turbo	SI
	Intercooler	SI
	Norma Emisión	E2
Sist. Post-Trat. Gases	DPF	
<b>Caja de cambios</b>	Marca	ZF
	Modelo	4 HP 500 c/ret
	Tipo	AT
	Nº Marchas	4
<b>Capac. de Pasajeros</b>	Nº Asientos	40
	Pasajeros Total	77
<b>Capacidad de Lubricantes</b>	Motor [lts]	15
	Caja [lts]	8
	Dirección [lts]	3,5
	Diferencial [lts]	10
<b>Neumáticos - llantas</b>	Dimen. Eje Delantero	275/80R22,5
	Dimen. Eje Trasero	275/80R22,5
	Llantas Eje Delantero*	7,50x22,5
	Llantas Eje Trasero*	7,50x22,5
<b>Sistema de frenos</b>	Accionamiento	Aire comprimido de 2 circuitos
	Delantero	Tambor
	Trasero	Tambor
	Area de frenado (cm2)	5437
<b>Sistema eléctrico</b>	Nº Baterías	2
	Tensión	24V
	Alternad.	1-75A
	Bater.(Ah)	135
<b>Combustible</b>	Tipo HC	D
	Capacidad de est. [lts]	210
	Consumo específico	197 g/kWh ( 1950 rpm )



FICHA TECNICA BUS		A1_RV-7985_M.2.2	
<b>Identificación</b>	Test	16	
	Operador	Comer.Nvo.Milenium	
	Patente	RV-7985	
	Tipo Bus	M	
<b>Chasis</b>	Dirección	Hl	
	Marca	MBz	
	Modelo	OH -1420/51	
<b>Carrocería</b>	Carrocería	Ciferal	
	Modelo	GLS BUS	
	Año	2002	
<b>Proveedor</b>	Representante Chile	Brasil Buses	
	Origen	Brasil	
<b>Dimensiones</b>	P.Bruto [Kg]	13950	
	P.Vacio (kg)		
	P.Chasis [Kg]	4770	
	Largo [m]	11,6	
	Ancho [m]	2,5	
	Alto [m]	2,7	
<b>Motor</b>	Marca	MBz	
	Modelo	OM366 LA	
	Tipo de Inyección	P3000 (Bosch)	
	Pot. Máxima [CV]	211 (2600 rpm)	
	Par Motor [Nm]	660 (1400 rpm)	
	Cilindrada [cm3]	5958	
	Nº Cilindros	6	
	Posición Cilindros	Linea	
	Nº Válv. X Cilindro	2	
	Turbo	SI	
	Intercooler	SI	
	Norma Emisión	E2	
	Sist. Post-Trat. Gases	NO	
<b>Caja de cambios</b>	Marca	ZF	
	Modelo	S 5-680/7 4,3	
	Tipo	Mec	
	Nº Marchas	5	
<b>Capac. de Pasajeros</b>	Nº Asientos	44	
	Pasajeros Total	75	
<b>Capacidad de Lubricantes</b>	Motor [lts]	15	
	Caja [lts]	8	
	Dirección [lts]	3,5	
	Diferencial [lts]	10	
<b>Neumáticos - llantas</b>	Dimen. Eje Delantero	275/80R22,5	
	Dimen. Eje Trasero	275/80R22,5	
	Llantas Eje Delantero*	7,50x22,5	
	Llantas Eje Trasero*	7,50x22,5	
<b>Sistema de frenos</b>	Accionamiento	Aire comprimido de 2 circuitos	
	Delantero	Tambor	
	Trasero	Tambor	
	Area de frenado (cm2)	5437	
<b>Sistema eléctrico</b>	Nº Baterías	2	
	Tensión	24V	
	Alternad.	1-75A	
	Bater.(Ah)	135	
<b>Combustible</b>	Tipo HC	D	
	Capacidad de est. [lts]	210	
	Consumo específico	197 g/kWh ( 1950 rpm )	

FICHA TECNICA BUS		A6_XV1942_M.3.1
<b>Identificación</b>	Test	17
	Operador	Comer.Nvo.Milenium
	Patente	XV-1942
	Tipo Bus	M
<b>Chasis</b>	Dirección	HI
	Marca	MBz
	Modelo	OH -1418/52
<b>Carroceria</b>	Carroceria	CAIO
	Modelo	Apache S21
	Año	2004
<b>Proveedor</b>	Representante Chile	Brasil Buses
	Origen	Brasil
<b>Dimensiones</b>	P.Bruto [Kg]	15000
	P.Vacio (kg)	
	P.Chasis [Kg]	4778
	Largo [m]	10,7
	Ancho [m]	2,5
	Alto [m]	2,7
<b>Motor</b>	Marca	MBz
	Modelo	OM 904 LA
	Tipo de Inyección	
	Pot. Máxima [CV]	177 (2200 rpm)
	Par Motor [Nm]	675 (1200-1500 rpm)
	Cilindrada [cm3]	4249
	Nº Cilindros	4
	Posición Cilindros	Linea
	Nº Válv. X Cilindro	2
	Turbo	SI
	Intercooler	SI
	Norma Emisión	E3
	Sist. Post-Trat. Gases	NO
<b>Caja de cambios</b>	Marca	MB
	Modelo	G 60-6/9.20
	Tipo	Mec
	Nº Marchas	6
<b>Capac. de Pasajeros</b>	Nº Asientos	39
	Pasajeros Total	76
<b>Capacidad de Lubricantes</b>	Motor [lts]	20
	Caja [lts]	7
	Dirección [lts]	2,5
	Diferencial [lts]	3
<b>Neumáticos - llantas</b>	Dimen. Eje Delantero	275/80R22.5
	Dimen. Eje Trasero	275/80R22.5
	Llantas Eje Delantero*	7,50x22,5
	Llantas Eje Trasero*	7,50x22,5
<b>Sistema de frenos</b>	Accionamiento	Aire comprimido de 2 circuitos
	Delantero	Tambor
	Trasero	Tambor
	Area de frenado (cm2)	4541
<b>Sistema eléctrico</b>	Nº Baterías	2
	Tensión	24V
	Alternad.	80
	Bater.(Ah)	135
<b>Combustible</b>	Tipo HC	D
	Capacidad de est. [lts]	300
	Consumo específico	210 g/Kwh (1300-1500 rpm)



FICHA TECNICA BUS		A6_YE9703_M.3.1
<b>Identificación</b>	Test	18
	Operador	Comer.Nvo.Milenium
	Patente	YE-9703
	Tipo Bus	M
<b>Chasis</b>	Dirección	HI
	Marca	MBz
	Modelo	OH -1115 L/46
<b>Carroceria</b>	Carroceria	Metalpar
	Modelo	Tronador
	Año	2005
<b>Proveedor</b>	Representante Chile	METALPAR
	Origen	Argentina
<b>Dimensiones</b>	P.Bruto [Kg]	12200
	P.Vacio (kg)	8180
	P.Chasis [Kg]	
	Largo [m]	9,8
	Ancho [m]	2,56
	Alto [m]	3,01
<b>Motor</b>	Marca	MBz
	Modelo	OM 904 LA
	Tipo de Inyección	
	Pot. Máxima [CV]	150 (2200 rpm)
	Par Motor [Nm]	580 (15200-1600 rpm)
	Cilindrada [cm3]	
	Nº Cilindros	4
	Posición Cilindros	Linea
	Nº Válv. X Cilindro	
	Turbo	SI
	Intercooler	SI
	Norma Emisión	E3
	Sist. Post-Trat. Gases	NO
<b>Caja de cambios</b>	Marca	Allison
	Modelo	Serie 2000
	Tipo	AT
	Nº Marchas	
<b>Capac. de Pasajeros</b>	Nº Asientos	33
	Pasajeros Total	62
<b>Capacidad de Lubricantes</b>	Motor [lts]	
	Caja [lts]	
	Dirección [lts]	
	Diferencial [lts]	
<b>Neumáticos - llantas</b>	Dimen. Eje Delantero	255/70R22.5
	Dimen. Eje Trasero	255/70R22.5
	Llantas Eje Delantero*	7,50x22,5
	Llantas Eje Trasero*	7,50x22,5
<b>Sistema de frenos</b>	Accionamiento	
	Delantero	Disco
	Trasero	Tambor
	Area de frenado (cm2)	
<b>Sistema eléctrico</b>	Nº Baterías	2
	Tensión	24V
	Alternad.	
	Bater.(Ah)	
<b>Combustible</b>	Tipo HC	D
	Capacidad de est. [lts]	150
	Consumo específico	



FICHA TECNICA BUS		T2_ZN6262_B2.2
<b>Identificación</b>	Test	19
	Operador	SUBUS S.A.
	Patente	ZN-6267
	Tipo Bus	B2
<b>Chasis</b>	Dirección	HI
	Marca	Vv
	Modelo	B7RLE
<b>Carrocería</b>	Carrocería	CAIO
	Modelo	Mondego
	Año	2006
<b>Proveedor</b>	Representante Chile	Brasil Buses
	Origen	Brasil
<b>Dimensiones</b>	P.Bruto [Kg]	8000
	P.Vacio (kg)	
	P.Chasis [Kg]	5475
	Largo [m]	12,12
	Ancho [m]	2,52
	Alto [m]	3,2
<b>Motor</b>	Marca	Vv
	Modelo	D7C 275 EC99
	Tipo de Inyección	BIE
	Pot. Máxima [CV]	260 (2200 rpm)
	Par Motor [Nm]	1100 (1300 rpm)
	Cilindrada [cm3]	7000
	Nº Cilindros	6
	Posición Cilindros	Linea
	Nº Válv. X Cilindro	2
	Turbo	SI
	Intercooler	SI
	Norma Emisión	E3
	Sist. Post-Trat. Gases	NO
<b>Caja de cambios</b>	Marca	ZF
	Modelo	5HP500
	Tipo	Aut. C/retar.
	Nº Marchas	5D
<b>Capac. de Pasajeros</b>	Nº Asientos	25
	Pasajeros Total	91
<b>Capacidad de Lubricantes</b>	Motor [lts]	24
	Caja [lts]	19-22
	Dirección [lts]	6
	Diferencial [lts]	20
<b>Neumáticos - llantas</b>	Dimen. Eje Delantero	295/80R22,5
	Dimen. Eje Trasero	295/80R22,5
	Llantas Eje Delantero*	9,0X22,5
	Llantas Eje Trasero*	9,0X22,5
<b>Sistema de frenos</b>	Accionamiento	Aire comprimido de 3 circuitos
	Delantero	Disco
	Trasero	Disco
	Area de frenado (cm2)	6860
<b>Sistema eléctrico</b>	Nº Baterías	2
	Tensión	24V
	Alternad.	1 - 80A
	Bater.(Ah)	135
<b>Combustible</b>	Tipo HC	D
	Capacidad de est. [lts]	280
	Consumo específico	



FICHA TECNICA BUS	A1_NY-4070_M.2.2	
<i>Identificación</i>	Test	20
	Operador	Comer.Nvo.Milenium
	Patente	NY-4070
	Tipo Bus	M
<i>Chasis</i>	Dirección	HI
	Marca	MBz
	Modelo	OH -1420/51
<i>Carroceria</i>	Carroceria	
	Modelo	
<i>Proveedor</i>	Año	2002
	Representante Chile	
<i>Dimensiones</i>	Origen	Brasil
	P.Bruto [Kg]	13950
	P.Vacio (kg)	
	P.Chasis [Kg]	4770
	Largo [m]	11,6
	Ancho [m]	2,5
	Alto [m]	2,7
<i>Motor</i>	Marca	MBz
	Modelo	OM366 LA
	Tipo de Inyección	P3000 (Bosch)
	Pot. Máxima [CV]	211 (2600 rpm)
	Par Motor [Nm]	660 (1400 rpm)
	Cilindrada [cm3]	5958
	Nº Cilindros	6
	Posición Cilindros	Linea
	Nº Válv. X Cilindro	2
	Turbo	SI
	Intercooler	SI
	Norma Emisión	E2
	Sist. Post-Trat. Gases	NO
<i>Caja de cambios</i>	Marca	ZF
	Modelo	S 5-680/7 4,3
	Tipo	Mec
	Nº Marchas	5
<i>Capac. de Pasajeros</i>	Nº Asientos	44
	Pasajeros Total	75
<i>Capacidad de Lubricantes</i>	Motor [lts]	15
	Caja [lts]	8
	Dirección [lts]	3,5
	Diferencial [lts]	10
<i>Neumáticos - llantas</i>	Dimen. Eje Delantero	275/80R22,5
	Dimen. Eje Trasero	275/80R22,5
	Llantas Eje Delantero*	7,50x22,5
	Llantas Eje Trasero*	7,50x22,5
<i>Sistema de frenos</i>	Accionamiento	Aire comprimido de 2 circuitos
	Delantero	Tambor
	Trasero	Tambor
	Area de frenado (cm2)	5437
<i>Sistema eléctrico</i>	Nº Baterías	2
	Tensión	24V
	Alternad.	1-75A
	Bater.(Ah)	135
<i>Combustible</i>	Tipo HC	D
	Capacidad de est. [lts]	210
	Consumo específico	197 g/kWh ( 1950 rpm )

FICHA TECNICA BUS		A1_TZ-7737_M.2.2	
<i>Identificación</i>	Test	21	
	Operador	Trans-Trece S.A.	
	Patente	TZ-7737	
	Tipo Bus	M	
<i>Chasis</i>	Dirección	HI	
	Marca	MBz	
	Modelo	OH -1420/51	
<i>Carroceria</i>	Carroceria		
	Modelo		
	Año	2002	
<i>Proveedor</i>	Representante Chile		
	Origen	Brasil	
<i>Dimensiones</i>	P.Bruto [Kg]	13950	
	P.Vacio (kg)		
	P.Chasis [Kg]	4770	
	Largo [m]	11,6	
	Ancho [m]	2,5	
	Alto [m]	2,7	
<i>Motor</i>	Marca	MBz	
	Modelo	OM366 LA	
	Tipo de Inyección	P3000 (Bosch)	
	Pot. Máxima [CV]	211 (2600 rpm)	
	Par Motor [Nm]	660 (1400 rpm)	
	Cilindrada [cm3]	5958	
	Nº Cilindros	6	
	Posición Cilindros	Linea	
	Nº Válv. X Cilindro	2	
	Turbo	SI	
	Intercooler	SI	
	Norma Emisión	E2	
	Sist. Post-Trat. Gases	DPF	
<i>Caja de cambios</i>	Marca	ZF	
	Modelo	S 5-680/7 4,3	
	Tipo	Mec	
	Nº Marchas	5	
<i>Capac. de Pasajeros</i>	Nº Asientos	43	
	Pasajeros Total	75	
<i>Capacidad de Lubricantes</i>	Motor [lts]	15	
	Caja [lts]	8	
	Dirección [lts]	3,5	
	Diferencial [lts]	10	
<i>Neumáticos - llantas</i>	Dimen. Eje Delantero	275/80R22,5	
	Dimen. Eje Trasero	275/80R22,5	
	Llantas Eje Delantero*	7,50x22,5	
	Llantas Eje Trasero*	7,50x22,5	
<i>Sistema de frenos</i>	Accionamiento	Aire comprimido de 2 circuitos	
	Delantero	Tambor	
	Trasero	Tambor	
	Area de frenado (cm2)	5437	
<i>Sistema eléctrico</i>	Nº Baterías	2	
	Tensión	24V	
	Alternad.	1-75A	
	Bater.(Ah)	135	
<i>Combustible</i>	Tipo HC	D	
	Capacidad de est. [lts]	210	
	Consumo específico	197 g/kWh ( 1950 rpm )	

FICHA TECNICA BUS		A1_RS-1009_M.2.2	
<i>Identificación</i>	Test	22	
	Operador	Trans-Trece S.A.	
	Patente	RS-1009	
	Tipo Bus	M	
<i>Chasis</i>	Dirección	HI	
	Marca	MBz	
	Modelo	OH-1420/51	
<i>Carrocería</i>	Carrocería	Ciferal	
	Modelo	GLS Bus	
	Año	1998	
<i>Proveedor</i>	Representante Chile		
	Origen	Brasil	
<i>Dimensiones</i>	P.Bruto [Kg]	13950	
	P.Vacio (kg)		
	P.Chasis [Kg]	4770	
	Largo [m]	11,6	
	Ancho [m]	2,5	
	Alto [m]	2,7	
<i>Motor</i>	Marca	MBz	
	Modelo	OM366 LA	
	Tipo de Inyección	P3000 (Bosch)	
	Pot. Máxima [CV]	211 (2600 rpm)	
	Par Motor [Nm]	660 (1400 rpm)	
	Cilindrada [cm3]	5958	
	Nº Cilindros	6	
	Posición Cilindros	Linea	
	Nº Válv. X Cilindro	2	
	Turbo	SI	
	Intercooler	SI	
	Norma Emisión	E2	
	Sist. Post-Trat. Gases	DPF	
<i>Caja de cambios</i>	Marca	ZF	
	Modelo	S 5-680/7 4,3	
	Tipo	Mec	
	Nº Marchas	5	
<i>Capac. de Pasajeros</i>	Nº Asientos	43	
	Pasajeros Total	75	
<i>Capacidad de Lubricantes</i>	Motor [lts]	15	
	Caja [lts]	8	
	Dirección [lts]	3,5	
	Diferencial [lts]	10	
<i>Neumáticos - llantas</i>	Dimen. Eje Delantero	275/80R22,5	
	Dimen. Eje Trasero	275/80R22,5	
	Llantas Eje Delantero*	7,50x22,5	
	Llantas Eje Trasero*	7,50x22,5	
<i>Sistema de frenos</i>	Accionamiento	Aire comprimido de 2 circuitos	
	Delantero	Tambor	
	Trasero	Tambor	
	Area de frenado (cm2)	5437	
<i>Sistema eléctrico</i>	Nº Baterías	2	
	Tensión	24V	
	Alternad.	1-75A	
	Bater.(Ah)	135	
<i>Combustible</i>	Tipo HC	D	
	Capacidad de est. [lts]	210	
	Consumo específico	197 g/kWh ( 1950 rpm )	

FICHA TECNICA BUS		A1_LY1419_M.1.1
<b>Identificación</b>	Test	23
	Operador	Red Bus S.A.
	Patente	LY-1419
	Tipo Bus	M
<b>Chasis</b>	Dirección	HI
	Marca	MBz
	Modelo	OF-1318/51
<b>Carrocería</b>	Carrocería	Santo Amaro
	Modelo	Transport II
	Año	1995
<b>Proveedor</b>	Representante Chile	Difor Chile
	Origen	Brasil
<b>Dimensiones</b>	P.Bruto [Kg]	13500
	P.Vacio (kg)	9340
	P.Chasis [Kg]	
	Largo [m]	11,6
	Ancho [m]	2,5
	Alto [m]	2,7
<b>Motor</b>	Marca	MBz
	Modelo	OM366 LA
	Tipo de Inyección	Bomba en línea (B)
	Pot. Máxima [CV]	180 (2600 rpm)
	Par Motor [Nm]	675 (1200-1500 rpm)
	Cilindrada [cm3]	4249
	Nº Cilindros	4
	Posición Cilindros	Linea
	Nº Válv. X Cilindro	2
	Turbo	SI
	Intercooler	SI
	Norma Emisión	E2
	Sist. Post-Trat. Gases	NO
<b>Caja de cambios</b>	Marca	MB
	Modelo	G 60-6/9.20
	Tipo	Mec
	Nº Marchas	5
<b>Capac. de Pasajeros</b>	Nº Asientos	38
	Pasajeros Total	75
<b>Capacidad de Lubricantes</b>	Motor [lts]	19
	Caja [lts]	5
	Dirección [lts]	2
	Diferencial [lts]	6
<b>Neumáticos - llantas</b>	Dimen. Eje Delantero	10.00R22.5
	Dimen. Eje Trasero	10.00R22.5
	Llantas Eje Delantero*	7,50x22,5
	Llantas Eje Trasero*	7,50x22,5
<b>Sistema de frenos</b>	Accionamiento	Aire comprimido de 2 circuitos
	Delantero	Tambor
	Trasero	Tambor
	Area de frenado (cm2)	5437
<b>Sistema eléctrico</b>	Nº Baterías	2
	Tensión	24V
	Alternad.	1
	Bater.(Ah)	130
<b>Combustible</b>	Tipo HC	D
	Capacidad de est. [lts]	200
	Consumo específico	



FICHA TECNICA BUS		T5_VK6359_M.2.1
<b>Identificación</b>	Test	24
	Operador	Comercial Nvo. Milenium
	Patente	VK-6359
	Tipo Bus	M
<b>Chasis</b>	Dirección	HI
	Marca	MBz
	Modelo	OH -1420/51
<b>Carrocería</b>	Carrocería	Cuatro Ases
	Modelo	Metropol
	Año	2002
<b>Proveedor</b>	Representante Chile	Cuatro Ases
	Origen	Brasil
<b>Dimensiones</b>	P.Bruto [Kg]	13950
	P.Vacio (kg)	
	P.Chasis [Kg]	4770
	Largo [m]	11,6
	Ancho [m]	2,5
	Alto [m]	2,7
<b>Motor</b>	Marca	MBz
	Modelo	OM366 LA
	Tipo de Inyección	P3000 (Bosch)
	Pot. Máxima [CV]	211 (2600 rpm)
	Par Motor [Nm]	660 (1400 RPM)
	Cilindrada [cm3]	5958
	Nº Cilindros	6
	Posición Cilindros	Linea
	Nº Válv. X Cilindro	2
	Turbo	SI
	Intercooler	SI
	Norma Emisión	E2
	Sist. Post-Trat. Gases	NO
<b>Caja de cambios</b>	Marca	ZF
	Modelo	S 5-680/7,43
	Tipo	Mec
	Nº Marchas	5
<b>Capac. de Pasajeros</b>	Nº Asientos	40
	Pasajeros Total	70
<b>Capacidad de Lubricantes</b>	Motor [lts]	15
	Caja [lts]	8
	Dirección [lts]	3,5
	Diferencial [lts]	10
<b>Neumáticos - llantas</b>	Dimen. Eje Delantero	275/80R22,5
	Dimen. Eje Trasero	275/80R22,5
	Llantas Eje Delantero*	7,5X22,5
	Llantas Eje Trasero*	7,5X22,5
<b>Sistema de frenos</b>	Accionamiento	Aire comprimido de 2 circuitos
	Delantero	Tambor
	Trasero	Tambor
	Area de frenado (cm2)	5437
<b>Sistema eléctrico</b>	Nº Baterías	2
	Tensión	24V
	Alternad.	1-75A
	Bater.(Ah)	135
<b>Combustible</b>	Tipo HC	D
	Capacidad de est. [lts]	210
	Consumo específico	197 g/kWh ( 1950 rpm )



FICHA TECNICA BUS	T2_ZN5590_C2.2	
<i>Identificación</i>	<i>Test</i>	25
	<i>Operador</i>	SUBUS S.A.
	<i>Patente</i>	ZN-5590
	<i>Tipo Bus</i>	C2
<i>Chasis</i>	<i>Dirección</i>	HI
	<i>Marca</i>	Vv
	<i>Modelo</i>	B9SALF
<i>Carroceria</i>	<i>Carrocería</i>	CAIO
	<i>Modelo</i>	Mondego - Articulado
	<i>Año</i>	2006
<i>Proveedor</i>	<i>Representante Chile</i>	Brasil Buses
	<i>Origen</i>	Brasil
<i>Dimensiones</i>	<i>P.Bruto [Kg]</i>	16180
	<i>P.Vacio (kg)</i>	16690
	<i>P.Chasis [Kg]</i>	
	<i>Largo [m]</i>	18,58
	<i>Ancho [m]</i>	2,65
	<i>Alto [m]</i>	3,35
<i>Motor</i>	<i>Marca</i>	Vv
	<i>Modelo</i>	D9A
	<i>Tipo de Inyección</i>	IB
	<i>Pot. Máxima [CV]</i>	340 (1900 rpm)
	<i>Par Motor [Nm]</i>	1600 (1200 rpm)
	<i>Cilindrada [cm3]</i>	9400
	<i>Nº Cilindros</i>	6
	<i>Posición Cilindros</i>	Linea
	<i>Nº Válv. X Cilindro</i>	4
	<i>Turbo</i>	SI
	<i>Intercooler</i>	SI
	<i>Norma Emisión</i>	E3
<i>Caja de cambios</i>	<i>Sist. Post-Trat. Gases</i>	DPF
	<i>Marca</i>	ZF
	<i>Modelo</i>	6HP602 CN
	<i>Tipo</i>	Aut. C/retar.
	<i>Nº Marchas</i>	6
	<i>Capac. de Pasajeros</i>	<i>Nº Asientos</i>
<i>Pasajeros Total</i>		161
<i>Capacidad de Lubricantes</i>	<i>Motor [lts]</i>	34
	<i>Caja [lts]</i>	20
	<i>Dirección [lts]</i>	
	<i>Diferencial [lts]</i>	
<i>Neumáticos - llantas</i>	<i>Dimen. Eje Delantero</i>	295/80R22,5
	<i>Dimen. Eje Trasero</i>	295/80R22,5
	<i>Llantas Eje Delantero*</i>	9,0X22,5
	<i>Llantas Eje Trasero*</i>	9,0X22,5
<i>Sistema de frenos</i>	<i>Accionamiento</i>	Sistema EBS
	<i>Delantero</i>	Disco
	<i>Trasero</i>	Disco
	<i>Area de frenado (cm2)</i>	
<i>Sistema eléctrico</i>	<i>Nº Baterías</i>	2
	<i>Tensión</i>	24V
	<i>Alternad.</i>	80A
	<i>Bater.(Ah)</i>	170
<i>Combustible</i>	<i>Tipo HC</i>	D
	<i>Capacidad de est. [lts]</i>	320
	<i>Consumo específico</i>	

