GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL México, la Ciudad de la Esperanza

PROTOCOLO DE PRUEBAS DE TECNOLOGÍAS DE AUTOBUSES

Secretaría del Medio Ambiente

Dirección General de Gestión Ambiental del Aire

Dirección Ejecutiva de Coordinación Institucional e Integración de Políticas

Servicio de Transportes Eléctricos

INDICE

INTRODUCCIÓN 5

CAPÍTULO I SITUACIÓN ACTUAL 6

CAPÍTULO II FLOTA Y PRUEBAS 10

2.1 LINEA BASE PARA LA EVALUCION DE LAS DIFERENTES TECNOLOGIAS LIMPIAS ... 10
2.2 FLOTA DE PRUEBA 11
2.3 OPERACIÓN NORMAL DE LA FLOTA 12
2.4 PRUEBAS 14

CAPÍTULO III PRUEBAS OPERATIVAS 16

3.1 PRUEBA DE ACELERACIÓN EN PLANICIE 16
3.1.1 Objetivo de la prueba 16
3.1.2 Norma vigente 16
3.1.3 Requerimientos físicos 16
3.1.4 Requerimientos de instrumentación 16
3.1.5 Aspectos a verificar antes de la prueba 16
3.1.6 Procedimiento para la prueba 16
3.2 PRUEBA DE ACELERACIÓN EN PENDIENTE 17
3.2.1 Objetivo de la prueba 17
3.2.2 Requerimientos físicos 17
3.2.3 Requerimientos de instrumentación 17
3.2.4 Aspectos a verificar antes de la prueba 17
3.2.5 Procedimiento para la prueba 17
3.2.6 Gradiente de aceleración. 18
3.3 RADIO DE GIRO 18
3.3.1 Objetivo de la prueba 18
3.3.2 Requerimientos físicos 18
3.3.3 Procedimiento para la prueba de radio de giro 18
3.4 DISTANCIA DE FRENADO 19
3.4.1 Objetivo de la prueba 19
3.4.2 Norma vigente 19
3.4.3 Requerimientos físicos 19
3.4.4 Requerimientos de instrumentación 19
3.4.5 Aspectos a verificar antes de la prueba 19
3.4.6 Procedimiento para la prueba 20
3.5 PRUEBA DE RECARGA DE LA BATERÍA (SOC) EN VEHÍCULOS HIBRIDOS 20
3.5.1 Objetivo de la prueba 21
3.5.2 Norma vigente 21
3.5.3 Requerimientos de la prueba 21
3.5.4 Requerimientos de instrumentación 21
3.5.5 Aspectos a verificar antes de la prueba 21

CAPÍTULO IV PRUEBAS AMBIENTALES 22

4.1 EMISIÓN DE CONTAMINANTES 22
4.1.1 Prueba en dinamómetro de chasis 22
4.1.2 Prueba con equipo a bordo 23
4.1.3 Correlación entre los métodos de medición de emisiones 23
4.1.4 Factores que influyen en las emisiones de autobuses 24
4.2 PRUEBA DE RUIDO EN CONDICIONES REALES DE TRABAJO 26
4.2.1 Objetivo de la prueba 26
4.2.2 Norma vigente 26
4.2.3 Requerimientos físicos 26
4.2.4 Requerimientos de instrumentación 26
4.2.5 Procedimiento para la prueba 26
4.2.6 Mediciones 27
4.2.7 Límites permisibles de ruido 27
4.3 PRUEBA DE OPACIDAD 27
4.3.1 Objetivo de la prueba 28
4.3.2 Requerimientos técnicos del equipo de medición 28
4.3.3 Ensamblaje del equipo 28
4.3.4 Procedimiento previo 28
4.3.5 Procedimiento de medición 29

CAPÍTULO V PRUEBAS DE COSTO 30

5.1 PRUEBA DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE CON EQUIPO A BORDO 30
5.1.1 Objetivo específico 30
5.1.2 Norma vigente 30
5.1.3 Requerimientos físicos 30
5.1.4 Requerimientos de instrumentación 30
5.1.5 Aspectos a verificar antes de la prueba 31
5.1.6 Procedimiento para la prueba 31
5.2 PRUEBA DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE CON DINAMÓMETRO DE CHASIS 31
5.2.1 Objetivo específico 31
5.2.2 Norma vigente 31
5.2.3 Requerimientos físicos 31
5.2.4 Procedimiento para la prueba 32
5.3 CONSIDERACIONES ESPECIALES 32
5.3.1 Combustible 32
5.3.2 Vehículos híbridos 32

CAPÍTULO VI COSTOS 34

6.1 COMBUSTIBLE 34
6.2 MANTENIMIENTO 35
6.3 INSUMOS 35
6.4 REMUNERACIONES 36
6.5 ADMINISTRACIÓN 37
6.6 COSTOS TOTALES DE OPERACIÓN 37

CAPITULO VII EVALUCIÓN DE COSTO INCREMENTAL Y COSTO EFECTIVIDAD SEGÚN EL TIPO DE TECNOLOGÍA 38

7.1 COSTO INCREMENTAL 38
7.1.1 Definición del caso base 38
7.1.2 Cálculo de costos por escenarios 38
7.1.3 Estimación de los costos increméntales 38
7.2 COSTO EFECTIVIDAD 39
7.2.1 Definición de caso base 40
7.2.2 Estimación de los costos increméntales 40
7.2.3 Estimación del cambio en el nivel de emisiones según la tecnología 40
7.2.4 Construcción de indicadores 41

CAPÍTULO VIII EJECUCIÓN Y RESULTADOS 42

8.1 PERSONAL ENCARGADO DE LLEVAR A CABO EL PROTOCOLO DE PRUEBAS 42
8.2 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS 43

ANEXO I EQUIPO DE MEDICIÓN A BORDO 44

ANEXO II PROTOCOLO DE PRUEBAS PARA MEDICIÓN DE EMISIONES CON EQUIPO A BORDO 49

ANEXO III PROTOCOLO PARA MEDICIÓN DE EMISIONES CON DINAMÓMETRO DE CHASIS 75

ANEXO IV POSICIÓN DEL MICRÓFONO DURANTE LA PRUEBA DE RUIDO 93

ANEXO V MEDICIÓN DEL RADIO DE GIRO 95

ANEXO VI DATOS A CAPTURAR DURANTE LAS PRUEBAS 96

ANEXO VII NÚMERO DE PARADAS DURANTE EL TRAYECTO 101

ANEXO VIII CALENDARIO DE ACTIVIDADES 103

INTRODUCCIÓN

El Gobierno del Distrito Federal ha planteado la necesidad de una reforma global del sistema de transporte público de superficie, mediante la implantación de un sistema de transporte que garantice menores emisiones contaminantes críticas por unidad de viaje y que ofrezca un servicio moderno y eficiente para los usuarios de transporte público.

Vale la pena mencionar que en la Ciudad de México, las emisiones de monóxido de carbono, partículas suspendidas, compuestos nitrosos, dióxido de azufre, ozono e hidrocarburos volátiles están relacionados con el transporte entre un 60 y un 80%.

En un esfuerzo por reducir la contaminación en el Distrito Federal, el Gobierno de la Ciudad de México a través de la Secretaría del Medio Ambiente está llevando a cabo el proyecto “Introducción de medidas ambientalmente amigables en transporte”. El objetivo principal de este proyecto es proporcionar los elementos necesarios para la construcción de corredores confinados y exclusivos que permitan el ordenamiento del transporte público de superficie en las principales arterias de la Ciudad de México.

Como parte de este gran proyecto se ha considerado la evaluación de nuevas tecnologías de autobuses de bajas emisiones contaminantes. Dicha evaluación servirá como apoyo en la decisión acerca del tipo de vehículo que es más viable desde el punto de vista ambiental y de costo-efectividad dentro de los corredores exclusivos.

Como objetivos específicos de la evaluación de diferentes tecnologías, se plantean la evaluación de emisiones generadas por autobuses de bajas emisiones en condiciones reales de operación y manejo dentro de la Ciudad de México, así como el análisis de emisiones durante el tiempo de prueba y finalmente el análisis del costo efectividad de la operación y mantenimiento de los diferentes autobuses.

Los resultados esperados, serán: La obtención de una base confiable de información que relacione diferentes tipos de tecnologías y combustibles en operación con diferentes contaminantes, todo referenciado con una línea base y una base de datos con costos de operación, mantenimiento y comportamiento mecánico de los diferentes tipos de vehículos probados.

Para este fin, se realizará un estudio de las emisiones del transporte público actualmente en operación (línea base), pruebas de desempeño en los nuevos autobuses (convencionales diesel, de diesel bajo azufre, híbridos y a gas natural), pruebas de tránsito, seguridad y de emisiones en los nuevos autobuses con distintas tecnologías de combustibles, y la evaluación de costos de operación y mantenimiento. Las pruebas se llevarán a cabo bajo un estricto control de parámetros de operación

En este documento se presenta el protocolo de pruebas que regirá la evaluación y que podrá ser retroalimentado durante el proceso de evaluación con el objetivo de tener datos más confiables y representativos que permitan un análisis más profundo de los parámetros mencionados anteriormente.

Las pruebas se llevarán a cabo por el Servicio de Transportes Eléctricos en estrecha colaboración con la Secretaría de Medio Ambiente.

CAPÍTULO I SITUACIÓN ACTUAL

Los diferentes medios de transporte siempre han tenido una importancia estratégica y se han ido adaptando en función al tamaño de la población, la extensión geográfica de la ciudad y el entorno tecnológico de cada época. Actualmente, este sector es el que mayor cantidad de gases contaminantes emite, ya que las fuentes móviles son responsables de la emisión del 81.2% de los óxidos de nitrógeno, 31.6% de los compuestos orgánicos totales, 51.1% de las partículas menores a 10 micras y 76% de las partículas menores a 2.5 micras.

Estos altos porcentajes en la emisión de contaminantes son una consecuencia de una serie de factores entre los que destacan los enormes consumos de energía, ya que la flota vehicular de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) demanda 19 y 4.5 millones de litros diarios de gasolina y diesel, respectivamente, así como la tecnología vehicular en que es aprovechada dicha energía.

Respecto al consumo de energéticos, éste es una consecuencia de las necesidades de movilidad de la población ya que en la ZMCM diariamente se realizan 20.57 millones de viajes, de los cuales el 66.5% se realiza en el D.F. en tanto que en los municipios conurbados se realiza el 33.5% restante. Se estima que para el año 2020 se generarán un total de 28.5 millones de viajes por día, de los cuales el 61.5% corresponderán al D.F.

PROYECCIÓN DE VIAJES EN LA ZMCM (1994-2020)
(Miles de viajes al día)

AMBITO GEOGRÁFICO	1994	%	2020	%
Distrito Federal	13,673.1	66.5	17,426.3	61.5
Viajes al interior del Distrito Federal	11,598.6	56.4	41,647.3	51.7
En delegaciones	4,977.4	24.2	6,398.1	22.6
Entre delegaciones	6,621.1	32.2	8,249.2	29.1
Viajes metropolitanos	2,074.5	10.1	2,778.9	9.8
Municipios conurbados del Estado de México	6,900.6	33.5	10,914.3	38.5
Viajes al interior de la ZMEM	4,744.1	23.1	8,101.7	28.6
En municipios	3,168.0	15.4	5,340.8	18.8
Entre municipios	1,576.0	7.7	2,760.8	9.7
Viajes metropolitanos	2,156.5	10.5	2,812.6	9.9
Total viajes en la ZMCM	20,573.7	100.0	28,340.6	100.0
Total viajes internos	8,145.5	39.6	11,738.9	41.4
Total viajes entre delegaciones / municipios	8,197.2	39.8	11,010.1	38.8
Total de viajes metropolitanos	4,231.1	20.6	5,591.6	19.2

Fuente: Programa Integral de Transporte y Vialidad 1995 - 2000 (SETRAVI - GDF)

Si se considera que cada viaje puede realizarse en dos ó más medios de transporte, el número de tramos de viajes realizados diariamente es de 29.2 millones, en donde el principal medio de transporte es el de los colectivos, seguidos por el automóvil particular.

TRAMOS DE VIAJE DE LOS RESIDENTES DE LA ZMCM SEGÚN MODO DE TRANSPORTE

MODO DE TRANSPORTE	TRAMOS DE VIAJE	PORCENTAJE
Colectivo	16,106,994	55.08%
Automóvil	4,871,561	16.66%
Metro	3,906,076	13.36%
Autobús urbano R-100	1,952,299	6.68%
Suburbano	1,026,881	3.51%
Taxi	743,533	2.54%
Bicicleta	220,166	0.75%
Trolebús	167,767	0.57%
Motocicleta	21,008	0.07%
Otro transporte	225,111	0.77%
TOTAL	29,241,396	100.00%

Fuente: INEGI, Encuesta de origen destino de los viajes de los residentes de la ZMCM, 1994.
(No se incluyen los viajes de niños menores de 6 años)

Con relación a los modos de transporte, la ZMCM se caracteriza por proveer una gran cantidad de opciones de transporte al usuario, las cuales han crecido bajo un esquema de oferta - demanda, por lo cual no están integrados dentro de un sistema modal de transporte urbano. Por el contrario, se aglutinan en su operación diaria, convirtiéndose en elementos competidores entre sí, lo cual ha beneficiado aquellos medios de transporte más flexibles, por encima de los más eficientes.

De esta forma, la participación de los distintos modos de transporte se ha visto modificada en los últimos años, la situación se ha intensificado a partir de 1986, ante el avance de los colectivos, y la disminución porcentual de la participación de los modos de capacidad unitaria media (autobuses o trolebuses), y de alta capacidad (Metro y tren ligero).

Colectivos

Es un modo de baja capacidad unitaria que se expandió casi por toda el área metropolitana invadiendo rutas troncales y alimentadoras. Por su crecimiento desmesurado, los colectivos son fuente de conflictos cotidianos debido a su desorganización y a la falta de control en la prestación del servicio, con una fuerte participación en los corredores troncales y, por tanto, con problemas de integración con otros modos de transporte.

Este sector se caracteriza por estar constituido por unidades a gasolina carentes de sistemas anticontaminantes de última generación tales como el convertidor catalítico, presentan serios problemas de mantenimiento motriz por lo que representa no sólo un problema ambiental sino también un grave problema de seguridad para la Ciudad.

El parque vehicular total de este sector es apenas mayor al 1% de la flota automotriz de la ZMCM, pero son responsables de la emisión de más del 13% de las emisiones totales generadas por las fuentes móviles.

Taxis

Ante la insuficiencia de otros modos de transporte, los taxis se han convertido en una modalidad en rápida expansión que presenta dificultades para una operación integrada, y acusa problemas de sustitución y de renovación de flota. Su participación en la emisión de contaminantes es cercana al 8% a pesar de solamente atender el 2.6% de los viajes persona – día.

Autobuses

El servicio de transporte vía autobuses en el Distrito Federal se presta mediante dos esquemas distintos, el primero es un servicio de tipo gubernamental y el otro se refiere a las concesiones otorgadas a diversas empresas que ya ofertan este servicio. Sin embargo, este medio de transporte se encuentra en un proceso de reordenamiento.

Automóviles particulares

Los automóviles particulares son responsables de la emisión de casi el 45% de las emisiones del sector transporte. Esto es una consecuencia de la existencia de un elevado porcentaje de vehículos con sistema de carburación mecánico (más del 55% en la ZMCM) que emiten hasta 21 veces más contaminantes que las unidades seminuevas y del alto número de unidades que diariamente circulan en las principales avenidas de la Ciudad de México (cerca de 3.2 millones de vehículos), mismos que afectan la velocidad crucero de la Ciudad de México situándola en cerca de 25 kilómetros por hora.

Anualmente se incorporan cerca de 250 mil unidades a la circulación producto de las ventas vehiculares que se han registrado en los últimos tres años. Este medio de transporte es el preferido por la población cuyos medios económicos le permiten tener acceso a un automotor.

Metro y sistemas no contaminantes

El Metro sigue siendo la columna vertebral del sistema de transporte público en la Ciudad de México, aún cuando su participación en la captación de viajes se ha reducido gradualmente en los últimos diez años. En este sentido, cabe recalcar que en la última década la demanda de servicio se ha mantenido constante a pesar de haberse incrementado la oferta al sumarse 37 kilómetros a su longitud.

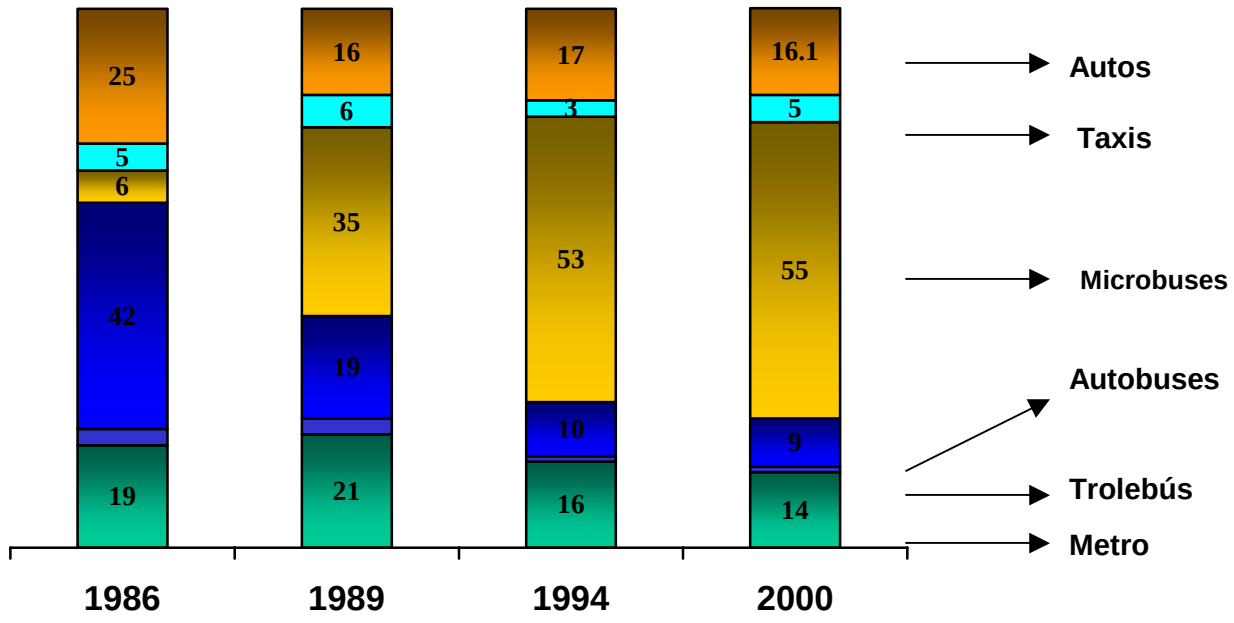
En el periodo 1995 – 1998, el servicio de trolebuses presentó una reducción en el total de usuarios transportados del 53% para todo el sistema (56% para las rutas de trolebuses y 40% para la línea del tren ligero). Estos indicadores muestran que a pesar de que los trolebuses se consideran como un modo de transporte de mediana capacidad, la captación por kilómetro (3 pasajeros / kilómetro en 1998), es incluso inferior a la que se obtiene en diversas rutas de taxis colectivos operadas con microbuses.

En el caso del Tren Ligero, la captación por vehículo - kilómetro recorrido se haya reducido de 20 a 9 pasajeros / vehículo - km. entre 1996 y 1998. Al igual que para la red de trolebuses, la disminución de la demanda se debe a que ambos sistemas operan en corredores de transporte en los que hay una

alta presencia de rutas de autobuses y microbuses, que si no ofrecen un mejor servicio, sí operan con intervalos de paso mucho más reducidos y con mayor regularidad.

Dado lo anterior, el Gobierno del Distrito Federal ha planteado la necesidad de una reforma global del sistema de transporte urbano, donde se buscará una mayor eficiencia y confiabilidad del servicio de transporte público de pasajeros mismo que deberá producir menores emisiones de contaminantes por unidad de viaje.

FUENTES DE LA OFERTA DE TRANSPORTE PÚBLICO DE PASAJEROS EN LA CIUDAD DE MÉXICO – PARTICIPACIÓN PORCENTUAL



Fuente: SMA, 2002.

Actualmente la ZMCM cuenta con:

- 106 Rutas con un parque de 28,215 unidades, distribuidas en 22,850 microbuses, 2,271 autobuses y 3,094 vagonetas, más 9 empresas concesionarias con 1,197 autobuses que operan conjuntamente en 1,200 ramales.
- 106,000 taxis sin itinerario fijo.
- 1,400 autobuses de RTP, 405 trolebuses y 16 trenes ligeros.
- Reparto modal en transporte público, 4.2 millones de viajes en metro, 2.4 millones en autobuses y trolebuses, 15.9 millones en microbuses y vagonetas y 1.1 millones en taxis.

CAPÍTULO II FLOTA Y PRUEBAS

En la realización de las pruebas definidas en este protocolo, se contará con dos flotas vehiculares. La primera, consistirá en vehículos que actualmente circulan en la ZMCM y su evaluación funcionará como Línea Base, estos vehículos serán designados "vehículos de referencia". La segunda flota estará integrada por vehículos de prueba que, posiblemente, podrían ser introducidos para funcionar en el nuevo sistema de Corredores Estratégicos de Transporte, estos serán designados "vehículos de prueba". A continuación se describirá cada una de estas flotas así como el tipo de prueba al que cada vehículo estará sometido.

2.1 LINEA BASE PARA LA EVALUCION DE LAS DIFERENTES TECNOLOGIAS LIMPIAS

Para medir el éxito de la creación de corredores y realizar la evaluación de autobuses con nuevas tecnologías de combustibles para sustitución de vehículos contaminantes en la ZMCM del programa "Introducción de Medidas Ambientalmente Amigables al Transporte", es necesario desarrollar una línea base que será el punto de comparación de las medidas que se tomen en dicho proyecto. Esta comparación permitirá decidir si las medidas adoptadas tuvieron o no el éxito esperado, así mismo permitirá decidir cuales serán los pasos a seguir para el éxito del proyecto.

Se deberán distinguir dos puntos de evaluación en cuanto a emisiones: la disminución de emisiones debido a la introducción de los corredores y la disminución de emisiones debido a la introducción de nuevas tecnologías.

Tal combinación escenario tecnológico - escenario operativo permitirá obtener información acerca de las emisiones que tendrían lugar en cada uno de los siguientes escenarios conjuntos:

- Autobuses de referencia operando de acuerdo a la dinámica de flujo actual.
- Autobuses de referencia operando en un corredor de transporte.
- Autobuses de prueba operando de acuerdo a la dinámica de flujo actual.
- Autobuses de prueba operando en un corredor de transporte.

Con motivo de contar con suficiente información para lograr cada evaluar cada uno de los escenarios antes mencionados, serán evaluados varios vehículos que actualmente operan en la ZMCM, particularmente, sobre la Avenida de los Insurgentes. Así, la flota de vehículos de referencia estará integrada por vehículos a diesel, GNC, GLP y gasolina. En el caso particular de los vehículos a diesel, uno de ellos estará equipado con un sistema de control de emisiones, por lo que utilizará un tipo de diesel con un contenido de azufre tan solo 50 ppm (el diesel comúnmente utilizado en la ZMCM contiene 350 ppm de azufre).

La flota de vehículos de referencia está compuesta de la siguiente manera:

VEHÍCULOS DE REFERENCIA

Vehículo	Tipo de Combustible	Número
Autobús a diesel	Diesel de 350 ppm de azufre	3
Autobús a diesel con control de emisiones	Diesel de 50 ppm de azufre	1
Microbús a GNC	GNC	2
Microbús a GLP	GLP	2
Microbús a Gasolina	Gasolina	2

2.2 FLOTA DE PRUEBA

Serán evaluados 14 autobuses equipados con sistemas a diesel, gas natural e híbrido (diesel-eléctrico). Estos vehículos, durante el tiempo que se encuentren disponibles para ser evaluados, serán operados en condiciones normales de la Ciudad de México.

En el caso particular de los vehículos a diesel, éstos podrán operar de manera normal utilizando combustible de dos calidades distintas: contenido de azufre de 50 ppm y 15 ppm. Se ha determinado que los vehículos articulados utilicen cotidianamente el diesel de 50 ppm ya que vehículos de tales dimensiones con este tipo de combustible constituyen una opción viable en el corto y mediano plazo para su introducción en el sistema de corredores.

Así, la flota de vehículos de prueba queda definida de la siguiente manera:

VEHÍCULOS DE PRUEBA

Tecnología	Marca	Longitud (m)	Certificación	Combustible
Diesel	Mercedes	18	EPA 98	D 50 ppm S
	Mercedes	12.6	EPA 98	D 50 ppm S
	Mercedes	11	EPA 98	D 15 ppm S
	Mercedes	10	EPA 2004	D 15 ppm S
	Scania	18	EURO III	D 50 ppm S
	Scania	15	EURO III	D 15 ppm S
	Volvo	18	EURO III	D 50 ppm S
	Volvo	12	EURO III	D 15 ppm S
GNC	Ankai	11.22	EPA 2004	GNC
	Faw	16	EPA 2004	GNC
	Busscar	11.22	EPA 2004	GNC
Híbrido	Allison	12	por definir	D 15 ppm S
	Eletrabus	12	por definir	D 15 ppm S

2.3 OPERACIÓN NORMAL DE LA FLOTA

Durante le tiempo de ejecución de las diferentes pruebas, la flota será incorporada a la operación cotidiana de los vehículos de la Red de Transporte de Pasajeros del Gobierno del Distrito Federal (RTP). Dicha operación de realizará sobre la Avenida de los Insurgentes.

La Avenida de los Insurgentes es una de las vialidades de mayor extensión en la ciudad, por lo que se tiene contemplado el trayecto de Indios Verdes a la Villa Olímpica, en el norte y sur de la ciudad respectivamente. Además de su extensión, dicho tramo ha sido seleccionado puesto que es parte del trayecto normal de los camiones de la RTP, en su ruta 17-B, que es representativo del curso de camiones de pasajeros dentro de la ciudad. En la siguiente tabla se muestra la ruta 17-B de RTP, a lo largo de la Av. de los Insurgentes.

DESCRIPCIÓN DE RECORRIDO RUTA 17-B	
Sentido Norte-Sur	
Descripción	**Vialidad**
Inicia	Paradero Indios Verdes (anden C)
cont.	Av. Insurgentes Norte
cont.	Av. Insurgentes Centro
cont.	Av. Insurgentes Sur
der.	Ayuntamiento
der.	Michoacán
der.	Corregidora
termina	Sor Juana Inés de la Cruz
Sentido Sur-Norte	
Descripción	**Vialidad**
Inicia	Corregidora- Sor Juana I. de la Cruz
cont.	Corregidora
izq.	Av. Insurgentes Sur
cont.	Av. Insurgentes Sur
cont.	Av. Insurgentes Centro
cont.	Av. Insurgentes Norte
termina	Paradero Indios Verdes (anden C)

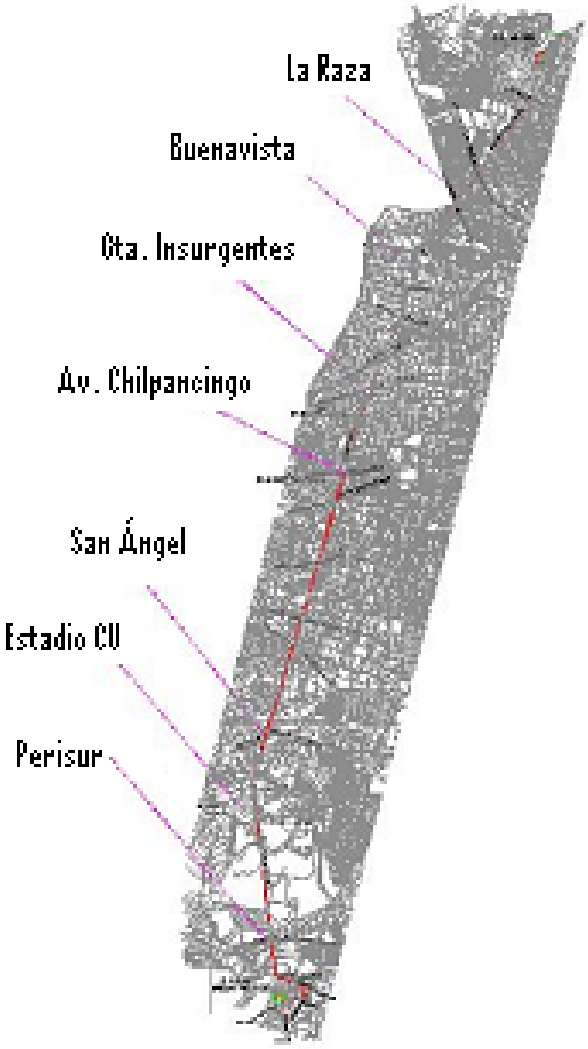
La ruta presenta una longitud aproximada de 24.5 kilómetros de extremo a extremo, con 58 paradas de N-S y 55 de S-N, dentro de su trayecto normal. Por lo anterior, en promedio es posible realizar alrededor de 4 vueltas diarias a esta ruta, realizando las paradas según sea requerido durante un día típico entre semana (los fines de semana el tráfico es menor). En la siguiente tabla se muestran los detalles técnicos de la ruta 17-B (respecto de la velocidad máxima presentada en esa tabla, se estima que la velocidad máxima pudiera ser mayor, en el orden de 45 a 55 kilómetros por hora, aunque no es posible mantener estas velocidades más allá de algunos segundos).

Indios Verdes a Villa Olímpica (norte-sur)	
Tiempo en ruta:	103 min
Distancia recorrida:	24.5 km
Núm. paradas:	58
Velocidad máxima:	31.72 km/h
Velocidad promedio:	11.12 km/h

Villa Olímpica a Indios Verdes (sur a norte)	
Tiempo en ruta:	94.87 min
Distancia recorrida:	24.5 km
Núm. paradas:	55
Velocidad máxima:	31.72 km/h
Velocidad promedio:	13.53 km/h

Fuente: Red de Transporte de Pasajeros (RTP)
Velocidades promedio durante día hábil.

Una ventaja de seleccionar una ruta de RTP, es que los vehículos de prueba pueden ser incorporados al rol normal de camiones de pasajeros, experimentando así, condiciones normales de operación. Adicionalmente, esta ruta permitiría el tránsito regular y las vueltas de retorno de los camiones articulados (de 12 a 18 metros de longitud) que son parte de este proyecto. La ruta se muestra a continuación:



NOTA: Los detalles de los puntos de ascenso y descenso en la ruta se especifican en el Anexo VII.

2.4 PRUEBAS

Las diferentes pruebas que serán realizadas a los autobuses son las siguientes:

PRUEBAS QUE SE REALIZARÁN EN EL MARCO DEL PROYECTO

	Aspecto a evaluar	Pruebas a realizar	Norma aplicable	Información del fabricante
Desempeño	Desempeño del motor bajo condiciones de la Ciudad de México	Aceleración en planicie	NFPA 414 sec. 5-4.2	Ubicación del motor Potencia Tipo de inyección Tipo de transmisión Altura al piso Tipo de suspensión Radio de giro Tipo de dirección Especificaciones técnicas. Manual de operación Manual de mantenimiento
		Aceleración en pendiente		
	Aspectos que influyen en el desempeño del autobús	Radio de giro	SAE J695	
	Recarga de la batería SOC. Solo para el caso de autobuses híbridos.	Cantidad de recarga		
Tránsito	Peso	Inspección		• Dimensiones generales
	Dimensiones			• Tara y peso bruto vehicular
Seguridad	Frenos	Distancia de frenado	SAE J1250 FEB80 SAE J299 JAN80	• Tipo de frenos
	Puertas	Inspección		• Sistema de accionamiento de puertas • Sistemas de seguridad de puertas
	Sistemas de emergencia	Inspección		• Sistemas de protección contra incendios • Salidas de emergencia
	Ventilación	Inspección		• Sistema de ventilación
Costos	Consumo de combustible	Consumo de combustible	SAE J1376 JUL82 Dir. 93/116/EC	Tipo de combustible
	Costos de operación y Mantenimiento	Monitoreo continuo		Programa de mantenimiento programado
Ambientales	Emisiones de contaminantes	Evaluación con equipo de monitoreo a bordo. Evaluación con dinamómetro de chasis		Certificación del motor
	Ruido	Niveles de ruido interior Niveles de ruido exterior	NOM-080-ECOL-1994	
	Opacidad	Niveles de opacidad	SAEJ1667	

A excepción de aquellas pruebas que serán efectuadas mediante inspección o monitoreo, las pruebas antes mencionadas pueden separarse en tres grandes grupos:

- Operativas
  - Aceleración en planicie

  - Aceleración en pendiente
  - Radio de giro
  - Distancia de frenado
  - Cantidad de recarga (vehículos híbridos)

- Ambientales
  - Emisión de contaminantes
  - Ruido
  - Opacidad

- Costos
  - Consumo de combustible

En los capítulos siguientes se discutirá cómo será realizada cada una de estas pruebas.

CAPÍTULO III PRUEBAS OPERATIVAS

A continuación se presenta una descripción de las diversas pruebas operativas que serán realizadas a los vehículos.

3.1 PRUEBA DE ACELERACIÓN EN PLANICIE

3.1.1 Objetivo de la prueba

Determinar la capacidad de aceleración en planicie de los autobuses de alta capacidad bajo las condiciones de la Ciudad de México.

3.1.2 Norma vigente

El procedimiento a seguir se rige por la Norma NFPA 414 Sec. 5-4.2.

3.1.3 Requerimientos físicos

- El lugar de la prueba debe ser una vía seca, derecha, pavimentada y plana.
- La longitud de la vía de prueba debe ser suficiente para lograr acelerar el vehículo hasta 20, 40 o 60 km/h y llevarlo a una parada segura.
- El vehículo de prueba se debe encontrar cargado a su máxima capacidad.

3.1.4 Requerimientos de instrumentación

- Radar doppler colocado debajo del vehículo, el cual sea capaz de registrar la velocidad del vehículo y la distancia de frenado.
- Error en la medición de velocidad menor que ± 0.80 km/h o ± 0.5% de la velocidad actual (el que sea mayor).
- Error en la medición de la distancia menor que ± 0.15 m o ±1.0% de la distancia actual (el que sea mayor)

3.1.5 Aspectos a verificar antes de la prueba

- Temperatura normal de operación del motor.
- Vehículo a máxima carga.
- Presión de las llantas en valores especificados por fabricante.

3.1.6 Procedimiento para la prueba

- Se inicia la prueba teniendo el vehículo en reposo, el motor en ralentí y la transmisión engranada.

- Se acelera al máximo el vehículo hasta alcanzar la velocidad especificada (20 km/h, 40 km/h y 60 km/h), en el caso de vehículos con transmisión mecánica, se realizan los cambios de marcha a las revoluciones por minuto del motor especificadas por el fabricante.
- Se registra el tiempo y la distancia necesaria para alcanzar la velocidad especificada.
- Un mínimo de 3 lecturas debe ser registrado y el promedio obtenido en cada prueba.

Los resultados de la prueba de aceleración serán usados para verificar si el motor ha sido ajustado correctamente, así como para verificar si los parámetros del motor han sido modificados o manipulados.

Para los autobuses híbridos la curva tiempo vs. velocidad nos ayudará a identificar a que velocidad del vehículo aumenta la potencia de recarga de la batería y como varía esto después de varias pruebas.

3.2 PRUEBA DE ACELERACIÓN EN PENDIENTE

3.2.1 Objetivo de la prueba

Determinar la capacidad de aceleración en pendiente de los vehículos del proyecto de transporte bajo las condiciones de la Ciudad de México.

3.2.2 Requerimientos físicos

- El lugar de la prueba debe ser una vía seca, derecha y pavimentada.
- El vehículo de prueba se debe encontrar cargado a su máxima capacidad.

3.2.3 Requerimientos de instrumentación

- Radar doppler colocado debajo del vehículo, el cual sea capaz de registrar la velocidad del vehículo y la distancia de frenado.
- Error en la medición de velocidad menor que ± 0.80 km/h o ± 0.5% de la velocidad actual (el que sea mayor)
- Error en la medición de la distancia menor que ± 0.15 m o ±1.0% de la distancia actual (el que sea mayor)

3.2.4 Aspectos a verificar antes de la prueba

- Temperatura normal de operación del motor.
- Vehículo a máxima carga.
- Presión de las llantas en valores especificados por fabricante.

3.2.5 Procedimiento para la prueba

- Se inicia la prueba teniendo el vehículo en reposo, el motor en ralentí y la transmisión engranada.

- Se acelera al máximo el vehículo hasta alcanzar la longitud especificada para la prueba (0.2 km o 1.0 km), en el caso de vehículos con transmisión mecánica, se realizan los cambios de marcha a las revoluciones por minuto del motor especificadas por el fabricante.
- Se registra el tiempo y la velocidad transcurrida en el recorrido.
- Un mínimo de 3 lecturas debe ser registrado y el promedio obtenido en cada prueba.

3.2.6 Gradiente de aceleración.

Las mediciones del comportamiento de la aceleración se llevarán a cabo a través de gradientes: El propósito de la prueba es verificar si el comportamiento de la aceleración es aceptable y no es resultado de una mala forma de manejo. Este procedimiento de medición es muy importante para motores a GNC.

Para los híbridos se consideran cambios referentes al desempeño según SOC de la batería de tracción.

3.3 RADIO DE GIRO

3.3.1 Objetivo de la prueba

Medir el radio de giro de los autobuses de alta capacidad.

3.3.2 Requerimientos físicos

- Sistema de medición con exactitud de 0.5 cm
- Lugar plano y de superficie regular

3.3.3 Procedimiento para la prueba de radio de giro

Basándose en la norma SAE J695, con fecha de diciembre del año 1989, el procedimiento es el siguiente:

- Verificación de alineamiento de ruedas.
- Revisión de los ángulos frontales de corte para las ruedas, conforme a especificaciones del fabricante.
- Cargar la unidad a su capacidad de carga útil.
- Realizar la prueba sobre un terreno seco, efectuando giros en ambas direcciones a baja velocidad. La dirección debe ser girada al máximo ángulo de corte sosteniéndola en esa posición.
- Efectuar dos giros completos antes de tomar las mediciones.
- Se realiza un giro a la izquierda y se realizan las siguientes mediciones (ver Anexo V) de este documento:
    - Circunferencia descrita justo por debajo de la máxima extensión delantera de la unidad del lado derecho (r1).
    - Circunferencia descrita por el exterior de la llanta delantera derecha (r2).

- Circunferencia descrita por el interior de la llanta delantera derecha (r3).
- Circunferencia descrita por el exterior de la llanta trasera izquierda (r4).

Para la determinación del radio de giro será necesario primero determinar el punto medio del ancho de la rueda delantera derecha al efectuar el giro hacia la izquierda.

3.4 DISTANCIA DE FRENADO

3.4.1 Objetivo de la prueba

Determinar la capacidad de frenado de los vehículos del proyecto de transporte bajo las condiciones de la Ciudad de México.

3.4.2 Norma vigente

El procedimiento a seguir se rige por la Norma SAE J1250 FEB80 y SAE J299 JAN80.

3.4.3 Requerimientos físicos

- El lugar de la prueba debe ser una vía seca, derecha, pavimentada y plana.
- La longitud de la vía de prueba debe ser suficiente para permitir la entrada del vehículo a velocidad especificada (32 km/h y 60 km/h).
- El vehículo de prueba se debe encontrar cargado a su máxima capacidad.

3.4.4 Requerimientos de instrumentación

- Radar doppler colocado debajo del vehículo, el cual sea capaz de registrar la velocidad del vehículo y la distancia de frenado.
- Error en la medición de velocidad menor que ± 0.80 km/h o ± 0.5% de la velocidad actual (el que sea mayor).
- Error en la medición de la distancia menor que ± 0.15 m o ±1.0% de la distancia actual (el que sea mayor).
- Dispositivo indicador del inicio del frenado (sensor de movimiento del pedal de freno que detecte el movimiento a los primeros 3.20 mm de recorrido del pedal) o accionador del contador de distancia de frenado. El tiempo de respuesta del sistema no debe ser mayor de 0.020 segundos.

3.4.5 Aspectos a verificar antes de la prueba

- Temperatura normal de operación en el motor.
- Vehículo a máxima carga.
- Presión de las llantas en valores especificados por fabricante.
- Chequeo de fugas en el sistema:
  Para Sistema de aire y sistema de aire asistido hidráulicamente:
  - Con el motor apagado y los frenos sin aplicar, notar si hay sonidos o evidencia de fugas.

- o Con el motor apagado, aplicar fuertemente el freno y mantener por un minuto. Registrar la caída de presión después de la aplicación inicial y notar cualquier sonido o evidencia de fugas.

Para el sistema hidráulico y asistido (Vacío o hidráulico)

- o Apagar el motor y mover el freno del pedal con una ligera presión por 10 segundos y luego presionar fuertemente por 10 segundos. Verificar cualquier cambio en la altura del pedal mientras se busca por sonidos o evidencias de fugas.

- Verificar que las condiciones de operación del vehículo sean seguras.

3.4.6 Procedimiento para la prueba

- El vehículo debe entrar al área de prueba lo mas cerca posible a la velocidad especificada (8 km/h, 32 km/h y 60 km/h).
- Mantener la velocidad hasta el lugar prescrito en el cual deberá realizar la maniobra de frenado, procurando llevar el vehículo a una parada completa en la mínima distancia utilizando los sistemas ABS y/o ralentizador (en caso de existir), y siguiendo un procedimiento normal de frenado.
- Registrar la velocidad inicial y la distancia de viaje del vehículo desde el momento en que se aplica movimiento al pedal de frenado.
- Registrar cualquier problema o inestabilidad.
- Un mínimo de 3 lecturas debe ser registrado y el promedio obtenido.

Se debe poner atención a la fuerza que se aplica al pedal del freno durante el proceso de frenado, ya que se degradan las propiedades de frenado (comportamiento del sistema de frenado después de repetir un frenado brusco) y el comportamiento del frenado de emergencia.

Para autobuses híbridos parte de la energía del frenado es recuperada en proceso de frenado. Sin embargo por seguridad y para aprovechar la mayor parte de la energía liberada cuando se lleva a cabo el proceso de frenado en un vehículo pesado, la energía de frenado será dividida entre la energía del sistema de frenado convencional y la del motor / generador eléctrico. Para llevar a cabo esta prueba se deben consultar los manuales del autobús.

3.5 PRUEBA DE RECARGA DE LA BATERÍA (SOC) EN VEHÍCULOS HIBRIDOS

Esta prueba es relevante para un buen ajuste del método de prueba para las actuales características del vehículo y prepararlo para las pruebas de emisiones y consumo de combustible. Para vehículos que no pueden ser recargados externamente y no tienen un cambio en su modo de operación, dos tipos son distinguidos por el método de la SAE (para vehículos ligeros) para aquellos que tienen un no insignificante ΔSOC (estado de recarga de batería) con el ciclo recomendado. Para vehículos con un insignificante ΔSOC (estado de recarga de batería) con el ciclo recomendado con una simple prueba que debe de cumplir la siguiente condición:

$$\Delta E_{batt} / E_{cosumed\ fuel} \approx \Delta Ah * V_{batt} / E_{consumed\ fuel} \leq n\%, \text{ with e.g. } 2 \leq n \leq 4$$

El nivel de n esta en 1% en la propuesta de SAE.

3.5.1 Objetivo de la prueba

Determinar la capacidad de recuperación de energía regenerativa del sistema de frenos en los autobuses híbridos.

3.5.2 Norma vigente

Ninguna

3.5.3 Requerimientos de la prueba

- Temperatura ambiente entre 7 y 38 ^{o}C. Este margen representa el rango de temperaturas adoptado por la EPA.
- El lugar de la prueba debe ser una vía seca, derecha, pavimentada y plana.
- El vehículo de prueba se debe encontrar cargado a su máxima capacidad.

3.5.4 Requerimientos de instrumentación

- Amperímetro de DC de banda ancha, el cual deberá tener un período de integración menor que 0.05 segundos, de tal forma que los cambios bruscos de corriente puedan ser acomodados sin introducir errores significativos de integración.
- Potenciómetro AC para medir la energía de recarga
- Voltímetro
- Amperímetro

3.5.5 Aspectos a verificar antes de la prueba

- Ventilación y refrigeración de las baterías
- Protección a la exposición a alto voltaje
- Cualquier otra precaución de seguridad que debiera ser considerada para el desarrollo de las pruebas.

Esta metodología permite, para ciertos niveles de tolerancia entre el SOC inicial y el SOC final, evita la corrección de datos que se encuentran efectivamente en un cambio neto igual a cero en los niveles de energía.

Un aspecto importante a considerar en la medición de emisiones y consumo de combustible en vehículos de tecnología híbrida, es monitorear la actividad de las baterías del autobús con el fin de asegurar que la cantidad neta de energía eléctrica descargada para completar un determinado ciclo de conducción es mantenida bajo un cierto nivel de tolerancia.

El estado de carga (Δh) de las baterías del autobús deberá ser medido en forma continua a razón de 1 hz o más, durante el desarrollo de toda la prueba. Este registro de datos se obtendrá mediante la integración temporal de las mediciones de corrientes instantáneas utilizando un amperímetro que tenga incorporado el sistema de integración (DC/AC).

CAPÍTULO IV PRUEBAS AMBIENTALES

Las pruebas ambientales a que estarán sujetos los autobuses consistirán en la medición de emisiones de contaminantes de escape, de opacidad y de ruido. Éstas se describen a continuación.

4.1 EMISIÓN DE CONTAMINANTES

La medición de emisiones contaminantes se realizará mediante el uso de dos sistemas de medición diferentes: un dinamómetro de chasis y un equipo de medición a bordo. Cada una de estas dos pruebas se describe brevemente a continuación.

4.1.1 Prueba en dinamómetro de chasis

Esta prueba tiene por objetivo evaluar comparativamente, a la altura de la Ciudad de México, las emisiones generadas por los autobuses urbanos con tecnología de diesel bajo azufre, gas natural e híbridos (diesel-eléctricos), bajo un ciclo de manejo característico de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y un ciclo de referencia.

La prueba se llevará a cabo montando el vehículo sobre un dinamómetro de rodillos de tal forma que pueda ser conducido bajo distintos ciclos de conducción para así medir las emisiones generadas.

Cuando se realiza un ensayo de chasis a un bus convencional, toda la energía entregada por el motor es igual a la necesaria para completar el ciclo de conducción utilizado en el ensayo.

Mediante el uso de este equipo será probada parte de la flota descrita en el Capítulo II, utilizándose dos ciclos de manejo distintos: uno característico de la Ciudad de México (MCS, por sus siglas en inglés) y otro de referencia que será el *European Transient Cycle* (ETC). En el caso del MCS, éste será diseñado para representar la operación característica de los autobuses de transporte público en la Ciudad de México, permitiendo la comparación del desempeño de distintas tecnologías de acuerdo con la operación real. El ciclo ETC será probado a fin de adquirir información de emisiones a la altura de la Ciudad de México y permitir que estos resultados sean comparados con los obtenidos utilizando el mismo ciclo en otras regiones del mundo.

Se ha determinado que la flota a evaluar durante este estudio sea compuesta por autobuses actuales y los vehículos de prueba de mayor capacidad (autobuses articulados de 18 m).

En el caso de los vehículos a diesel, éstos serán probados utilizando los tres tipos de diesel. Con este motivo, previo a la prueba todos los vehículos operarán con diesel de 15 ppm durante una semana para que se limpie el sistema de combustión. Posteriormente, cada autobús será probado utilizando los tres tipos de diesel en el siguiente orden: 15 ppm, 50 ppm y 350 ppm.

Durante estas pruebas serán determinadas las emisiones de los siguientes contaminantes: CO, CO_2, NOx, N_2O, CH_4, HCNM, y PM, expresados en g/km.

El protocolo que se llevará a cabo para el caso específico de la prueba con dinamómetro de chasis se encuentra incluido en el Anexo III de este documento.

4.1.2 Prueba con equipo a bordo

Esta prueba tiene por objetivo conocer el comportamiento ambiental de vehículos de transporte público de pasajeros equipados con diferentes tecnologías, operando en condiciones actuales y óptimas de circulación (Corredor Estratégico de Transporte) de la Ciudad de México, mediante el uso del Sistema Portátil de Medición de Emisiones Vehiculares - RAVEM.

Para llevar a cabo las pruebas de emisiones a bordo se utilizará el equipo de medición de gases portátil Ride-Along Vehicle Emission Measurement System (RAVEM) cuyas especificaciones técnicas aparecen en el Anexo I de este documento.

La medición de emisiones será realizada en condiciones normales de operación y en tres ocasiones, llamadas “campañas de medición de emisiones”, mismas que estarán separadas entre sí por periodos de aproximadamente seis meses durante los cuales los vehículos estarán operando de manera normal y quemando el combustible definido en el Capítulo II. La realización de tres campañas de medición de emisiones permitirá apreciar los cambios, a través del tiempo, en el desempeño de los vehículos.

Los autobuses serán evaluados sobre la Avenida de los Insurgentes, en un tramo representativo de la operación normal de RTP sobre esta avenida, es decir, que durante el recorrido los autobuses seguirán operarán de acuerdo con el número de puntos de ascenso y descenso y el número de semáforos presentes. El recorrido se realizará con el autobús lastrado al 70% de su capacidad.

El tramo seleccionado para este fin comprende desde la Glorieta de Insurgentes hasta el Metro Indios Verdes, en el sentido sur – norte y en un horario comprendido entre las 9:00 y las 15:00 horas.

Durante cada una de las campañas de muestreo, serán determinadas las emisiones de los siguientes contaminantes: CO, CO_2, NOx, PM, metano, etano, eteno, propano, propeno, butano, 1,3 butadieno, aldehídos y cetonas, expresadas como g/km.

El protocolo de pruebas que se realizará utilizando el equipo de medición a bordo se denomina “Protocolo para Mediciones a Bordo de Emisión de Contaminantes a la Atmósfera de Autobuses Urbanos en Circulación (*Protocol for On-Board Measurement of Air Pollutant Emissions from Urban Transit Buses*)”, el cual está descrito en el Anexo II.

4.1.3 Correlación entre los métodos de medición de emisiones

Como parte de la ejecución de los protocolos de prueba para medición de emisiones, tanto con equipo a bordo como con dinamómetro de chasis, se realizará un estudio de correlación entre ambos métodos. Este estudio tiene por objetivo detectar posibles similitudes y diferencias entre los resultados obtenidos por ambos métodos y ofrecer una explicación a los mismos. Adicionalmente, los

resultados de este estudio permitirán relacionar resultados obtenidos mediante el uso del equipo a bordo en el futuro con aquel que se habría obtenido utilizando un dinamómetro de chasis.

Este estudio se realizará operando el equipo a bordo al momento de realizar pruebas de emisiones con el dinamómetro de chasis. De esta forma, las condiciones de prueba (ciclo de manejo, chofer, etc.) serán los mismos para ambas mediciones. El ciclo de manejo elegido para realizar este estudio de correlación es el ciclo ETC, ya que de esta manera los resultados obtenidos también podrán ser utilizados en complemento con otros obtenidos en otras regiones del mundo.

El análisis relacionado con los resultados obtenidos de este estudio será realizado de forma conjunta por los consultores encargados de realizar tanto la medición con dinamómetro de chasis como la medición con equipo a bordo, presentando un informe conjunto independiente de aquel que cada consultor presentará con motivo de las pruebas que realice.

Es importante aclarar que este estudio supone la validez de ambos métodos de medición, sin que se considere a uno mejor que al otro. Es decir, no deberá confundirse este estudio de correlación por uno de comparación entre métodos.

4.1.4 Factores que influyen en las emisiones de autobuses

El consumo de combustible y las emisiones de contaminantes de vehículos dependen de una gran variedad de factores que incluyen: tipo de vehículo y de tecnología del motor, condiciones de mantenimiento, condiciones climáticas y temperatura del motor. Las condiciones reales de operación de los vehículos, resultantes de las condiciones del trafico (caminos urbanos congestionados), el uso del vehículo (viajes cortos o largos, frecuencia de los viajes, etc.) y las conductas del conductor (agresivas o defensivas) amplían la gama de variaciones de consumo de combustible y de emisión de contaminantes.

Los siguientes factores influyen directamente en las emisiones de un motor diesel:

- Velocidad
- Potencia
- Temperatura Ambiente
- Tecnología tipo de motor-combustible(s)

A continuación se discute la influencia de cada uno de estos factores:

Velocidad

Al reducir la velocidad de operación, las emisiones disminuyen, pero en una menor proporción. Esto se traduce en un aumento de las emisiones por kilómetro cuando se reduce la velocidad promedio.

El AP-421 presenta en su anexo H, en la sección Heavy-Duty Diesel Trucks (HDDT), factores de emisión en gramos por milla para vehículos Diesel pesados a una velocidad promedio de 20 MPH y a la vez entrega factores de corrección para distintas velocidades según la siguiente formula:

SCF(s) = EXP(A+B*s+C*s^2)

donde SCF significa Factor de corrección de velocidad (Speed Correction Factor), s es la velocidad promedio y los parámetros A, B y C son particulares para cada contaminante.

Potencia

Al existir factores de emisión expresados en g/kWh para cada categoría de vehículo, entonces se deduce que a mayor potencia, mayores son las emisiones. Una mayor potencia puede darse en los siguientes casos:

- Para acelerar se deben aumentar las revoluciones por minutos del motor y para ello se le exige una mayor potencia lo que se traduce en mayores emisiones. Un motor mas revolucionado no significa necesariamente una mayor velocidad del vehículo, ya que dicha relación depende del cambio en que sé este operando.
- Al ir de subida o al cargar un peso mayor, la potencia exigida al motor será mayor y esto aumentara la emisión de contaminantes.
- Para una misma categoría de vehículo, a mayor cilindrada mayor será la potencia media entregada por el motor y por consecuencia emitirá más.

Temperatura Ambiente

Las emisiones generadas por los vehículos pueden ser separadas en dos tipos. La primera son las emisiones a temperatura estable de funcionamiento (*Hot emissions*) y las segundas son las emisiones durante el tiempo en que el vehículo se está calentando (*cold start emissions)*. Los motores de combustión interna producen una mayor contaminación durante el tiempo en que el motor se está calentando antes de alcanzar su temperatura estable de funcionamiento, es decir, las *cold start emissions* son mayores a las *hot emissions*. Mientras menor es la temperatura ambiente, mayor es el tiempo que demora el motor en alcanzar su temperatura normal de funcionamiento, y por lo tanto, mayor y por mas tiempo es la emisión adicional generada por el vehículo. Si el vehículo es utilizado todo el día, como es el caso de los buses, la proporción del tiempo en el estado *cold start* es pequeña, y por lo tanto las emisiones promedio durante todo el día son poco sensibles a la temperatura ambiente.

Tecnología motor-combustible

Cada año los vehículos son más eficientes y tienen incorporadas modificaciones de acuerdo a las nuevas tecnologías, así tienden a ser menos contaminantes que los mismos modelos de años anteriores. Esto no solo se debe a la preocupación por el tema ambiental sino a que también los vehículos son cada vez más eficientes en cuanto al consumo de combustible lo que se traduce en menores emisiones

Conductor

El utilizar el mismo conductor durante las pruebas de emisiones dará mayor certeza en los resultados ya que se tendrá como un parámetro controlado. Este conductor deberá de tener una capacitación o en su caso tener experiencia de la forma de manejo del autobús que se probará.

4.2 PRUEBA DE RUIDO EN CONDICIONES REALES DE TRABAJO

4.2.1 Objetivo de la prueba

Medir los niveles de ruido en condiciones reales de trabajo de los autobuses a evaluar en la Ciudad de México.

4.2.2 Norma vigente

El procedimiento a seguir de la norma NOM-080-ECOL-1994.

4.2.3 Requerimientos físicos

- El sitio de medición se localiza en una zona a campo abierto libre de superficies reflectantes como edificios, vehículos estacionados, avisos, vallas etc., por lo menos dentro de un área de 20 metros de radio desde el micrófono y el vehículo bajo prueba.
- Las mediciones se efectuarán en sitios con un nivel sonoro de fondo inferior a 10dB(A) con relación al producido por el vehículo en prueba. Se emplea un protector contra el viento para evitar errores en las lecturas.
- La trayectoria por donde se realiza la prueba del vehículo debe ser uniforme, en concreto o asfalto.

4.2.4 Requerimientos de instrumentación

- Calibrador acústico. Este aparato, genera por una cavidad a través de un pequeño altavoz un nivel de presión acústica estable y conocido que es producido por un oscilador eléctrico.
- Sonómetro. Es el aparato normalizado que comprende un micrófono, un amplificador, redes ponderables y un indicador de nivel, que se utiliza para la medida de niveles de ruido según especificaciones determinadas.

4.2.5 Procedimiento para la prueba

- Con el vehículo estacionado en el lugar de la medición y el motor funcionando en marcha lenta en vacío, colocar el micrófono a una distancia de 1 m del orificio de la salida final de escape, formando un ángulo de 45° con el eje longitudinal del mismo y la parte exterior del vehículo a una altura no inferior de O.5 m del piso o conforme a la posición de la salida final del escape con respecto al nivel de piso, como se indica en el Anexo IV de este documento.
- En escapes verticales, la altura del micrófono debe ser igual a la altura resultante de colocarlo a 45° y a un metro por encima de la salida final del escape, ver Anexo IV.

- En escapes horizontales, la altura del micrófono debe ser de O.5 m con respecto al piso.
- Una vez colocado el sonómetro en la posición indicada. (Ver Anexo IV), acelerar el motor del vehículo sin brusquedad, hasta que actúe el gobernador del mismo y registrar en 3 ocasiones el nivel sonoro.

4.2.6 Mediciones

- Ajustar el sonómetro en integración rápida y en la ponderación "A".
- Calibrar el sonómetro, según lo indicado por el fabricante del equipo.
- El nivel sonoro de fondo, incluyendo los efectos de viento que provenga de fuentes diferentes del vehículo que esté siendo medido, debe ser registrado inmediatamente antes y después de efectuar la medición del referido vehículo. Dicho registro se efectuará en tres ocasiones requiriéndose que el más alto sea de 1O dB (A) inferior al registrado durante la medición del vehículo.

4.2.7 Límites permisibles de ruido

El límite permisible de ruido para un determinado vehículo se encuentra relacionado con el peso bruto del mismo, de acuerdo con la información que se presenta en la tabla a continuación:

PESO BRUTO VEHICULAR (kg)	LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES dB(A)
Hasta 3,OOO	86
Más de 3,OOO y hasta 1O,OOO	92
Más de 1O,OOO	99

Para el caso de los autobuses híbridos el cálculo para la prueba de ruido por debajo de la tendencia normal de operación muestra exceso de ruido para bajo SOC cuando el autobús se detiene en lugares sensitivos.

4.3 PRUEBA DE OPACIDAD

Se realizarán pruebas de opacidad de acuerdo al protocolo SAE J1667, mismo que está en proceso de adoptarse como Norma Oficial Mexicana por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Sin embargo, el opacímetro a utilizarse para la realización de las pruebas deberá ser de flujo parcial (cámara cerrada).

Los vehículos que utilicen diesel para su locomoción deberán ser probados mensualmente o cada vez que les sea practicado algún mantenimiento de carácter preventivo o correctivo. Mientras tanto, las unidades que no requieran diesel, sólo serán probadas semestralmente, toda vez que las unidades con motor ciclo Otto no generan golpe de humo.

4.3.1 Objetivo de la prueba

Comparar los niveles de opacidad de los productos de combustión de los vehículos diesel del proyecto de transporte de la Ciudad de México.

4.3.2 Requerimientos técnicos del equipo de medición

El instrumento de medición deberá operar bajo el principio de reducción de la luz y tener las siguientes características.

- El opacímetro debe consistir de dos unidades fundamentales. La unidad óptica y la unidad de control remoto.
- Debe permitir la colocación interna dentro del tubo, de tal manera que el haz de luz atraviese la pluma de humo.
- La fuente de luz debe ser una fuente incandescente o infrarroja.
- La señal luminosa debe ser alineada en un haz de luz con un diámetro nominal de 2.86 cm y un ángulo de divergencia máximo de 16 grados.
- Debe poseer un detector opuesto a la fuente de luz, para medir la cantidad de ésta bloqueada por el humo del escape.
- Poseer un registrador remoto que capture la señal amplificada.

4.3.3 Ensamblaje del equipo

- Montaje externo: La unidad óptica del opacímetro deberá montarse radialmente al tubo de escape. La distancia del centro de la unidad óptica a la salida del tubo de escape debe ser 12.7 $\pm$ 2.54 cm. El flujo de la corriente de escape debe estar centrado entre la fuente y las aberturas del detector y sobre el eje del haz de luz, se debe suministrar energía a la unidad de control del opacímetro con 15 min de anticipación para permitir la estabilización.
- Montaje interno: la unidad óptica del opacímetro deberá montarse axialmente al tubo de escape, de tal manera que la medición se pueda hacer formando un ángulo recto con el eje de la pluma de los gases. La distancia del extremo de la unidad óptica a la salida del tubo de escape debe ser mínimo de 5 cm. El flujo de corriente de escape deberá estar centrado entre la fuente y las aberturas del detector y sobre el eje del haz de luz, se debe suministrar energía a la unidad de control del opacímetro con 5 min de anticipación para permitir la estabilización del equipo.

4.3.4 Procedimiento previo

- Calibrar el equipo de medición como lo establece el fabricante.
- Verificar que la transmisión del vehículo se encuentre en neutro o parqueo.
- Revisar que las siguientes partes del vehículo se encuentren en buenas condiciones.
  - El tubo de escape.
  - El sistema de admisión de aire y el filtro de aire.
  - El filtro de combustible.
  - El tapón del deposito de aceite y del tanque de combustible.

- Revisar que el nivel del aceite en el cárter esté en el nivel adecuado.
- Ingresar en el medidor los datos del vehículo: fabricante, placa, modelo, cilindrada, etc.

4.3.5 Procedimiento de medición

- Verificar la calibración del opacímetro.
- Encender el vehículo y operarlo a marcha mínima o ralentí hasta alcanzar la temperatura normal de operación del motor.
- Con la transmisión en neutro y el motor en marcha mínima, se acelerará el motor a máxima revolución estable y sin carga. A continuación se permite que el motor regrese a marcha mínima, repitiendo la operación por 4 veces, por intervalos de 10 segundos, de las cuales se descartará la primera medición, registrando de cada una de ellas el valor máximo de opacidad observado en un formato de control automatizado. Si la dispersión en la medida es mayor al 3.5% se repite la medición.

La infraestructura para realizar estas pruebas (opacímetro, fuente de poder y personal de apoyo), será aportada por la Secretaría del Medio Ambiente del GDF. Sin embargo, el costo de la calibración de los equipos, misma que deberá ser realizada por laboratorios autorizados por la Entidad Mexicana de Acreditación, será cubierto por los recursos del proyecto.

El resultado que se espera tener es la comparación de niveles de opacidad de las diferentes tecnologías, identificando el efecto de un mal mantenimiento en el comportamiento del coeficiente de absorción de luz.

Para el caso de los autobuses híbridos la prueba puede ser llevada a cabo de la misma manera que para un motor a diesel normal.

CAPÍTULO V PRUEBAS DE COSTO

El consumo de combustible será medido durante el desarrollo de las pruebas de emisiones. Es decir, que se hará esta prueba utilizando tanto el equipo de medición a bordo como el dinamómetro de chasis.

5.1 PRUEBA DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE CON EQUIPO A BORDO

El consumo de combustible se hará por medio de varios caminos como por ejemplo por peso, por medio de un medidor de flujo así como por el método de balance de carbono a partir de los datos obtenidos del RAVEM.

5.1.1 Objetivo específico

Medir el consumo de combustible de los autobuses de prueba al realizar una ruta típica de trabajo en la Ciudad de México.

5.1.2 Norma vigente

El procedimiento a seguir se regirá por la Norma SAE J1376 JUL82.

5.1.3 Requerimientos físicos

- Rango de temperatura ambiente entre 16 y 27 ^{o}C.
- Velocidad del viento para la prueba debe ser menor de 32 km/h.
- El lugar de la prueba debe ser recto, nivelado, seco, pavimentado. El máximo cambio de elevación en la prueba no debe ser mayor de $\pm$ 45 m en 1 km.

5.1.4 Requerimientos de instrumentación

- Tanque para muestra de combustible, con acoples para conectar al sistema de alimentación de combustible del vehículo.
- Balanza para pesar el tanque de combustible con exactitud de 50 g.
- Medidor de velocidad con una exactitud de 0.8 km/h.
- Medidor de aceleración capaz de indicar aceleración negativa o positiva, con una exactitud de 0.15 m/s^2.
- Medidor de tiempo capaz de medir intervalos de 0.5 s y con una exactitud de 0.5 s en 1 hora.
- Medidor de temperatura con exactitud de –17 ^{o}C. El sensor debe estar protegido contra las fuentes de calor por radiación. Se debe medir temperatura de bulbo seco y de bulbo húmedo.
- Medidor de velocidad del viento con exactitud de 3 km/h entre 6 y 32 km/h. La velocidad del viento se debe indicar con un compás de 16 puntos (360 grados).
- Medidor de distancia capaz de medir 0.5% de la distancia total. Este medidor se utiliza si la prueba no se realiza en una ruta predeterminada.

- Báscula para el vehículo con una exactitud de 1.0% y una resolución de 50 lb o menos.
- Medidor de flujo para llevar a cabo la prueba de consumo de gas natural.

5.1.5 Aspectos a verificar antes de la prueba

- Temperatura normal de operación en el motor.
- Vehículo a máxima carga.
- Presión de las llantas en valores especificados por fabricante.

5.1.6 Procedimiento para la prueba

- Determinar el peso inicial del tanque de combustible de control.
- Determinar la temperatura inicial del combustible en el tanque de control
- Determinar las condiciones ambientales (humedad, temperatura, velocidad de viento).
- Seguir el ciclo de operación definido para la prueba con equipo a bordo (Capítulo IV, 4.1.2). Este ciclo simula las condiciones de operación típicas a las cuales trabajará el vehículo.
- Determinar el peso final del tanque de combustible de control.
- Medir temperaturas del combustible dentro del tanque de control.
- Medir condiciones atmosféricas finales (temperatura, humedad y velocidad de viento)
- Repetir la prueba hasta que la diferencia de los consumos entre pruebas sea menor que 1%.

Para mejorar la calidad de las mediciones será necesario definir un rango en la velocidad para mayor precisión en la prueba de consumo de combustible y para ello se puede llevar un registro de la velocidad durante las mediciones.

5.2 PRUEBA DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE CON DINAMÓMETRO DE CHASIS

Al momento de realizarse pruebas utilizando el dinamómetro de chasis, será determinado el consumo de combustible, para cada autobús y para los dos ciclos de manejo (MCS y ETC).

5.2.1 Objetivo específico

Medir el consumo de combustible de los autobuses de prueba al realizar los dos ciclos de manejo (MCS y ETC) que serán probados en el dinamómetro de chasis.

5.2.2 Norma vigente

Directive 93/116/EC

5.2.3 Requerimientos físicos

Al utilizar un dinamómetro de chasis, éste simula las condiciones de la calle y asimismo se programa para simular el arrastre del viento, el desgaste de los neumáticos y la inercia del vehículo. Sin embargo es necesario que la temperatura ambiente no rebase los 30 °C y contar con protección contra la lluvia.

5.2.4 Procedimiento para la prueba

La determinación de consumo de combustible mediante el uso de dinamómetro de chasis se basa en el balance de carbono. Esto es, se mide la cantidad de CO, CO_2 e hidrocarburos emitidos por el vehículo y la cantidad de carbono contenida en estos compuestos se correlaciona con la cantidad de carbono contenida en una unidad de volumen de combustible. La correlación apropiada aparece en la norma europea Directive 93/116/EC, sección 7. El procedimiento forma parte del protocolo que se encuentra en el Anexo III de este documento.

5.3 CONSIDERACIONES ESPECIALES

5.3.1 Combustible

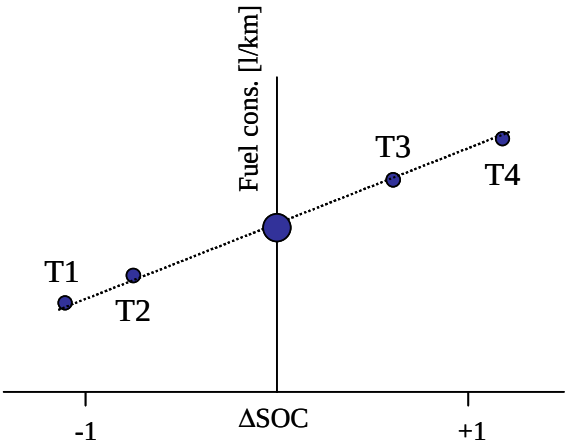
A lo largo de la prueba de consumo de combustible será necesario un control de calidad de combustibles (para el caso del diesel limpio) misma que está siendo diseñada para tener la certeza de estar utilizando el combustible con la misma calidad durante el desarrollo de las mismas.

5.3.2 Vehículos híbridos

Para autobuses híbridos las pruebas de consumo de combustible, el flujo de energía (cambio en la tracción del estado de carga de la batería o ΔSOC) de la batería puede ser compensado. Esto puede ser dado por repeticiones (prolongar) del procedimiento de prueba o por regresión lineal.

Para determinar la diferencia en emisiones y consumo de combustible dependiendo de los cambios en SOC durante el ciclo de manejo, cada ente medido es corregido para diferencias de SOC usando el método de regresión lineal. La relación no es perfectamente lineal, pero ha sido fundamentada como aproximación lineal en simulaciones y en pruebas en dinamómetros.

En la figura siguiente se muestra el consumo de combustible vs. ΔSOC de un autobús híbrido para varios ciclos de manejo, teniendo el vehículo a diferentes (alto y bajo) SOC iniciales. El valor de la intersección de y es el valor correcto de SOC para esta forma de operación.



En el caso de que los vehículos híbridos requieran de un periodo de recarga mediante conexión a la red eléctrica, la energía obtenida por este medio deberá ser cuantificada y, mediante equivalencia energética, considerada como combustible.

CAPÍTULO VI COSTOS

En esta sección se desarrolla la metodología para estimar los costos operacionales asociados a las diferentes tecnologías.

Los alcances de está metodología quedan definidos por las tecnologías que se evaluarán, lo que constituye el marco general. Estas tecnologías son las siguientes:

- Autobús a GNC.
- Autobús a diesel limpio
- Autobús a diesel normal
- Autobús híbrido

El diseño metodológico debe permitir la comparación, desde el punto de vista de los costos operacionales, de las tecnologías antes señaladas, a través de la estimación de los costos unitarios, costos anuales por pasajero transportado, por kilómetro recorrido y los indicadores de costos globales que sea posible establecer a través de una combinación de los anteriores.

Los costos de operación pueden ser desagregados como sigue:

6.1 COMBUSTIBLE

Corresponde a los costos asociados directamente al combustible y aditivos en caso de usarse. Dado que los costos unitarios de los combustibles y aditivos son variables en el tiempo, éstos deben ser recopilados directamente de los registros implementados en el programa de seguimiento operacional.

Los costos asociados al consumo de combustible, pueden ser calculados mediante las siguientes expresiones:

$$Ctcomb\ (km) = \frac{\Sigma_i\ CC_i * P_i}{K_t}$$

O bien:

$$Ctcomb\ (Pas) = \frac{\Sigma_i\ CC_i * P_i}{Pa_t}$$

Donde:
Ctcomb (km) = costo por consumo de combustible en el período t, en ($/km)
Ctcomb (Pas) = costo por consumo de combustible en el período t, en ($/Pasajero)
CC_i = cantidad de combustible cargado, en (litro) o (m^3)
P_i = precio unitario del combustible, en ($/L) o ($/m^3)
K_t = kilómetros recorridos, en (km)
Pa_t = pasajeros transportados, en (pasajeros)

6.2 MANTENIMIENTO

Los costos asociados al mantenimiento se dividen en mantenimiento preventivo y correctivo. El mantenimiento preventivo corresponde a todas aquellas intervenciones programadas indicadas por el fabricante que son necesarias para asegurar una total disponibilidad operacional del autobús y el cumplimiento de la vida útil prevista. Dentro del mantenimiento preventivo se incluyen los cambios y consumo de aceite lubricante así como el mantenimiento a los filtros de partículas para los autobuses que utilizan diesel limpio. El mantenimiento correctivo corresponde a todas aquellas intervenciones no previstas en el programa de mantenimiento preventivo, producto de fallas inesperadas.

Los costos de mantenimiento, incluyen el costo de mano de obra y refacciones, deben ser recopilados del programa de seguimiento operacional, específicamente de los registros de las operaciones de mantenimiento.

Los costos asociados al mantenimiento en un período t de análisis, se calculan de la siguiente manera:

$$Ctmant\ (km) = \frac{\Sigma_i CMP_i + \Sigma_i CMC_j}{K_t}$$

$$Ctmant\ (Pas) = \frac{\Sigma_i CMP_i + \Sigma_i CMC_j}{Pa_t}$$

Donde:
Ctmant (km) = costo por mantenimiento en el período t, en ($/km)
Ctmant (Pas) = costo por mantenimiento en el período t, en ($/Pas)
CMP_i = costo por mantenimiento preventivo i realizado en el período t, en ($)
CMC_j = costo por mantenimiento correctivo j realizado en el período t, en ($)
K_t = kilómetros recorridos en el período t, en (km)
Pa_t = pasajeros transportados en período t, en (pasajeros)

6.3 INSUMOS

Dentro de los insumos deben ser considerados aquellos directamente relacionados con el autobús, excepto aquellos que han sido considerados en los costos de mantenimiento, tal es el caso de los insumos asociados al servicio. Dentro de estos costos se consideran los siguientes: neumáticos, accesorios, servicios, entre otros. Muchos de estos insumos corresponden a costos fijos, los que pueden ser estimados para cada tecnología como el cambio de filtro de partículas y catalizadores para autobuses que utilizan diesel limpio. Para el caso de los autobuses híbridos el reemplazo de baterías es de vital importancia ya que su vida útil va desde los 3 a 5 años. Otros insumos deberán ser obtenidos del programa de seguimiento operacional.

Los costos asociados a los insumos, pueden ser calculados como sigue:

$$C^t_{insumos}\ (km) = \frac{\sum_i I_i * PI_i}{K_t}$$

$$C^t_{insumos}\ (Pas) = \frac{\sum_i I_i * PI_i}{Pa_t}$$

Donde:
$C^t_{insumos}$ (km) = costo por insumos en el período t, en ($/km)
$C^t_{insumos}$ (Pas) = costo por insumos en el período t, en ($/Pas)
I_i = cantidad de insumo i, en el período t
PI_i = precio unitario del insumo i, en ($)
K_t = kilómetros recorridos en el período t, en (km)
Pa_t = pasajeros transportados en el período t, en (pasajeros)

6.4 REMUNERACIONES

Este tipo de costos considera las remuneraciones del personal directamente relacionado con el autobús (operadores) así como aquellos asociados al servicio. (Inspectores, limpieza del autobús, personal administrativo). En este último caso será posible asociar a la fracción del costo total asociado a cada vehículo de cada flota.

Los costos asociados a remuneraciones atribuibles a un autobús de tecnología bajo estudio, pueden ser calculados como sigue:

$$C^t_{Rem}\ (km) = \frac{VHD * HHD + \frac{\sum_i VHI_i * HHI_i}{N}}{K_t}$$

$$C^t_{Rem}\ (Pas) = \frac{VHD * HHD + \frac{\sum_i VHI_i * HHI_i}{N}}{Pa_t}$$

Donde:
C^t_{Rem} (km) = costo por remuneraciones en el período t, en ($/km)
C^t_{Rem} (Pas) = costo por remuneraciones en el período t, en ($/Pas)
VHD = valor unitario hora de personal directo (conductores), en ($/día)
VHI_i = valor unitario hora de personal indirecto del tipo i, (administrativos y otros), en ($/día)
HHD = horas de personal directo en período t, en ($)
HHI_i = horas de personal indirecto del tipo i en período t, en ($)
N = número de vehículos de la flota operativa en el periodo t.
K_t = kilómetros recorridos en el período t, en (km)
Pa_t = pasajeros transportados en el período t, en (Pas)

6.5 ADMINISTRACIÓN

Los costos de administración incluyen aspectos tales como costos financieros, gastos generales y amortizaciones de capital, entre otros, muchos de los cuales dependen de los costos de inversión, razón por la cual puede resultar apropiado expresarlo en función de estos.

Los costos administrativos pueden calcularse como sigue:

$$C^t_{Adm}\ (km) = \frac{\frac{\sum_i CAd_i}{N}}{K_t}$$

$$C^t_{Adm}\ (Pas) = \frac{\frac{\sum_i CAd_i}{N}}{Pa_t}$$

C^t_{Adm} (km) = costos administrativos en el período t, en ($/km)
C^t_{Adm} (Pas) = costos administrativos en el período t, en ($/Pas)
CAd_i = costo total administrativo tipo i en el período t, en ($)
N = número de vehículos de la flota operativa en el período t
K_t = kilómetros recorridos en el período t, en (km)
Pa_t = pasajeros transportados en el período t, en (Pas)

6.6 COSTOS TOTALES DE OPERACIÓN

Los costos totales de operación para el período t en estudio, ya sea expresados por kilómetro recorrido o pasajeros transportados, serán la suma de los costos anteriores, es decir:

$$C^t_{TOTALES} = C^t_{Comb} + C^t_{mant} + C^t_{Isumos} + C^t_{Rem} + C^t_{Adm}$$

CAPITULO VII EVALUCIÓN DE COSTO INCREMENTAL Y COSTO EFECTIVIDAD SEGÚN EL TIPO DE TECNOLOGÍA

A continuación se presenta una propuesta metodológica para evaluar el costo incremental y el costo efectividad del proyecto para la evaluación de tecnologías.

Una vez determinados los principales aspectos técnicos del proyecto piloto, se llevará a cabo un análisis que permita evaluar el costo incremental y el costo efectividad del proyecto. A continuación se describen los principales aspectos del análisis a realizar.

7.1 COSTO INCREMENTAL

Técnicamente el costo incremental se refiere al costo en el que incurre una empresa, organismo o institución al incrementar su producción en una unidad, y en términos generales los costos incrementales pueden analizarse desde dos puntos de vista: a corto y a largo plazo.

En el corto plazo, el costo incremental mide únicamente el aumento del costo variable total, resultante de un aumento de la producción. El concepto es equivalente con el de costo marginal. A largo plazo, los costos incrementales se obtienen calculando los costos de inversión en que incurre un operador producto de un aumento en la producción. Este cálculo debe referirse exclusivamente a las inversiones en los elementos necesarios, producto del aumento de capacidad de producción y no deben incorporarse los costos comunes ya asociados al proyecto.

De esta manera, la estimación del costo incremental debiera considerar las siguientes etapas:

7.1.1 Definición del caso base

El caso base será el autobús a diesel normal ya que es la tecnología mas usada en autobuses para transporte público de pasajeros. La mayor parte de los costos de esta tecnología son ya conocidos por las empresas que manejan un considerable número de autobuses a diesel, para ello es bueno contar con información de costos de empresas como RTP.

7.1.2 Cálculo de costos por escenarios

Previamente a estimar los costos incrementales del proyecto, se deben de definir o estimar los costos de inversión, de mantenimiento y de operación del proyecto, para cada uno de los escenarios definidos técnicamente con anterioridad.

7.1.3 Estimación de los costos increméntales

A partir de los resultados anteriores se deben calcular los costos incrementales para cada tecnología o solución factible. En particular se calcularán los siguientes costos:

- Costos de inversión

- Costos de operación y mantenimiento anuales.

Con estos dos valores se calcularán los costos anualizados para cada una de las tecnologías factibles. Estos valores serán anualizados considerando la vida útil de cada tecnología y la vida útil de las inversiones en infraestructura. Específicamente, el costo incremental de largo plazo debiera calcularse tomando en cuenta, entre otros, los siguientes principios básicos:

- Incluir únicamente los costos directos e indirectos de las funciones, elementos, facilidades y activos necesarios, incluyendo los costos de planeación, operación y mantenimiento de la infraestructura necesaria.
- Para calcular el valor de los activos se tomará en cuenta la inversión adicional requerida, considerando las tecnologías y/o soluciones potenciales.
- Para el cálculo de los costos incrementales no se utilizarán los costos iniciales llamados también costos históricos.

Considerando que se trata de evaluar el costo incremental de un proyecto cuya duración es de corto plazo, la metodología debe incorporar este aspecto dentro de la evaluación.

7.2 COSTO EFECTIVIDAD

La metodología de evaluación de costo – efectividad permite al responsable o administrador de un determinado proyecto realizar comparaciones con medidas cuantitativas de los resultados utilizados conjuntamente por los programas o servicios estudiados. Estos estudios pueden ser utilizados además de las medidas cualitativas de la ejecución del programa, para la toma de decisiones. Por ejemplo, el costo por usuario de un lugar de servicio rural puede ser más alto que el costo de un servicio en un lugar más centralizado, pero el responsable o administrador debe decidir si incluye recursos adicionales al programa rural, ya sea por razones políticas o de otra índole.

Teniendo presente lo anterior, el desarrollo de una metodología para la evaluación del costo efectividad considerará los siguientes puntos.

- Transferir costos al servicio que se trata de evaluar siempre y cuando sean comparables.
- Elegir un resultado cuantificable o el resultado de un programa que pueda servir como indicador de la efectividad o éxito del programa.
- Identificar el costo por resultado.

El objetivo de este análisis económico será desarrollar indicadores de costo eficiencia con respecto a la reducción de las emisiones de contaminantes globales y locales o criterio. De acuerdo a lo mencionado anteriormente, para realizar este análisis económico se deberán desarrollar las siguientes actividades.

- Definición del caso base.
- Estimación de los costos incrementales
- Estimación de los cambios en emisiones
- Construcción de indicadores

A continuación se describe la metodología a usar para cada una de las etapas.

7.2.1 Definición de caso base

El caso base será el autobús a diesel normal ya que es la tecnología mas usada en autobuses para transporte público de pasajeros. La mayor parte de los costos de esta tecnología son ya conocidos por las empresas que manejan un considerable número de autobuses a diesel, para ello es bueno contar con información de costos de empresas como RTP.

7.2.2 Estimación de los costos increméntales

Para cada una de las tecnologías se deberá determinar los costos de inversión, operación y mantenimiento.

Para el caso de la inversión, el monto corresponderá al costo del autobús de acuerdo con los precios vigentes al momento de iniciado el proyecto piloto.

Respecto de los costos de operación y mantenimiento, estos deberán estimarse con la información operacional de tecnologías durante el período que dure el proyecto. Los principales datos que deberán estimarse son:

- Combustible
- Lubricante
- Neumáticos
- Mantenimiento (correctivo y preventivo)
- Filtro de partículas
- Catalizador

A partir de los costos unitarios de mantenimiento, operación e inversión obtenidos de la forma descrita anteriormente, se deberá calcular el costo incremental para cada tecnología.

Para ello se deberá restar los costos asociados a cada tecnología el costo de la tecnología base (diesel normal).

7.2.3 Estimación del cambio en el nivel de emisiones según la tecnología

La variación de emisiones, tanto para contaminantes locales como globales, se realizará comparando las distintas opciones tecnológicas con el escenario base en cuanto a sus emisiones para el período de tiempo que durará el proyecto. Los cambios en las emisiones en este período se generan a partir del cambio directo en el Factor de Emisión (FE(g/km)) para cada contaminante, de cada una de las tecnologías. Vale la pena aclarar que un factor de emisión es la combinación de un factor de ingeniería y un factor de actividad. Es decir, que no tan solo importa cómo está diseñado un motor, sino que el uso que se da al vehículo (estilo y condiciones de manejo) también influye en la cantidad de contaminantes que éste emite. Lo anterior refuerza la importancia de probar las diferentes tecnologías en condiciones reales de la Ciudad de México, lo cual se hará directamente en la

operación con el equipo a bordo y mediante la simulación en el dinamómetro de chasis utilizando el ciclo MCS.

Una vez que se cuente con el factor de emisión, se puede utilizar la siguiente ecuación que describe la variación en emisiones de una determinada tecnología *k* para el contaminante *j* :

$$\Delta E_{kj} = (FE_{kj} - FE_{kbasej}) * D_j$$

Donde:
K = Tecnología (híbrido, diesel normal, diesel limpio, gas natural, etc)
j = contaminante j
Kbase = tecnología base
FE_k = Factor de emisión del contaminante *j* (g/km) a la tecnología *k*
D_j = Distancia recorrida por el autobús de la tecnología *j* en la misma ruta de operación del autobús de tecnología base.

7.2.4 Construcción de indicadores

Una vez estimados los costos y cambios de emisiones para cada una de las combinaciones j, i éstas se deberán calificar de acuerdo con el siguiente indicador de desempeño:

Razón costo / efectividad para contaminantes locales primarios y gases de efecto invernadero.

Descripción del indicador

El análisis del costo efectividad nos proporciona un buen indicador del costo generado por cada opción al reducir una unidad de contaminación. Debido a que existe más de un contaminante para el cual se puede realizar este análisis, éste de concentrará, desde el punto de vista local, en aquellos contaminantes señalados en los términos de referencia del presente estudio: PM, NOx y CO.

Por otra parte desde el punto de vista global, se deberá analizar el costo efectividad de las reducciones de CO_2 equivalente, es decir aquellas emisiones que consideran las emisiones de CH_4 y N_2O además de las de CO_2.

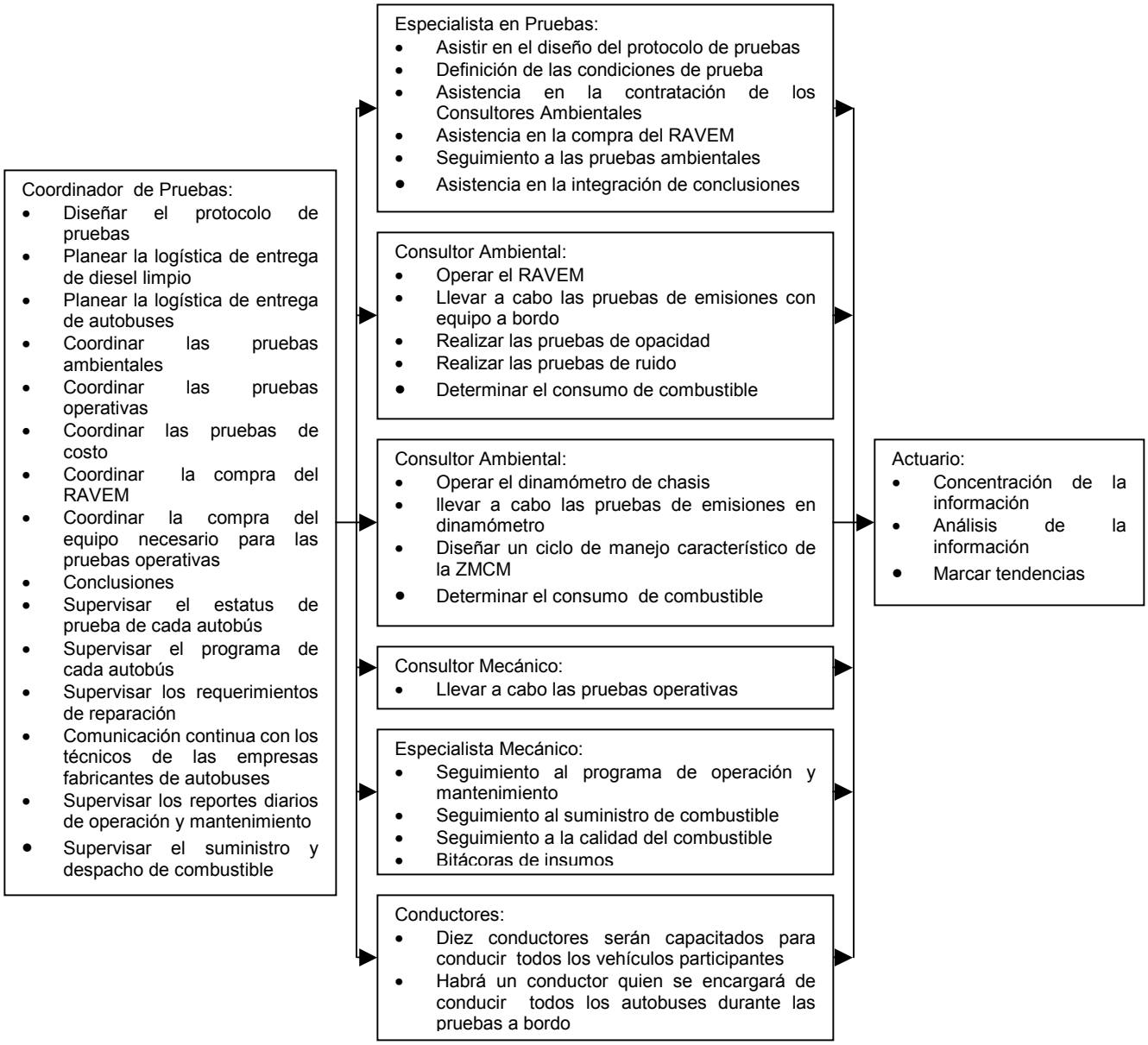
De esta manera, el indicador de costo efectividad para cada contaminante j del tipo i (criterio o global) de la tecnología k queda expresada como:

$$\text{Costo efectividad}^{i}_{k,j} = \frac{\text{Costo incremental}_{k,j}\ (\$/\text{ton}^{i})}{\Delta E^{i}}$$

CAPÍTULO VIII EJECUCIÓN Y RESULTADOS

8.1 PERSONAL ENCARGADO DE LLEVAR A CABO EL PROTOCOLO DE PRUEBAS

A continuación de describen las funciones del personal encargado de llevar a cabo el protocolo de pruebas en los autobuses a evaluar.



8.2 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

- Condiciones de seguridad de cada autobús
- Condiciones de desempeño operativo de cada autobús
- Costos de operación y mantenimiento de cada autobús
- Rendimiento de combustible para cada autobús
- Emisión de ruido de cada autobús
- Nivel de opacidad de cada autobús
- Emisiones de contaminantes criterio y globales para cada autobús
- Recarga de batería (autobuses híbridos)
- Estimación de la reducción, para cada una de las tecnologías evaluadas, de las emisiones de CO, CO_2, HCT, HCNM, CH_4, NOx y PM expresadas en toneladas anuales de acuerdo al comparativo con la emisión base.
- Potencial de generación de ozono de las emisiones emitidas por cada tecnología, cuantificada de acuerdo a la reactividad especifica de cada hidrocarburo.
- Emisión de gases efecto invernadero expresando los resultados en valores equivalentes para todos los contaminantes.

ANEXO I EQUIPO DE MEDICIÓN A BORDO

Engine, Fuel, and Emissions Engineering, Inc. (EF&EE) is pleased to submit this proposal to supply a "Ride Along Vehicle Emission Measurement System" (RAVEM™) to the Government of the Federal District (GDF). In addition to the RAVEM system itself, our proposal includes supplying all the additional equipment needed for emission testing and quality assurance procedures, and consumable supplies such as filters and calibration gases adequate for approximately 1000 emission tests.

Equipment and Supplies

Basic system – The basic system includes all of the equipment and supplies necessary to carry out on-board measurements of NOx, PM, CO_2, and CO on heavy-duty diesel and natural gas vehicles, except that the PM filter conditioning system and the microbalance for PM filter weighing are not included (since the GDF already has the needed equipment for its ambient PM measurements). Methane and volatile non-methane HC can also be determined by analyzing the bag samples of dilute exhaust with a GC-type methane/non-methane hydrocarbon analyzer (not included, since the GDF is believed to have at least one such analyzer already).

Figure 1: RAVEM system unit and gas analyzer unit

The basic system includes the following equipment:

> The RAVEM system unit, containing:
  - The CVS dilution tunnel, complete with blower, HEPA air filter, and system for automatic control and stabilization of the CVS flowrate;
  - Sierra Instruments thermal mass flow sensor for calibrating the automatic flow control system, with bypass valve to protect the mass flow sensor from PM contamination during emission sampling;
  - EF&EE's patented isokinetic partial-flow exhaust sampling system, including the differential pressure gage, automatic throttle control, and connections for the raw gas sample line and the differential pressure lines from the exhaust probe;
  - Dilute particulate sampling system, including particulate filter holders for sample and background filters, mass flow controllers, and vacuum pump;
  - Gaseous bag sampling system, including internal sample bags for dilute exhaust and background air samples, provision for connecting external sample bags, mass flow controllers, and sample pumps;
  - National Instruments Fieldpoint Ethernet-compatible data acquisition and control system providing analog-to-digital, digital-to-analog, and digital I/O;
  - Trimble SV8 GPS receiver;
  - Sensors for relative humidity and barometric pressure;
  - On-board Ethernet switch and Ethernet-to-serial converters for the GPS, gas analyzers, flow controllers, and automatic throttle controls;
  - External connections for calibration gases, data cable, Ethernet connection, and sample tube to the gas analyzer assembly.

> Gas analyzer unit, consisting of a military-type, water and dust-resistant, shock-mounted 19 inch rack containing:
  - California Analytical Instruments 400 HCLD heated chemilumenescent NO/NOx analyzer, with on-board filter, pump, and dryer system for pressurized air;
  - California Instruments ZRH NDIR analyzer for CO_2 and CO with on-board Nafion™ sample dryer system (NB: EF&EE is investigating potentially superior technologies such as laser diode interferometry for CO and CO_2 detection. If EF&EE and GDF agree, a superior technology could be substituted);
  - Power, signal conditioning, and data cable connections;

> Laptop computer with Ethernet control link, RAVEM 3 control and data analysis software, Microsoft Excel and Visual Basic 6.0 pre-installed;

> Uninteruptible power source/battery chargers suited for 12 and 24-volt vehicle electrical systems, with 30 meters of AC power cord;

> Four isokinetic sampling probes with 15 meters of insulated raw gas sampling line in various lengths;

> Two sets of PM filter holders designed for installation on the system unit;

> Ten sets of internal (15 liter) and 5 sets of external (60 liter) sampling bags for dilute exhaust gas and background air samples, with a separate container and quick-connect system for the external bags;

> Two sets of delta-pressure lines for the isokinetic sampling system, equipped with quick-connect fittings on both ends;

> Custom-built calibrator and leak check system for the delta-pressure lines;

> Two sets of pressure regulators for zero, CO/CO_2 span, and NOx span gases, and two sets of Teflon tubes with quick-connect fittings to conduct the gases to the RAVEM system unit;
> One CO_2 cylinder, regulator, and metering valves for performing CO_2 recovery checks;
> Two sets of three-way valves for diesel fuel supply and return lines, removable auxiliary fuel tank, and scale for performing diesel fuel recovery checks;
> Laminar gas mass-flow meter for measuring compressed natural gas fuel flow;
> Clamp-on type amps-to-millivolts transducer and signal conditioning systems required to measure energy flow into and out of the battery on hybrid-electric bus systems;

Figure 2: RAVEM 3 system measuring emissions from a CNG garbage truck, City of Ontario, California under a contract with the South Coast AQMD

> Automated gas divider system for checking the linearity of the gas analyzers;
> Eight heavy-duty ratchet-straps for securing the system and gas analyzer units to the vehicles under test;
> Operational manuals (in Spanish and English), and complete technical documentation for the system (in English only);
> A doppler radar instrument for measuring the speed and acceleration of the buses;
> Spare parts kit;
> NOx, CO/CO_2, and zero air calibration gases and PM filters adequate for approximately 1000 emission tests (Note: because of their expiration dates, the calibration gases will not be supplied all at once, but as-needed over the course of the test program).

Carbonyl measurement system -- This system comprises the additional equipment needed to measure emissions of carbonyls (aldehydes and ketones) according to U.S. EPA method TO-11a using DNPH cartridges. It comprises the following specific elements of equipment:

> Two additional mass flow controllers, two DNPH cartridge holders, and two sample pumps to expose the DNPH cartridges to controlled flows of dilute exhaust gas;
> 2000 DNPH cartridges;
> laboratory for storing the DNPH cartridges and two portable coolers for transporting them to and from the field;
> One SRI high-performance liquid chromatography (HPLC) system configured to perform EPA method TO-11a;
> HPLC-grade water, acetone, and other reagents needed for the HPLC system.

Speciation of gaseous hydrocarbons – This system comprises the additional equipment needed to determine the concentration of specific hydrocarbon gases such as methane, ethane, ethene, propane, propene, butane, butanes, and 1,3 butadiene in the dilute exhaust sample bags. This is considered important to adequately characterize the environmental impacts of the CNG vehicles. It comprises:

> One SRI gas chromatograph system equipped with a flame ionization detector (FID) and configured to perform California ARB methods 103 and 104;
> Supplies, including hydrogen FID fuel, required for the gas chromatograph system;
> 15 additional sets of 60 liter Tedlar bags equipped with light-protective covers.

Warranty

Engine, Fuel, and Emissions Engineering warrants all components of the RAVEM system against defects in materials or workmanship for a period of one year from the time it is first placed into service. EF&EE will repair or replace, at its option, any RAVEM system component that fails during the warranty period. This warranty does not apply to mechanical damage or other failure suffered as a result of abuse or improper operation, or to consumable items such as filters and Tedlar bags.

Warranty service in Mexico City will initially be provided through EF&EE's representative in Mexico, Ambientalis Consultoria y Proyectos del Medio Ambiente. In the event that Ambientalis personnel are unable to diagnose and correct any problem within 10 working days, then EF&EE will dispatch a suitably trained and qualified technician to Mexico City to carry out the diagnosis and repairs.

EF&EE further warrants that the RAVEM system, when operated and maintained in accordance with instructions, will be operational and available for emission testing on at least 80% of the working days during the warranty period. "Operational" includes achieving carbon balance within +/- 5% in the average of any three consecutive emission tests on the same vehicle. In the event that the RAVEM system fails to achieve this level of availability, EF&EE will dispatch a suitably trained and qualified technician to Mexico City to carry out the needed diagnosis and repairs; and will extend the warranty period by one month for each month in which the RAVEM system fails to achieve the specified availability level.

Price

	Basic System	Carbonyls	HC Speciation	TOTAL
RAVEM System Price	$255,000	$24,000	$35,000	$314,000

ANEXO II PROTOCOLO DE PRUEBAS PARA MEDICIÓN DE EMISIONES CON EQUIPO A BORDO

PROTOCOLO DE PRUEBAS PARA LA MEDICIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES CON EL SISTEMA PORTÁTIL DE MEDICIÓN DE EMISIONES VEHICULARES "RAVEM":

PROGRAMA DE INTRODUCCIÓN DE POLÍTICAS Y MEDIDAS DE TRANSPORTE AMIGABLES CON EL CLIMA DE LA ZMCM

INFORME PRELIMINAR

Noviembre de 2004

Preparado por:
Christopher S. Weaver
Engine, Fuel, and Emissions Engineering, Inc.
EF&EE, Inc.
Sacramento, CA, USA
Tel: (916) 368-4770

Preparado Conjuntamente con:
Marco V. Balam Almanza
AMBIENTALIS
Artemisa #95-9
Col. Nueva Santa María
México, DF. 02800
Tel: 52 (55) 5556-1685

AMBIENTALIS es una subsidiaria de:
BALAM, GARCÍA Y ASOCIADOS, S.C.

RESUMEN EJECUTIVO

Este informe presenta el protocolo de pruebas para llevar a cabo las campañas de medición de emisiones vehiculares a vehículos de tecnologías avanzadas, mediante el uso del RAVEM, dentro del llamado *PROGRAMA DE INTRODUCCIÓN DE POLÍTICAS Y MEDIDAS DE TRANSPORTE AMIGABLES CON EL CLIMA DE LA ZMCM*. Dicho proyecto es administrado por la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, y es financiado por el Banco Mundial.

Para la evaluación de mediciones de escape, los vehículos se correrán en dos rutas de manejo. La primer ruta en el tramo redondo de la Glorieta de Insurgentes a Indios Verdes entre las 9:00 am a 1:00 pm. En esta ruta se evaluarán los microbuses y buses de RTP sirviendo ese tramo de Insurgentes, así como vehículos transporte de pasajeros de tecnologías avanzadas. La segunda ruta será en el mismo tramo de Insurgentes pero la evaluación de emisiones se realizará en la noche, entre las 2:00 am y las 6:00 am, con lo cual se simularán las emisiones de un carril único para transporte público, que será construido en breve. Todos los vehículos evaluados en la primer ruta serán evaluados en esa segunda ruta.

Los contaminantes evaluados serán: dióxido y monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y partículas. También se medirán emisiones de compuestos orgánicos volátiles (con cuantificación de los compuestos individuales) y algunos carbonilos.

CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO 50

1. INTRODUCCIÓN 52

2. PROTOCOLO DE PRUEBA 55

2.1 APLICACIÓN 55
2.2 CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL VEHÍCULO Y CICLO DE MANEJO 56
2.3 CONTAMINANTES MEDIDOS 57
2.4 MUESTREO DE EMISIONES DE ESCAPE 58
2.5 MEDICIÓN DE CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES 59
2.6 CONTROL DE CALIDAD 62

3. RUTA DE MANEJO 65

3.1 RUTA INSURGENTES NORTE 65
3.2 RUTA CORREDOR INSURGENTES NORTE 68
3.3 CONDUCTORES 68

4. DESCRIPCIÓN DEL RAVEM 69

4.1 PRECISIÓN Y REPETIBILIDAD DEL RAVEM 70

¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.
¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: TIEMPOS DE VIAJE DE GLORIETA DE INSURGENTES A INDIOS VERDES, SIGUIENDO A UN BUS DE RTP. 66
TABLA 2: TIEMPOS DE VIAJE DE INDIOS VERDES A GLORIETA DE INSURGENTES SIGUIENDO A UN BUS DE RTP. 67

1 INTRODUCCIÓN

Engine, Fuel and Emissions Engineering, Inc. ha sido contratada por la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal para proveer asesoría técnica y llevar a cabo la medición de emisiones vehiculares con el Sistema Portátil de Medición de Emisiones Vehiculares RAVEM (*Ride-Along-Vehicle-Emissions-Measuring-System*). Dicha asesoría y medición de emisiones se dan dentro del llamado *PROGRAMA DE INTRODUCCIÓN DE POLÍTICAS Y MEDIDAS DE TRANSPORTE AMIGABLES CON EL CLIMA DE LA ZMCM*, el cual es administrado por la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal y financiado por el Banco Mundial. Así mismo, *Engine, Fuel, and Emissions Engineering, Inc.* ha subcontratado a la empresa local **AMBIENTALIS** para apoyarla en la realización de este proyecto, y este informa forma parte de la primera entrega del proyecto.

El presente documento constituye el protocolo de pruebas para llevar a cabo las campañas de medición de emisiones de escape a vehículos de tecnología actual y de las llamadas "nuevas tecnologías", las cuales serán evaluadas con el sistema RAVEM, en rutas que han sido definidas y determinadas conjuntamente con la Secretaría del Medio Ambiente y cuentan con la aprobación de los consultores técnicos del Banco Mundial.

Como se mencionó arriba, las emisiones serán evaluadas en rutas de manejo definidas a lo largo de Insurgentes Norte, en el tramo de la Glorieta de Insurgentes al paradero de Indios Verdes. La primer ruta simulará las condiciones actuales de ese trayecto, e incluirá todas las paradas de autobús existentes, simulando los trayectos de microbuses y autobuses de pasajeros actuales. La segunda ruta correrá a lo largo del mismo tramo de Insurgentes, pero se correrá de noche, simulando así al corredor único que será construido en esa vía. De tal manera que se contará con paradas de autobús que ya han sido definidas en el proyecto de construcción del corredor único, y que son diferentes que las paradas actuales del mismo trayecto.

Los vehículos a ser evaluados incluyen microbuses (a diesel, GLP y gas natural) y vehículos de la Red de Transporte de Pasajeros (todos a diesel, algunos EPA 98, y otros sin sistemas de control de emisiones). También, se evaluarán vehículos de tecnología avanzada, que incluyen a gas natural, diesel (EPA-98 o Euro III), y vehículos híbridos (diesel-electricidad).

Los contaminantes que serán evaluados son: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO2), óxidos de nitrógeno (NOx), partículas y óxidos de azufre (SOx - estos últimos calculados). También, se medirán emisiones de carbonilos y compuestos orgánicos volátiles de los vehículos con motores de ciclo Otto, y de los vehículos con motores diesel una vez puesto en marcha las sistemas GC y HPLC. (Por las demoras en la contratación para las sistemas de medición de COV y de carbonilos, so se dispondrán a esos sistemas al iniciar la programa de pruebas).

Entonces, los objetivos de la evaluación de los vehículos dentro de este proyecto son:

1. Medir las emisiones de los vehículos de transporte de pasajeros actuales, circulando en la Ciudad de México, en condiciones de operación y ruta normales. Estas emisiones servirán de línea base para la comparación de efectividad o beneficio, de cualquier medida de control de emisiones vehiculares.

2. Medir las emisiones de los mismos vehículos, simulando sus emisiones en un carril único. Dicho carril único será implementado más tarde dentro del *PROGRAMA DE INTRODUCCIÓN DE POLÍTICAS Y MEDIDAS DE TRANSPORTE AMIGABLES CON EL CLIMA DE LA ZMCM*.

3. Medir las emisiones de vehículos de tecnologías avanzadas en las condiciones actuales de Insurgentes Norte.

4. Medir las emisiones de vehículos de tecnologías avanzadas simulando la existencia del carril único mencionado arriba.

5. Finalmente, mantener bitácoras detalladas de costos de operación de los vehículos que son parte del proyecto. Estas bitácoras incluirán consumo de combustible, horas-hombre de choferes, mecánicos, partes, limpieza, etc., para determinar y comparar el costo-efectividad de cada una de las tecnologías evaluadas, incluyendo las tecnologías actualmente en uso. Esto permitirá al Gobierno de la Ciudad de México planear y elegir la tecnología más económica y benéfica en términos de emisiones contaminantes para el transporte público de pasajeros.

El alcance de este proyecto para EF&EE, Inc. y AMBIENTALIS, sin embargo, solo tiene como objeto la determinación de emisiones de los vehículos evaluados. La evaluación de los datos de costos correrá a cuenta del Gobierno del Distrito Federal.

Este documento está integrado por cuatro capítulos, donde el primero lo constituye la presente introducción. El segundo presenta el protocolo de prueba, con detalles de su aplicación, condiciones de operación del vehículo, contaminantes medidos y los procedimientos necesarios para medición de emisiones, así como las medidas de control de calidad.

El tercer capítulo es una descripción de las rutas de manejo a seguir, así como los requerimientos de conductor. Finalmente, el último capítulo es una descripción del RAVEM, y discute su función, así como su precisión y repetibilidad. También se presenta como anexo, información referente a los resultados esperados de mediciones entre laboratorios de emisiones con dinamómetro de chasis.

Finalmente, es importante hacer notar que el Protocolo de Prueba aquí presentado es preliminar, pues el plan final deberá ser consensuado entre el consultor, el Gobierno del Distrito Federal, el Sistema de Transportes Eléctricos y el Banco Mundial. También, dada la naturaleza de estas mediciones, este protocolo podría sufrir cambios una vez que sea implementado en campo.

2 PROTOCOLO DE PRUEBA

Este protocolo especifica los procedimientos para la medición de emisiones de escape a bordo de vehículos de transporte público de pasajeros, y vehículos similares, utilizando el Sistema de Medición de Emisiones Portátil RAVEM (Ride-Along Vehicle Emission Measurement System). La medición de emisiones de escape de material particulado, óxidos de nitrógeno, y otros contaminantes importantes deberán ser realizadas a bordo del vehículo mientras este se encuentre en operación en condiciones de servicio normales (para efectos de conveniencia logística, sin embargo, se recomienda la realización de las pruebas de emisiones sin pasajeros, pero simulándolos con peso muerto). Este protocolo está diseñado para cuantificar las emisiones de los vehículos existente de transporte público, así como los nuevos vehículos de tecnología avanzada de bajas emisiones que serán parte del proyecto piloto del Gobierno de la Ciudad de México y el Banco Mundial titulado *"Introduction of Policies and Actions for Environmentally Friendly Public Transportation in the Mexico City Metro Area"*.

2.1 APLICACIÓN

Este protocolo aplica para la medición de emisiones de escape en vehículos con motores recíprocos o de combustión interna, utilizando hidrocarburos y/o alcohol como combustible. Se ha diseñado para utilizarse en la flota de vehículos de transporte público existente, así como a los nuevos vehículos equipados con sistemas de control de emisiones avanzados y/o utilizando combustibles alternativos.

Este protocolo aplica a la medición de emisiones de vehículos específicos, considerándolos como un sistema integrado que incluye: la estructura, chasis, sistema de propulsión y cualquier sistema adicional de control de emisiones. Las emisiones serán medidas en unidades de masa por viaje, por unidad de tiempo, y/o por unidad de combustible consumido (este último calculado por balance de carbón).

Este protocolo difiere de procedimientos de prueba tales como el ISO 8178-1, y el *Heavy Duty Federal Test Procedure* de los EE.UU. en que esos procedimientos fueron diseñados para realizar pruebas solamente en el motor, en un dinamómetro de banco en laboratorio. Los resultados de esos procedimientos de prueba se reportan en *brake-specific emissions* (es decir en unidades de masa por unidad de trabajo realizado, por ejemplo en gramos/kilowatt-hora). El "trabajo" del motor no puede ser, de manera práctica, medido en vehículos en uso, y dichas mediciones no están incluidas en este protocolo. Los resultados obtenidos utilizando este protocolo, por lo tanto, no pueden ser utilizados para determinar *brake-specific emissions* directamente. Para una determinación aproximada de las *brake-specific emissions*, es necesario multiplicar las emisiones expresadas en gramos por kilogramo de combustible (tal como se medirán utilizando este protocolo), por un valor

conocido, o asumido, para el consumo *brake-specific* de combustible del motor en cuestión, expresado en kilogramos de combustible por kilowatt-hora.

2.2 CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL VEHÍCULO Y CICLO DE MANEJO

La medición de emisiones a bordo deberá realizarse, en la medida de lo posible, bajo condiciones que simulen el uso normal del vehículo, al mismo tiempo que se deberá mantener suficiente control sobre la ruta de manejo que permita asegurar la repetición y comparación de prueba a prueba para el mismo vehículo, y entre los resultados de los diferentes vehículos muestreados. Esto puede lograrse definiendo una ruta representativa en calles de la ciudad transitadas por autobuses similares, o bien en un circuito cerrado. En el caso de definir una ruta en las calles de la ciudad, esta deberá regresar el vehículo a su lugar de inicio de prueba después de aproximadamente 30-60 minutos de manejo. Las paradas de la ruta y las velocidades a desarrollarse se deberán establecer para reflejar o simular las condiciones reales de operación. El tiempo total del recorrido de la ruta también deberá ser cuidadosamente establecido, y deberá incluir 10% de tiempo extra en caso de que las condiciones de tráfico hagan que algún recorrido de la ruta sea más largo que el promedio. Los vehículos que regresen al punto de partida antes del tiempo esperado permanecerán en ralentí hasta que el tiempo asignado haya corrido su curso. Lo anterior permitirá que todos los trayectos tengan la misma duración.

Es posible realizar trabajos de medición durante la noche dado que las condiciones de temperatura en la Ciudad de México son bastante estables. De cualquier manera, el equipo RAVEM cuenta con sensores de temperatura y humedad relativa que ajustarían los datos generados en la noche para ser adecuadamente comparados con los datos generados durante el día. Es importante notar, sin embargo, que realizar mediciones durante la noche genera complicaciones de logística y seguridad, pues se complican los horarios de chofer, la instalación y remoción del RAVEM de vehículo a vehículo, el cargamento de peso muerto, así como otros problemas surgidos del horario a altas horas de la madrugada.

Por otro lado, los autobuses de pasajeros operan con alto peso durante las horas pico, pero con menos peso durante el resto del día. Por tanto, las emisiones de los vehículos serán medidas con un lastre, o peso muerto, al 70% de la capacidad de pasajeros del vehículo. El peso de los pasajeros puede ser simulado con costales de arena, plomo o bien con barriles de agua.

El estilo de manejo puede tener importantes efectos en las emisiones de escape. Por tanto, el mismo chofer deberá ser empleado en todas las pruebas de medición de emisiones, aunque en la operación diaria del vehículo se empleen diferentes conductores. El chofer encargado de manejar durante la medición de emisiones deberá ser instruido para mantener un estilo de manejo consistente durante las pruebas. También, las pruebas deberán realizarse bajo condiciones de tráfico fluidas, evitando la congestión de las horas pico. Esto

garantizará homogeneidad en las condiciones de la ruta de manejo. Por tanto no se recomienda realizar medición de emisiones durante todo el día, donde el tráfico llega a variar significativamente, o bien en trayectos demasiado largos. La repetición de la ruta bajo condiciones altamente variables durante el día, no son recomendables pues pondrían en riesgo la repetibilidad de los resultados, para su adecuada comparación con los resultados de otras pruebas.

La experiencia recabada en camiones pesados a diesel en California y la Cd. de México, demuestra que la medición de emisiones bajo condiciones de tráfico fluidas son altamente repetibles, con variaciones entre prueba y prueba por debajo del 5%. Para verificar que los resultados son representativos de emisiones representativas del "mundo real", se recomienda la posible medición de emisiones (de manera limitada), en condiciones de operación totalmente normales, con servicio de pasajeros.

2.3 CONTAMINANTES MEDIDOS

Los contaminantes de escape del motor de vehículos a diesel y combustibles alternativos de mayor preocupación son los óxidos de nitrógeno (NOx) y material particulado (PM). Las emisiones de compuestos volátiles orgánicos (COV) de vehículos a diesel, que son precursoras de ozono, tienden a ser muy bajas. Sin embargo algunas especies de COV encontradas en el escape de vehículos a diesel son consideradas como tóxicas, e incluyen hidrocarburos tales como el benceno y el *1,3 butadieno*, así como formaldehído y acetaldehído y otros carbonilos. Las emisiones de metano de motores a gas natural, así como de COV y carbonilos de motores a gas natural y alcohol, también de de gran preocupación.

Las emisiones de los siguientes contaminantes serán medidas en cada uno de los vehículos evaluados, en cada una de las condiciones de operación estudiadas:

- PM Material particulado por recolección en filtros prepesados;
- NOx Óxidos de nitrógeno por método de quemiluminescencia;
- CO_2 Dióxido de carbono por método infrarrojo no dispersivo;
- CO Monóxido de carbono por método infrarrojo no dispersivo;
- Especiación de COV análisis por cromatografía de gases y detección de ionización por flama (GC/FID), con muestras de escape en bolsas de Tedlar. Sí se recomienda la medición de las especies de COV para motores de ciclo Otto (combustibles gaseosos o alcoholes) y para tecnologías de control de emisiones (como combustibles emulsificados), donde es razonable suponer el incremento de emisiones de COV.

Emisiones tóxicas adicionales:

- carbonilos (aldehídos y cetonas) por recolección en cartuchos con DNPH (*di-nitro phenyl hydrazine*), seguido de una elución y cuantificación por cromatografía líquida de alta resolución, de acuerdo al método 022 del CARB (*California Air Resources Board*);

2.4 MUESTREO DE EMISIONES DE ESCAPE

El muestreo del sistema de escape del RAVEM se lleva a cabo por el método de muestro de volumen constante (CVS – *constant volume sampling*), utilizando muestro isocinético proporcional del escape, mediante control de circuito cerrado. El sistema extrae y diluye solo una fracción, pequeña y constante, del flujo gaseoso del escape, y puede por lo tanto ser utilizado en motores de cualquier tamaño.

PUNTA DE PRUEBA Y LÍNEA DE MUESTREO

La punta de prueba isocinética deberá ser insertada al final del tubo de escape, con la entrada de la punta de prueba al menos 15 cm dentro del tubo de escape, dentro de un tercio de diámetro del punto central del tubo de escape, y dirección contraria a la dirección de flujo de escape. El plano de la salida del escape deberá ser perpendicular a la dirección de flujo de escape (evitar curvas). Si la configuración de salida del escape no es esencialmente una recta, sin curvas por al menos 5 diámetros del tubo de salida de escape arriba del punto de muestreo (donde se coloca la punta de prueba), entonces será necesario colocar una extensión de tubo de escape para proveer esas condiciones descritas. La punta de prueba isocinética deberá tener un diámetro interno de al menos 5 mm, mientras que la línea de muestreo de gas crudo (muestra directa del gas de escape) deberá tener un diámetro interno del al menos 10 mm. La línea de muestreo de gas crudo deberá ser aislada para cambios de temperatura, para evitar condensación de agua bajo todas las condiciones de operación del motor, y deberá ser lo más corta posible.

TÚNEL DE DILUCIÓN

El tubo de dilución del CVS deberá ser construido de material conductivo y estar conectado a tierra. Deberá tener una longitud de mezclado de al menos 10 diámetros entre el punto de entrada de la muestra de escape cruda y el punto de extracción de la mezcla de la muestra de escape diluida. Además, deberá tener un diseño que provea turbulencia para garantizar la mezcla y dilución adecuadas.

SISTEMA DE MUESTREO DE GASES

El sistema de muestreo de gases deberá incluir la recolección de dos muestras de gas filtradas en bolsas de Tedlar. Una bolsa, conteniendo la muestra de gas de escape "muestra", deberá contener una muestra representativa de gas de escape diluido del CVS, recolectada a un ritmo de flujo constante, durante toda la duración de la prueba. La otra bolsa, llamada "background" o "muestra del ambiente" deberá contener una muestra representativa de gas de dilución filtrado, y recolectado a un ritmo constante durante toda la

duración de la prueba. Los volúmenes de gas recolectado deberán ser en cantidad suficiente para llevar acabo el análisis de la prueba, y otros análisis adicionales requeridos en la post-prueba.

Adicionalmente, es necesario realizar un chequeo contra fugas de las bolsas antes de iniciar cualquier prueba.

Las bolsas de muestra de escape y de muestra de aire de dilución deberán tener capacidad para ser fácilmente removibles y selladas herméticamente, para así poder guardarlas y llevarlas, en caso de ser necesario, al análisis posterior en la base de operaciones. Durante la recolección y almacenamiento temporal de las muestras de gas, las bolsas deberán ser cubiertas con cubierta opaca o metálica para protegerlas de la luz, la cual podría promover reacciones fotoquímicas dentro de las bolsas. Mientras se guardan para su análisis, las bolsas de Tedlar deberán ser mantenidas en un lugar fresco, seco y oscuro. Durante su transporte y almacenamiento, las bolsas deberán permanecer alejados de la luz en la medida de lo posible.

2.5 MEDICIÓN DE CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES

ÓXIDOS DE NITRÓGENO, DIÓXIDO DE CARBONO Y MONÓXIDO DE CARBONO

Excepto por las variaciones y condiciones adicionales mencionadas abajo, la medición de NOx, CO_2 y CO deberán ser realizadas de acuerdo a los procedimientos definidos en ISO-8178-1. Para estas mediciones los analizadores de gases, calibración de procedimientos y gases analíticos deberán cumplir con las especificaciones establecidas en ISO 8178-1.

Condiciones Adicionales

Se deberá recolectar una muestra integrada (recogida proporcionalmente por la duración de la prueba) de gas ambiental de dilución durante cada prueba realizada, la cual deberá ser analizada al final de dicha prueba. Estos datos servirán para calcular los niveles de emisión, corregidos con la concentración de contaminantes en el aire de dilución ambiental.

Diferencias del ISO 8178-1

- El gas *span* llevado abordo para cada analizador de gases, deberá tener una concentración apropiada para el rango utilizado, y que deberá corresponder al promedio de concentraciones contaminantes que se esperan obtener durante condiciones de manejo normal. Para reducir el número de gases *span* llevados abordo, el mismo gas podrá ser utilizado para calibrar el siguiente rango superior, siempre y cuando la concentración del gas *span* sea al menos 25% del valor de escala total para ese rango.
- El requerimiento de que la medición de emisiones no sea realizado abajo del 15% de la escala total, no será tomado en cuenta para la medición de concentración de muestras de aire de dilución ambiental, y para medir la concentración de muestras de escape producidas bajo condiciones diferentes a velocidades crucero.

- La medición de concentraciones de aire de dilución ambiental deberá realizarse inmediatamente antes, o inmediatamente después de la medición de concentraciones de muestra diluida. Los analizadores no deberán ser recalibrados entre mediciones de muestra de escape y de muestra de aire ambiental.

MATERIAL PARTICULADO (PM)

Excepto por las diferencias y condiciones adicionales presentadas más adelante, la medición de concentración de material particulado deberá llevarse a cabo de acuerdo a los procedimientos definidos en 8178-1. El sistema de muestreo y recolección de material particulado se deberá llevar a cabo de acuerdo a "buenas prácticas de ingeniería", de tal manera que la acumulación de PM en los filtros sea proporcional a las emisiones de masa de PM del escape.

Condiciones Adicionales

Durante cada prueba se deberá tomar una muestra de PM de los filtros de línea base (los que miden la concentración de PM en el aire ambiental de dilución). Por tanto, durante cada prueba se deberán utilizar un par de filtros de muestra de escape (primario y secundario) y un par de filtros de filtros de línea base (primario y secundario).

Excepto cuando estén montados en los porta-filtros, los filtros deberán ser conservados y transportados individualmente en recipientes Petri, de vidrio o plástico. Ambas tapas del recipiente Petri, la superior e inferior, deberán ser marcadas para la adecuada identificación de filtros. Para reducir la posibilidad del cambio accidental de filtros, en ningún momento deberán estar abiertos más de un porta-filtros (el cual contiene dos filtros) y dos recipientes Petri.

Cada filtro deberá ser pesado al menos dos veces. El primer pesado deberá realizarse en todos los filtros. Posteriormente todos los filtros deberán pesarse una segunda vez. Si los dos resultados no varían más del doble de la desviación estándar de la balaza (es decir 4 µg en el caso de filtros de menos de 70 mm de diámetro), entonces el peso final del filtro será el promedio de ambas mediciones. Si los dos resultados varían más del doble de la desviación estándar de la balanza, entonces el filtro deberá ser pesado una tercera vez. Si el tercer pesado se encuentra dentro del doble de la desviación estándar de al menor uno de los otros dos resultados, entonces el peso final entonces el peso final será el promedio de los resultados más cercanos. Si ninguno de los resultados están dentro del doble de la desviación estándar de la balanza, entonces la balanza deberá ser recalibrada y ese filtro deberá ser pesado nuevamente desde el principio.

Desviaciones de ISO 8178-1

La muestra de emisiones de PM podrá ser tomada del tubo de dilución con la misma punta de prueba utilizada para la extracción de muestras gaseosas del escape del vehículo.

No será necesario que el aire de dilución sea preacondicionado, solo que sea filtrado a través de un filtro HEPA, con una eficiencia del 97% o mejor, para partículas de 0.3 micrones. La capacidad de flujo del CVS (y el tubo de dilución secundario, en caso de existir) deberá ser suficiente para mantener el flujo de muestra de escape diluida a menos de 52°C, o por arriba de la temperatura de condensación de agua.

Adicionalmente:

- Los porta-filtros podrán ser de teflón, en vez de materiales conductivos.
- La velocidad frontal del gas de muestra no deberá ser mayor a 80cm/s, pero podrá ser menor a 35 cm/s.
- Los filtros para PM deberán tener un diámetro mínimo de 37 mm. Filtros más grandes serán aceptables.
- En caso de utilizar un CVS de dilución de una fase, no será necesario realizar chequeos de magnitud de dilución.
- Las mediciones de PM no deberán ser corregidas por temperatura o humedad.

CARBONILES E HIDROCARBUROS TÓXICOS (ver apéndice A)

Las emisiones de carbonilos, integradas sobre el ciclo completo serán determinadas utilizando cartuchos de di-nitro phenyl hydrazine (DNPH) (SKC Cat. No. 226-119 o equivalente). Se deberán recolectar dos cartuchos para cada prueba: un cartucho expuesto a la muestra de escape diluido, y un cartucho expuesto a la "línea base" o aire ambiental de dilución. Cada cartucho deberá estar conectado a través de un tubo de teflón, a través de una conexión "T", al puerto apropiado en el sistema CVS. Para formar una conexión segura y sin fugas, se podrá emplear una pequeña sección de hule, para sellar la conexión entre el tubo de teflón y el cartucho. Para efectos de exposición del cartucho se deberá utilizar una bomba de muestreo de flujo constante, a fin de obtener una muestra a un ritmo constante y fijo de gas de escape diluido. La exposición de cada cartucho en cada prueba deberá iniciarse dentro de 5 segundos del inicio de la misma, y deberá terminar dentro de 5 segundos del final de la prueba.
El manejo, transportación y análisis de los cartuchos de muestra (por medio de cromatografía líquida de alta precisión) deberá ser llevada a cabo de acuerdo al método EPA TO-11a.

COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COV) (ver apéndice B)

No se recomienda la medición de hidrocarburos totales por el método de detección de ionización de flama (FID), especificado en 40 CFR 86, y ISO 8178-1, pero puede ser incluida si así se desea. Este método mide, como parte de los HC totales, muchos hidrocarburos no-volátiles que ya son medidos en las mediciones de PM. También mide otras especies como metano y etano que no contribuyen significativamente a la formación de ozono. Si este método es utilizado, entonces es necesario que el túnel de dilución del CVS cuente con un

puerto adicional de extracción de muestra calentado eléctricamente. El puerto de extracción, la línea de muestreo de HC, el filtro de muestra, la bomba de muestra, y las porciones del analizador FID en contacto con la muestra deberán todos ser calentados a 190 °C ±10 °C. Debido a la presencia del FID y su combustible (hidrógeno) es necesario contar con las precauciones necesarias para minimizar los peligros de fuego y explosión. La medición de emisiones con el FID no deberán llevarse a cabo con pasajeros a bordo del vehículo.

La medición de compuestos orgánicos volátiles (COV) tiene importancia para la evaluación de vehículos de ciclo Otto, utilizando combustibles como gasolina, gas LP, y gas natural. Con estos combustibles, puede hacer la medición por el método de análisis por FID, sin necesidad de calentar la sistema de muestreo. Pero los diferentes hidrocarburos tienen muy diferentes impactos: tanto en la formación de ozono tanto en sus riesgos para la salud humana. Por eso, es importante cuantificar no solo los emisiones totales de COV, pero de cada una de los especies de COV emitidos.

Para cuantificar los emisiones de COV, se empleará análisis de cromatografía de gases en las bolsas de muestra de escape y de aire ambiental de dilución, de acuerdo a los métodos 102 y 103 del CARB, utilizando cromatografía de gases y FID. Este análisis se puede realizará después de realizada la prueba, dentro de 72 horas de recogida la muestra, pero preferentemente dentro de 24 horas después.

2.6 CONTROL DE CALIDAD

Los procedimientos de aseguramiento y control de calidad (QA/QC – *quality assurance, quality control*) para todas las actividades de muestreo y medición deberán ser implementados de acuerdo la las llamadas “prácticas de buena ingeniería”. Por lo menos, los procedimientos de QA/QC empleados deberán incluir los especificados aquí, así como los procedimientos de QA/QC especificados el los estándares analíticos y procedimientos incluidos como referencia. Estos incluyen, en particular, los chequeos de linealidad e interferencia de los analizadores, así como los procedimientos en el manejo y pesado de filtros para PM especificados en ISO 8178-1.

DUPLICACIÓN DE MEDICIONES

Es necesario que para cada condición de prueba se realicen al menos tres repeticiones válidas de medición de emisiones. Esta es una práctica común entre los laboratorios especializados en la medición de emisiones vehiculares.

BLANCOS, MUESTRAS Y LÍNEA BASE

La medición de concentración de contaminantes deberá ser realizada mediante la medición simultánea de muestra medida, con la concentración de ese contaminante existente en el aire de dilución. Estas mediciones servirán como “blancos” de campo, así como para detectar cualquier cambio en la concentración de contaminantes presentes en el aire del

medio ambiente. Adicionalmente, se deberá recolectar al menos un "blanco" por día en los análisis realizados en laboratorio, como los que se especifican para el análisis de COV, carbonilos, e hidrocarburos tóxicos.

CHEQUEO DE RECUPERACIÓN DE CO_2

Esta prueba de chequeo reemplaza la prueba de recuperación de propano especificada en 40 CRF 86, ya que el propano y el combustible del FID (hidrógeno) presentan peligros potenciales innecesarios abordo de vehículos con pasajeros. Se deberá realizar un chequeo de recuperación de CO_2, al menos un mes antes de comenzar cualquier prueba de medición de emisiones bajo este protocolo, para cada segmento determinado de flujo del CVS; así como se deberá realizar un chequeo de recuperación de CO_2 al flujo del CVS utilizado para realizar mediciones en condiciones de alta velocidad (velocidad crucero), cada vez que el sistema CVS sea reensamblado para realizar pruebas en un nuevo vehículo. En los casos de uso de rangos continuos de flujos del CVS, la prueba mensual de la prueba de recuperación de CO_2 deberá realizarse al menos en tres puntos de flujo – correspondientes al mínimo, máximo, y punto medio del rango.

EL procedimiento de recuperación de CO_2 se describe a continuación:

- Calentar los analizadores y el sistema de muestreo, y vaciar en su totalidad las bolsas de muestra. Preparar el sistema de muestreo de PM para medición de emisiones (nota: se deberán instalar filtros de PM, pero no es necesario que sean filtros frescos, o que estén prepesados, ya que no serán pesados subsecuentemente).
- Prepesar un cilindro conteniendo CO_2 líquido bajo presión, con un regulador y válvula de control instalados a una precisión de ± un gramo.
- Conectar la salida del cilindro de CO_2 a la entrada de muestra del CVS, teniendo cuidado de no permitir ninguna fuga de CO_2 desde el CVS.
- Arrancar el sistema de flujo del CVS y operarlo a un flujo especificado. Permitir la estabilización del sistema.
- Empezar el proceso de muestreo como si se estuviese conduciendo una prueba de medición de emisiones.
- Abrir lentamente la válvula de control del cilindro de CO_2, hasta que el analizador de CO_2 muestre una concentración igual al 60-80% de la escala total.
- Continúe liberando el mismo flujo de CO_2 por 20 ó 30 minutos, luego cierre la válvula de control del cilindro de CO_2.
- Espere hasta que la concentración de CO_2 mostrada por el analizador regrese a niveles de concentración de CO_2 del aire ambiental.
- Finalice la medición de emisiones, analice las bolsas de muestra y aire de dilución, y calcule el total de CO_2 medido por el sistema de CVS.
- Repese el cilindro de CO_2 para determinar la cantidad de CO_2 inyectado al sistema. Esto deberá corresponder dentro del 4% de la cantidad de CO_2 medida por el CVS:

CHEQUEO DE BALANCE DE CARBÓN

Las emisiones totales de carbono, expresadas como la suma del carbono contenido en emisiones de CO2, CO y COV, están directamente relacionadas al consumo de combustible. El consumo de combustible puede ser medido independientemente de la medición de emisiones, proveyendo de esta manera un chequeo valioso sobre la exactitud de estas mediciones. Los chequeos de balance de carbono deberán ser realizados, de ser posible, en cada prueba de medición de emisiones. Sin embargo, esta prueba de chequeo no deberá realizarse cuando se transporte a pasajeros.

La medición de consumo de diesel por medio del chequeo de balance de carbón deberá ser realizada prepesando y repesado un tanque de combustible removible. Insertar una conexión "Y", conteniendo dos válvulas y un conector para acoplar a la línea de abastecimiento de combustible, y otro al retorno del tanque de combustible. Integrar un tanque removible equipado con conectores de conexión rápida. Llene y pese el tanque de combustible, fijarlo seguramente al vehículo, y conéctelo a la línea de combustible del vehículo y línea de retorno, mediante los conectores. Anote el peso inicial del tanque. Justo antes del inicio de la prueba detenga el motor, cambie la posición de las válvulas para que el combustible del tanque removible sea utilizado para abastecer el motor, así como la línea de retorno, en vez del tanque principal del vehículo. Al final de la prueba detenga el motor y reposicione las válvulas para regresar al consumo de combustible del tanque principal de vehículo, así como la línea de retorno. Anote el peso del tanque removible. La masa de combustible consumida durante la prueba es igual a la diferencia entre el peso inicial y final. El consumo de combustible calculado por medio del balance de carbono deberá estar dentro de ±5%, del valor gravimétrico.

El mismo sistema de medición de consumo de combustible no puede ser utilizado con la mayoría de los vehículos a gasolina de inyección de combustible, pues estos vehículos cuentan generalmente con una bomba de transferencia dentro del tanque de combustible. La medición del consumo de combustible en otros vehículos dependerá del diseño del sistema de alimentación de combustible. En el caso de los vehículos a gas natural es posible utilizar uno y solo un cilindro de gas natural comprimido utilizando las válvulas de cierre del mismo tanque, y medir el peso de ese cilindro por medio de una celda colocada a los brazaletes del montaje.

3 RUTA DE MANEJO

Las emisiones de escape de los vehículos de prueba serán evaluadas bajo dos ciclos de manejo, que incluyen condiciones de paro-arranque, y velocidad crucero, típicamente experimentadas por vehículos de transporte público de pasajeros de la Ciudad de México.

3.1 RUTA INSURGENTES NORTE

La primer ruta será un una ruta predeterminada, bajo condiciones de tráfico real, actualmente servida por microbuses de la Ruta 2, y vehículos de la Red de Transporte de Pasajeros. Por tanto, las emisiones "reales" serán evaluadas mientras el vehículo está cargado con lastre al 70% de su capacidad de pasajeros. La ruta correrá a lo largo de Avenida de Los Insurgentes, una arteria principal que va de Norte a Sur a lo largo del centro de la ciudad. Sin embargo, debido a que esta ruta es demasiado larga, y su tráfico en algunos tramos es demasiado variable, solo se empleará el tramo de Glorieta de Los Insurgentes al paradero de Indios Verdes. El viaje redondo de este tramo es de aproximadamente una hora, incluyendo paradas. La tabla y la tabla muestran tres viajes redondos de este tramo realizadas en viernes 4 de junio de 2004. Estos trayectos fueron realizados por Enrique Borrell (del GDF) y Marco Balam (de Ambientalis).

Se realizaron tres viajes redondos de este tramo de Insurgentes, siguiendo autobuses de RTP sirviendo esa ruta, empezando a las 9:10am, 10:30am, and 12:26pm. De estos viajes se concluyó que la parada promedio es de 35 segundos. Esta información se confirmó más tarde por RTP,

La ruta de Insurgentes Norte, está compuesta por dos secciones bien definidas, una vía lenta que refleja su carácter comercial con velocidades promedio de 17 km/hr, y una vía rápida, con velocidades de hasta 50 km/hr. Se estima que estas condiciones simulan adecuadamente las rutas de transporte de pasajeros en la Ciudad de México.

Tabla 1: Tiempos de viaje de Glorieta de Insurgentes a Indios Verdes, siguiendo a un bus de RTP.

START	**9:10AM**		**10:30AM**		**12:26PM**	
De Glorieta de Insurg. a I. Verdes	**Tiempo Cumulativo**					
Vía Lenta / comercial	min	seg	min	seg	min	seg
G. Insurgentes	0	0	0	0	0	0
Londres	2	2	1	12	-	-
Hamburgo (Oxxo)	2	40	1	40	-	-
Reforma (VIPS)	3	50	2	58	2	20
Sullivan II	5	38	4	57	4	6
Antonio Caso	6	13	6	1	5	16
Edison (Dormimundo)	8	5	-	-	-	-
Pte. de Alvarado	9	3	7	22	7	26
H. Ferrocarrileros	9	50	-	-	-	-
Colosio (PRI)	11	2	-	-	-	-
Mosqueta	11	21	9	20	9	39
Vía Rápida						
Díaz Mirón (Buenavista)	-	-	-	-	10	54
Eligio Ancona	-	-	11	20	-	-
M. González (Eje 2 Nte)	13	0	12	18	12	32
San Simón I	-	-	-	-	-	-
Monum. a la Raza	-	-	-	-	-	-
Gas PEMEX	-	-	14	52	-	-
Metro a La Raza	15	44	-	-	15	15
Euzcaro	18	50	17	0	-	-
Montevideo	-	-	18	12	18	19
Indios Verdes	**20**	**38**	**20**	**06**	**20**	**08**

Nota: Una línea (-) en la tabla significa que el bus no realizó parada de aborde/desborde de pasajeros.

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, muestra que el tiempo de trayecto es muy consistente, en este día, con alrededor de 20 a 21 minutos de Glorieta de Insurgentes a Indios Verdes. Por lo tanto, esta tramo es conveniente para la medición de emisiones de escape.

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, por el contrario muestra más variabilidad en el trayecto de Indios Verdes a la Glorieta de Insurgentes, donde cada viaje varía de 31 a 42 minutos.

Tabla 2: Tiempos de viaje de Indios Verdes a Glorieta de Insurgentes siguiendo a un bus de RTP.

De Indios Verdes a G. de Insurgentes	**Tiempo Cumulativo**					
Vía Rápida	min	seg	min	seg	min	seg
Paradero Indios Verdes	0	0	0	7	0	0
Metro La Raza	3	55	3		3	25
San Simón	-	-	-	-	-	-
Eulalia Guzmán (Eje 2 Nte)	6	15	5	15	5	43
M. Carpio	-	-	7	23	7	45
Alzate	10	20	8	53	10	10
Vía Lenta / Comercial						
Sor Juana Inés (VIPS)	-	-	10	18	15	6
Amado Nervo (PRI)	-	-	-	-	19	0
San Cosme	14	30	16	48	23	0
Gómez Farías	20	39	21	26	30	0
Antonio Caso	23	30	24	40	32	7
Sullivan	25	30	27	18	-	-
Villalongín (Reforma)	-	-	29	0	-	-
Nápoles	28	52	31	16	38	16
Niza	-	-	33	6	39	58
Glorieta de Insurgentes	**31**	**05**	**34**	**40**	**41**	**29**

Nota: Una línea (-) en la tabla significa que el bus no realizó parada de aborde/desborde de pasajeros.

Por lo tanto, las emisiones de escape serán medidas en vehículos de prueba de Insurgentes Norte, en pruebas de 2400 segundos (70 minutos), con lo cual se garantizará que todas las pruebas serán completadas, aún si hay imprevistos de tráfico en algunas secciones. Una ruta tan larga, eliminará algo de la variabilidad inherente a cada vuelta de la ruta. Si cualquiera de los viajes realizados es menor a los 70 minutos programados, el bus permanecerá en ralentí hasta que los 70 minutos sean completados. Si un viaje es mayor a los 70 minutos, entonces las mediciones de escape serán terminadas a los 70 minutos, siempre y cuando no pasen más de 4 ó 5 minutos hasta el término de la ruta. La diferencia en cualquiera de los casos provendrá del vehículo permaneciendo en ralentí en tráfico normal.

Finalmente, la medición de emisiones de esta ruta se llevarán a cabo por la mañana, de 9:00am a 1:00 pm, de lunes a viernes, pues durante estas horas las condiciones de tráfico no varían significativamente. Más tarde de las 2:00pm, empiezan las horas pico, y la duración de los viajes se vuelve más variable.

3.2 RUTA CORREDOR INSURGENTES NORTE

Esta ruta es similar a la Ruta Insurgentes Norte, excepto que se lleva a cabo durante la noche, de 2:00am a 6:00am, y pretende simular el corredor único a construirse en esa vía. Es importante señalar que las paradas en esta ruta son diferentes a las de la Ruta Insurgentes Norte, pues reflejan las planeadas para el corredor.

3.3 CONDUCTORES

Se ha encontrado que los hábitos del conductor tienen un impacto sustancial en las emisiones de escape de un vehículo (hasta 30%, y posiblemente más en material particulado). Por tanto, EF&EE y Ambientalis, han solicitado que el mismo conductor sea empleado en todas la pruebas de medición de emisiones, sin embargo esto no parece fácil, dado que los trabajadores son sindicalizados, y el trabajo de más de 10 horas a altas horas de la noche pudiera crear complicaciones.

Sin embargo, es posible tener al mismo conductor durante la madrugada, y el segundo durante las mediciones de la mañana. Se estima que con la ayuda de al menos 2 conductores se eliminará algo de la variabilidad de más conductores.

4 DESCRIPCIÓN DEL RAVEM

El equipo RAVEM es un sistema de medición de emisiones de escape a bordo, que permite hacer un muestreo segundo a segundo, y de forma integrada a lo largo de un ciclo de manejo, de las emisiones provenientes del escape de vehículos automotores a gasolina, diesel y demás combustibles fósiles.

A continuación se anexa la publicación ***SAE 2001-01-3644: Development of the 'RAVEM' Ride-Along Vehicle Emission Measurement System for Gaseous and Particulate Emissions***, la cual documenta la capacidad del equipo en la medición de emisiones gaseosas y de partículas.

También, se anexa la publicación ***SAE 2004-01-0965: Reproducibility and Accuracy of an On-Board Emission Measurements Using the RAVEM™ System***, la cual documenta la reproducibilidad y precisión del RAVEM.

Se incluyen resúmenes de ambos documentos, así como los documentos íntegros al final de este informe como anexos.

Abstracto SAE 2001-01-3664:

Las emisiones de material particulado (PM) y óxidos de nitrógeno (NOx) de los llamados "motores pesados" utilizados en vehículos así como en maquinaria de trabajo son una preocupación central para los planeadores y gestores de calidad del aire. La medición precisa de estas emisiones es necesaria para propósitos de inventario de emisiones, así como para el desarrollo y validación de las diferentes medidas de control de emisiones aplicadas. Esas emisiones en uso real no pueden ser adecuadamente proyectadas con pruebas de laboratorio cuando esos motores son nuevos. Este documento reporta el desarrollo del sistema RAVEM, que basado en el principio de volumen de muestra constante (CVS – constant volume sampling), puede con suficiente precisión y repetibilidad, medir emisiones de masa de NOx, CO2, y material particulado del escape de un motor de vehículo, mientras el RAVEM se encuentra a bordo del mismo vehículo en movimiento. De hecho, es posible realizar pruebas de medición de emisiones mientras el vehículo se encuentra en condiciones de servicio y operación normales. Se ha demostrado que los resultados del RAVEM se encuentran en muy cercana correlación con los resultados de laboratorios de emisiones medidas con CVS. El sistema RAVEM está particularmente diseñado para realizar medición de emisiones en condiciones en donde los métodos de medición con dinamómetro de chasis no son aplicables (bulldozers, locomotoras, embarcaciones marinas), o bien no son disponibles (la mayoría de los países en desarrollo), o bien no son representativas de condiciones de operación reales (camiones recolectores de basura).

Abstracto SAE 2004-01-0995:
Los sistemas portátiles capaces de medición de emisiones de escape (en términos de masa emitida), mientras viajan a bordo de los vehículos y equipo sujetos a esas mediciones, son relativamente nuevos. Sus ventajas incluyen menores costos asociados, la capacidad de medir emisiones bajo condiciones de operación realista (incluyendo condiciones difíciles de simular en laboratorio), la capacidad de medir emisiones donde no existen laboratorios de medición de emisiones tradicionales, y su aplicabilidad a un rango más amplio de motores y vehículos que los atendidos por los laboratorios y métodos tradicionales (por ejemplo, maquinaria de construcción, tractores, etc.). Sin embargo, los métodos de medición "a-bordo" aún no han sido totalmente aceptados por la comunidad de calidad del aire. Esto es en parte debido a la preocupación sobre reproducibilidad y precisión de esos sistemas, y los adecuado de las medidas de control de calidad. Este documento está basado en cuatro años de experiencia con el sistema portátil de medición de emisiones de escape a-bordo: RAVEM, en camiones a diesel y gas natural, y barcos y locomotoras a diesel. Los métodos de control de calidad como el balance de carbón, y recuperación de CO_2 has sido desarrollados en conjunción con técnicas de manejo que generan datos de emisiones reproducibles. Se presentan los resultados, mostrando repetibilidad (basados en desviación estándar de repetición de medición de emisiones sobre la misma ruta), generalmente dentro del 6% para CO_2 y NOx (en la ausencia de sistemas de control de NOx), y dentro del 10% para PM. La comparación de consumo de combustible calculada para balance de carbón, a la comparada con el consumo de combustible determinada por el pre-pesado y post-pesado del tanque del combustible muestra cercanía dentro de 1-4%.

4.1 PRECISIÓN Y REPETIBILIDAD DEL RAVEM

En el caso de los óxidos de nitrógeno (NOx), la repetibilidad del RAVEM es de 0.5% del máximo de la escala del analizador usada, y la precisión es de 1%. Generalmente se utiliza el rango de 100 ppm, lo cual implica que la precisión es mejor que 0.5 ppm. En nuestra experiencia, la repetibilidad mostrada en campo es mejor -- aproximadamente de 0.2 ppm.

En el caso del monóxido y dióxido de carbono (CO y CO2), se utiliza generalmente el primer rango (200ppm) para CO; y el segundo (6000 ppm) para CO2. La repetibilidad es de 0.5% en el primero caso y 1% en el segundo; es decir, 1 ppm de CO y 60 ppm para CO2. En nuestra experiencia en campo, la repetibilidad real en el CO2 es de aproximadamente 20 ppm. Sin embargo, la repetibilidad en mediciones móviles en campo del CO no es tan buena como la especificación técnica señalada por el fabricante del analizador – aproximadamente 1.5 ppm, debido a los efectos de vibración y cambios de temperatura en los resultados de esa medición tan sensible.

En mediciones comparativas -- por ejemplo, comparando un autobús con otro; es mas importante la repetibilidad que la precisión absoluta. La repetibilidad y linealidad hacen

posible la comparación de dos, tres, o cualquier numero de autobuses, si los resultados tienen precisión absoluta o no.

Sobre la repetibilidad de los resultados del RAVEM, en nuestra experiencia, utilizando los procedimientos que hemos desarrollado, los niveles de desviación estándar de mediciones repetidas se ubican entre 2 y 5% para NOx, CO2 y el consumo de combustible; entre 5 y 10 % para partículas; y entre 10 y 20% para CO. Este ultimo debido a que los vehículos a diesel tienen bajísimas emisiones de CO.

En nuestra opinión, excepto el en emisiones de CO, la mayor fuente de variación es la variación prueba-a-prueba en las emisiones del vehículo -- es decir, diferencias pequeñas en el ciclo de marcha. Se pueden observar las mismas diferencias en las variaciones prueba-a-prueba en mediciones hechas por laboratorios de chasis dinamómetro -- ver, por ejemplo, el informe SAE 2002-01-2879. Estos diferencias surgen, primordialmente, de variaciones en el estilo de manejo del conductor.

Respecto de la precisión del RAVEM, esta es difícil de evaluar por la falta de estándares confiables con que comparar al RAVEM. Aún los laboratorios de dinamómetro de chasis varían ±10% en CO2 y 25% en PM entre uno y otro (ver SAE 2002-01-2879). En mediciones paralelas entre dos laboratorios convencionales, el RAVEM ha demostrado acuerdo del 10% -- es decir, igual o mejor que los resultados entre laboratorios.

En las pruebas de "balance de carbono", donde si existe una estándar confiable (los resultados de la balanza), se tiene una relación normalmente entre ±4% entre los resultados del RAVEM y los del pesado directo del tanque de combustible.

Ver documentos adjuntos:

1. **ZRH_COCO2.pdf**
2. **400HCLD_NOx.pdf**
3. **SAE 2002-01-2879.pdf:** Interlaboratory Cross-Check of Heavy-Duty Vehicle Chassis Dynamometers
4. **SAE 1999-01-1469V001.pdf:** Diesel and CNG Transit Bus Emissions Characterization by Two Chassis Dynamometer Laboratories: Results and Issues

APÉNDICE A: SYSTEM OPTION 1 - CARBONYL MEASUREMENTS

This option comprises the additional equipment needed to measure emissions of **carbonyls (aldehydes and ketones)** according to U.S. EPA method TO-11a[1] using DNPH cartridges. This option can also be used for exposing similarly-sized multi-sorbent cartridges to allow for capture and subsequent determination of toxic hydrocarbons such as PAH. It comprises the following specific elements of equipment:

> Two additional 0-2 lpm mass flow controllers, two copper-tube ozone denuders, two DNPH cartridge holders, and two sample pumps installed in the RAVEM system unit to expose the DNPH cartridges to controlled flows of dilute exhaust gas;

> Modifications to RAVEM software to accommodate cartridge sampling;

> 2000 DNPH cartridges (SKC Cat. No. 226-119 or equivalent) for the capture and subsequent speciation and determination of carbonyls;

> a laboratory freezer for storing the DNPH cartridges and two portable coolers for transporting them to and from the field;

> One SRI model 210D high-performance liquid chromatography (HPLC) system configured for linear-gradient program mode, with UV absorption detector;

> HPLC supplies and reagents:

- Water, HPLC grade, 200 liters
- Acetonitrile, carbonyl free, 10 liters;
- Ethanol, analytical grade, 10 liters;
- Perchloric acid, 1 liter, analytical grade, 60%, specific gravity 1.51
- Ortho-phosphoric acid, 1 liter, analytical grade, 36.5-38%, specific gravity 1.19
- Carbonyl hydrazone standard solution containing formaldehyde, acetaldehyde, propionaldehyde, and benzaldehyde, 1 l;
- Compressed nitrogen, high purity, 1 cylinder;
- Compressed helium, high purity, 1 cylinder
- Potassium iodide, analytical grade, 500 grams.

Supplies will be restocked as necessary to analyze 2000 DNPH cartridges or one year of operation, whichever comes first.

[1] U.S. EPA Method TO-11a, "Determination of Formaldehyde in Ambient Air Using Adsorbent Cartridge Followed by High Performance Liquid Chromatography (HPLC)", available at www.epa.gov/ttn/amtic/airtox.html

> Operational manuals (in Spanish and English), and complete technical documentation for the cartridge sampling and analysis system (in English only).

The DNPH cartridge subsystem shall be designed to expose one cartridge (the “sample”) to a flow of dilute exhaust gas from the CVS at a user-selectable constant rate between 0.2 and 2.0 liters per minute, and a second cartridge (the “background”) to an equal flow of dilution air. The system shall be designed to shut off in a leak-tight manner when collection of sample cartridges is not desired.
Note: because of their expiration dates, the consumable materials will not be supplied all at once, but as-needed over the course of the one-year test program.

APÉNDICE B: SYSTEM OPTION 2 - SPECIATED HC MEASUREMENTS

This option comprises the additional equipment needed to determine the concentration of **specific hydrocarbon gases such as methane, ethane, ethene, propane, propene, butane, butanes, and 1,3 butadiene** in the dilute exhaust sample bags consistent with California Air Resources Board methods 103 and 104. This is considered important to adequately characterize the environmental impacts of the CNG vehicles. It comprises:

> One SRI model 820D dual-column / dual oven gas chromatograph system equipped with a flame ionization detector (FID) and configured to perform California ARB methods 103 and 104;
  - Al203/KCl PLOT column, [50 m x 0.32 millimeters (mm) inner diameter (ID)]
  - a Carbowax WCOT (25 m x 0.53 mm ID) precolumn to prevent water damage to the PLOT column;
  - DB-1 WCOT analytical column [40 m x 0.18 mm ID with 60 m x 0.32 mm ID with a 1 u film thickness].

> SRI model H2-50 electrolytic hydrogen generator;

> Four cylinders of calibration gas mixture containing approximately 3000 ppb propane in nitrogen;

> two cylinders of standard gas mixture containing ethene, propane, n-butane, 2-methylpropene for the light end analysis, n-hexane, n-octane, n-decane, benzene, toluene, and m- or p-xylene;

> 15 additional sets of 60 liter (external) Tedlar bags equipped with opaque, light-protective covers;

> One extra container and quick-connect system for the external Tedlar bags;

> Operational manuals (in Spanish and English), and complete technical documentation for the speciated HC measurement system (in English only).

Note: because of their expiration dates, the consumable materials will not be supplied all at once, but as-needed over the course of the one-year test program.

ANEXO III PROTOCOLO PARA MEDICIÓN DE EMISIONES CON DINAMÓMETRO DE CHASIS

CHASSIS DYNAMOMETER EMISSIONS CHARACTERIZATION FOR AIR QUALITY IMPROVEMENT IN MEXICO CITY

INTRODUCTION

West Virginia University (WVU), through the WVU Research Corporation, proposes to characterize the emissions from a variety of bus technologies in Mexico City. This is a GEF-funded project, entitled: Mexico: Introduction of Climate Friendly Measures in Transport. These bus emissions will be characterized using one of the WVU Transportable Heavy-Duty Vehicle Emissions Testing Laboratories (Translabs) that have been widely used in prior truck and bus emissions studies (Prucz et al., 2001; Wang et al., 1997; Clark et al., 2003). The Translab will be transported to Mexico City, fully calibrated, and used to measure emissions while the buses are exercised through both transient and steady-state test schedules. The buses will include both existing Mexico City buses to determine an emissions "baseline," and buses with low and ultra-low emissions levels, employing various emissions reduction technologies.

Also proposed is the measurement of bus activity and the creation of a three mode local schedule for Mexico City bus emissions characterization.

Data acquired from the Mexico City buses, operated at the city's high altitude, will be compared with prior emissions data from buses operated at lower altitudes in the USA.

The proposal includes a discussion of support required during the execution of the program in Mexico, and presents an opportunity for training personnel in Mexico to undertake emissions analysis.

Also proposed during the bus emissions measurement is a correlation program with the RAVEM on-board emissions measurement equipment that will be used in Mexico City.

This proposal is aligned with the chassis dynamometer test protocol presented in Annex 1 to the document "Review of Test Protocol and Infopool" prepared by AVL MTC Motortestcenter AB for The World Bank. The comments of the review by SENES Consultants, dated 7 February, 2004, has also been considered in preparing this version of the proposal.

LABORATORY DESCRIPTION

West Virginia University, working with the U.S. Department of Energy, Office of Transportation Technologies, has designed and constructed a Transportable Heavy Duty Vehicle Emissions Testing Laboratory (Translab) to measure the emissions from heavy-duty vehicles operating on conventional and alternate fuels. Because the laboratory can be moved easily from site to site, the vehicles can be tested where they are based, thus minimizing their time out of service. WVU operates two heavy-duty chassis laboratories capable of testing vehicles up to 80,000lb GVW and a medium duty chassis laboratory capable of testing vehicles from 3,000lb to 20,000lb GVW.

The Translab arrives at the test site as tractor trailers, one being a box trailer containing equipment for emission measurement, data acquisition and control. Another trailer, a flat bed, carries the power absorber unit. The trucks also serve as calibration vehicles for the dynamometer. At the site, the dynamometer trailer is raised on hydraulic jacks and the tandem wheels are removed from under the trailer. The dynamometer bed is then lowered to the ground. A crane is used to unpack the laboratory and position equipment for testing. The laboratory is equipped with its own prime power generator making it completely self-sufficient if power and facilities are not available at the test site. Service vehicles accompany the laboratory, one of which tows a tool trailer containing all necessary tools and support equipment**.**

The vehicle to be tested is driven onto the chassis dynamometer and positioned on two sets of rollers. The outer wheels of the dual wheel set on each side of the vehicle are removed and replaced with hub adapters that couple the drive axle directly to the dynamometer units on each side of the vehicle. Each dynamometer unit consists of a power absorber and a set of selectable flywheels, which consist of a series of discs to allow simulation of an inertial load equivalent to a gross vehicle weight of up to 60,000 pounds in 250 pound increments. During the test cycle, torque cells and speed transducers in the power absorber drive train measure the vehicle load and speed.

The vehicle can be driven through a wide range of available computerized test schedules or cycles to simulate either transient or steady state driving conditions. A computerized data acquisition and control systems controls the load applied to the power absorber unit. The driving cycle is displayed on an interface monitor for the driver to follow. WVU has previously developed a wide variety of cycles to simulate various types of in-use vehicle operation.

The full exhaust from the tail pipe of the test vehicle is ducted to a full-scale dilution tunnel measuring 18 inches (45 cm) in diameter 20 feet (6m) in length. An 8-inch (200 mm) diameter orifice located 3 feet (1m) from the entrance ensures that the diluted exhaust is thoroughly mixed by the time it reaches the sampling zone, ten diameters downstream of the orifice. The exhaust is mixed with air and the quantity of diluted exhaust is measured precisely by a critical flow venturi. The dilution tunnel has selectable flow rates of 1000, 1500, 2000, 2500,

and 3000 scfm. Samples are drawn from the dilution tunnel through heated sampling probes and heated sampling lines to gas analysis instruments. Regulated and non-regulated emissions are continuously. Hydrocarbon emissions are measured using a heated flame ionization detector (HFID). Non-methane hydrocarbon (NMHC), aldehyde and alcohol emissions can be obtained by chromatography methods performed at WVU. In this proposal, NMHC will be determined for the natural gas bus, alcohol will not be determined, and aldehydes are offered as an option for each vehicle. Aldehyde samples are collected using a sampling system with pumps and mass flow controllers. Usually DNPH cartridges are employed, and are analyzed off-site using extraction and liquid chromatography.

Wet chemiluminescent analyzers measure oxides of nitrogen (NO_X) emissions. Two separate chemiluminescent analyzers allow the NOx to be determined. The two analyzers can be set to measure NO and total NOx respectively. In the case of conventional diesel vehicles without aftertreatment, very little (around 4%) of NOx is not NO. In this case the small quantity of NO_2 and other species cannot be quantified reliably, but when aftertreatment is used, the NO_2 fraction can exceed 20%. In this case the NO_2 quantity can be determined by differencing the two analyzer outputs, with an acceptable level of accuracy. WVU will use two analyzers for all runs and will report NO_2 for trap-equipped vehicles.

Carbon monoxide (CO) and carbon dioxide (CO_2) are measured using non-dispersive infrared analyzers.

Particulate emissions are measured gravimetrically. A proportional sample of diluted exhaust is extracted from the main dilution tunnel into a secondary dilution tunnel. The secondary dilution tunnel is 3.0 inches in diameter and 30 inches long. A stainless steel filter holder is connected at the end of the secondary dilution tunnel. The sample passes through a primary and a secondary Pallflex 70-mm fluorocarbon coated glass fiber filter, Model T60A20 (with a filtration efficiency of 98% for particles larger than 0.1 micron). The secondary dilution tunnel is required to maintain the double diluted exhaust stream at 50°C or less, immediately before the primary particulate filter in the secondary dilution tunnel. During testing, the flow through the secondary dilution tunnel varies in proportion to the flow through the primary dilution tunnel. The filter media are conditioned for at least one hour but not more than 80 hours at 50% relative humidity and 25 degrees C in an environmental chamber prior to being weighed on a Cahn microbalance. The chamber and balance are located in one of the Translab. trailers. The primary dilution air will be passed through a HEPA filtration unit prior to entering the dilution tunnel to remove ambient particulates: this is important to avoid errors due to background PM. Continuous particulate matter is measured using a Tapered Element Oscillating Microbalance (TEOM).

Nitrous oxide (N_2O) is measured from a bag sample using an Innova 1302 analyzer.

The Transportable Heavy Duty Engine Testing Laboratory is able to:

- Perform transient and steady state chassis dynamometer emissions tests on vehicles in the field, at or near their home base or maintenance shop.
- Simulate a range of driving cycles to provide performance and fuel efficiency data for medium and heavy-duty vehicles.
- Provide emissions data for CO, CO_2, NO_X, CH_4, N_2O, particulate matter and other emissions constituents. Additional sampling trains are available and can be configured to sample other exhaust gas constituents such as semi-volatile organic compounds, or aldehydes, but it is not proposed to employ these additional sampling trains in the program unless they are separately requested and funded.
- Simulate road load, aerodynamic drag and vehicle inertia.
- Incorporate effects of gear shifting by providing the driver with visual prompts via a computer monitor in the cab.
- Provide a complete computer database and a hard copy log of time-varying speed, torque and emissions.

The Chassis Dynamometer incorporates:

- Fast response computer-controlled Eddy Current Power Absorbers, with additional assist AC motors.
- Direct mechanical coupling between drive axle and the dynamometer power train using wheel hub adapters. This coupling method eliminates problems associated with tire slippage and overheating which are common for systems with tire to roller coupling.
- Flywheels that can be adjusted to simulate inertia of a vehicle in 250-pound increments over the range 20,000 to 60,000 pounds.
- On-line continuous torque and speed measurement.
- A full-exhaust dilution tunnel and a secondary dilution tunnel for particulate matter sampling.
- Emissions analysis instrumentation and calibration gases required for measuring emissions in accordance with the Federal Test Procedure for certification of heavy-duty engine (Code of Federal Regulations Title 40 Part 86, Subpart N).

BUSES TO BE CHARACTERIZED

The bus technologies and fuels to be employed for the Mexico City test program are shown in the table below. Ten buses are described in the table. In the budget section of this proposal, ten buses are also considered for a baseline cost, but provision is made to add or subtract buses in the program. This proposal has been written assuming that the buses will be operated using in-tank fuel, or with fuel supplied from drums located next to the bus during a test. It is assumed in this proposal that the sponsors will provide ultra-low sulfur diesel (ULSD) in drums as required. An empty drum for waste (flushing) fuel will also be required. The CNG will be the in-tank fuel.

Technology	Length	Type of Diesel (ppm Sulfur)			Number
Normal Diesel	Currently operated by RTP, will be the baseline	15	50	350	2
Low Sulfur Diesel	18 m (articulated)	15	50	350	1
Low Sulfur Diesel	15 m (tandem axles)	15	50	350	1
Low Sulfur Diesel	18 m (articulated)	15	50	350	1
Low Sulfur Diesel	18 m (articulated)	15	50	350	1
Hybrid	18 or 15 m	15	50	350	2
CNG	11 m				1
CNG	16 m (articulated)				1

FUEL SAMPLES

West Virginia University staff will be pleased to gather fuel samples from the buses at the time of testing. Diesel fuel samples, once collected, will be made available to the sponsors for analysis outside of the scope of this proposal. It is important to achieve diesel samples to be able to determine if any inappropriate fuel was in use at the time of the test, if results appear anomalous. The researchers are able to process data either by assuming default composition for diesel, or by using actual data from analysis. Natural gas samples will be diluted in bags for subsequent analysis.

TEST PROTOCOL

A detailed test plan, showing each test sequence, will be prepared before the laboratory is transported to Mexico City, and this plan will be shared with the sponsors. This section describes the basic protocol that will be followed. WVU, in conjunction with M.J. Bradley & Assoc. and the Northeast Advanced Vehicle Consortium, have conducted prior detailed emissions characterization of both conventional and hybrid buses. Details of this work may be found in a comprehensive report to DARPA available at http://www.navc.org/Navc9837.pdf

Emissions characterization of hybrid buses requires additional protocols in comparison to characterization of conventional buses. Accepted procedures are presented in Society of Automotive Engineers Recommended Practice SAE J2711. WVU participated in the committee that crafted this document, which provides procedures for the testing of both conventional and hybrid heavy-duty vehicles. WVU will rely on these established methodologies in performing the proposed testing. A summary of the procedures is given below.

Before each bus is received for emissions characterization, it will be subjected to coastdown measurement. The bus will also be weighed at this time. This allows for proper reproducibility of wind and tire losses on the dynamometer. Coastdown data will be acquired on the road using a GPS and computer, with a backup of manual recording of speed and time. The sponsors will be required to supply a driver for this activity, because the WVU drivers will not be insured to drive a bus on the streets. The sponsors will also identify a street that is free of traffic for the coastdowns. This measurement activity offers an opportunity for training and co-operation with the sponsors. WVU has used GPS extensively in vehicle activity studies and on-board emissions studies. Coastdowns may be performed with the buses loaded to test weight, if the sponsors are able to place weights in the buses. If it is not possible to load the buses, coastdowns will be performed with empty buses to determine drivetrain and wind losses, and the tire loss component of the road load will be adjusted (by WVU) to account for the higher representative test weight. The resulting coastdown data will be used to verify correct loading on the chassis dynamometer. Coastdowns must be performed several days before that vehicle is evaluated for emissions, to allow sufficient time to prepare the laboratory to match the coastdown. For hybrid vehicles, it will be necessary to disable the regeneration mode during coastdowns: this issue is discussed below in a separate section on hybrid vehicle testing.

If the sponsors cannot provide a driver or identify a street for the coastdown process, WVU will use the alternative strategy of prescribing bus drag and tire rolling resistance. However, the procedure used must be consistent for all buses tested.

Each bus will be received at the test site a minimum of two days after coastdown, and thoroughly inspected for safety issues, malfunctions and exhaust leaks. Information from the bus, including engine and chassis data, will be recorded. A standard Vehicle Information Sheet has been developed by WVU for this purpose and will be used for recording.

The outer drive wheels of the bus will be removed and hub adapters will be installed. The bus will be installed on the dynamometer and secured over the rollers. The hub adapters will be connected to the dynamometers. Coastdown time will be confirmed to assure that the bus is correctly loaded by the system. The bus will be driven through a cycle both to familiarize the driver with the vehicle and to warm the bus and dynamometer system. Analyzer ranges will also be checked in this time. The bus will be allowed to idle for 30 to 60 seconds at the end of the cycle, and then keyed off. At a time that is no less than ten minutes later, nor more than twenty minutes later, the bus will be started and allowed to idle for 30 to 60 seconds. The first test with emissions monitoring will then commence. The same idle and interval protocol will be used between each cycle. If more than 20 minutes elapses between cycles, the bus will be warmed again using a cycle before more emissions measurements are made.

For the “Mexico City” local test schedule that will be developed as part of this proposed effort, the interval will not be required between the three modes of the schedule. For this schedule the WVU researchers will use two switched secondary dilution tunnels so that separate PM

can be captured for each mode. Dilute and background bags will be collected across all three modes as a composite, as discussed in more detail below.

A special protocol will be used for the Mexico City Schedule. Since it will have three modes, MX1, MX2 and MX3, it cannot be treated as a single run, and will require sampling and data processing effort that exceeds the effort for a normal run, but is less than for three normal runs. For each schedule, continuous gas data will be used to compute the emissions for each mode. Three filters, using an automated system, will allow PM to be measured for each mode. The TEOM will be used to provide additional PM data for each mode. Only one background bag will be taken across all three modes to correct for ambient (background) gas concentrations. Only one dilute bag will be taken across all three modes. The dilute bag merely serves as a check for the continuous data. In this way, reliable PM and gaseous emissions data can be acquired for each mode, and can be joined for an average over the whole schedule. Also, this approach avoids the need for a pause in testing between modes.

The AVL protocol suggests that testing should not proceed if the ambient temperature exceeds 30 degrees C. The WVU researchers have conducted testing in California at temperatures of up to 38 degrees C, and suggest that testing should proceed in this program if the temperature is below 35 degrees C. Testing will be conducted under roof, and will be unaffected by rain.

In addition to the dynamometer system parameters and the emissions analyzer outputs usually measured by the Translab, the researchers will monitor exhaust temperature from the vehicle. Continuous PM will also be measured using a TEOM.

Methane/non-methane hydrocarbon split will be determined for the natural gas buses using bag samples and gas chromatography.

TEST SCHEDULES AND TEST WEIGHT

Each bus will be tested at the weight determined for the program, which is the vehicle weight plus 70% of the weight of a full passenger load. The weight of the driver will also be added. The SENES review has addressed the subject of test weights in detail, and has concluded that the 70% load criterion is acceptable.

WVU already employs a system where the driver follows a “target trace” of speed as a function of time. For this research WVU will use the European Transient Cycle (chassis version) (ETC). WVU will also create a test schedule consisting of three modes (or parts). The development of this “Mexico City Schedule” is discussed separately below, but the modes will be denoted as MX1, MX2 and MX3 in this proposal.

Several reference cycles exist that can be used to characterize bus emissions. The sponsors have chosen the ETC (chassis version) as a reference cycle for the test program. The intent of using a reference cycle is to permit comparison of data from the proposed program with existing and future data acquired in other programs using the reference cycle.

DEVELOPMENT OF A TEST SCHEDULE

WVU will develop a test schedule representative of bus use in Mexico City. It is the sponsors' stated will that the proposed cycle be divided in three sections or modes (of about 600 seconds each) that will represent low-speed, medium-speed and high-speed operation of the vehicles, in a way similar to the ETC. These will be termed the MX1, MX2 and MX3 modes respectively. The intention is that the low-speed section represents present-day rush-hour traffic, the medium-speed section represents present-day traffic (non-rush hour) and that the high-speed section represents the future corridor operation. The future corridor operation must be mimicked in order to create a mode. The sponsors will need to provide a bus and driver for the creation of MX3, but regular bus routes can be used for MX1 and MX2.

WVU recommends that the modes should be at least 600 seconds long, but not more than 1000 seconds each, and will use these targets in creating the test schedule.

The WVU researchers, at least a month before testing commences, will travel to Mexico City, with a portable GPS data logging system, and will travel on buses on routes chosen by the sponsors, to yield the data set necessary for creating the MX1, MX2 and MX3 modes. The only data that will be required will be vehicle speed and time, although the investigators will note any steep grades that may cause unusually high accelerations or decelerations. The cost of this data logging and cycle creation activity is listed separately in the budget section.

The test schedule will be created from the speed-time data by dividing the data into microtrips, and examining statistically whether groups of microtips represent the whole activity database. This process has been described in detail in prior publications (Nine et al., 1999; Clark et al., 2003). These groups of microtrips are chosen also to be close to the target mode duration. The statistical measures used will be average speed, stops per kilometer, standard deviation of speed and percent cruise time. Percent idle time will be used to adjust the final cycle.

REPEAT TESTS AND NUMBER OF BUSES

From prior experience, the WVU researchers have a desire to repeat test runs to improve data reliability. However, to some extent, the danger of using too few runs is offset by the use of double NOx analyzers, and by the use of a TEOM to act as a check on PM measurements.

WVU, in the base budget presented below, will conduct testing on a total of ten buses. For the local schedule, the two conventional diesel buses will be operated on two levels of ultra low sulfur diesel (ULSD) (15 and 50 ppm sulfur) as well as conventional diesel (350ppm sulfur). The hybrid buses will be operated on 15, 50 and 350 ppm sulfur diesel. The CNG bus will use only in-tank fuel. Tests on the ETC will be limited to the 15ppm fuel.

The tables below present the "base budget" test runs, which match the sponsor's request precisely. Note that the local schedule will consist of three modes, MX1, MX2 and MX3.

Tests with the local schedule (three modes per run):

		Diesel Type				
Technology	Number of Vehicles	15	50	350	CNG	TOTAL
Conventional Diesel	2	2	2	2	0	12
Low S Diesel	4	2	2	2	0	24
Hybrid	2	4	2	2	0	16
Natural Gas	2	0	0	0	2	4
TOTAL	9					56

Tests with ETC:

		Diesel Type				
Technology	Number of Vehicles	15	50	350	CNG	TOTAL
Conventional Diesel	2	2	0	0	0	4
Low S Diesel	4	2	0	0	0	8
Hybrid	2	4	0	0	0	8
Natural Gas	2	0	0	0	2	4
TOTAL	9					24

In each case, in the base budget test plan, buses will be exercised through two repeat runs, except for the hybrid vehicles, which are slated to have four runs on 15% ULSD to establish state of charge correction. Two repeat runs are suitable to establish a reliable database. If the results from two repeat runs show a difference greater than 10% for NO_x or CO_2, then a third run will be performed. Generally, if HC or CO vary by more than 20%, a third run will be performed. However, with trap-equipped vehicles, HC and CO levels may be very low, and close to the detection limit of the laboratory. If the HC or CO levels are below or close to the detection limit, variations of 20% are likely, and the use of additional runs is not justified. The

decision to add an extra run due to PM variability will therefore be based upon TEOM data. True PM filter data are not immediately available because filters must be conditioned: although conditioning and weighing are on-site, data will not be available until the next day. CNG and trap-equipped vehicles may produce very low levels of PM that will leave light loadings on a filter after 600 seconds of operation. If more than two runs are employed as a result of emissions variability, a run that is an "outlier" may be disregarded during data audit.

For programmatic needs, the fleet makeup may change between this time of writing and the time of research, and there may be a need to modify the test plan. WVU will accept, within the base budget, any fleet or test plan change that does not require an increase in research effort relative to the effort presented in this proposal. WVU will also be pleased to conduct emissions research on additional buses as described in the budget section.

The hybrid buses will require additional considerations. The hybrid buses must have the regeneration function disabled during coastdown. Either information must be available on disabling the regeneration function, or technical support must be available from the vehicle manufacturer. Prior to leaving for Mexico City, the WVU researchers will determine whether engineers from the hybrid bus manufacturers will be present. If they are not present, WVU will determine how to disable the regeneration function from the manufacturers. The investigators respectfully suggest that these details are resolved once further details of the hybrid bus technology become available. The SENES report discusses training on the hybrid vehicle technology by the vehicle manufacturer. WVU will be pleased to have a representative attend this training, but it will be at additional cost. Alternatively, the sponsors may elect to have a technical specialist attend the manufacturer training and offer this specialist to assist at the time of emissions testing. The specialist would need to gain knowledge on the ability to measure current or state of charge, and the ability to disable regenerative braking. This is discussed separately in the section on training and cooperation.

During the testing of hybrid buses, it is essential to account for the state of charge change between the beginning and end of the test schedule. For transient cycles, the procedures outlined in SAE J2711 must be followed. SAE J2711 allows that no correction is used if the state of charge change is sufficiently small. Otherwise, interpolation may be used on several runs, and the test program becomes time intensive. It will not prove possible within the projected budget to have a valid interpolation for all of the transient and driving pattern runs, but the WVU investigators have allowed for additional runs to establish the state of charge correction for the bus. In order to correct for state of charge, the WVU researchers must have access either to a state of charge readout, or else connections to a current shunt with appropriate shunt information. Details of acquiring this information will be discussed when the bus technology information becomes available. State of charge correction will be made by using current integration, and the rated voltage of the bus system.

RAVEM SYSTEM

The RAVEM is not specifically required during the chassis dynamometer testing with the Translab. However, the WVU researchers will participate in the simultaneous use of the RAVEM for comparative purposes. The only requirement for RAVEM operation during testing would be installation of the RAVEM system on the bus, ahead of the WVU dilution tunnel, and the provision for a handshaking signal to synchronize RAVEM and WVU data. The RAVEM will be used on five of the ten buses in the study.

The sponsors would need to insure that personnel were on site to calibrate and operate the RAVEM. This offers a further area for cooperation.

FINAL REPORT

A final report will be generated that will present all methods used, and all of the schedule-averaged data, as well as continuous data. Examples of continuous NOx and TEOM data from prior research programs are shown in Figures 1 and 2. Detailed data processing from the hybrid bus will be required. The results from the different technologies as tested in Mexico City will be compared with one another. In addition, the results from Mexico City will be compared with existing data available at WVU for low altitude testing on a wide variety of technologies. The data will also be processed into speed-acceleration factor tables that will have future use in preparing emissions inventories and projecting emissions reductions. Lastly, the data will be used to assess as closely as possible whether the engines in the vehicles were performing at their certified levels.

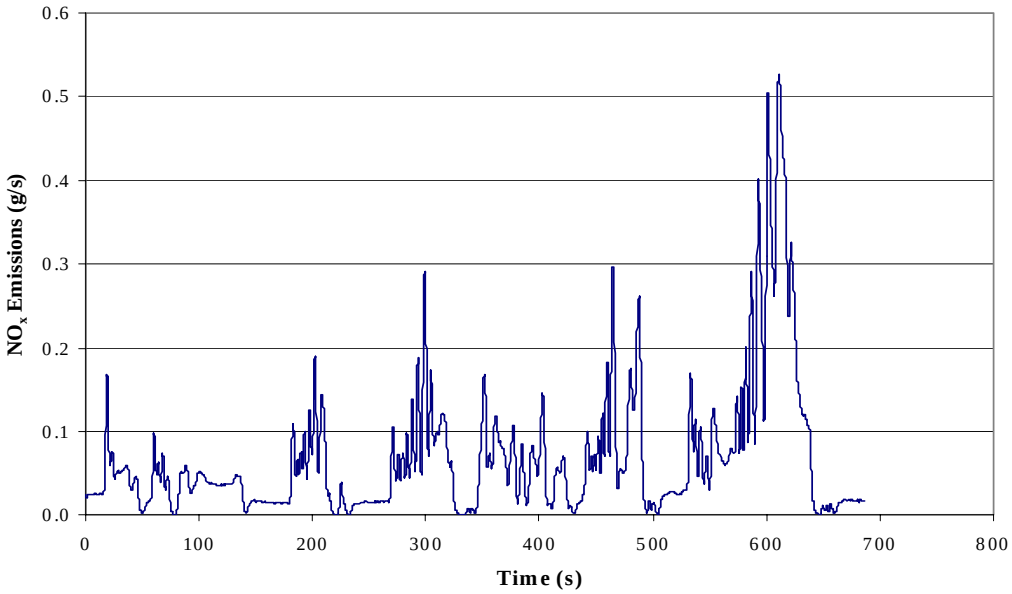


Figure 1: Typical continuous NOx data.

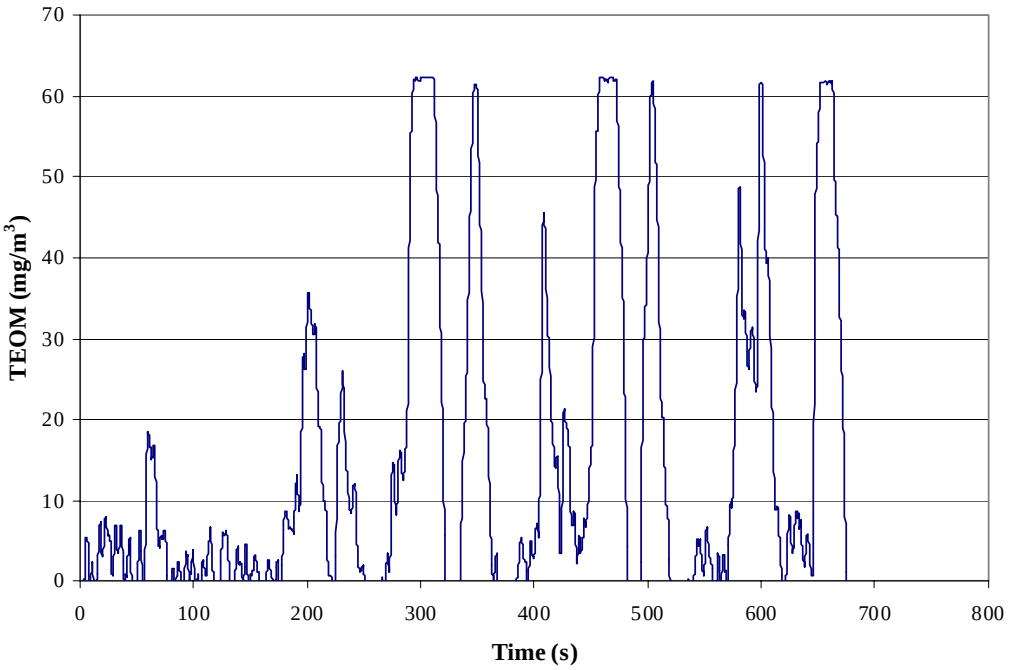


Figure 2: TEOM data used to quantify continuous PM output.

QUALITY CONTROL

The WVU proposed effort offers a high degree of quality control. Firstly, there will be daily quality control effort performed by both the engineer at the test site in Mexico City, and by personnel at WVU. There will also be an independent audit of quality enacted by Dr. Gregory Thompson. This effort will address all issues of analyzer calibration, flow calibration for samplers, tunnel flow verification and calibration of the chassis dynamometer. In addition Dr. Thompson will insure that a sample handling plan is developed and a sample chain of custody is maintained throughout the program for filters and for bags of gaseous samples. He will also examine records to insure that the researchers adhere to the test plan and will examine resulting data to identify outliers or equipment malfunctions. Dr. Thompson will also project the confidence levels to be used with the data, and the degree of repeatability.

OPPORTUNITIES FOR TRAINING AND COOPERATION

The proposed emissions characterization program offers several opportunities for training specialists from the sponsor's departments, and for reducing the cost through sponsor cooperation.
First, there is an opportunity for an engineer or technician to engage in the PM filter conditioning and filter weighing over the duration of the program. The WVU budget has been prepared to allow for the training of such an individual, and also for the participation of the individual in double weighing for quality control purposes. This individual would also be welcome to learn the operation of the gas analysis system from WVU.

Second, if WVU is not funded to be trained on the hybrid bus technology, the WVU team will require cooperation of an engineer or specialist from one of the sponsor's departments. The specialist would need to attend the training, and gain knowledge on the ability to measure current or state of charge, and the ability to disable regenerative braking. The specialist would need to be present for hybrid coastdowns and tests.

Third, a mechanic from one of the sponsor's departments should join the test team from WVU throughout the program. The mechanic would jointly inspect the vehicles for safety and function, along with a WVU researcher, would prepare the hub adapters (following training) for mounting the vehicle on the WVU Translab, and would assist in securing the vehicle and acting as a safety monitor during testing.

Fourth, a Mexico City driver will be essential for logging data from the buses to create the MX3 schedule and perform coastdowns.

REQUESTED RESOURCES

The Translab will be driven to Mexico City and set up at a site designated and provided by the sponsors. Site requirements have been supplied in a separate document. In addition, the WVU researchers respectfully request the following support and utilities: although the Translab can operate without this additional support, the support will greatly enhance the efficiency of the program.

The instrumentation trailer uses two lines of 240 Volt 50 amp single phase, which is a total of 100 amp at 240 V.

An additional 70 amp 480 V 3 phase or 150 amp 240 Volt single is needed for the chassis dynamometer.

Note: a WVU transformer is available to use 480 V 3 phase power for all requirements.

The research team will need access to water, and a supply of compressed air is desirable. For offloading equipment, access to a forklift or crane is important. The Translab will need to remain in a secure area. It has been WVU experience in the past, that some units (buses) require some minor repairs during the testing. Having "mechanic service" available on site would ensure efficiency during testing.
Test fuel should be available in drums, and an empty drum is needed for waste fuel.

WVU requires specifications for the buses in advance. In particular, the researchers need to know the stud or lug pattern for the drive wheel rims, or a description of the drive wheel rims is needed, because WVU uses hub adapters to connect the bus to the Translab. If the buses have unusual lug patterns (other than 10 lug Budd, 6 lug Budd, or 10 lug European), there is a need to know well in advance, so that adapters can be prepared.

WVU EXPERIENCE IN HYBRID BUS EVALUATION

The WVU researchers have previously conducted hybrid vehicle emissions research for the following sponsors or vehicle operators:-

New York City Transit Authority;
Orange County Transportation Authority;
Omnitrans San Bernardino, CA;
Massachusetts Bay Transportation Authority;
Georgetown University;
Paul Revere Transportation LLC (Massport);

QUALIFICATIONS OF PERSONNEL

The WVU research team will be led by Dr. Nigel N. Clark, who is George Berry Chair of Engineering at West Virginia University. He has extensive experience in chassis dynamometer testing of hybrid and conventional vehicles, is a co-author of SAE J2711, and has been responsible for the creation and evaluation of numerous truck and bus test cycles. Dr. W. Scott Wayne, Research Assistant Professor of Mechanical & Aerospace Engineering, manages the operations of the Translabs and brings expertise in coastdowns and bus emissions characterization. Dr. Mridul Gautam, Professor of Mechanical & Aerospace Engineering, has led on-board emissions and data-logging efforts and has expertise in emissions measurement technology. Dr. Victor H. Mucino, Professor of Mechanical & Aerospace Engineering has expertise in hybrid vehicle design and transmission efficiency. Dr. Gregory Thompson, Assistant Professor of Mechanical & Aerospace Engineering will act as Quality Control Officer and will bring expertise on data logging. Dr. Donald W. Lyons is Director of the National Research Center for Alternative Fuels, Engines & Emissions at West Virginia University and has a 15 year record in chassis dynamometer testing. The faculty are supported by key engineering and technical personnel. Resumes of the investigators are attached to this proposal.

BUDGET

The “base budget” tables for the vehicle testing were presented in the body of the proposal. The base budget allows for emissions characterization from nine buses, with 56 runs on the local schedule (which itself has three modes) and 24 runs on the ETC. The base budget also provides for the creation of the three mode local schedule.

The base budget has been divided into three parts, namely

a) the costs of travel to and from the site, laboratory preparation, calibration, setup, RAVEM comparison, and takedown (Fixed cost)
b) the costs for performing the tests detailed in the body of the proposal (Nine buses)
c) the cost of producing the local test schedule, including gathering GPS bus data (Local Schedule)

In arriving at the “Ten buses” budget, WVU has evaluated the tasks in terms of “units”. A unit represents approximately one eight-hour day of actual active emissions characterization, including inspecting and securing vehicles, calibrating, performing warmup runs, and performing emissions runs. However, each unit also has substantial additional time associated with software preparation, maintenance, data processing, repairs, and major calibration events. Additional time associated with a unit also included re-runs if data variability or analyzer failure is encountered. In the proposed test plan, each conventional

and ULSD bus will require 2.25 units of work. The hybrid bus will be three units of work. The CNG bus will be one unit. In this way, the present program involves the travel and basic setup, plus 18.5 units of work in characterizing emissions. The local cycle schedule development is additional.

Testing tasks may be added or subtracted in terms of units, using the present workplan as guidance. A unit may be regarded as the work required to install a bus, perform three runs, and remove the bus. It should be noted that the local schedule represents more than one run, because it contains three modes, and requires additional data logging, filter weighing and data processing.

Each unit is calculated as requiring 30 faculty (Professor) hours, 40 engineering hours (personnel have the rank of Engineering Scientist or Program Coordinator), 50 technician hours and four clerical hours. Rates of $55.84, $27.31, $23.07 and $12.00 per hour respectively were obtained by preparing a composite average salary for the personnel involved, and adjusting for anticipated salary increases before execution of the program. Graduate student time was also budgeted. Students are paid $1,300 per month and are deemed to work half time. Both fringe benefit and F&A rates are audited rates approved by the US federal government.

Supplies include calibration gases, laboratory supplies, computer supplies and office supplies.

Travel costs have been based on a requirement for five personnel in the field throughout the testing, with additional personnel traveling to Mexico City as needed.

Equipment costs are for the replacement of analyzers and data logging equipment. Such equipment has a finite life and represents a substantial fraction of the Translab operating costs.

Budget adjustments in terms of units have been described above. In the event that data from the RAVEM become available, so that no WVU personnel are required to travel to Mexico City for the local schedule creation, the cost for that task will be reduced from $14,766 to $6,000.

Aldehyde sampling and testing is not included in the base budget. Each aldehyde sample (two cartridges in series) will cost $600, including sampling, analysis and data processing costs.

The hours and budget costs represent a good faith estimate of costs by category. However, WVU reserves the right to move funds between categories as necessary to achieve the program goals. WVU also regards the total funding to be on a fixed cost basis. A payment schedule must be negotiated at the time of award, most likely based upon completion of milestones or tasks in the program.

WVU Base Budget

	Fixed Costs	10 Buses	Test Total	Schedule	Total	Unit
Faculty	$ 5,225	$ 36,019	$ 41,244	$ 1,500	$ 42,744	$ 1,675
Engineering Staff	$ 6,500	$ 23,487	$ 29,987	$ 3,500	$ 33,487	$ 1,092
Technician Staff	$ 2,770	$ 24,803	$ 27,573		$ 27,573	$ 1,154
Clerical Staff		$ 1,032	$ 1,032		$ 1,032	$ 48
Total	$ 14,495	$ 85,341	$ 99,836	$ 5,000	$ 104,836	$ 3,969
Fringe (27%)	$ 3,914	$ 23,042	$ 26,956	$ 1,350	$ 28,306	$ 1,072
Student		$ 10,400	$ 10,400	$ 1,300	$ 11,700	$ 520
Student Fringe (5.3%)		$ 551	$ 551	$ 69	$ 620	$ 28
Salary Total	$ 18,409	$ 119,334	$ 137,743	$ 7,719	$ 145,462	$ 5,589
Supplies	$ 15,000	$ 30,100	$ 45,100	$ 500	$ 45,600	$ 1,400
Travel	$ 16,000	$ 35,475	$ 51,475	$ 3,500	$ 54,975	$ 1,650
Rental	$ 1,000	$ 1,075	$ 2,075		$ 2,075	$ 50
Repair	$ 600	$ 1,075	$ 1,675		$ 1,675	$ 50
Equipment		$ 30,000	$ 30,000		$ 30,000	$ 1,500
Direct Costs	$ 51,009	$ 217,059	$ 268,068	$ 11,719	$ 279,787	$ 10,239
F&A (26%)	$ 13,262	$ 48,635	$ 61,898	$ 3,047	$ 64,945	$ 2,272
Task Total	$ 64,271	$ 265,695	$ 329,966	$ 14,766	$ 344,731	$ 12,511

	Hours	Hours	Hours	Hours
Faculty	94	645	27	30
Engineering Staff	238	860	128	40
Technician Staff	120	1075	0	50
Clerical Staff	0	86	0	4

Hourly Rate

	Hourly rate
Faculty	$ 55.84
Engineering Staff	$ 27.31
Technician Staff	$ 23.07
Clerical Staff	$ 12.00

REFERENCES

PRUCZ, J.C., CLARK, N.N., GAUTAM, M., and LYONS, D.W., "Exhaust Emissions from Engines of the Detroit Diesel Corporation in Transit Buses: A Decade of Trends", Environmental Science & Technology, 2001, Vol. 35, 1755-1764.

WANG, W.G., CLARK, N.N., LYONS, D.W., YANG, R.M., GAUTAM, M., BATA, R.M., and LOTH, J.L., "Emissions Comparisons from Alternative Fuel Buses and Diesel Buses with a Chassis Dynamometer Testing Facility", Environmental Science & Technology, Vol. 31, 1997, pp. 3132-3137.

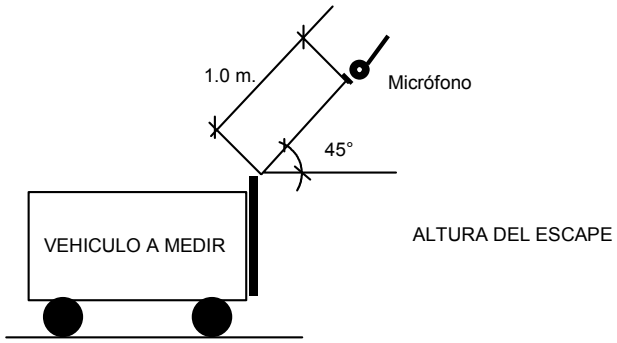
CLARK, N.N., WAYNE, W.S., NINE, R.D., BUFFAMONTE, T. M., HALL, T., RAPP, B.L., THOMPSON, G., and LYONS, D.W., "Emissions from diesel-fueled heavy-duty vehicles in Southern California," SAE/JSAE Spring Fuels & Lubricants Meeting , Yokohama, Japan 2003, JSAE Paper 20030232

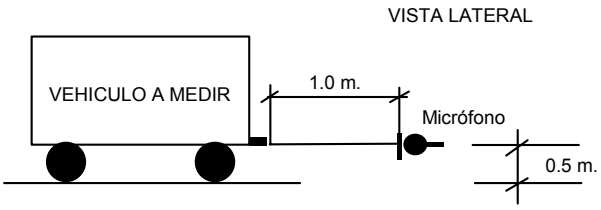
NINE, R.D., CLARK, N.N., DALEY, J.J. and ATKINSON, C.M., "Development of a heavy-duty chassis dynamometer driving route", Proc. Inst. Mech. Engrs. Part D., Jour. of Automobile Eng., Vol. 213 pp. 561-574, 1999.

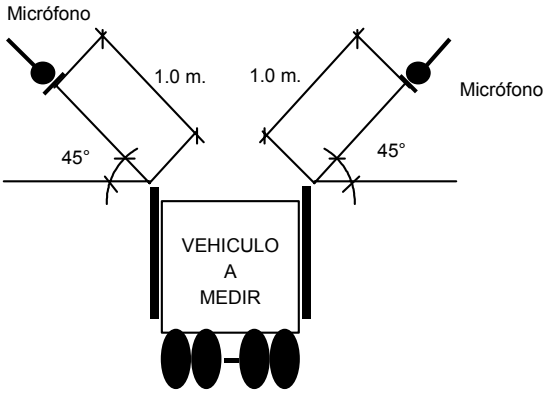
CLARK, N.N., GAUTAM, M., WAYNE, W.S., NINE, R.D., THOMPSON, G.J., LYONS, D.W., MALDONADO, H., CARLOCK, M., and AGRAWAL, A., "Creation and Evaluation of a Medium Heavy-Duty Truck Test Cycle," SAE Fall Powertrain Conf., Pittsburgh, PA, Oct. 2003, SAE Paper 2003-01-3284

McKAIN, D.L., CLARK, N.N., McDANIEL, T.I., and HOPPIE, J., "Chassis Test Cycle Development for Engine Test Compliance on Heavy Duty Engines", SAE International Congress, Detroit, Feb. 1998, SAE Paper 980407.

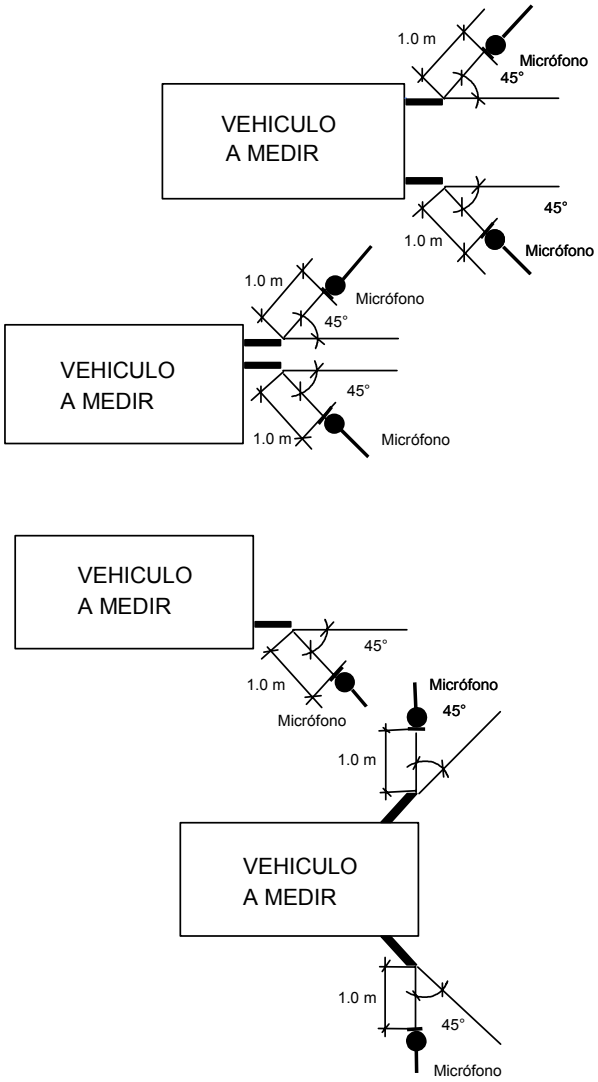
ANEXO IV POSICIÓN DEL MICRÓFONO DURANTE LA PRUEBA DE RUIDO





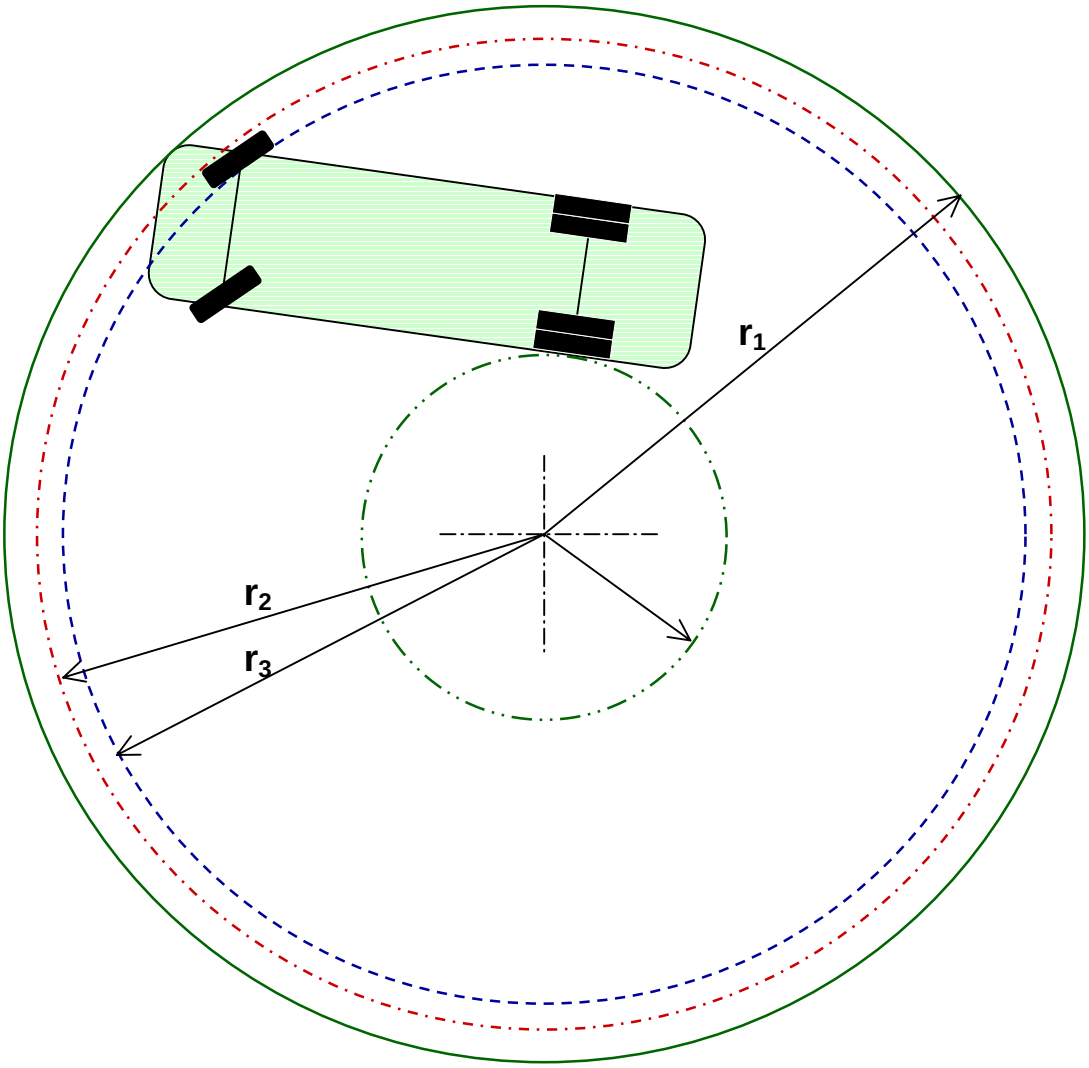


EJEMPLOS DE UBICACIÓN DEL MICRÓFONO SEGÚN POSICIONES DEL ESCAPE.



EJEMPLOS DE UBICACIÓN DEL MICRÓFONO SEGÚN POSICIONES DEL ESCAPE. VISTA SUPERIOR.

ANEXO V MEDICIÓN DEL RADIO DE GIRO



ANEXO VI DATOS A CAPTURAR DURANTE LAS PRUEBAS

En las siguientes tablas se describen los datos a obtener durante el período de pruebas

TABLA **Información general del vehículo.**

Punto a valorar	*Descripción*
Marca	
Modelo	
Año	
Piso	
Tipo	
Origen	
Número de ejes	
Marca carrocería	
Pasajeros sentados	
Pasajeros totales	

TABLA **Descripción del vehículo.**

Punto a valorar		*Descripción*
Motor	Marca	
	Par	
	@rpm	
	Potencia máxima	
	@rpm	
	Cilindraje	
	Número de cilindros	
	Inyección	
	Turbocompresor	
	Intercooler	
	Ubicación	
	Combustible	
Transmisión	Tipo	
	Marca	
Dirección		
Suspensión		
Frenos	Ralentizador	
	ABS	

TABLA **Peso del vehículo**

Punto a valorar	*[Ton]*	*Valor medido (Ton)*	*Máximo admitido por el fabricante [Ton]*
Eje delantero			
Segundo eje			
Tercer eje			
Cuarto eje			
Total			

TABLA **Desempeño del vehículo.**

Aceleración en plano

	Variable	*Valor*	*Unidad*
Aceleración hasta 20 Km/h	tiempo		
	distancia		
Aceleración hasta 40 Km/h	tiempo		
	distancia		
Aceleración hasta 60 Km/h	tiempo		
	distancia		

Aceleración en pendiente

	Variable	*Valor*	*Unidad*
Pendiente tipo 1	tiempo		
	Velocidad max		
Pendiente tipo 2	tiempo		
	Velocidad max		
Pendiente tipo 3	tiempo		
	Velocidad max		

Frenado

	Variable	*Valor*	*Unidad*
Frenado a 32 Km/h	tiempo		
	distancia		
Frenado a 60 Km/h	tiempo		
	distancia		

Radio de giro

	Valor	*Unidad*
Rueda 1		
Rueda 2		
Rueda 3		
Rueda 4		

Emisiones de contaminantes

		Valor	*Unidad*
Prueba en condiciones estáticas	CO		
	CO2		
	HC		
	PM		
	NOx		
	SO2		
	Opacidad		
Prueba en condiciones dinámicas	CO		
	CO2		
	HC		
	PM		
	NOx		
	SO2		

Emisiones sonoras

Ruido estático			*Ruido dinámico*
RPM del motor	*Interno*	*Externo*	
	[db(A)]	*[db(A)]*	*[db(A)]*
Ralentí			
1000			
1500			
2000			
Máxima			

Servicio de Transportes Eléctricos

TABLA **Dimensiones exteriores del vehículo.**

Punto a valorar	***Valor medido [m]***
Longitud total	
Ancho	
Altura máxima	
Paso 1 entre ruedas	
Paso 2 entre ruedas	
Paso 3 entre ruedas	
Voladizo adelante	
Voladizo atrás	
Altura mínima al suelo	

TABLA **Dimensiones internas del vehículo**

Punto a valorar	***Valor medido [m]***
Altura interna libre	
Altura de visibilidad superior	
Altura de visibilidad inferior	
Ancho del pasillo	
Separación de asientos	
Espacio entre asientos enfrentados	
Profundidad de asientos	
Ancho de asiento	
Altura de asiento	
Altura de espaladar	

TABLA **Dimensiones de las puertas**

Punto a valorar		***Valor medido [m]***
Número de puertas		
Sencilla	Tipo	
	Cantidad	
	Ubicación	
	Ancho libre	
	Altura libre	
	Altura suelo-voladizo	
	Altura suelo-plataforma	
	Número de escalones	
	Altura entre escalones 1	
	Altura entre escalones 2	
	Altura entre escalones 3	
	Accionamiento	
Doble	Tipo	
	Cantidad	
	Ubicación	
	Ancho libre	
	Altura libre	
	Altura suelo-voladizo	
	Altura suelo-plataforma	
	Número de escalones	
	Altura entre escalones 1	
	Altura entre escalones 2	
	Altura entre escalones 3	
	Accionamiento	

TABLA **Sistemas de emergencia, ventilación e iluminación.**

Punto a valorar			***Valor***	***Unidades***
Vidrios	Objeto visible a 1.4 m			
	Visibilidad al frente			
Salidas de emergencia	Número de salidas			
	Area			
	Sistema de expulsión			
Ventilación	Claraboyas	Cantidad		
		Area		
	Ventanas	Cantidad		
		Area		
Iluminación	Tipo			
	Cantidad			
	Ubicación			

Costos de mantenimiento

Autobús a evaluar

Datos para análisis:

- Velocidad promedio
- No. Horas de trabajo por día
- No. Día de trabajopor mes
- Distancia recorrida en el día
- No. Reencauches

Item	*Especificación*	*Descripción*	*Cantidad*	*Vida útil*		*Costo unitario*	*Costo*
				[meses]	*[miles Km]*	*[miles $]*	*[$/Km]*
Ruedas	Llanta						
	Servicio cambio de llantas						
	Reencauches (Máximo 3)	En caliente					
	Balanceo	Dinámico					
	Alineación	Computarizada					
Baterías	Reemplazo de batería hibrídos						
	Reemplazo de batería normal						
Filtros	Aire						
	Combustible						
	Aceite						
Lubricantes	Motor [litros]						
	Servicio cambio de aceite motor						
	Transmisión [litros]						
	Servicio cambio de aceite transmisión						
	Dirección [litros]						
	Servicio cambio de aceite dirección						
	ejes/diferencial [litros]						
	Servicio cambio de aceite dirección						
	Servicio de engrase [Lb]						
Refrigerantes	[litros]	Anticongelante					
Frenos	Servicio frenos delanteros						
	Servicio frenos traseros						
Aseo	Interior						
	Exterior						
	Encerado						
	Motor						

Costo total mantenimiento programado	

Combustible	[litros/Km]						

Total costos de mantenimiento programado y Consumo de combustible	

ANEXO VII NÚMERO DE PARADAS DURANTE EL TRAYECTO

Puntos de ascenso y descenso de la ruta metro Indios Verdes – Villa Olimpica

No	Ubicación
1	Paradero metro Indios Verdes
2	Avenida Insurgentes - Montevideo
3	Avenida Insurgentes – Euzkaro
4	Avenida Insurgentes – Poniente 112
5	Avenida Insurgentes – metro la Raza
6	Avenida Insurgentes – Calzada San Simón
7	Avenida Insurgentes – Manuel González
8	Avenida Insurgentes – Manuel Carpio
9	Avenida Insurgentes – José Antonio Alzate
10	Avenida Insurgentes – Sor Juana Ines de la Cruz
11	Avenida Insurgentes – Amado Nervo
12	Avenida Insurgentes – Ribera de San Cosme
13	Avenida Insurgentes – Gómez Farias
14	Avenida Insurgentes – Antonio Caso
15	Avenida Insurgentes – Sullivan
16	Avenida Insurgentes – Manuel Villalón Gin
17	Avenida Insurgentes – Nápoles
18	Avenida Insurgentes – Niza
19	Avenida Insurgentes – Metro Insurgentes
20	Avenida Insurgentes – Sinaloa
21	Avenida Insurgentes – Monterrey
22	Avenida Insurgentes – Alvaro Obregón
23	Avenida Insurgentes – Medellín
24	Avenida Insurgentes – Sonora
25	Avenida Insurgentes – Michoacán
26	Avenida Insurgentes – Campeche
27	Avenida Insurgentes – Baja California
28	Avenida Insurgentes – Chilpancingo
29	Avenida Insurgentes – Nuevo León

No	Ubicación
30	Avenida Insurgentes – Yosemite
31	Avenida Insurgentes – Filadelfia
32	Avenida Insurgentes – Georgia
33	Avenida Insurgentes – New York
34	Avenida Insurgentes – Holbein
35	Avenida Insurgentes – Porfirio Díaz
36	Avenida Insurgentes – Millet
37	Avenida Insurgentes – Extremadura
38	Avenida Insurgentes – Algeciras
39	Avenida Insurgentes – Rio Mixcoac
40	Avenida Insurgentes – Factor
41	Avenida Insurgentes – Damas
42	Avenida Insurgentes – Juan Pablo Segundo
43	Avenida Insurgentes – Juventino Rosas
44	Avenida Insurgentes – Jaime Nuno
45	Avenida Insurgentes – Camino al Desierto de los Leones
46	Avenida Insurgentes – Avenida la Paz
47	Avenida Insurgentes – Doctor Gálvez
48	Avenida Insurgentes - Rio Magdalena
49	Avenida Insurgentes – Ciudad Universitaria
50	Avenida Insurgentes – Rectoria
51	Avenida Insurgentes - Circuito Escolar
52	Avenida Insurgentes – Zona Escolar
53	Avenida Insurgentes – Anillo Periférico
54	Avenida Insurgentes – Villa Olimpica
55	Avenida Insurgentes – Corregidora
56	Avenida Insurgentes - Ayuntamiento
57	Avenida Insurgentes – Sor Juana Ines de la Cruz
58	Michoacán – Leona Vicario

Puntos de ascenso y descenso de la ruta metro Villa Olimpica – Indios Verdes

No	Ubicación
1	Corregidora – Sor Juana Ines de la Cruz
2	Corregidora - Avenida Insurgentes
3	Avenida Insurgentes – Cruz Blanca
4	Avenida Insurgentes – Mida
5	Avenida Insurgentes – Avenida del Iman
6	Avenida Insurgentes – Zona Cultural
7	Avenida Insurgentes – Circuito Escolar
8	Avenida Insurgentes – Rectoria
9	Avenida Insurgentes – Ciudad Universitaria
10	Avenida Insurgentes – San Jerónimo
11	Avenida Insurgentes – Rio Chico
12	Avenida Insurgentes – Avenida de la Paz
13	Avenida Insurgentes – Vito Alessio Robles
14	Avenida Insurgentes – Juventino Rosas
15	Avenida Insurgentes – Francia
16	Avenida Insurgentes – Barranca del Muerto
17	Avenida Insurgentes – Hermes
18	Avenida Insurgentes – Rio Mixcoac
19	Avenida Insurgentes – Maria de la Luz Bringas
20	Avenida Insurgentes – Felix Cuevas
21	Avenida Insurgentes – Millet
22	Avenida Insurgentes – Porfirio Díaz
23	Avenida Insurgentes – Angel Urraza
24	Avenida Insurgentes – San Antonio
25	Avenida Insurgentes – Pasadena
26	Avenida Insurgentes – Torres Adalid
27	Avenida Insurgentes – Romero de Terreros
28	Avenida Insurgentes – Viaducto Miguel Aleman

No	Ubicación
29	Avenida Insurgentes – Chilpancingo
30	Avenida Insurgentes – Avenida Baja California
31	Avenida Insurgentes – Aguascalientes
32	Avenida Insurgentes – Coahuila
33	Avenida Insurgentes – San Luis Potosí
34	Avenida Insurgentes – Zacatecas
35	Avenida Insurgentes – Alvaro Obregón
36	Avenida Insurgentes – Puebla
37	Avenida Insurgentes – Liverpool
38	Avenida Insurgentes – Havre
39	Avenida Insurgentes – Reforma
40	Avenida Insurgentes – Sullivan
41	Avenida Insurgentes – Antonio Caso
42	Avenida Insurgentes – Rivera de San Cosme
43	Avenida Insurgentes – Puente de Alvarado
44	Avenida Insurgentes – Carlos J. Meneses
45	Avenida Insurgentes – Eligio Ancona
46	Avenida Insurgentes – Manuel González
47	Avenida Insurgentes – San Simon
48	Avenida Insurgentes – Manumento a la Raza
49	Avenida Insurgentes – Claveria
50	Avenida Insurgentes – Metro la Raza
51	Avenida Insurgentes – Ing. Castro
52	Avenida Insurgentes – Euzkaro
53	Avenida Insurgentes – Montevideo
54	Avenida Insurgentes – Cantera
55	Avenida Insurgentes – Indios Verdes Via Rapida

ANEXO VIII CALENDARIO DE ACTIVIDADES

Actividad a realizar	2003						2004												2005				
	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mzo	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mzo	Abr	May
Protocolo de pruebas	■	■	■																				
Logística para el almacenamiento del diesel de Shelll	■	■	■	■	■																		
Acercamiento con fabricante de autobuses	■	■	■																				
Toma de decisiones en la forma de la medir emisiones.	■	■	■	■	■	■	■	■	■														
Adquisición de equipo para emisiones			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■											
Entrega de autobuses						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■								
Operación de los autobuses a evaluar												■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Realización de las pruebas de emisiones con equipo a bordo													■	■			■					■	
Realización de las pruebas de emisiones con dinamómetro																■							
Acondicionamiento del lugar de resguardo de autobuses						■																	
Capacitación de conductores de autobuses									■	■	■	■	■										
Capacitación del personal de mantenimiento y reparación									■	■	■	■	■										
Instalación del taller de mantenimiento y reparación						■	■	■	■	■	■												
Recolección de datos en la bitácora de operación, mantenimiento, etc												■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Adecuaciones de los autobuses de acuerdo a las necesidades					■	■																	
Validación de información																							■
Realización de reporte final																							■