

DETERMINACION DE EMISIONES VEHICULARES EN CONDICIONES DE FLUJO REALES

Roberto Corvalán; Roberto Román
Departamento de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Universidad de Chile, Beauchef N° 850 - Fono-fax: 6988453
e-mail: rocorval@cec.uchile.cl

Ignacio Vergara; Ernst Müller; Pablo Ulriksen
Fundación Centro Nacional del Medio Ambiente
Av Larraín N° 9975 - Fax: 2751688

RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en la primera etapa del Programa Prioritario N° 2, Sub-programa Fuentes Móviles, que el Centro Nacional del Medio Ambiente, CENMA, lleva a cabo con la finalidad de estudiar factores de emisión vehiculares.

En esta primera etapa fue posible determinar la influencia que sobre las emisiones tienen la tecnología, tanto de control de emisiones como de alimentación de combustible y los modos de conducción.

Estos resultados permiten iniciar una segunda etapa, cuyo resultado esperado es la determinación de factores de emisión para las distintas categorías de vehículos livianos y medianos que circulan por la Región Metropolitana, bajo condiciones reales de circulación en las principales vías de ésta.

1. INTRODUCCION

La Fundación Centro Nacional del Medio Ambiente, CENMA, está llevando a cabo el Programa Prioritario N°2 que dice relación con el análisis de factores de emisión de Fuentes Fijas y Fuentes Móviles, por encargo de la Comisión Nacional del Medio Ambiente y con la asistencia técnica del gobierno de Japón a través de la JICA.

El sub-programa Fuentes Móviles, tiene por objetivo fundamental generar y/o mejorar la información, en lo referente a factores de emisión vehiculares, actualmente existente en el sistema

de administración de inventarios de emisiones Airviro, que administra la Comisión Nacional del Medio Ambiente, Dirección Región Metropolitana.

La base de datos del sistema Airviro, en lo referente a fuentes móviles, representa a este tipo de fuentes por medio de 4000 arcos de la red vial primaria, a los cuales se les asocia composición, ciclos de marcha característicos y factores de emisión correspondientes a la combinación de ambos aspectos anteriores. El poblamiento de la base de datos implica tener información de la caracterización de los flujos vehiculares en dichos arcos, en términos de composición, es decir tipos y categorías de vehículos y ciclos de marcha representativos. A estas categorías de vehículos, se les debe asignar un factor de emisión para los contaminantes de interés, esto es CO; HC y Nox.

Uno de los objetivos del sub-programa antes referido, sobre el cual se da cuenta en el presente trabajo, es la determinación de factores de emisión para los contaminantes aludidos, expresados en gr/km, a partir de ensayos en un dinamómetro de chasis, que permita medir las emisiones mientras se corre un ciclo de marcha determinado.

2. ANTECEDENTES

2.1. Las emisiones vehiculares

Los vehículos motorizados son responsables de la mayor parte de la contaminación atmosférica en las grandes ciudades, más que cualquier otra actividad humana a nivel individual. Las emisiones vehiculares pueden ser de tres tipos: las emisiones por el tubo de escape; las emisiones evaporativas y el levantamiento de polvo en calles producto del paso de los vehículos por las mismas. Las emisiones vehiculares pueden ser también clasificadas en emisiones primarias y secundarias, siendo las primeras las que emite directamente el vehículo, ya sea por el tubo de escape, por evaporación o por su circulación en las vías y las secundarias, aquellas constituidas por compuestos formados en la atmósfera a partir de uno o más contaminantes primarios, bajo ciertas condiciones bien determinadas.

La medición de las emisiones vehiculares, puede ser efectuada por dos métodos:

- A través de medición de la masa de un contaminante dado, emitido por el tubo de escape por cada kilómetro recorrido, (g/km). Esta medición permite asignar un factor de emisión a cada categoría de vehículo quedando, necesariamente, referida a un tipo de ciclo específico de marcha. Para que esta medición tenga cierta validez a la hora de inferir, a partir de ella, el nivel de emisiones en una ciudad determinada, los ciclos de marcha utilizados deben ser representativos de las condiciones medias de flujo vehicular en la ciudad.
- A través de la medición del porcentaje de contaminante contenido en un cierto volumen de gases de escape. Esta medición volumétrica, se efectúa en ralentí y/o a ciertas rpm sin carga. Si bien es cierto que esta medición no representa bien las emisiones reales de los vehículos en circulación, el método es de una sencillez tal, que resulta ser el más apropiado como método de fiscalización en el sistema de revisiones técnicas periódicas.

Las emisiones por el tubo de escape tienen su origen en el proceso de combustión. En una combustión completa e ideal, los productos esperables son: dióxido de carbono, CO_2 ; vapor de agua, H_2O y nitrógeno, N_2 . Dado que en los motores reales el proceso de combustión no es ideal ni completo, se generan otros productos, tales como: monóxido de carbono, CO ; hidrocarburos, HC ; óxidos de nitrógeno, NO_x ; plomo; azufre y material particulado.

Las emisiones evaporativas de HC en los vehículos, pueden ser divididas en tres grupos, cuya importancia relativa depende, fundamentalmente del diseño y las condiciones de operación:

- Emisiones evaporativas en marcha: son aquellas pérdidas producidas cuando el vehículo está en movimiento.
- Emisiones evaporativas diurnas: son aquellas que se producen cuando el vehículo está estacionario con el motor detenido y son debidas a la expansión y emisión de vapores principalmente del estanque de combustible, como resultado de los cambios de temperatura normales durante el período de 24 horas.
- Emisiones evaporativas en caliente: se producen cuando el vehículo está estacionario con el motor recién detenido y a alta temperatura. En estas circunstancias, el calor del motor es disipado en el sistema de alimentación de combustible causando su evaporación, fundamentalmente por la cuba del carburador y el estanque de combustible.
- Emisiones evaporativas durante la carga de combustible.

Finalmente, los vehículos son importantes responsables de las emisiones de partículas presentes en la atmósfera, producto de la circulación por vías pavimentadas y no pavimentadas.

2.2. Parámetros fundamentales que inciden sobre las emisiones

Para los efectos del presente programa de determinación de factores de emisión para vehículos livianos y medianos, se tomarán sólo en cuenta las emisiones por el tubo de escape y las evaporativas, dejando fuera de los alcances del mismo, las emisiones de partículas generadas por el levantamiento de polvo en las calles por donde circulan los vehículos.

Los productos de una combustión completa e ideal (estequiométrica) son: vapor de agua, H_2O ; dióxido de carbono, CO_2 y nitrógeno, N_2 . Sin embargo, el proceso real de combustión en un motor de combustión interna, no es ni completo ni ideal, por lo cual aparecen otros productos, tales como: monóxido de carbono, CO ; hidrocarburos, HC ; óxidos de nitrógeno NO_x ; óxidos de azufre, SO_x ; plomo y material particulado en general.

El monóxido de carbono emitido por los motores de combustión interna, es producto de una combustión incompleta del combustible admitido en la cámara de combustión, de tal manera que la concentración de este contaminante en los gases de escape, dependerá de la eficiencia del proceso de combustión.

Las emisiones de HC gaseosos por el tubo de escape, al igual que las de CO , se deben a una combustión incompleta del combustible que ingresa a la cámara de combustión, siendo los factores, tanto internos como externos, que determinan su concentración, equivalentes a los

anteriores. En los motores de ciclo otto que operan bajo condiciones tales que la mezclas son muy pobres o muy ricas, las emisiones de HC aumentan considerablemente en relación con las que se obtienen cuando la mezcla es estequiométrica. En el caso de mezcla estequiométrica se obtiene un mínimo de emisiones de HC.

Las emisiones de NOx, están principalmente influenciadas por la temperatura en la cámara de combustión, siendo estas más altas cuando la temperatura es mayor. Por esta razón, es explicable la tendencia inversa en cuanto a la concentración de este contaminante en relación con la tendencia que experimenta la concentración de HC. Mientras mayor es la temperatura, la combustión es más completa y las emisiones de HC menores, pero al mismo tiempo, por efecto de la temperatura, se incrementan las emisiones de NOx. Esta tendencia inversa con respecto a las emisiones de HC, se cumple tanto en motores de ciclo otto como en diesel, siendo, en términos absolutos, significativamente menores en motores de ciclo diesel.

Las partículas emitidas durante un proceso de combustión son de variado tamaño y composición química, y se deben a una combustión incompleta o bien a procesos de síntesis. Los factores internos que inciden en las emisiones de material particulado son, fundamentalmente las características y tipo de combustible, dentro de las cuales influye: la composición química; presión de vapor, presencia de aditivos; contenido de cenizas, contenido de azufre, entre otros. Estas emisiones son más importantes en los procesos de combustión externa que interna y dentro de estos últimos, las emisiones de partículas son más elevadas en motores de ciclo diesel, por las características que tiene el combustible, llegando a ser de 30 a 70 veces mayor que en un motor de ciclo otto equipado con convertidor catalítico.

Las emisiones de óxidos de azufre, SO₂ y SO₃, dependen fundamentalmente del contenido de azufre de los combustibles. Al igual que en casos anteriores, se aprecia una gran influencia de la temperatura en la producción de óxidos de azufre.

Los aldehídos son también productos de una combustión incompleta. Las emisiones de aldehídos son mayores en los motores de ciclo otto que en motores de ciclo diesel y existe una muy buena correlación directa entre las emisiones de aldehídos y las emisiones de HC.

Los principales factores que determinan la cantidad de este tipo de emisiones son: los máximos de temperatura que alcanzan la cuba del carburador y estanque de combustible; el diseño del sistema de alimentación de combustible, en particular la superficie húmeda del mismo, venteos; presencia de válvula de alivio en el estanque de combustible, entre otros.

En el Cuadro 1, se presenta un resumen de parámetros involucrados en las emisiones de los vehículos. Aparte de lo anterior, se puede apreciar cambios significativos en los niveles de emisión para distintos estados de carga del motor.

CUADRO 1
Parámetros involucrados en las Emisiones

CONTAMINANTE	CAUSA	PARAMETRO
Monóxido de carbono	combustión incompleta	Tecnología: - relación A/C - temperatura CC - grado atomización - sistema de encendido Estado Mant. SAC, SCE y SE
Hidrocarburos	combustión incompleta	Hábitos de conducción Tecnología: - relación A/C - temperatura CC - grado atomización - sistema de encendido Estado Mant. SAC, SCE y SE
Oxidos de nitrógeno	Altas temperaturas en CC	Hábitos de conducción Tecnología: - diseño de CC - diseño del SAC
Partículas	Combustión incompleta Procesos de síntesis	Estado mant. SAC y SCE Características combustible
Oxidos de azufre	Contenido de azufre en el combustible	Estado mant. SAC y SCE Características combustible
Emisiones evaporativas	Altas temp. En SAC y EC	Estado mant. SCA Tecnología: - diseño SAC - diseño EC Estado mant. SAC y EC

Notas: CC: cámara de combustión A/C: aire/combustible
 SAC: sistema de alimentación de combustible SCE: sist. control de emisiones
 EC: estanque de combustible SE: sistema de encendido

2.3. Composición típica de emisiones por el tubo de escape

En el Cuadro 2, se muestra la composición típica, expresada en % en volumen, de los productos de combustión en motores de ciclo Otto y el Cuadro 3, muestra la composición de los productos tóxicos.

Por otra parte, las emisiones varían según el estado de carga y la temperatura en la cámara de combustión, según los rangos que se indican el Cuadro 4.

CUADRO 2
Productos de la combustión en motores Otto

PRODUCTOS	% EN VOLUMEN
CO ₂	18.1
OXIGENO	0.7
H ₂ O	9.2
N ₂	71.0
PROD. TOXICOS	1.0

Fuente : Sáez (1995)

CUADRO 3
Productos tóxicos en motores Otto

PRODUCTOS TOXICOS	% EN VOLUMEN
CO	0.85
HC	0.02
Nox	0.15
MP	0.005

Fuente : Sáez (1995)

CUADRO 4
Variación de las emisiones con el estado de carga en un motor otto

PRODUCTO	RALENTI	CARGA MEDIA	PLENA CARGA
TEMPERATURA	200-250 °C	550-650	750-850
CO (% en vol)	2,0-4,5	0,2-1,0	2-5
HC (% en vol)	0,01-0,05	0,01-0,02	0,01-0,03
NOx (% en vol)	0,01-0,05	0,25-0,35	0,15-0,45
Pb (mg/m ³)	50	40	50
CO ₂ (% en vol)	10-13	13,5-14	11-13
H ₂ O (% en vol)	11	9-11	9,5-11,5
O ₂ (% en vol)	1,0-1,5	1,5-2,5	0,3-0,5
H ₂ (% en vol)	1,5	0,5	0,1-0,5
N ₂ (% en vol)	68,0-74,5	70-75	69-76

Fuente : Sáez (1995)

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1. Alcances y objetivos

El objetivo fundamental del programa experimental fue la obtención de factores de emisión de monóxido de carbono; óxidos de azufre e hidrocarburos totales, expresada en gr/km, en una muestra de vehículos, bajo condiciones de operación definidas por ciclos de marcha estándares de Europa y Estados Unidos. Como objetivos específicos, está la optimización de una metodología experimental, tanto en lo referente a ensayos de vehículos reales en un laboratorio de emisiones como en el análisis de los resultados que estos ensayos entregan, metodología que pueda ser aplicada en ensayos practicados en el futuro, mediante ciclos de marcha reales típicos de las condiciones normales de circulación en las vías de la Región Metropolitana.

Dado que el laboratorio es del tipo de certificación de vehículos nuevos, fue preciso implementar un programa de inspección previa, con el objeto de evitar que vehículos muy contaminantes pudiese ocasionar algún tipo daño en las sofisticadas líneas de medición del 3CV. Por otra parte, este mismo hecho significó una restricción importante en el diseño de la muestra, ya que ésta resultó estar sesgada a vehículos con menores niveles de emisión. No obstante lo anterior, los criterios utilizados en la definición de la muestra, fueron los siguientes:

- Tecnología del sistema de alimentación de combustible
- Existencia de sistema de control de emisiones (convertidor catalítico)
- Kilometraje recorrido
- Uso del vehículo (particular o comercial)

Se sometió a ensayo una muestra total 62 vehículos de un total de 88 que fueron sometidos a inspección previa, con la distribución según el criterio de selección que se indica en el Cuadro 5.

3.2. Análisis de resultados

El procesamiento y análisis de datos obtenidos del programa experimental de ensayos en el Laboratorio de Emisiones del 3CV, permitió estudiar los siguientes aspectos específicos, cuyos resultados se discuten más adelante:

- Influencia del ciclo de marcha en las emisiones
- Influencia de la tecnología de alimentación de combustible
- Influencia del sistema de control de emisiones

En las Figuras N°1 a N°3, se muestran las emisiones de CO; NOx y HC, respectivamente, en función de la velocidad media de cada ciclo ensayado. Del análisis de estos gráficos, se desprende la fuerte influencia del ciclo de marcha en las emisiones, siendo éstas de mayor magnitud para los ciclos urbanos (ECE-15 y New York), que presentan velocidades medias más reducidas.

CUADRO 5
Distribución de la muestra según criterios de selección

CRITERIO DE SELECCION		N° VEHICULOS ENSAYADOS
Sistema de alimentación de combustible	MPFI	29
	TBI	21
	CM	4
	C	8
Sistema de control emisiones	CATALITICOS	54
	NO CATALITICOS	8
Kilometraje recorrido	< 50.000 km	42
	50.000 a 100.000 km	14
	> 100.000 km	6
Uso	COMERCIAL	15
	PARTICULAR	47

NOTA: MPFI: Inyección multi-punto

TBI: Inyección mono-punto

CM: Carburador Monitoreado

C: Carburador convencional

Cada vehículo se sometió a ensayos de emisiones utilizando los siguientes ciclos de marcha estándares: FTP-75 (ciclo de certificación oficial EPA-USA); IM-240 (ciclo de revisión técnica USA); ECE-15 (ciclo urbano europeo); New York y Highway (ciclo sub-urbano USA).

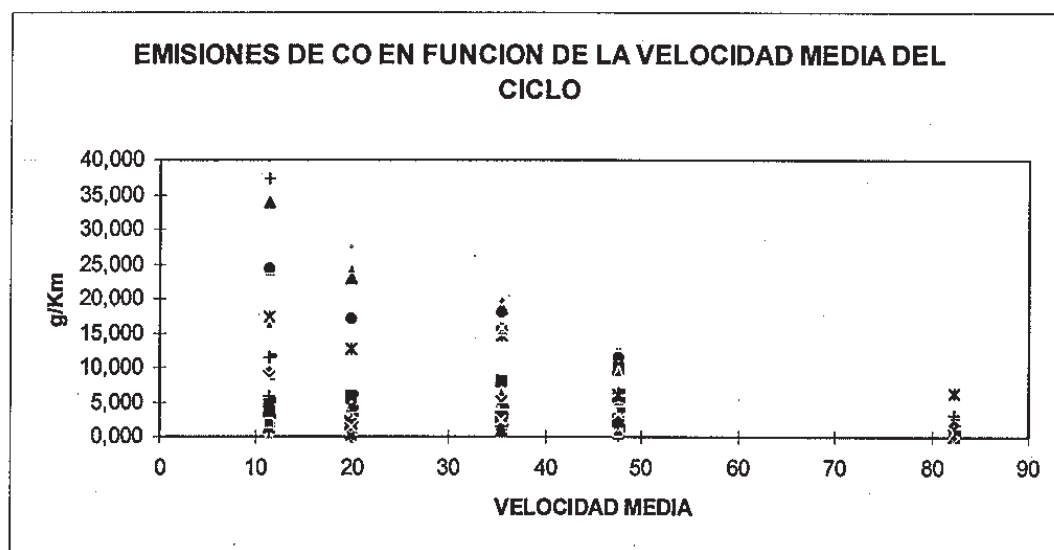
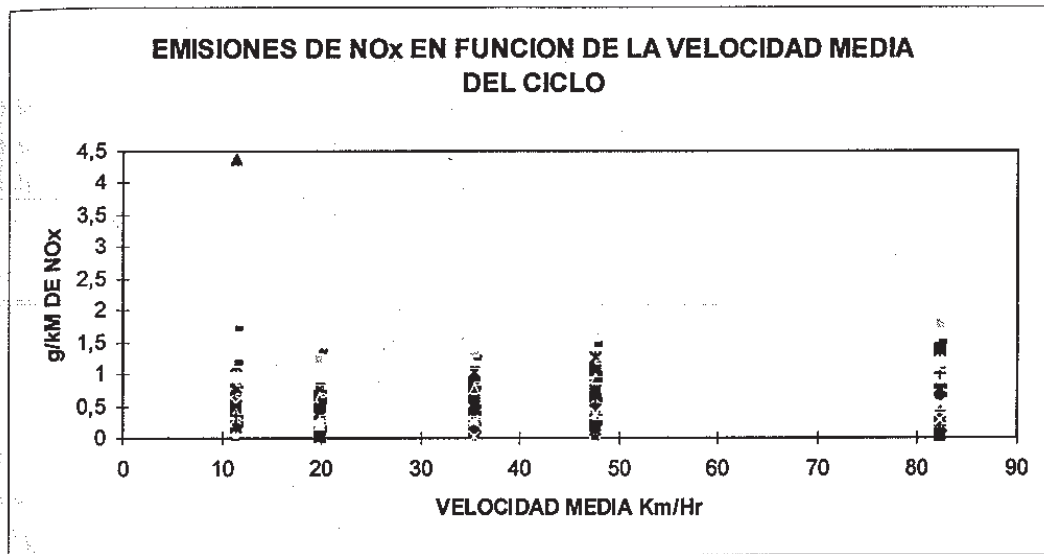
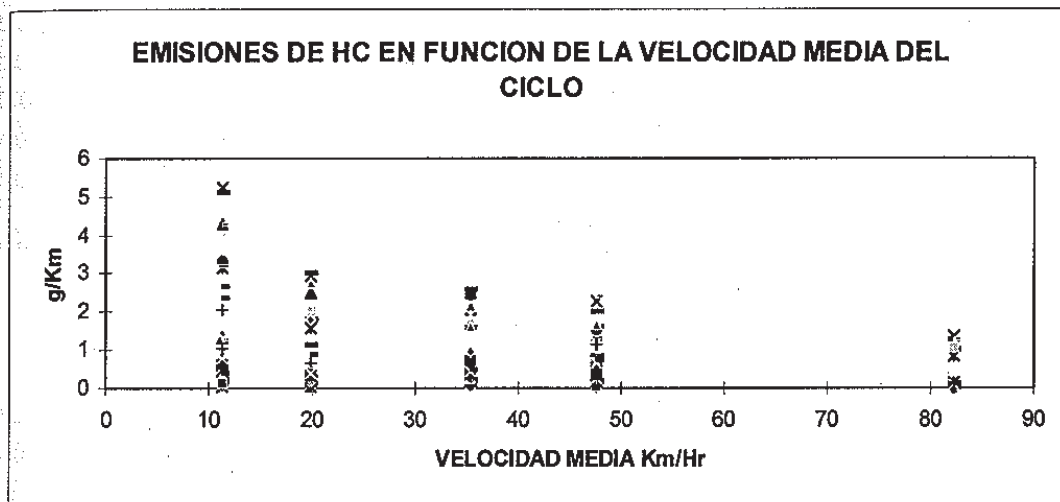


FIGURA 1 : EMISIONES DE MONOXIDO DE CARBONO

**FIGURA 2 : EMISIONES DE OXIDOS NITROSOS****FIGURA 3 : EMISIONES DE HIDROCARBUROS TOTALES**

Las Figuras 4 a 6, muestran la dependencia de la tecnología de alimentación de combustible en las emisiones de CO; NO_x y HC, respectivamente. De los gráficos se puede apreciar la tendencia a la disminución de las emisiones con tecnologías más recientes, como lo es la inyección multi-punto MPFI), tendencia que resulta ser más marcada en las emisiones de monóxido de carbono.

La influencia del sistema de control de emisiones queda de manifiesto también en los gráficos de las Figs 4 a 6, ya que las tecnologías dotadas de sistemas de inyección mono y multipunto, así como también los vehículos provistos de carburador monitoreado, están acompañadas, por lo general, de convertidor catalítico.

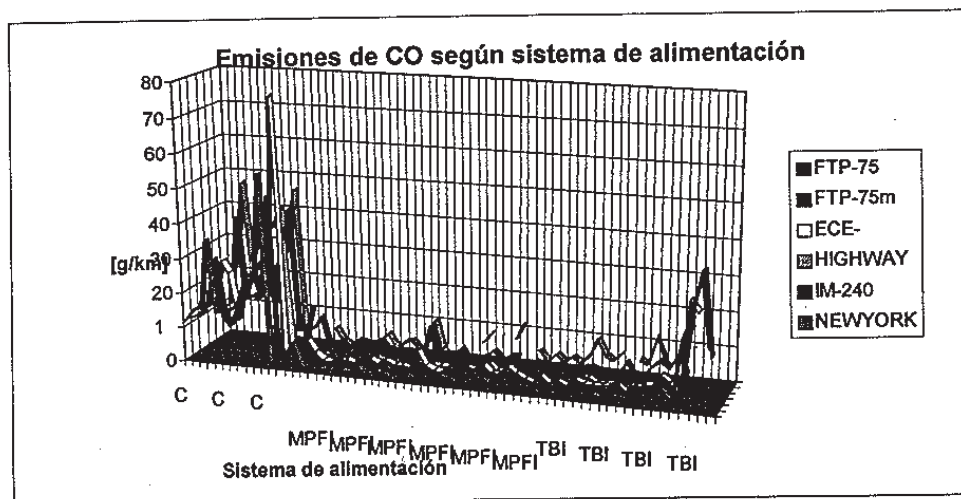


FIGURA 4 : INFLUENCIA DE LA TECNOLOGIA EN LAS EMISIONES DE CO

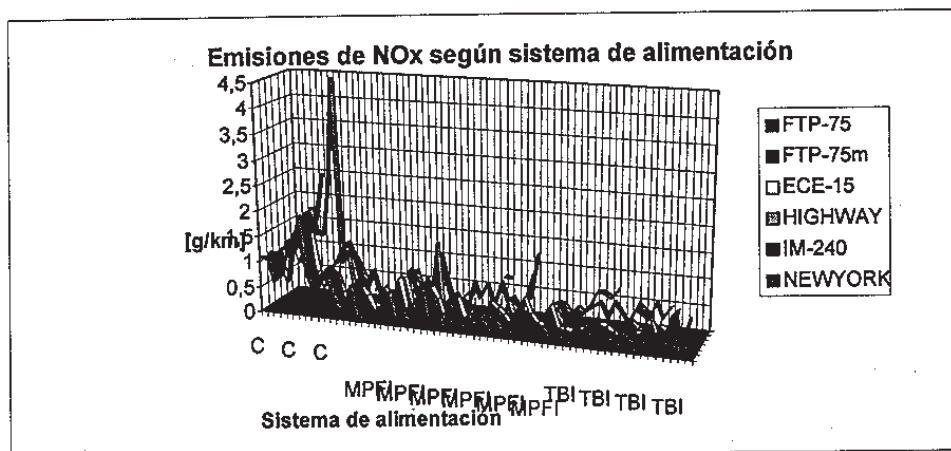


FIGURA 5 : INFLUENCIA DE LA TECNOLOGIA EN LAS EMISIONES DE NOx

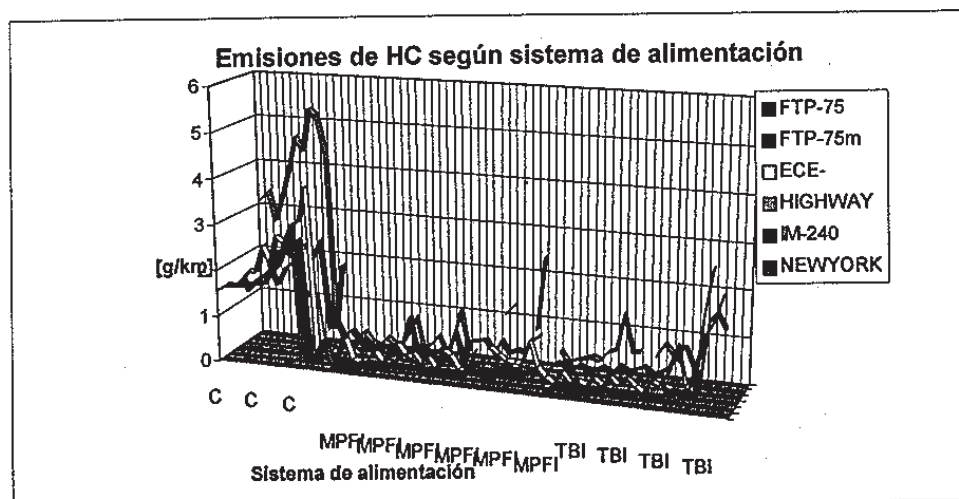


FIGURA 6 : INFLUENCIA DE LA TECNOLOGIA EN LAS EMISIONES DE HC

4. CONCLUSIONES

Los resultados aquí presentados, corresponden a una primera etapa del Sub-programa de Factores de Emisión de Fuentes Móviles. En esta etapa se logró poner a punto una sofisticada metodología experimental y se estudió la dependencia de las emisiones vehiculares sobre el modo de conducción, aquí representado por los ciclos de marcha y de la tecnología.

En una segunda etapa, actualmente en curso, se pretende determinar factores de emisión en condiciones reales de operación en las principales vías de la Región Metropolitana. Para ello será necesario efectuar una clasificación espacio-temporal de vías, en función tanto de categorías de vehículos como ciclos de marcha típicos (no estándares como los utilizados en los ensayos cuyos resultados se presentan en este trabajo). Esta información permitirá desarrollar ensayos, a través de la aplicación descrita, a una muestra de vehículos que cubra las categorías y tecnologías típicas de las vías de la ciudad y aplicando ciclos de marcha propios de la Región Metropolitana, previamente determinados en forma experimental.

Los resultados del programa, apuntan a poblar al sistema de administración de inventarios de emisiones Airviro, con factores de emisión vehiculares reales correspondientes a los modelos de circulación de la Región Metropolitana. Este poblamiento de datos, que debe ser sistemático y periódico, permitirá utilizar al sistema Airviro, como herramienta fundamental en el diseño de escenarios y evaluación de medidas de reducción de emisiones.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar sus agradecimientos a la Comisión Nacional del Medio Ambiente, institución mandante del Programa Prioritario N°2 que ejecuta el CENMA, en cuyo marco se desarrolla el programa experimental del cual se da cuenta en el presente trabajo; al Centro de Control y Certificación Vehicular, 3CV, del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, que ha puesto a disposición del proyecto el laboratorio de emisiones vehiculares con el cual está dotado ese centro y a la Japanese International Cooperation Agency, JICA, quien presta asistencia técnica a través de expertos japoneses permanente y de corto plazo y la donación de equipos para la medición de emisiones vehiculares.

REFERENCIAS

Corvalán, R., R. Román y P. Ulriksen (1996). Determinación de factores de emisión para vehículos livianos y medianos. Informe Final para la Comisión Nacional del Medio Ambiente, Dirección Región Metropolitana..