

## COMPARACIÓN DE PERFILES DE EMISIONES VEHICULARES EN TÚNEL Y EN DINAMÓMETRO

Elizabeth VEGA R.<sup>1</sup>, Violeta MUGICA A.<sup>2</sup>, Luis DÍAZ G.<sup>1</sup> y Felipe RAMOS L.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Mexicano del Petróleo, Eje Central Lázaro Cárdenas Núm. 152. Col. San Bartolo Atepehuacan. Delegación Gustavo A. Madero 07730, México, D.F., tel.: (52) 5333-6867, fax: (52) 5587-7988, correo electrónico: evega@www.imp.mx

<sup>2</sup> Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco. Av. San Pablo No. 180, Col. Reynosa Tamaulipas, Azcapotzalco, 02200 México, D.F.

*(Recibido junio 1998, aceptado febrero 2000)*

Palabras clave: compuestos orgánicos volátiles, perfiles de emisión, fuentes vehiculares, dinamómetro, túnel

### RESUMEN

En el inventario de emisiones de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México se adjudica a la flota vehicular la fuente principal de emisión de compuestos orgánicos volátiles y de óxidos de nitrógeno que son precursores en la formación de ozono. En 1996 se llevaron a cabo diversas pruebas en dinamómetro para caracterizar las emisiones de vehículos de diferentes marcas y modelos. Asimismo, se realizó una campaña de muestreo en un túnel de la Ciudad de México con el objeto de determinar el perfil de emisiones de una flota vehicular representativa de las condiciones reales de manejo. Se encontró que los resultados de ambos estudios fueron complementarios ya que los dos presentaron ventajas y al compararlos se demostró que los compuestos más abundantes en los dos perfiles determinados fueron los relacionados con la combustión de vehículos y la composición de las gasolinas.

Key words: volatil organic compounds, source profiles, vehicular sources, dynamometer, tunnel

### ABSTRACT

The Mexico City Metropolitan Zone emission inventory reports that the vehicular fleet is the major source of volatile organic compounds as well as nitrogen oxides, which are the ozone precursors. In 1996 several dynamometer tests were carried out to characterize the vehicular emissions of different distributors and models. In the same way, a sampling campaign was carried out to determine a representative vehicular fleet under real driving conditions. It was found that the results from both studies were complementary as both of them had advantages and when comparing them in the two profiles it was found that the most abundant compounds were those related to vehicular combustion and to the gasoline composition.

### INTRODUCCIÓN

El ozono (O<sub>3</sub>) es, en la actualidad, el principal problema de contaminación atmosférica en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), ya que se ha informado que la norma de 0.11 ppm (1 hora) se excede en más del 90% de los días del año (DDF 1996). El ozo-

no proviene de complejas y numerosas reacciones entre compuestos orgánicos volátiles (COV) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) en presencia de la luz solar, que se conocen como fotoquímicas. El ozono a diferencia de los contaminantes primarios no se emite directamente.

En los últimos años se ha observado que las fuentes móviles son las que más contribuyen a la formación de

ozono, ya que el inventario de emisiones del DDF (1996) reportó que de 128,646 toneladas de NO<sub>x</sub> y de 1,025,759 toneladas de COV emitidas en el año, el 69.8% y el 54.1 %, respectivamente, fueron debidas a emisiones vehiculares.

Las estrategias para abatir las altas concentraciones de ozono se han enfocado principalmente a la reducción de NO<sub>x</sub>, mientras que para el caso de los hidrocarburos han sido muy pocos los estudios ya que no existe norma de calidad de aire para los mismos.

El impacto de los COV, procedentes del escape y de los sistemas de combustión de los vehículos en la formación del ozono, depende de la reactividad de las diferentes especies en la atmósfera, que se define como el potencial de producción de compuestos oxidantes y se relaciona con la velocidad de interacción de los distintos hidrocarburos frente a los radicales libres de tipo hidroxilo.

Estudios realizados en la ZMCM indican que las concentraciones máximas de COV alcanzan valores de hasta 7 partes por millón de carbono (ppmC) (Ruiz *et al.* 1993). Sin embargo, en México no existen informes de la composición química de las emisiones vehiculares en el tránsito cotidiano o normal.

Para determinar la composición de COV provenientes de vehículos automotores, se han realizado en México pruebas de laboratorio en dinamómetro de chasis (Castillo *et al.* 1996, Díaz *et al.* 1996) y trabajos en túneles (Vega *et al.* 1997, Mugica *et al.* 1998).

En los estudios en túneles se determinaron las emisiones provenientes de vehículos a gasolina y a diesel, en estos casos la integración de las emisiones fue sobre mayor cantidad de vehículos quedando incluidas las emisiones de escape y las evaporadas. Sin embargo, en este tipo de pruebas no se consideran todas las condiciones de manejo, principalmente el encendido en frío, la desaceleración, la aceleración, la detención y el arranque (Conner *et al.* 1995).

En otros países, las investigaciones en dinamómetro se han llevado a cabo con el fin de determinar las emisiones de vehículos equipados con gran variedad de sistemas de control de contaminantes (Sygsby *et al.* 1987), asimismo, se han utilizado para verificar que las emisiones no sobrepasen la norma y para establecer estrategias de control.

Con los resultados en túnel y en dinamómetro pueden obtenerse los perfiles de emisión del escape de vehículos, es decir la fracción de cada especie con respecto al total de especies determinadas. Cada uno de estos perfiles se utiliza para representar las emisiones vehiculares y para su aplicación en los modelos de receptor, por lo que es importante conocer las condiciones en que se realizaron las pruebas con el fin de detectar la representatividad de los perfiles.

En este trabajo se presenta la comparación de los resultados de dos estudios independientes realizados en

la ZMCM durante 1996, para determinar los perfiles de emisión, es decir, la composición química en porcentaje de las emisiones vehiculares. El primero de ellos se hizo en un túnel (Vega *et al.* 1997, Mugica *et al.* 1998) y el segundo en un dinamómetro de chasis (Castillo *et al.* 1996). Esta comparación es útil para reconocer las ventajas y las limitaciones de cada perfil.

## METODOLOGÍA

### Pruebas en dinamómetro

En 1996, se llevó a cabo en el laboratorio de Emisiones Vehiculares del Instituto Mexicano del Petróleo, un estudio siguiendo el procedimiento federal de pruebas para determinar las emisiones reguladas (CO, HC totales, NO<sub>x</sub>) provenientes del escape de 39 vehículos que utilizaron gasolina Magna Sin, así como la caracterización de los hidrocarburos individuales.

### Procedimiento de prueba FTP-75 (NMX-AA-II-1993)

El procedimiento de prueba utilizado por el Instituto Mexicano del Petróleo para medir las emisiones de escape de automóviles de pasajeros y de camiones ligeros fue el Procedimiento Federal de Prueba (FTP) de 1987, que se actualizó en 1993.

La prueba se realizó en un ambiente controlado, ya que el vehículo se condujo en un dinamómetro de chasis con un programa de manejo de paro y marcha a velocidad promedio de 34.7 km/h. Mediante el uso de volantes de inercia y un freno de agua, se reprodujo lo que el vehículo experimentaría en el camino. Los gases del escape se diluyeron y colectaron a volumen constante con el aire filtrado circundante, almacenando la muestra en bolsas especiales de Tedlar para posteriormente analizar su concentración.

Las emisiones de escape que se midieron durante el FTP-75 cubrieron tres regímenes de operación del motor. Las emisiones de escape en frío ocurrieron durante los primeros 505 segundos de la prueba. Después de este lapso, se consideró que el vehículo se hubo calentado completamente y las emisiones estabilizadas se determinaron en los siguientes 869 segundos. El período final de la prueba constituyó los efectos del arranque en caliente. Las emisiones de cada una de las etapas se colocaron en bolsas por separado, para después analizar cuantitativamente su composición.

En este trabajo solo se consideró la etapa estabilizada cuando el vehículo se encontró en circulación ya que las emisiones fueron similares a aquéllas provenientes del túnel.

### Flota vehicular

La flota de vehículos estuvo constituida de la siguiente manera: 22% de Volkswagen, 32% de Chrysler, 24%

de Ford, 12% de Nissan y 10% de General Motors. Los años de los modelos de estos vehículos variaron de 1991 a 1996.

### Técnicas analíticas

Los análisis se realizaron en tres cromatógrafos marca Varian equipados con válvulas de muestreo automático y detectores de ionización de flama (DIF). En la colección de datos y en el reporte de resultados se utilizaron interfases inteligentes PE Nelson y un programa diseñado por el laboratorio de Motoquímica del IMP que ha sido revisado y aceptado por el Southwest Research Institute. El sistema de análisis contó con un banco de datos para la identificación de 140 compuestos.

El análisis de los hidrocarburos se efectuó tomando una muestra de cada una de las bolsas Tedlar donde se almacenaron los gases de escape diluidos del CVS y se procedió a inyectar al cromatógrafo correspondiente dependiendo de la fase de la prueba FTP. La determinación se realizó en una sola corrida cromatográfica en la que se obtuvieron compuestos de 2 a 12 átomos de carbono (C2 - C12) por un método que involucró siete fases de separación por elevación de temperatura desde -50 hasta 150°C con un tiempo aproximado de 130 minutos.

### Túnel

El estudio se realizó durante el periodo del 29 al 31 de mayo de 1996 en el que se colectaron diez muestras en total dentro del túnel localizado en Avenida Chapultepec, entre las calles de Dinamarca y Florencia de la Ciudad de México. La metodología de muestreo y análisis se basó en el método TO-14. La muestra se introdujo a contenedores de acero inoxidable previamente calibrados a una hora de muestreo integrado a través de un dispositivo de orificio crítico hasta que se igualó la presión del contenedor con la atmosférica.

### Características del túnel

El túnel tiene 365 m de longitud, 7.77 m de ancho y 4.30 m de altura, cuenta con dos carriles en dirección noreste-suroeste, además de dos respiraderos en la parte superior, uno a 60 m de la entrada y otro a 67 m de la salida.

A 50 m de la entrada está un semáforo y otro a 50 m de la salida, así los vehículos entran al túnel a una velocidad de 40 a 50 km/h y continúan con una velocidad promedio de 50 a 70 km/h hasta la salida, si el semáforo está en verde; de no ser así, los vehículos disminuyen su velocidad a 10 km/h e incluso llegan a detenerse totalmente. Las líneas de teflón para el muestreo se instalaron dentro del túnel en el respiradero que está a 67 m a la salida del mismo a una distancia de 6 m de los contenedores de acero.

### Flota vehicular

El total de los vehículos considerados durante los días de muestreo fue de 9,128, de los cuales el 87% correspondió a los vehículos ligeros a gasolina, el 9.5% a camionetas y el 2.4% a motocicletas. La contribución de los vehículos a diesel fue de 1.1%. De los vehículos ligeros a gasolina, el 58.3% contaron con convertidor catalítico. El porcentaje de camionetas con y sin convertidor fue de 51.4% y sin el 48.6%. La flota vehicular se determinó por conteo directo y se instaló una cámara de video para clasificarla posteriormente.

### Técnicas analíticas

La metodología empleada para la determinación de COV dentro del túnel se basó en el Protocolo TO-14 de la Agencia de Protección Ambiental (Winberry *et al.* 1988) de los Estados Unidos de América. A diferencia de las muestras obtenidas en el dinamómetro, el método TO-14 incluyó la preconcentración de la muestra antes de introducirla al cromatógrafo.

Para el análisis de las muestras se utilizó un cromatógrafo de gases (Hewlett-Packard modelo 5890 Serie II) provisto de un detector de ionización de flama (DIF). Se usó helio como gas acarreador a través de una línea que constó de una trampa criogénica en forma de "U" rellena de esferas de vidrio. Los compuestos contenidos en la muestra se condensaron en la trampa enfriada con oxígeno líquido. La inyección de la muestra concentrada fue a la temperatura de ebullición del agua y la separación de la mezcla gaseosa se llevó a cabo en una columna capilar de gel de sílice fundido de 60 m de longitud con fase líquida DB-1 de 1  $\mu\text{m}$  de espesor (J&W Scientific). La temperatura inicial fue de -50°C y después de dos minutos se incrementó a una velocidad de 8°C/min hasta alcanzar la temperatura final de 200°C. Las señales electrónicas del detector de ionización de flama se procesaron en una computadora para obtener un informe que incluyó las concentraciones, en partes por billón de carbono (ppbC), de COV totales de 2 a 12 átomos de carbono. Previo al análisis de las muestras, el cromatógrafo de gases se calibró con propano de alta pureza y con un patrón que contenía 38 compuestos entre los que se encontraron etano, etileno, acetileno, butano, isopreno, benceno, tolueno, xilenos y n-octano, entre otros.

En total se llevaron a cabo cinco muestreos distribuidos en tres días, los horarios para el primero y el segundo fueron de 8:00 a 9:00 a.m. y de 12:00 a 13:00 p.m., el tercero fue de 10:00 a 11:00 a.m.

### Combustibles

Durante el período en el que se llevaron a cabo estos estudios en la ZMCM se distribuyeron dos tipos de gasolinas, la Nova y la Magna Sin. La primera con un contenido de plomo de 0.056 g/litro, para vehículos no

**TABLA I.** RESULTADOS POR GRUPO EN % ppbC DE COV EN LOS ESTUDIOS EN TÚNEL Y EN DINAMÓMETRO

	Aromáticos	Parafinas	Olefinas	Halogenados
Marca 1	25.77	61.89	9.94	2.40
Marca 2	32.54	42.18	22.27	3.01
Marca 3	21.98	67.99	10.03	ND
Marca 4	29.31	55.68	15.01	ND
Marca 5	40.96	38.50	19.15	1.39
Promedio	30.11	53.25	15.28	1.36
Túnel	22.90	48.90	23.82	1.38

ND, no detectado

equipados con convertidor catalítico y la segunda, con un contenido máximo de plomo de 0.026 g/litro para vehículos con convertidor catalítico. La Magna Sin es igual en octanaje que la gasolina Regular de los Estados Unidos de América aunque contiene una proporción mayor de olefinas y compuestos aromáticos que la CARB '96 (DDF 1996). Cabe destacar que el consumo de la gasolina Magna Sin a partir de 1990 se incrementó paulatinamente hasta alcanzar el 50% en 1996 (DDF 1996). Actualmente la gasolina con plomo ya no se comercializa en la ZMCM.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la **Tabla I** se presentan los resultados por grupo de COV determinados en los estudios en túnel y en dinamómetro de las diferentes marcas vehiculares. Éstas no se especifican ya que la cantidad de autos de cada marca no fue equivalente, ni tampoco la comparación de emisiones por marca fue el objetivo de este trabajo. Se mencionan las marcas sólo para mostrar que el tipo de motor y equipo anticontaminante influyen en la variación de las emisiones. Al comparar el valor promedio por grupo de COV del estudio en dinamómetro con el obtenido en el túnel, se observó que el contenido de compuestos

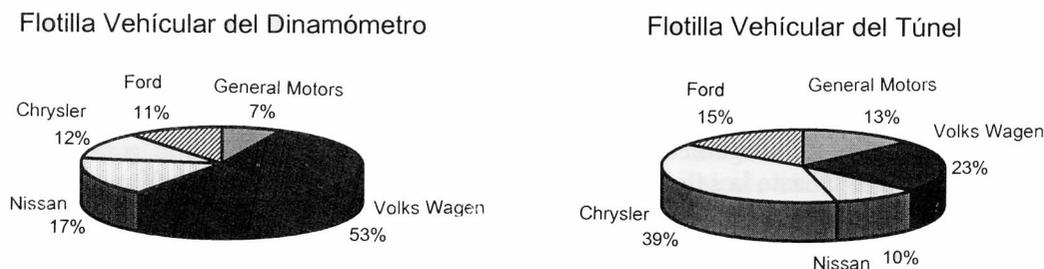
halogenados fue muy similar, mientras que el de parafinas y aromáticos fue mayor para las pruebas en dinamómetro y el de olefinas fue más alto en el estudio de túnel. Esto se pudo deber a que existen grandes diferencias entre las dos flotillas analizadas como se observa en la **figura 1**. También es importante mencionar que si la flotilla estudiada en dinamómetro hubiese sido mayor, tal vez los resultados fueran más parecidos a los obtenidos en el túnel.

Los resultados logrados de las pruebas en el dinamómetro para las diversas marcas vehiculares variaron entre sí (**tabla I**), mostrando que las emisiones dependen del tipo de vehículo, del modelo y del mantenimiento.

En la **Tabla II** se presentan algunas de las especies químicas que conforman los perfiles de emisión encontrados en el túnel y en el dinamómetro. Se observó que las desviaciones estándar para la flotilla del dinamómetro fueron altas para todas las especies tanto en el promedio total como para cada una de las marcas. Esto pudo deberse a las distintas condiciones de mantenimiento y operación, al estado de los convertidores catalíticos y a la eficiencia de los mismos entre las diversas marcas y modelos. En el promedio obtenido en el túnel las desviaciones estándar fueron más pequeñas, ya que las variaciones fueron causadas por diferencias en cada muestreo y no por la comparación de diferentes vehículos. Por otra parte, debido a que la flota vehicular en el túnel fue mayor, se compensaron las altas emisiones de unidades viejas y en mal estado con las bajas emisiones de los vehículos nuevos.

Los compuestos más abundantes para los perfiles de túnel y de dinamómetro fueron los relacionados con los productos de combustión entre ellos etano, etileno y acetileno, descritos en la **Tabla II** como la suma de C<sub>2</sub>, isopentano, tolueno, xilenos y n-pentano, que se relacionan con la composición de las gasolinas.

Al comparar los perfiles, se observó que la mayor variación fue por la diferencia entre marcas y modelos. Sin embargo, el perfil del promedio los 39 vehículos del



**Fig. 1.** Flotilla vehicular del estudio en dinamómetro y en túnel

**TABLA II.** PERFILES DE EMISIÓN DE LA FLOTA VEHICULAR PARA LOS ESTUDIOS EN TÚNEL Y EN DINAMÓMETRO (% ppbC)

	Túnel	Dinamómetro	Marca 1	Marca 2	Marca 3	Marca 4	Marca 5
Suma C2	13.76 ± 0.95	13.31 ± 7.00	8.67 ± 5.52	13.21 ± 1.60	22.46 ± 14.19	11.77 ± 2.23	11.60 ± 4.99
Propileno	1.93 ± 0.15	2.87 ± 1.28	1.75 ± 0.91	3.36 ± 1.03	ND	3.16 ± 0.31	2.73 ± 1.28
Propano	2.27 ± 0.49	2.27 ± 2.15	2.19 ± 2.63	1.91 ± 1.56	3.50 ± 1.23	4.83 ± 2.28	0.97 ± 0.92
Isobutano	1.02 ± 0.14	1.58 ± 1.94	0.99 ± 0.35	1.60 ± 1.63	4.04 ± 2.38	1.15 ± 0.10	0.50 ± 0.37
1-buteno	0.67 ± 0.09	1.02 ± 1.18	2.35 ± 2.73	1.03 ± 0.66	ND	0.61 ± 0.06	0.58 ± 0.24
n-butano	2.77 ± 0.25	2.96 ± 2.38	2.80 ± 0.90	2.90 ± 2.22	4.65 ± 2.77	5.16 ± 2.81	1.48 ± 0.98
Trans-2-buteno	0.35 ± 0.03	0.29 ± 0.11	ND	0.23 ± 0.05	ND	ND	0.32 ± 0.12
Cis-2-buteno	0.29 ± 0.03	0.25 ± 0.02	ND	0.25 ± 0.04	ND	ND	0.24 ± 0.02
Isopentano	6.57 ± 0.69	7.29 ± 4.25	8.12 ± 2.08	7.04 ± 2.46	11.97 ± 3.43	9.04 ± 7.43	4.14 ± 2.78
2-metil-1-buteno	0.39 ± 0.03	0.36 ± 0.20	ND	0.46 ± 0.22	ND	ND	0.24 ± 0.06
n-pentano	5.23 ± 0.40	3.38 ± 1.74	4.14 ± 0.86	3.32 ± 1.07	3.99 ± 1.38	5.13 ± 2.94	2.03 ± 1.20
Trans-2-penteno	0.60 ± 0.05	0.31 ± 0.11	0.28 ± 0.01	0.43 ± 0.05	ND	ND	0.24 ± 0.04
Cis-2-penteno	0.32 ± 0.03	0.18 ± 0.08	ND	0.24 ± 0.03	ND	ND	0.12 ± 0.02
2-metil-2-buteno	0.52 ± 0.07	0.55 ± 0.25	0.39 ± 0.01	0.69 ± 0.23	ND	0.63 ± 0.06	0.40 ± 0.16
2,2-dimetil-butano	0.33 ± 0.02	1.12 ± 1.97	0.75 ± 0.30	0.67 ± 0.49	ND	5.39 ± 0.50	0.46 ± 0.07
Ciclopentano	0.18 ± 0.01	0.27 ± 0.12	0.38 ± 0.00	0.29 ± 0.08	ND	ND	0.17 ± 0.11
2-metil-pentano	3.15 ± 0.14	2.58 ± 1.13	3.34 ± 0.74	2.82 ± 0.78	2.77 ± 0.56	3.14 ± 2.64	1.67 ± 1.03
3-metil-pentano	1.96 ± 0.08	1.78 ± 0.90	2.09 ± 0.62	1.85 ± 0.52	2.49 ± 0.17	2.36 ± 2.54	1.11 ± 0.72
n-hexano	3.50 ± 0.11	1.78 ± 0.82	2.34 ± 0.54	1.82 ± 0.43	2.31 ± 0.56	2.25 ± 1.66	1.16 ± 0.81
Metil-ciclopentano	1.04 ± 0.03	0.71 ± 0.36	1.08 ± 0.32	0.70 ± 0.15	ND	ND	0.54 ± 0.36
2,4-dimetil-pentano	0.39 ± 0.01	0.97 ± 1.32	0.81 ± 0.28	1.57 ± 1.92	ND	ND	0.47 ± 0.14
Benceno	2.97 ± 0.14	4.58 ± 3.38	3.40 ± 1.10	5.70 ± 4.51	5.36 ± 2.37	4.70 ± 0.15	3.03 ± 1.44
2-metilhexano +							
2,3-dimetil-pentano	1.64 ± 0.02	1.50 ± 0.94	2.30 ± 0.67	1.25 ± 0.77	ND	ND	0.91 ± 0.58
3-metil-hexano	1.28 ± 0.03	0.88 ± 0.47	1.66 ± 0.11	0.75 ± 0.21	ND	ND	0.67 ± 0.21
2,2,4-trimetil-pentano	1.55 ± 0.08	6.67 ± 3.09	7.27 ± 3.31	6.66 ± 1.95	7.74 ± 6.95	7.10 ± 2.83	5.86 ± 2.72
n-heptano	1.44 ± 0.03	0.92 ± 0.45	1.43 ± 0.36	0.81 ± 0.41	ND	ND	0.71 ± 0.12
Metil-ciclohexano	0.53 ± 0.02	0.34 ± 0.22	0.54 ± 0.10	ND	ND	ND	0.21 ± 0.05
2,3,4-trimetil-pentano	0.74 ± 0.05	2.79 ± 1.44	3.36 ± 1.13	2.67 ± 1.01	3.39 ± 2.66	5.23 ± 0.50	2.21 ± 1.42
Tolueno	6.26 ± 0.11	7.16 ± 2.65	6.59 ± 2.66	6.99 ± 1.88	8.51 ± 2.62	8.93 ± 4.26	6.27 ± 2.66
2-metil-heptano	0.72 ± 0.12	0.42 ± 0.20	0.74 ± 0.07	0.40 ± 0.03	ND	ND	0.32 ± 0.12
3-metil-heptano	0.68 ± 0.03	0.63 ± 0.51	1.23 ± 0.12	ND	ND	ND	0.42 ± 0.26
n-octano	1.00 ± 0.04	0.83 ± 0.46	1.34 ± 0.56	0.57 ± 0.25	ND	ND	0.75 ± 0.10
Etil-benceno	1.63 ± 0.32	1.58 ± 0.67	0.87 ± 0.08	1.51 ± 0.56	ND	ND	1.67 ± 0.69
M/p-xileno	5.82 ± 1.03	6.46 ± 3.63	4.13 ± 2.03	5.74 ± 2.32	14.69 ± 3.70	7.64 ± 8.05	5.87 ± 1.78
3-metil-octano	0.48 ± 0.02	1.37 ± 1.57	0.87 ± 0.08	1.93 ± 2.57	ND	ND	1.04 ± 0.73
Orto-xileno	2.08 ± 0.31	2.83 ± 2.02	1.78 ± 0.32	1.88 ± 0.77	7.96 ± 0.80	ND	3.08 ± 1.27
n-nonano	0.90 ± 0.05	0.91 ± 0.41	1.19 ± 0.09	0.81 ± 0.59	ND	ND	0.84 ± 0.40
n-propil-benceno	0.52 ± 0.02	0.58 ± 0.21	0.63 ± 0.06	0.66 ± 0.06	ND	ND	0.52 ± 0.28
1,3,5-trimetil-benceno	1.12 ± 0.08	1.63 ± 0.90	ND	1.11 ± 0.10	ND	ND	1.73 ± 0.96
n-decano	0.69 ± 0.04	0.52 ± 0.11	0.69 ± 0.06	0.39 ± 0.03	0.50 ± 0.05	ND	0.51 ± 0.06
n-undecano	0.48 ± 0.07	1.64 ± 0.10	NR	1.65 ± 0.05	ND	NR	NR
% promedio COV totales	79.77	90.05	82.49	87.89	96.32	88.22	67.81

ND, no detectado

COV, compuestos orgánicos volátiles

estudio en dinamómetro no fue muy distinto del perfil obtenido en túnel, aunque el contenido de benceno, isopentano, tolueno, xilenos y 2,3,4-trimetil pentano fue menor en el túnel, mientras que el n-pentano y n-hexano se encontraron en mayor proporción. Lo anterior puede deberse a que en el túnel también hubo presencia de emisiones evaporadas provenientes del cárter o del tanque de la gasolina, mientras que en el estudio de dinamómetro solamente hubo emisiones de escape. Fujita *et al.* (1994) compararon seis perfiles de escape vehicular, tres en dinamómetro y tres en túnel y encontraron diferencias en las pruebas e inconsistencias en la abundancia de al-

gunas especies.

En la **tabla III** se presentan los resultados obtenidos en las pruebas de dinamómetro. Se observó que las emisiones promedio por año de vehículo disminuyeron con los modelos más recientes, es decir fue posible apreciar como los cambios tecnológicos que se realizaron en los automóviles permitieron la disminución en las emisiones. En algunos casos esta diferencia no fue muy grande, sin embargo debe considerarse que para algunos modelos se tuvo una cantidad muy reducida de vehículos y por otra parte el mantenimiento de los mismos posiblemente fue diverso.

**TABLA III.** EMISIONES DE COV PROMEDIO POR MODELO DE VEHÍCULO

Cantidad de Autos	Año	COV (mg/km)
3	1991	739.7 ± 207.7
6	1992	493.9 ± 183.4
13	1993	479.9 ± 206.3
2	1994	310.0 ± 74.6
6	1995	302.6 ± 81.6
9	1996	226.7 ± 71.6

### CONCLUSIONES

En este trabajo se hizo la comparación de los perfiles de emisión de COV obtenidos en dinamómetro y en túnel. Los resultados muestran que los compuestos más abundantes para los dos perfiles se relacionan con los productos de combustión así como con la composición de las gasolinas, entre los más importantes se encontraron: la suma de C2, isopentano, tolueno, xilenos y n-pentano.

Las pruebas de dinamómetro mostraron disminución en la concentración de emisiones promedio de COV relacionada con los modelos de vehículos más recientes.

Los resultados que se llevó a cabo en túnel y en dinamómetro, indican que fue posible obtener datos valiosos para un mejor entendimiento de las emisiones vehiculares a la atmósfera. En el túnel se tuvo una flota vehicular más representativa ya que la integración de las emisiones fue sobre una cantidad mayor de unidades, lo que implicó un perfil que representó mejor las condiciones de la flota vehicular de la ZMCM. Por otra parte, en las pruebas en dinamómetro fue posible diferenciar las emisiones de escape de las evaporadas, las de cada etapa en el manejo y las emisiones por año y marca.

### AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de este trabajo fue financiado por el programa de Fortalecimiento de Instituciones de Educación Superior FIES96-04-VI de PEMEX. Los autores de este

trabajo agradecen la colaboración del Laboratorio de Emisiones Vehiculares y del Laboratorio de Química Atmosférica del Instituto Mexicano del Petróleo.

### REFERENCIAS

- Castillo F.M., Ramos L.F., Medina C.C. y Díaz L.G. (1996). Evaluación de emisiones evaporativas por especiación de hidrocarburos en vehículos con motores a gasolina. *Rev. Soc. Quím. Méx.* *40*, 59.
- Conner T.L., Lonneman W.A. y Seila R.L. (1995). Transportation-related volatile hydrocarbons source profiles measured in Atlanta. *J. Air Waste Manag. Assoc.* *45*, 383-389.
- DDF (Departamento del Distrito Federal) (1996). La contaminación atmosférica en el Valle de México, acciones para su control 1988-1994. México, 237 p.
- Díaz L.G., Medina, C.C., Castillo F.M. y Ramos L.F. (1996). Análisis de hidrocarburos tóxicos en el escape de vehículos a gasolina en la Cd. de México. *Rev. Soc. Quím. Méx.* *40*, 60.
- Fujita E. M., Watson J. G., Chow J.C. y Lu Z. (1994). Validation of the chemical mass balance receptor model applied to hydrocarbon source apportionment in the Southern California air quality study. *Environ. Sci. Technol.* *28*, 1633-1649.
- Mugica V., Vega E., Arriaga J.L. y Ruiz M. (1998). Determination of motor vehicle profiles for non-methane organic compounds in Mexico City Metropolitan Area. *J. Air Waste Manag. Assoc.* *48*, 1060-1068.
- Ruiz S.M.E., Gerner R., Seila R. y Barbiaux S.M. (1993). HC speciation in Mexico City. Initial results. *Memorias del 86 Annual Congress of Air Waste Manag. Assoc.* Denver.
- Sigsby J.E. Jr., Tejeda S. y Ray W. (1987). Volatile organic compound emissions from 46 in-use passenger cars. *Environ. Sci. Technol.* *21*, 466-475.
- Vega E., Mugica V., Escalona S., Cervantes A. y Arriaga J. L. (1997). Determinación del perfil de emisión vehicular de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Informe técnico, GCA-DOB-7238, IMP.
- Wiberry W., Murphy N. y Riggan R. (1988). Method TO-14 compendium of methods for the determination of toxic organic compounds in ambient air. EPA600-4-89.018. US-EPA.