



# CAMPAÑAS DE MONITOREO AMBIENTAL A DISTANCIA DE VEHÍCULOS



| CAMPAÑA   | CO<br>(%vol.) | HC<br>(ppm) | NOx<br>(ppm) |
|-----------|---------------|-------------|--------------|
| ZMVM 1991 | 4.30          | 2,100       | N/D          |
| ZMVM 1994 | 2.02          | 1,037       | N/D          |
| ZMVM 2000 | 1.40          | 246         | 966          |
| ZMVM 2005 | 0.79          | 142         | 989          |

**ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO**

**JUNIO 2006**



**GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL**  
México • la Ciudad de la Esperanza



Secretaría del Medio Ambiente

## Contenido

|  |    |
|--|----|
| AGRADECIMIENTOS.....   | 2  |
| PRESENTACIÓN.....  | 4  |
| Introducción.....  | 6  |
| Antecedentes.....  | 7  |
| Campañas de medición.....  | 8  |
| <i>Equipo de detección remota de contaminantes vehiculares</i> ..... | 8  |
| <i>Operación del equipo</i> .....                                    | 10 |
| <i>Descripción de las campañas de medición</i> .....                 | 11 |
| Resultados.....  | 15 |
| <i>Valoración de la muestra vehicular de la campaña 2005</i> .....   | 15 |
| <i>Valoración del equipo de medición</i> .....                       | 17 |
| <i>Estado ambiental de los vehículos</i> .....                       | 19 |
| <i>Evaluación por entidad y tipo de vehículo</i> .....               | 27 |
| Conclusiones y recomendaciones.....                                  | 38 |
| Bibliografía.....  | 40 |

## Índice de tablas y gráficas

|  |    |
|--|----|
| TABLA 1. EMISIONES COMPARATIVAS DE LOS VEHÍCULOS EN DISTINTAS CAMPAÑAS DE MEDICIÓN.....                                      | 7  |
| TABLA 2. LOCALIZACIÓN DE SITIOS DE MONITOREO.....  | 13 |
| TABLA 3. RECORRIDOS PROMEDIO EN LA ZMVM.....   | 16 |
| TABLA 4. EMISIONES PROMEDIO POR USO VEHICULAR.....   | 19 |
| TABLA 5. EMISIONES VEHICULARES POR ESTRATO TECNOLÓGICO.....  | 27 |
| TABLA 6. COMPARACIÓN DE FLOTAS VEHICULARES DISTRITO FEDERAL VS CIUDAD DEL NORTE DEL PAÍS.....                                | 28 |
| TABLA 7. EMISIONES PROMEDIO POR USO VEHICULAR.....   | 30 |
| TABLA 8. EMISIONES VEHICULARES POR ESTRATO TECNOLÓGICO EN EL DISTRITO FEDERAL, EXPRESADAS EN GRAMOS POR KILÓMETRO.....       | 35 |
| TABLA 9. EMISIONES VEHICULARES POR ESTRATO TECNOLÓGICO EN EL ESTADO DE MÉXICO, EXPRESADAS EN GRAMOS POR KILÓMETRO.....       | 35 |
| TABLA 10. PROMEDIO DE EMISIONES VEHICULARES FTP-75, REALIZADAS POR EL IMP.....   | 36 |
| TABLA 11. PROMEDIO DE EMISIONES VEHICULARES IM-240, REALIZADAS POR EL ININ.....  | 36 |
| FIGURA 1. DIAGRAMA DE LOS COMPONENTES DEL SENSOR REMOTO.....   | 9  |
| FIGURA 2. TOMA DE FOTOGRAFÍA DE LA PLACA DEL VEHÍCULO.....   | 10 |
| FIGURA 3. INSTALACIÓN DEL SENSOR REMOTO.....   | 12 |
| FIGURA 4. MONITOREO DE VEHÍCULOS EN CIUDAD UNIVERSITARIA EN EL 2005.....   | 14 |
| FIGURA 5. DISTRIBUCIÓN DE LA MUESTRA VEHICULAR MONITOREADA.....  | 15 |
| FIGURA 6. COMPARACIÓN DE EMISIONES VEHICULARES ENTRE FEAT Y PVVO.....  | 17 |
| FIGURA 7. COMPARACIÓN DE EMISIONES ENTRE LAS CAMPAÑAS 2000 – 2005.....   | 21 |
| FIGURA 8. EMISIONES PROMEDIO DE ÓXIDOS DE NITROGENO POR CATEGORIA.....   | 23 |
| FIGURA 9. FRACCIÓN DE VEHICULOS Y CONTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE MONÓXIDO DE CARBONO EN LA ZMVM.....                             | 25 |
| FIGURA 10. FRACCIÓN DE VEHICULOS Y CONTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE HIDROCARBUROS EN LA ZMVM.....                                  | 25 |
| FIGURA 11. FRACCIÓN DE VEHICULOS Y CONTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO EN LA ZMVM.....                            | 26 |
| FIGURA 12. CONSUMO DE GASOLINA VS CONCENTRACIONES DE CONTAMINANTES EN EL AIRE.....   | 26 |
| FIGURA 13. EMISIONES DE NOX DE UNIDADES REPROBADAS POR PIREC Y APROBADAS POSTERIOR AL CAMBIO DEL CONVERTIDOR CATALÍTICO..... | 30 |
| FIGURA 14. COMPORTAMIENTO DE EMISIONES DE MONÓXIDO DE CARBONO POR TIPO DE VEHÍCULO EN EL DISTRITO FEDERAL.....               | 32 |
| FIGURA 15. COMPORTAMIENTO DE EMISIONES HIDROCARBUROS POR TIPO DE VEHÍCULO EN EL DISTRITO FEDERAL.....                        | 33 |
| FIGURA 16. COMPORTAMIENTO DE EMISIONES DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO POR TIPO DE VEHÍCULO EN EL DISTRITO FEDERAL.....               | 33 |

## **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo es el esfuerzo conjunto de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal y del apoyo logístico brindado por la Secretaría de Seguridad Pública del Gobierno del Distrito Federal en el aspecto operativo para la realización de la campaña metropolitana 2005.

Agradecemos las facilidades otorgadas por las Ing. Soledad Victoria y Georgina Pantoja por parte de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México para la realización de la campaña de monitoreo en los municipios conurbados con el Distrito Federal.

Agradecemos en forma particular, la participación del Dr. Héctor Riveros Rotgé, Académico del Instituto de Física de la Universidad Nacional Autónoma de México.

## **DIRECTORIO**

LIC. ALEJANDRO ENCINAS RODRIGUEZ  
JEFE DE GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL

MTRO. EDUARDO VEGA LÓPEZ  
SECRETARIO DEL MEDIO AMBIENTE

DR. J. VICTOR HUGO PÁRAMO FIGUEROA  
DIRECTOR GENERAL DE GESTION AMBIENTAL DEL AIRE

## **COORDINADORES**

Ing. Sergio Zirath Hernández Villaseñor  
Director de Instrumentación de Políticas

Ing. José Antonio Mejía García  
Jefe de Unidad Departamental de Seguimiento Técnico de Verificación Vehicular

## **INTEGRACIÓN DEL DOCUMENTO**

Ing. Sergio Zirath Hernández Villaseñor  
Dr. Héctor Riveros Rotgé  
Ing. José Antonio Mejía García  
Lic. Roxana Lorena Ortiz Díaz

## PRESENTACIÓN

Los distintos inventarios de emisiones que se han desarrollado para la Zona Metropolitana del Valle de México identifican a los automotores como la principal fuente emisora de contaminantes del aire; desde 1970 se ubicaba a las fuentes móviles como las responsables de la emisión del 60% de los gases contaminantes que se emitían, cifra que hoy día se estima en un 80%.

A pesar de que actualmente las emisiones del parque vehicular son mucho menores que hace 25 años, este incremento porcentual de la participación de los vehículos en el inventario de emisiones es una consecuencia del crecimiento del parque vehicular (tan sólo en los últimos cinco años se han matriculado cerca de 190 mil vehículos cada año en el Distrito Federal), del estado operativo que el mismo presenta, así como del incremento en la distancia y duración de los viajes en automóvil.

El Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002 – 2010 (PROAIRE II), establece 38 acciones tendientes a prevenir y controlar la contaminación del aire proveniente del sector transporte. Las acciones incluyen medidas normativas que inciden en la mejora tecnológica y en el abatimiento de la tasa de emisión de las unidades que se comercialicen en un futuro, también se presentan medidas que tienen como objetivo el disminuir la congestión vehicular a través de favorecer el uso de transporte público de alta capacidad, y finalmente, medidas que fomentan el mantenimiento de los vehículos para asegurar el mejor desempeño ambiental de los mismos.

Para la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, es fundamental la aplicación de las acciones de su competencia, comprometidas en el PROAIRE II. De esta forma, programas como la verificación de emisiones de gases vehiculares y la sustitución de convertidores catalíticos han recibido una especial atención en esta administración, ya que la correcta aplicación de estos programas, evita que los vehículos en circulación incrementen sus emisiones hasta en diez veces.

Sin embargo y a pesar que estos programas están sujetos a un estricto seguimiento institucional por parte de las áreas encargadas de la inspección y vigilancia, resulta importante realizar esquemas de evaluación del comportamiento ambiental del parque matriculado en el Distrito Federal para determinar si las acciones emprendidas han dado los resultados esperados o si se requiere redoblar o modificar algún esfuerzo en particular.

En este contexto se inserta el uso del sensor remoto de emisiones vehiculares, el cual, como su nombre lo indica, permite conocer las emisiones contaminantes de los automotores ligeros que se encuentren circulando en cualquier vialidad, lo anterior sin que el propietario del vehículo se de cuenta de la evaluación ambiental de que esta siendo objeto su unidad.

Este método de evaluación permite obtener en poco tiempo datos de emisiones de miles de vehículos, con lo cual se puede conocer el estado ambiental del parque vehicular de alguna localidad y compararlo con lo que ocurre en otras ciudades en donde apliquen programas ambientales distintos ó bien, compararlo con resultados de esa misma ciudad pero obtenidos en otro momento; ambas comparaciones arrojan indicadores sobre la operación y eficiencia de las distintas acciones ambientales que se desarrollan en las ciudades.

Este documento presenta los resultados obtenidos en la campaña de monitoreo de emisiones vehiculares a distancia realizada en el año 2005 en la Zona Metropolitana del Valle de México, y los compara con la campaña realizada en la misma durante el año 2000, así como con los resultados obtenidos en un ejercicio similar en una Ciudad del Norte del País en donde no se aplica un programa de verificación vehicular.

Los resultados obtenidos muestran que los programas que se aplican en la Zona Metropolitana del Valle de México van por buen camino, pero también se detectaron algunos elementos que deben ser atendidos de manera inmediata dada la problemática ambiental que están causando o que pueden llegar a causar en el futuro próximo inmediato, por ejemplo:

- Vehículos en mal estado que estando originalmente matriculados en el Distrito Federal o en el Estado de México, fueron matriculados en estados en donde no existen programas de verificación vehicular, pero que continúan circulando en la ZMVM.
- Incremento en la emisión de los óxidos de nitrógeno en aquellos vehículos que tienen convertidor catalítico.

Es mi deseo que el presente documento permita a los gobiernos que conforman la Comisión Ambiental Metropolitana, la definición de acciones conjuntas para atacar los problemas detectados así como su posterior aplicación en el Distrito Federal y Estado de México. Asimismo, espero que este documento permita apoyar la decisión de autoridades ambientales de los estados de la República, de iniciar con los programas de verificación de emisiones vehiculares y de sustitución de convertidores catalíticos a la brevedad posible, ya que resultó evidente su beneficio.

**Eduardo Vega López**  
**Secretario del Medio Ambiente del Distrito Federal**

## Introducción.

Este documento presenta los resultados de las campañas de monitoreo a distancia de vehículos automotores que circulan en la Zona Metropolitana del Valle de México en los años 2000 y 2005, los objetivos fueron entre otros:

- ✓ Comparar los resultados de las campañas de monitoreo vehicular 2000-2005
- ✓ Revisar el estado ambiental de los vehículos en los años 2000 y 2005
- ✓ Estudiar los beneficios del Programa de Verificación Vehicular Obligatoria
- ✓ Caracterizar las emisiones de los vehículos por año modelo
- ✓ Caracterizar las emisiones de los vehículos por tipo de uso
- ✓ Obtener factores de emisión de los vehículos que circulan en la ZMVM para utilizarlos en estudios de evaluación ambiental.

El estudio fue coordinado por el Dr. Héctor Riveros Rotge , Académico del Instituto de Física de la UNAM.

## Antecedentes

Durante la década de los noventa, el Instituto Mexicano del Petróleo en coordinación con la Universidad de Denver, realizaron las dos primeras campañas de medición de las emisiones vehiculares utilizando un equipo de evaluación remota de gases de escape.

Estos estudios permitieron conocer el desempeño ambiental que presentaban las fuentes móviles que circulaban en las vialidades del Distrito Federal y, de acuerdo a los resultados, determinar las acciones a implementar para prevenir y controlar la contaminación proveniente de este sector.

Para el año 1999, la Comisión Ambiental Metropolitana solicitó al Instituto Mexicano del Petróleo la realización de una Auditoría a los programas de Verificación de Emisiones Vehiculares que operaban tanto en el Distrito Federal como en el Estado de México, para conocer la eficiencia de dicho programa. Esta auditoría incluyó, entre otras acciones, el hacer una nueva campaña de monitoreo a distancia de las emisiones de los vehículos que circulaban en las vialidades de la Zona Metropolitana del Valle de México, misma que se realizó durante el año 2000.

Los resultados obtenidos de las campañas mostraron reducciones importantes en las concentraciones promedio de la flota vehicular, tanto en la emisión de hidrocarburos como en la del monóxido de carbono. En tan sólo una década, el valor promedio de monóxido de carbono se redujo en un 68% y el de los hidrocarburos presentó una reducción del 89%. (Ver tabla 1)

**Tabla 1. EMISIONES COMPARATIVAS DE LOS VEHÍCULOS EN DISTINTAS CAMPAÑAS DE MEDICIÓN**

| CENTRO DE POBLACIÓN                 | CO<br>(% volumen) | HC<br>(partes por millón) | NOx<br>(partes por millón) |
|-------------------------------------|-------------------|---------------------------|----------------------------|
| <b>ZMVM 1991</b>                    | 4.3               | 2,100                     | No se cuantificó           |
| <b>ZMVM 1994</b>                    | 2.02              | 1,037                     | No se cuantificó           |
| <b>ZMVM 2000</b>                    | 1.4               | 246                       | 966                        |
| <b>San Isidro (California) 1999</b> | 1.09              | 178                       | 711                        |
| <b>Chicago 1998</b>                 | 0.39              | 250                       | 405                        |

Fuente: Auditoría Integral al Programa de Verificación Vehicular, IMP, 2000.

Además del promedio de emisiones, existen otros parámetros estadísticos que confirman la disminución de emisiones vehiculares. Por ejemplo, el 75% de los vehículos monitoreados en el 2000 presentaron emisiones de monóxido de carbono menores a 2% en volumen, en tanto que para la campaña realizada en el año 1991, tan sólo el 30% de las unidades cumplieron con emisiones iguales o menores a dicho porcentaje en volumen.

Para el caso de los hidrocarburos, existió una situación similar en donde el 59% de las unidades monitoreadas en 1991 presentaron emisiones superiores a las 1,000 partes por millón, en tanto que la flota evaluada en el año 2000 contaba con un 2% de vehículos que sobrepasaban dicho valor de emisión.

Desafortunadamente, en las campañas de medición de principios de los noventas no se midieron las emisiones de óxidos de nitrógeno, por lo tanto no es posible saber si este gas se incrementó como consecuencia de la mejora en la combustión de los vehículos.

De cualquier forma, es importante señalar que la reducción de emisiones en la flota vehicular que circula en la Zona Metropolitana del Valle de México, se debió a la combinación de una serie de factores entre los que se incluyen varias medidas establecidas en los programas de mejoramiento de calidad del aire de la Ciudad de México. Al respecto, se estima que los siguientes elementos son los que debieron tener mayor impacto en la reducción de los contaminantes de la flota vehicular: mejoramiento de combustibles, la aplicación de normas más estrictas de emisión para vehículos nuevos, la actualización del programa de verificación vehicular y la modernización de la flota vehicular.

## **Campañas de medición**

### ***Equipo de detección remota de contaminantes vehiculares***

En 1999, el Gobierno del Distrito Federal adquirió un equipo Accuscan 3000 para monitorear a distancia las emisiones vehiculares de automotores en circulación. Este equipo lanza un haz de luz infrarrojo a través de cualquier vialidad, a la altura del tubo de escape de gases, hacia una serie de detectores o filtros para bandas de absorción de 3.3, 4.6 y 4.3 micrómetros, en donde se mide la cantidad de energía absorbida, que es proporcional a la concentración de hidrocarburos, monóxido de carbono y bióxido de carbono respectivamente, presentes en la nube dejada por el escape del automotor.

En el caso de los óxidos de nitrógeno, su medición se lleva a cabo utilizando una fuente de luz ultravioleta. Los resultados obtenidos se presentan en base volumétrica, es decir en partes por millón para los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno; en tanto que para el monóxido y bióxido de carbono el resultado se expresa en porcentaje de volumen.

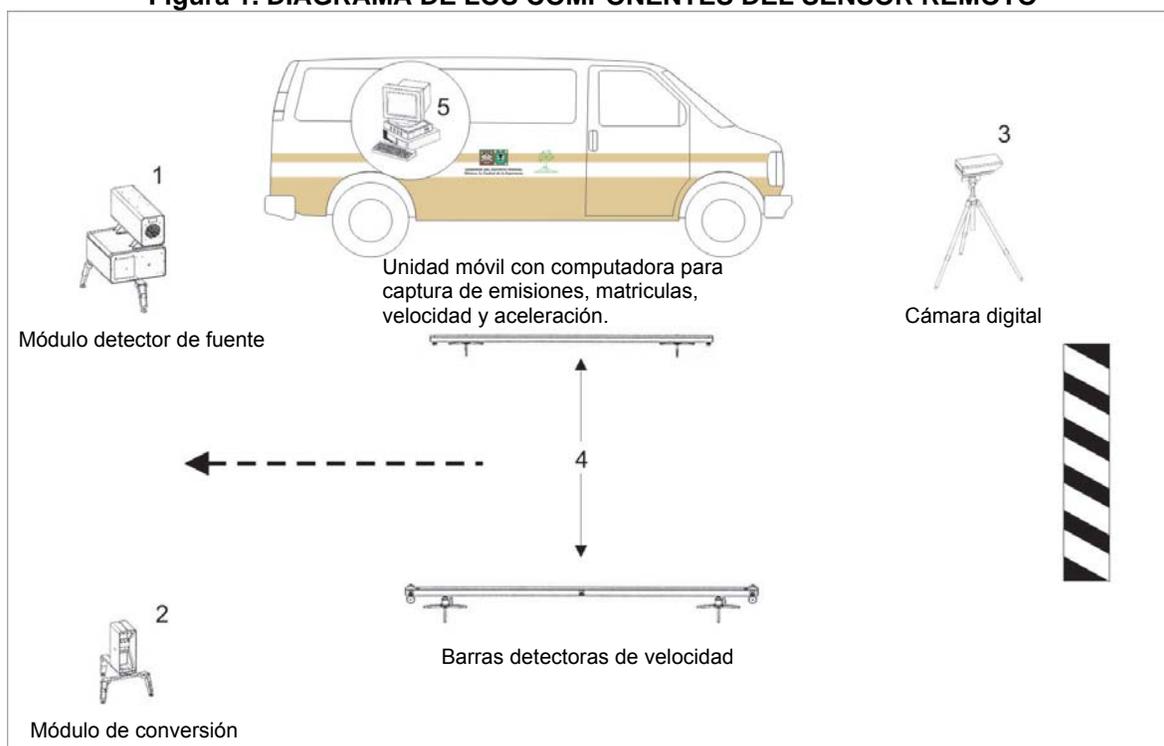
Sin embargo, de las relaciones de emisiones del escape provenientes de las mediciones del sensor remoto ( $\text{CO}/\text{CO}_2$ ,  $\text{HC}/\text{CO}_2$  y  $\text{NO}/\text{CO}_2$ ), y conociendo las propiedades del combustible es posible obtener tasas de emisión másica por unidad de combustible quemado por balance de masa de carbono.

El sistema cuenta con sensores que permiten cuantificar la velocidad y aceleración de cada vehículo monitoreado dada la importancia que estos elementos tienen en la emisión de contaminantes y con el objeto de validar la medición realizada. Estos sensores están perfectamente sincronizados con el equipo que registra las emisiones vehiculares así como con una cámara de fotografía digital, con la cual se toma una impresión de la parte trasera de cada unidad con la intención de obtener una imagen de cada matrícula que permita obtener los datos particulares de los vehículos monitoreados.

Las mediciones realizadas son concentradas en un equipo de cómputo, en donde las lecturas de los gases contaminantes, la aceleración y la velocidad son comparadas en automático por un software que contiene valores preestablecidos de estos parámetros, de forma tal que al presentarse resultados distintos a estos, el sistema crea banderas de alerta para que los datos inadecuados no sean tomados en cuenta durante el análisis de la información.

El equipo de detección remota de contaminantes vehiculares se calibra con una mezcla de gas certificada, protocolo EPA, con porcentajes conocidos de CO, CO<sub>2</sub>, propano y NO.

**Figura 1. DIAGRAMA DE LOS COMPONENTES DEL SENSOR REMOTO**



### ***Operación del equipo***

a).- Selección del sitio de monitoreo: Al seleccionar el sitio de monitoreo se deben considerar una serie de elementos que permitan obtener la mayor cantidad de información válida posible, para lo cual se deben elegir vialidades en donde las unidades pasen por entre las barras detectoras de velocidad con una aceleración positiva y con velocidades comprendidas entre los 30 y 40 kilómetros por hora.

b).- Descripción de la operación en campo: La unidad móvil es instalada en una vialidad, con la seguridad adecuada para el personal operativo y el equipo de medición, con un flujo mínimo de 200 autos por hora, de tal manera que los vehículos a ser medidos sean canalizados para que pasen entre las barras detectoras de velocidad y los espejos del módulo de detección de contaminantes, finalmente se les toma una fotografía de la placa trasera.

c).- Medición de contaminantes: En el momento en que los vehículos pasan por el módulo de detección se lleva a cabo la medición de las emisiones contaminantes de los automóviles. Los contaminantes que se cuantifican son el monóxido de carbono (CO), el bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), los hidrocarburos (HC) y los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), los cuales quedan registrados junto a la velocidad y aceleración en el disco duro de la computadora del sistema.

**Figura 2. TOMA DE FOTOGRAFÍA DE LA PLACA DEL VEHÍCULO**



d).- Calibración del equipo: El equipo se calibra con un gas protocolo EPA antes de iniciar la prueba, posteriormente el sistema solicita una calibración de gases cada hora como máximo, dependiendo del número de vehículos monitoreados. De la misma forma, en el momento en que se desalinea un espejo del módulo de conversión, el equipo lo detecta y solicita la realineación y una nueva calibración de gases lo que le da al sistema un aseguramiento de la calidad de las mediciones realizadas.

e).- Captura: Una vez terminado el proceso de medición, al final del día se capturan los dígitos de las placas visibles en la fotografía (ya que algunas están colocadas en un lugar diferente al sitio especificado en el vehículo), tomando como criterio los valores válidos de velocidad, aceleración y los contaminantes medidos por el sistema, todos estos valores quedan registrados en el disco duro de la computadora.

En este proceso se eliminan los datos no válidos que corresponden a conteos realizados por el sistema correspondientes a: peatones, bicicletas, motocicletas, unidades pesadas, vehículos con escapes altos, en desaceleración, placas no visibles, por falta de registro de uno o más gases; así como por emisiones de algún contaminante con valores de 99.99 o 99999.

f).- Respaldo: Una vez concluida la captura de los datos, se procede a respaldar en "zipdriver" y/o en el disco duro de la computadora, dependiendo del número de mediciones, ya que hay ocasiones en que por el número de vehículos medidos el archivo puede llegar a medir hasta 250 MB por las imágenes que maneja el sistema y lo más conveniente es respaldar en "zipdriver", para tener espacio en el disco duro para el siguiente día.

### ***Descripción de las campañas de medición***

#### ***a).- Campaña 2000***

Esta campaña fue realizada por personal del Instituto Mexicano del Petróleo, para lo cual se eligieron 13 puntos de muestreo, cuya elección consideró los diferentes perfiles de las flotillas vehiculares así como un tránsito fluido con promedio de velocidad de 35 kilómetros por hora. Los puntos de muestreo incluyeron 6 vialidades pertenecientes al Distrito Federal y el resto a municipios conurbados en el Estado de México.

Las mediciones fueron realizadas de marzo a octubre del 2000, en un horario comprendido entre las 9:00 y las 15:00 horas durante cuatro días hábiles por semana en cada punto de muestreo. Se pudieron obtener 120 mil mediciones, de las cuales 74,683 fueron validados dado que contaron con los valores de emisiones de sus tres contaminantes y carecían de banderas de alerta respecto a velocidades o aceleración. Sin embargo, tan sólo se pudieron identificar 16,860 vehículos.

*b).- Campañas 2003 y 2004*

La campaña 2003 se desarrolló en cuatro sitios de muestreo del Distrito Federal, uno de los cuales fue elegido con apoyo del especialista de la empresa Environmental Systems Products quien, semanas antes de la campaña, capacitó a personal del Estado de México, del Instituto Nacional de Ecología y del Distrito Federal en el manejo del sistema de detección remota de emisiones adquirido en el año 2000.

Los puntos de muestreo se eligieron considerando cuatro de las seis delegaciones en donde se había trabajado en la campaña anterior e intentando trabajar en vialidades en donde se pudieran captar datos de vehículos de todos los años modelo, pero estableciendo sitios de medición nuevos toda vez que en el reporte del Instituto Mexicano del Petróleo no se menciona con precisión las vialidades utilizadas en dicha campaña. Para la campaña 2004 se volvió a trabajar en los mismos sitios de muestreo.

**Figura 3. INSTALACIÓN DEL SENSOR REMOTO**



La campaña 2003 se desarrolló entre el 29 de julio y el 5 de agosto, obteniéndose 4,499 mediciones de las cuales 930 corresponden a unidades plenamente identificadas, lo cual representa un 20% de las mismas (seis puntos porcentuales más a la campaña del 2000). En tanto que la campaña 2004 se trabajó entre el 16 y el 25 de noviembre, generándose 2,842 datos validos de 15,433 mediciones realizadas (18%).

c).- Campaña 2005

Esta campaña se realizó del 30 de mayo al 14 de julio del 2005, en trece vialidades de la Zona Metropolitana del Valle de México, monitoreando en los mismos municipios y delegaciones que en que se realizó la campaña del año 2000 (se intentó hacer la campaña en los mismos sitios, pero el reporte del Instituto Mexicano del Petróleo, sólo registra la zona en la que se realizó el muestreo, pero no precisa la avenida). Se realizaron 66,046 mediciones, de las cuales 22,763 mediciones correspondieron a registros válidos de unidades ligeras a gasolina, pudiéndose identificar plenamente 16,315 vehículos, mismos que representan el 25% de los vehículos monitoreados.

Dado que las campañas 2000 y 2005 fueron campañas metropolitanas y que presentan similitud en el número de datos identificados, son las que se utilizarán para evaluar el comportamiento ambiental de la flota vehicular en la Zona Metropolitana del Valle de México.<sup>1</sup> En la tabla “2” se presenta un resumen de la cantidad de vehículos monitoreados en cada punto de muestreo, así como el tiempo de operación y el número de los vehículos válidos.

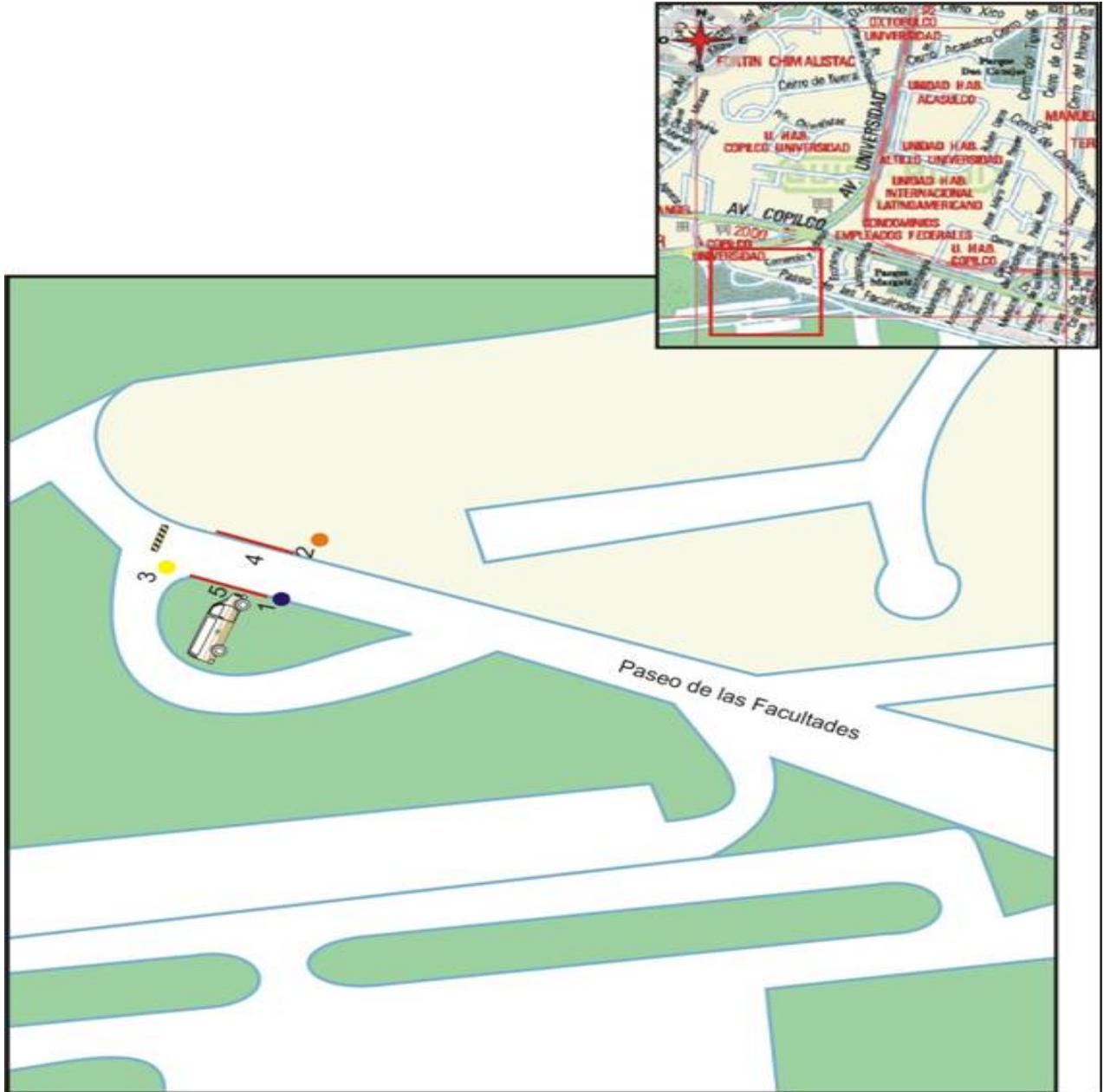
**Tabla 2. LOCALIZACIÓN DE SITIOS DE MONITOREO**

| FECHA                   | LOCALIZACIÓN          | TIEMPO DE OPERACIÓN | VEHÍCULOS MONITOREADOS | DATOS VÁLIDOS |
|-------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|---------------|
| <b>DISTRITO FEDERAL</b> |                       |                     |                        |               |
| 30 y 31 de mayo         | Ciudad Universitaria. | 6:45                | 3,764                  | 1,105         |
| 1 y 2 de junio          | Bosque de Tlalpan.    | 6:50                | 5,762                  | 1,551         |
| 6 y 14 de junio         | Azcapotzalco.         | 7:30                | 6,152                  | 2,034         |
| 7 y 8 de junio          | IMP.                  | 4:05                | 5,977                  | 2,078         |
| 9 y 13 de junio         | Polanco.              | 5:40                | 6,052                  | 2,569         |
| 15 y 16 de junio        | V.Carranza.           | 6:13                | 5,508                  | 2,201         |
| <b>Subtotal</b>         |                       |                     | <b>33,215</b>          | <b>11,538</b> |
| <b>ESTADO DE MÉXICO</b> |                       |                     |                        |               |
| 20 y 21 de junio        | Tlalnepantla.         | 5:47                | 5,269                  | 1,174         |
| 22 y 23 de junio        | Cuautitlán Izcalli.   | 6:00                | 4,307                  | 1,659         |
| 27 y 28 de junio        | Tultitlán.            | 5:55                | 3,170                  | 1,150         |
| 5 y 6 de julio          | Ecatepec.             | 6:35                | 3,484                  | 1,210         |
| 7 y 8 de julio          | Coacalco.             | 6:25                | 4,333                  | 1,542         |
| 11 y 12 de julio        | Huixquilucan.         | 6:10                | 6,958                  | 2,755         |
| 13 y 14 de julio        | Nezahualcoyotl.       | 5:35                | 5,310                  | 1,735         |
| <b>Subtotal</b>         |                       |                     | <b>32,831</b>          | <b>11,225</b> |
| <b>Total</b>            |                       |                     | <b>66,046</b>          | <b>22,763</b> |

<sup>1</sup> Las campañas realizadas en los años 2003 y 2004 no fueron del mismo alcance en número de unidades ni en espacio territorial cubierto, pero han sido de gran utilidad para, entre otras cosas, conocer sobre los parámetros de combustión de los vehículos analizados, lo cual se utilizó como base para establecer una propuesta de modificación de la Norma Oficial Mexicana 041.

La figura "4" muestra el punto exacto en donde se realizó la campaña de monitoreo de vehículos en la Ciudad Universitaria en el 2005, en tanto que los croquis de los doce puntos restantes se presentan en el anexo "1" del presente documento. Esta información podrá ser de utilidad para próximas campañas de medición ya que se tendrán condiciones homogéneas de medición (pendiente de las vialidades, tipo y uso de la flota vehicular, influencia socio – económica de la zona circundante, etc.).

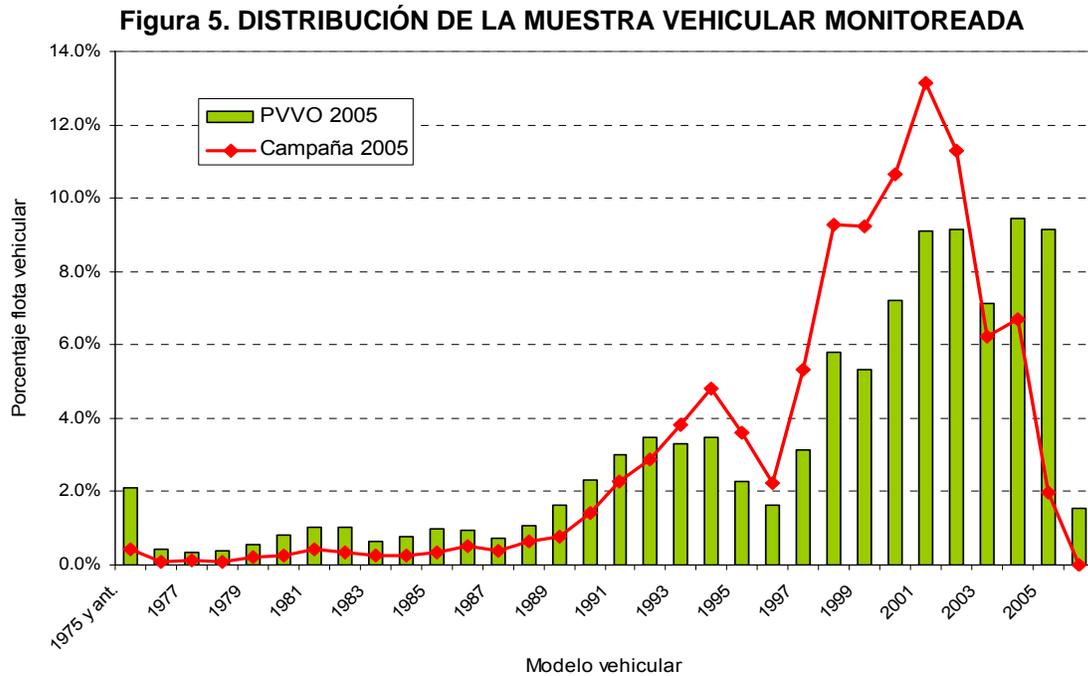
Figura 4. MONITOREO DE VEHÍCULOS EN CIUDAD UNIVERSITARIA EN EL 2005



## Resultados

### Valoración de la muestra vehicular de la campaña 2005

La elección de los sitios de muestreo, consideró vialidades en donde circulan todo tipo de vehículos ligeros pertenecientes a personas de los distintos estratos sociales existentes en la Ciudad de México, esto con el fin de obtener una muestra representativa del parque vehicular matriculado y que circula en la Ciudad de México.



Fuente: Datos del programa de verificación vehicular del DF del segundo semestre del 2005 y campaña del sensor remoto realizada el mismo año.

La muestra vehicular obtenida de unidades del Distrito Federal presenta dos elementos llamativos, el primero es una baja captación de unidades modelos 2005 y 2006, en tanto que el segundo es una mayor cantidad proporcional de vehículos de modelo reciente que la registrada en el programa de verificación vehicular en el 2005 para esta misma entidad federativa.

En el caso de la baja captación de unidades 2005 y 2006, esta situación se explica por el proceso de emplacamiento que se realiza en el Distrito Federal, el cual consiste en otorgar al conductor un documento provisional en tanto se produce y entrega la matrícula definitiva. Este documento generalmente es colocado en algún parabrisas del vehículo, lo cual imposibilita identificarlo a través de la fotografía que se toma del maletero, razón por la cual, dichas unidades no son consideradas en la muestra de unidades capturadas con el sensor remoto.

En el caso de la mayor captación de unidades nuevas y seminuevas que aquellos de mayor edad, dicha situación se explica por la intensidad de uso que tienen los vehículos de acuerdo a su edad, a continuación se presentan elementos que permiten afirmar lo anterior.

En el año 2003, la Dirección de Instrumentación de Políticas realizó una encuesta en 14 estaciones de abasto de combustible (gasolineras), para conocer el recorrido diario de las unidades en el Valle de México, de acuerdo al año modelo de las unidades. El cuestionario utilizado permitió obtener datos de la submarca y del año modelo de las unidades, así como el gasto semanal en combustible, con lo cual se obtuvo el volumen de desplazamiento de cada unidad y se estima el rendimiento de combustible de las unidades, con lo cual se calcularon los recorridos diarios de las unidades. De la aplicación de 698 cuestionarios, resultó la siguiente información:

**Tabla 3. RECORRIDOS PROMEDIO EN LA ZMVM**

| <b>AÑO MODELO</b>  | <b>RECORRIDO VEHICULAR<br/>Km/día</b> |
|--------------------|---------------------------------------|
| 1970 y anteriores  | 16.9                                  |
| 1971 a 1980        | 23.2                                  |
| 1981 a 1990        | 31                                    |
| 1990 a 1991        | 39.9                                  |
| 1993 y posteriores | 53.2                                  |

Fuente: Dirección de Instrumentación de Políticas de la DGGAA-SMA-GDF

Los resultados muestran que los vehículos se utilizan con menor frecuencia conforme se van haciendo viejos, situación que se explica por la restricción a la circulación del programa Hoy No Circula, por el mantenimiento del vehículo (existe mayor probabilidad de unidades descompuestas viejas que nuevas) y por el costo de la gasolina (los autos viejos generalmente pertenecen a propietarios con bajos ingresos por lo que viajan en transporte público para economizar y sólo utilizan el carro para pasear a la familia los fines de semana).

Esta última situación se puede constatar fácilmente al observar las vialidades principales del Distrito Federal, durante los días hábiles se aprecia un parque vehicular nuevo o seminuevo, en tanto que los sábados y domingos se incrementa notablemente el número de vehículos viejos en circulación por dichas avenidas.

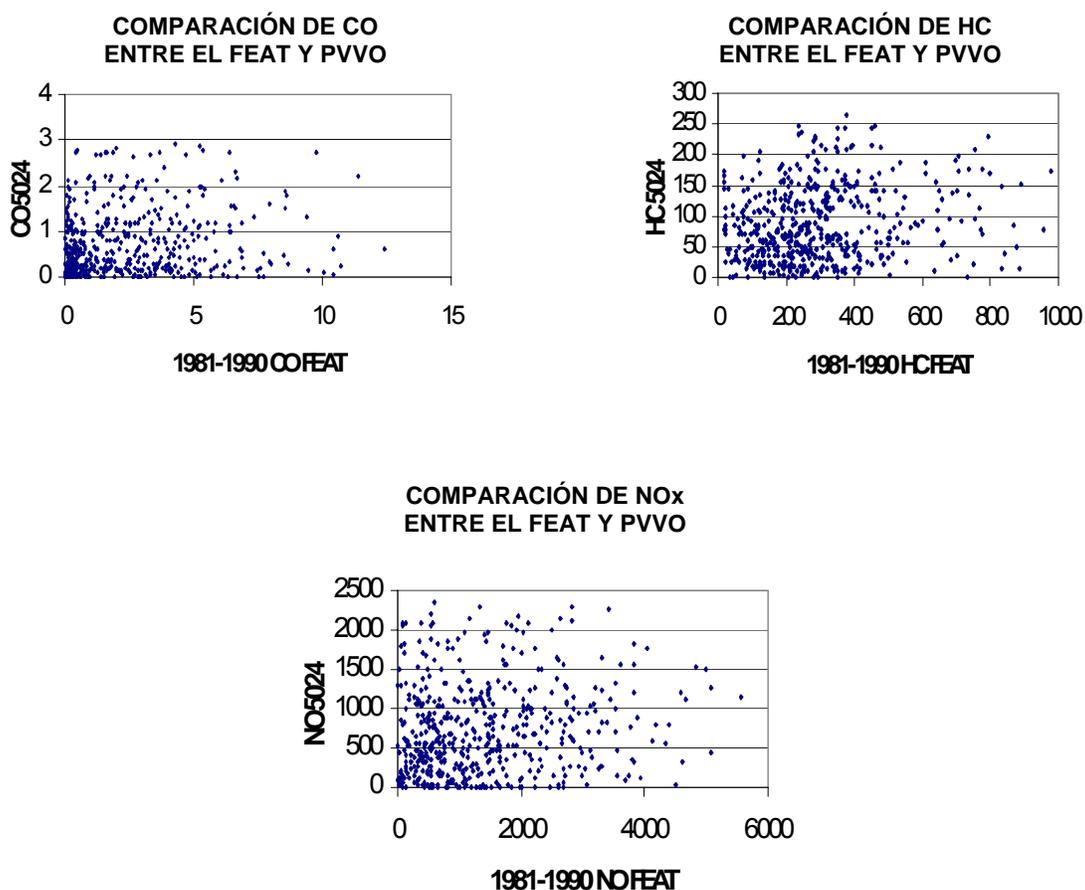
De esta forma, existe una mayor probabilidad de encontrar vehículos nuevos circulando en las avenidas del Distrito Federal, por lo que se considera que la muestra vehicular que se obtuvo de la campaña de monitoreo 2005 es representativa de las condiciones de circulación del parque vehicular en el Distrito Federal y no del número de vehículos matriculados.

Este análisis no se pudo realizar para el Estado de México, dada la falta de información del parque vehicular verificado durante el 2005 en dicha entidad, pero si tomamos en cuenta que se siguió la misma metodología tanto en la selección de las vialidades como en la operación del equipo en ambas entidades, entonces podemos esperar que la muestra vehicular del Estado de México presente una tendencia similar a la encontrada en el Distrito Federal.

### **Valoración del equipo de medición**

De acuerdo a la literatura, estudios realizados por el California Air Resources Board sobre vehículos especialmente instrumentados para variar la relación aire – combustible y con instrumentos de medición de emisiones a bordo, demostraron que el sensor remoto es un sistema confiable de medición, toda vez que la medición del monóxido de carbono presenta un  $\pm 5\%$  de diferencia a la registrada con el instrumental a bordo, en tanto que para los hidrocarburos, esta diferencia es cercana se encuentra dentro del  $\pm 15\%$ .

**Figura 6. COMPARACIÓN DE EMISIONES VEHICULARES ENTRE FEAT Y PVVO**



Las gráficas anteriores muestran la comparación de las emisiones vehiculares obtenidas con los equipos de verificación de emisiones vehiculares y con el sistema sensor remoto durante la campaña de medición del año 2005. En ellas es clara la falta de correlación entre las mediciones obtenidas con ambas metodologías, lo cual se debe a:

- Estabilidad en la operación del vehículo: Los motores presentan sistemas de regulación de la mezcla aire – combustible, la cual se ajusta continuamente (mecánica o electrónicamente), dependiendo la condición de aceleración del vehículo. Considerando que la formación de contaminantes depende de la relación aire – combustible que ingresa al motor, entonces la generación de contaminantes estará influenciada por las condiciones de aceleración y ajuste de la mezcla aire – combustible.

Al respecto, el protocolo de medición realizado en los Verificentros establece condiciones de velocidad y carga que regulan de forma indirecta la aceleración del vehículo, mismas que deben estabilizarse previa toma de las lecturas de gases. Asimismo, el protocolo establece la realización de un promedio móvil de las emisiones registradas en los últimos diez segundos de la prueba estabilizada, esto con el objeto de eliminar la influencia de un valor alto y fuera de rango.

En el caso de los vehículos monitoreados con el sistema de sensor remoto, no existe control en cuanto a la aceleración, velocidad y carga de la unidad, tomándose las lecturas bajo las condiciones operativas del instante en que el vehículo cruza el haz de luz del sistema de monitoreo. En este sentido, las lecturas de un mismo vehículo pueden variar dependiendo de las condiciones de operación que la unidad presente.

- Estado de mantenimiento del vehículo: Los vehículos que son presentados a verificación de emisiones generalmente operan en buen estado de mantenimiento vehicular, pero en algunos casos, los motores son manipulados en su sistema de regulación de la mezcla aire – combustible, con el objeto de bajar las emisiones vehiculares y engañar al sistema de medición, logrando obtener el documento aprobatorio a la verificación de emisiones.

En el caso del sensor remoto, las unidades se monitorean sin que las mismas estén preparadas para ser medidas, por lo que difícilmente se encuentran manipuladas en su sistema de mezcla aire – combustible, registrándose la emisión real de las unidades.

Por lo anterior, resulta claro que existen diferencias en los métodos de medición por lo que no hay correlación con el procedimiento de verificación vehicular, razón por la que el sensor remoto no podría ser establecido como un medio de fiscalización de las emisiones vehiculares.

Sin embargo, al ser un sistema que permite la evaluación de miles de vehículos en cuestión de horas, evaluación que no genera costos ni molestias al conductor, además de ser un sistema confiable de medición bajo condiciones de operación reales de los automotores, convierte al sensor remoto en una poderosa herramienta para conocer las condiciones ambientales de una flota vehicular en particular.

La comparación de resultados entre las flotas vehiculares de una misma ciudad pero en distintos años permite conocer los cambios ocurridos en dicho lapso de tiempo ya sea por la renovación de la flota vehicular o por las medidas ambientales establecidas. Asimismo, el comparar las flotas vehiculares de distintas ciudades, ofrece la posibilidad de conocer la eficiencia de las acciones que cada gobierno establece para las fuentes móviles de su ciudad.

Un ejemplo de lo anterior, sería el comparar las emisiones de los vehículos sometidos a verificaciones vehiculares dinámicas versus estáticas versus afinación controlada versus flotas que no se someten a ninguna acción, con lo cual sería posible determinar la eficiencia de cada medida.

### ***Estado ambiental de los vehículos***

La campaña de monitoreo vehicular realizada en el 2005 indica una emisión vehicular promedio de 0.79% en volumen de monóxido de carbono, 142 partes por millón de hidrocarburos y 989 partes por millón de óxidos de nitrógeno. Esto indica que, comparado con los resultados obtenidos en el año 2000, el parque vehicular que actualmente circula en la Zona Metropolitana del Valle de México tiene una tasa de emisión promedio de monóxido de carbono e hidrocarburos 43% menor, pero presenta un incremento del 2% en la tasa de emisión de óxidos de nitrógeno (ver tabla "4").

**Tabla 4. EMISIONES COMPARATIVAS DE LOS VEHÍCULOS EN DISTINTAS CAMPAÑAS DE MEDICIÓN**

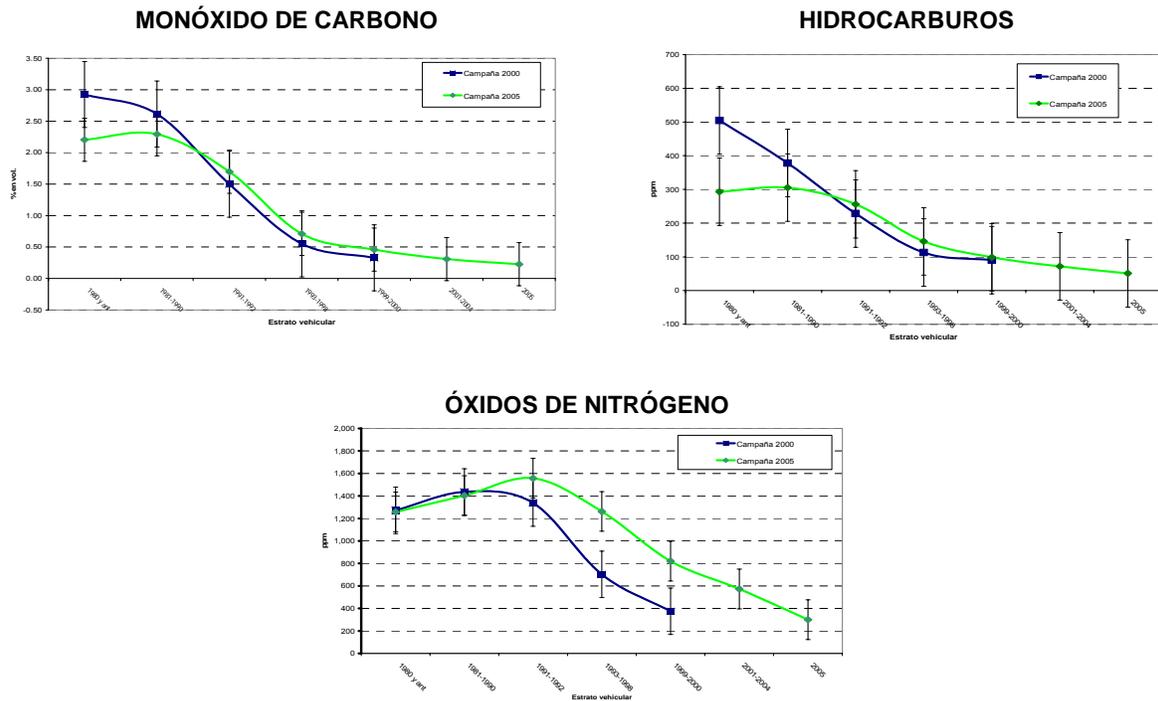
| <b>CAMPAÑA</b>   | <b>CO<br/>(% volumen)</b> | <b>HC<br/>(partes por millón)</b> | <b>NOx<br/>(partes por millón)</b> |
|------------------|---------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| <b>ZMVM 1991</b> | 4.3                       | 2,100                             | No se cuantificó                   |
| <b>ZMVM 1994</b> | 2.02                      | 1,037                             | No se cuantificó                   |
| <b>ZMVM 2000</b> | 1.4                       | 246                               | 966                                |
| <b>ZMVM 2005</b> | 0.79                      | 142                               | 989                                |

Fuente: Dirección de Instrumentación de Políticas de la DGGAA-SMA-GDF

Con el objeto de conocer el sector en donde se han incrementado las emisiones vehiculares, se realizó una estratificación del parque vehicular considerando los cortes tecnológicos que se han presentado en el país.

- El primer estrato es de unidades 1980 y anteriores, en donde los automotores son unidades de carburador con encendido de platinos. El encendido con platinos provoca desgaste de la baquelita lo cual modifica el ángulo de contacto y esto altera las emisiones.
- El segundo grupo, son unidades 1981 a 1990 en donde la mayoría de unidades ya cuentan con encendido electrónico y, los modelos más recientes de este estrato cuentan con sistemas de inyección electrónica en circuito abierto lo cual mejora el control de la mezcla aire - combustible, abatiendo los niveles de emisión.
- La tercera clasificación es de unidades 1991 a 1992 las cuales presentan, en su gran mayoría, convertidores catalíticos de dos vías. Este equipo permite la reducción de hasta un 70% de las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos.
- El cuarto estrato se conforma por unidades modelo 1993 a 1998 cuyas características son el uso de convertidores catalíticos de tres vías e inyección electrónica en circuito cerrado. Estos vehículos presentan un control electrónico segundo a segundo de la relación aire-combustible y el convertidor catalítico también actúa sobre los óxidos de nitrógeno.
- El último grupo lo constituyen las unidades 1999 y posteriores a las cuales les aplica una norma de emisiones como unidades nuevas más estricta a la de las unidades del estrato inmediato anterior. Tan sólo los óxidos de nitrógeno pasaron de 0.62 a 0.25 gramos por kilómetro.

Figura 7. COMPARACIÓN DE EMISIONES ENTRE LAS CAMPAÑAS 2000 – 2005



En la figura anterior se puede apreciar un decremento de emisiones de hidrocarburos y monóxido de carbono de las unidades de modelo anterior a 1991, en tanto que los óxidos de nitrógeno se mantuvieron estables. Al respecto, es factible que dichas reducciones sean originadas por una mejora en el programa de verificación vehicular, toda vez que es el único programa que aplica en la ZMVM que tiene por objeto, el prevenir y controlar las emisiones contaminantes en este sector, al promover un adecuado mantenimiento preventivo y correctivo de los motores de dichas unidades.

En los vehículos modelo 1991 y posteriores, se aprecia un ligero incremento en las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos, mismo que se encuentra en el rango de precisión del equipo de medición. Sin embargo, para el caso de los óxidos de nitrógeno, el incremento llega a duplicar las emisiones promedio que se obtuvieron en el año 2000.

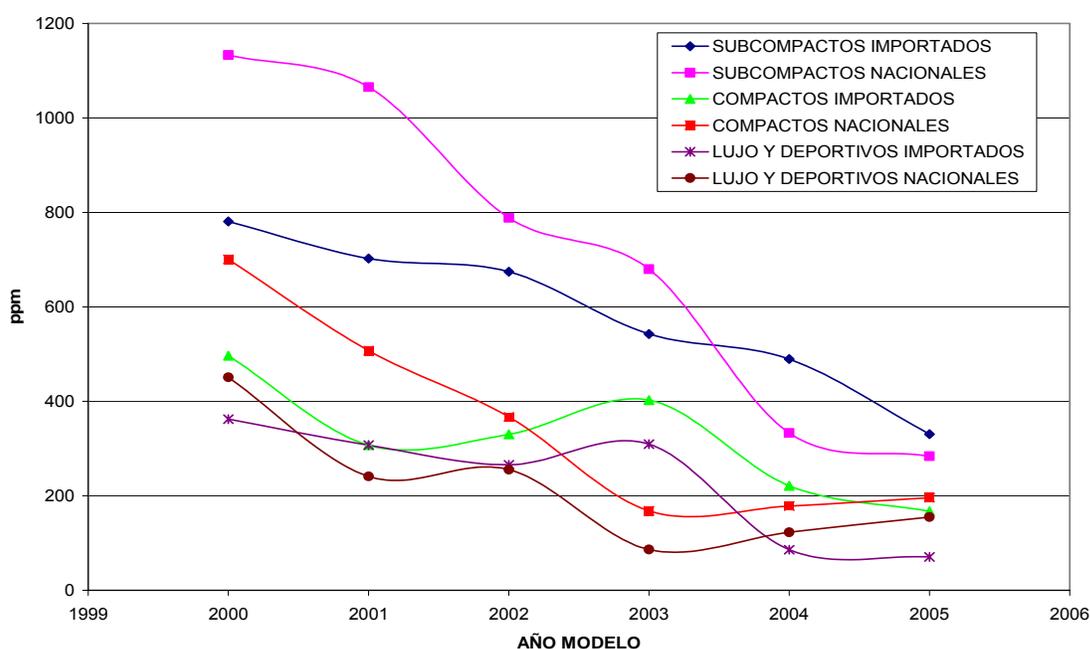
Cabe mencionar que a partir de 1991, un alto porcentaje de automotores se comenzaron a comercializar con convertidor catalítico de dos vías, y a partir de 1993, todos los vehículos que se vendían en México incluían convertidores catalíticos de tres vías. En este sentido, es altamente probable que el decaimiento del comportamiento ambiental de los vehículos pueda deberse a una degradación en la eficiencia de los convertidores catalíticos, misma que a su vez puede derivarse por los siguientes elementos:

- Mala calidad de los combustibles: A pesar que la gasolina que se comercializa en el país es de buena calidad, aún presenta un importante contenido de azufre que puede estar ocasionando una afectación constante al convertidor catalítico.
- Mal mantenimiento vehicular: Generalmente los vehículos nuevos son atendidos los primeros dos o tres años en agencia automotriz (situación que se hace para conservar garantía), de acuerdo a los calendarios de servicio que para tal efecto establece el fabricante de las unidades. Posterior a dicho lapso de tiempo, el automovilista sólo lleva la unidad a servicio cuando es detectado como “altamente contaminante” en la verificación vehicular, cuando el coche se descompone o cuando se va a salir a carretera en viajes largos.
- Mala calidad de los sistemas anticontaminantes: En México no existía una norma de “durabilidad de emisiones vehiculares”, de forma tal que los límites máximos permisibles que aplicaron en México hasta el año pasado, eran idénticos a los que aplicaron en Estados Unidos, con la diferencia que en México se verificaban a los “0” kilómetros y en el país vecino a los “80,000” kilómetros.

Esta situación pudo provocar que la calidad del convertidor catalítico de los vehículos que se venden en México, fuera distinta e inferior a la de los vehículos que se comercializan en Estados Unidos y Europa. Se debe recordar que las normas oficiales mexicanas que aplican a vehículos, sólo establecen límites máximos permisibles, razón por la cual, la industria automotriz utiliza los equipos necesarios para lograr que su unidad cumpla con dicha normatividad, de forma tal que pareciera ser la razón más probable por la cual los vehículos presentan dicho comportamiento.

Con el objeto de obtener datos que aporten información sobre el desgaste de los vehículos en la Ciudad de México, se graficó el promedio de emisión por año modelo de las unidades modelo 2000 a 2005 que se monitorearon en la campaña del 2005. Si consideramos que la Norma 042, que establece los niveles de emisión que deben presentar los vehículos nuevos en México, no se modificó entre el 2000 y 2005, entonces podemos asumir que la tecnología, desde el punto de vista ambiental, que presentan las unidades 2000, 2001, 2002, 2003, 2004 y 2005 es similar. En este sentido, las diferencias en emisiones registradas entre los distintos años- modelo de los vehículos, representa el decaimiento ambiental del vehículo.

**Figura 8. EMISIONES PROMEDIO DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO POR CATEGORÍA**



Fuente: Dirección de Instrumentación de Políticas de la DGGAA-SMA-GDF

En la figura "8" se muestran las emisiones de óxidos de nitrógeno registradas en la flota vehicular de la ZMVM de acuerdo al año modelo de los automotores. Los resultados más significativos son:

- Los vehículos que la Asociación de la Industria Automotriz define como subcompactos presentan, desde nuevos, una emisión 50% mayor a la de sus similares denominados compactos, de lujo y deportivos
- Las unidades del estrato "subcompactos" nacionales e importadas, comienzan teniendo un nivel similar de emisiones y, en tan sólo cinco años, se genera una diferencia superior al 30% entre estas, siendo más limpios los vehículos importados.

- En el caso de las unidades del estrato “compactos”, se identificó un comportamiento similar al grupo de subcompactos, esto es: las unidades nacionales presentan un mayor desgaste con el tiempo, por lo que en cinco años se presenta una diferencia del 30% entre las emisiones de los nacionales y los fabricados en otros países.
- En el caso de los vehículos de lujo y deportivos no se aprecian diferencias significativas entre el comportamiento ambiental de lo nacional y lo importado, situación que seguramente se debe a que el alto costo de los vehículos permite mantener un estándar similar en la calidad de los componentes ambientales de los mismos.

De lo anterior, se puede concluir que algunos vehículos que se comercializan en México presentan los elementos mínimos indispensables para cumplir con las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes, situación que propicia un desgaste acelerado de dichos elementos.

Por otra parte, al correlacionar el porcentaje de vehículos con el porcentaje de emisiones vehiculares que los mismos presentan, se obtiene que para el caso del monóxido de carbono tan sólo el 7% de la flota vehicular presentó valores de emisión por encima de los niveles de norma, pero este pequeño parque es responsable de la emisión del 50% de la contaminación<sup>2</sup>.

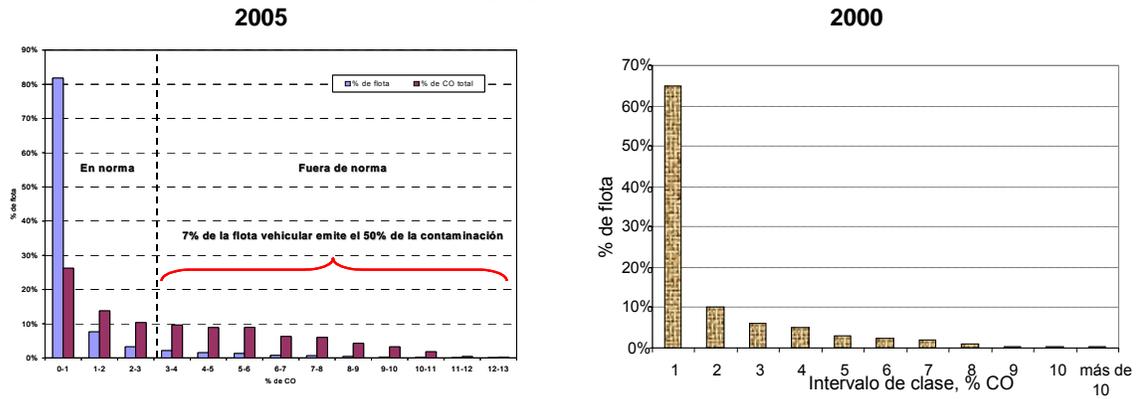
Para los casos de los hidrocarburos y de los óxidos de nitrógeno, el porcentaje de unidades con emisiones fuera de norma es de 13% y 12% respectivamente, siendo responsables de la emisión del 46% y 40% del total de emisiones que dicho sector genera.

A continuación se hace una comparación con la situación que guardaban las unidades que circulaban en la ZMVM en años anteriores:

---

<sup>2</sup> Esta aseveración es cierta si se considera que todos los vehículos presentan el mismo recorrido vehicular.

**Figura 9. FRACCIÓN DE VEHICULOS Y CONTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE MONÓXIDO DE CARBONO EN LA ZMVM**

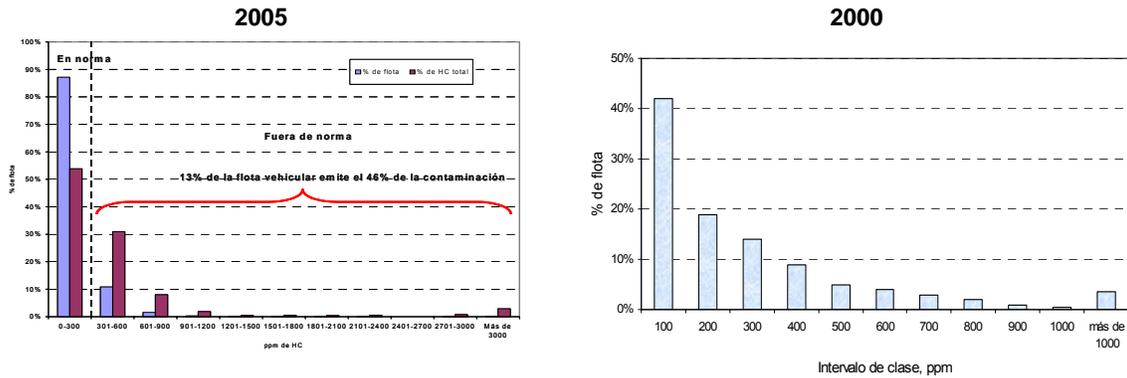


Fuente: Dirección de Instrumentación de Políticas de la DGGAA-SMA-GDF

Fuente: Instituto Mexicano del Petróleo

En la figura “9” se aprecia que el 93% del parque vehicular presenta valores de monóxido de carbono por abajo del 3% (valor máximo de normas oficiales mexicanas), en tanto que para el año 2000 el 83% del parque vehicular cumplía con este valor y para 1991 el cumplimiento de norma tan sólo lo cubría el 48% del parque vehicular. Más significativo es que en el año 2005 el 82% del parque vehicular presenta emisiones por debajo del 1% en su tasa de emisión de CO, en tanto que para el 2000 esta emisión era alcanzada por el 65% de la flota vehicular.

**Figura 10. FRACCIÓN DE VEHICULOS Y CONTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE HIDROCARBUROS EN LA ZMVM**

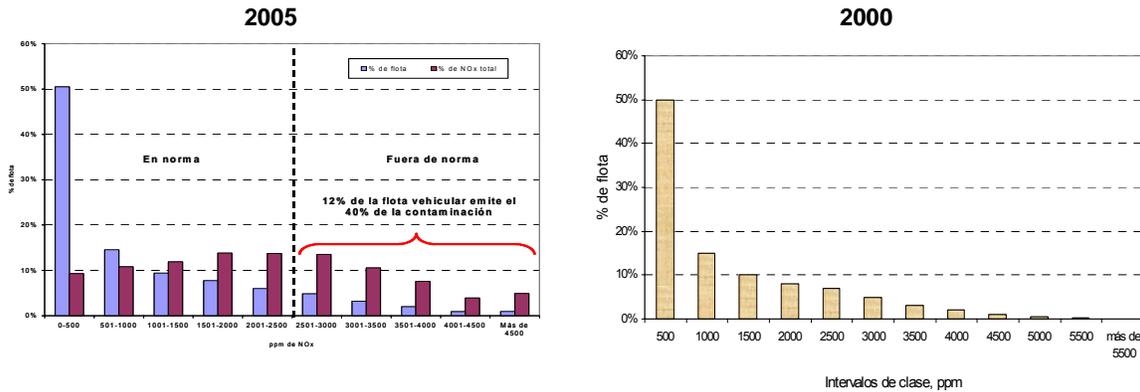


Fuente: Dirección de Instrumentación de Políticas de la DGGAA-SMA-GDF

Fuente: Instituto Mexicano del Petróleo

Para el caso de los hidrocarburos, como se observa en la figura “10”, el comportamiento es muy similar al encontrado con el monóxido de carbono ya que ahora un 5% más de automotores, comparado con los resultados de la campaña del 2000, cumplen con los valores de norma establecidos. En el caso de los óxidos de nitrógeno, ver figura “11”, el 12% de la flota emite el 40% de este contaminante (arriba del límite establecido por la norma), es de destacar que el perfil es prácticamente idéntico en ambas campañas de monitoreo.

**Figura 11. FRACCIÓN DE VEHICULOS Y CONTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO EN LA ZMVM**



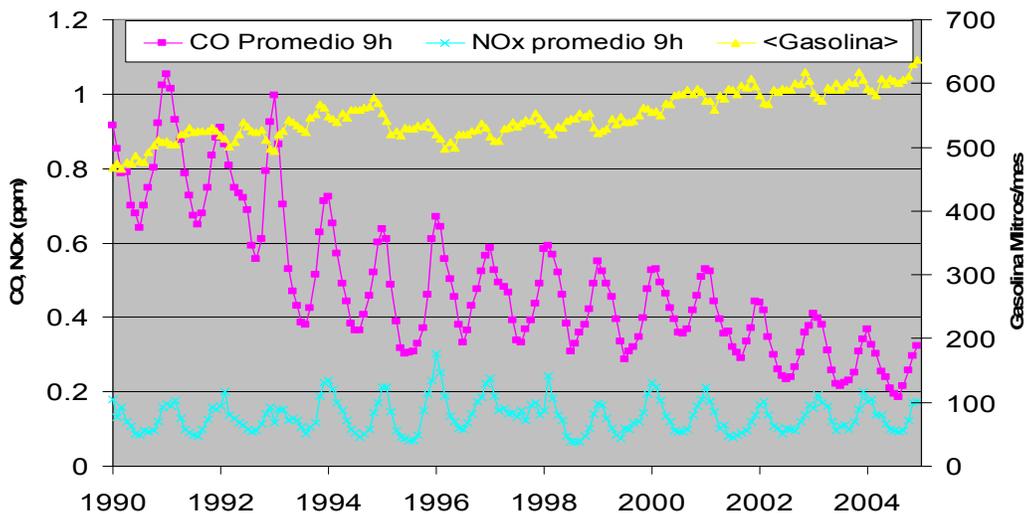
Fuente: Dirección de Instrumentación de Políticas de la DGGAA-SMA-GDF

Fuente: Instituto Mexicano del Petróleo

De esta forma, los datos obtenidos en la campaña de medición indican una reducción en la emisión de monóxido de carbono e hidrocarburos proveniente de vehículos 1990 y anteriores, lo cual al ser analizado de forma global, representa una flota vehicular más limpia y con mayor cumplimiento de las normas oficiales mexicanas correspondientes.

En el caso de los óxidos de nitrógeno, se observa un gran incremento en los vehículos modernos lo cual ha impactado, desde el punto de vista global, en una estabilidad en la emisión de este contaminante. Es decir, el incremento de óxidos de nitrógeno experimentado por los vehículos nuevos se ha visto compensado por la mejora en unidades viejas y por la renovación de este parque.

**Figura 12. CONSUMO DE GASOLINA VS CONCENTRACIONES DE CONTAMINANTES EN EL AIRE**



Fuente: Red de Monitoreo Automático

En la figura “12” se aprecia el comportamiento histórico de la venta de gasolina en la ZMVM, así como la concentración promedio de CO y NOx a las nueve de la mañana (se toma este horario para asegurar una baja reactividad en la atmósfera). En la gráfica se aprecia perfectamente que el monóxido de carbono presenta un decremento constante a pesar del incremento en ventas de gasolina, pero no ocurre lo mismo con los óxidos de nitrógeno, los cuales permanecen estables tal y como se aprecia en la figura “11” respecto al perfil de contribución de este contaminante en las campañas 2000 y 2005.

La estabilidad en los porcentajes de vehículos que presentan emisiones vehiculares similares encontrada en las campañas del 2000 y 2005 parecen sugerir una rápida pérdida de eficiencia de los convertidores catalíticos en cuanto a su capacidad para reducir las emisiones de este contaminante, pero esto no sucede con la capacidad de continuar realizando reacciones de oxidación.

### ***Evaluación por entidad y tipo de vehículo***

El análisis hecho anteriormente permite apreciar una reducción en la tasa de emisiones de dos de los tres contaminantes que emiten los vehículos a gasolina. Sin embargo, con la evaluación de los datos realizada hasta el momento es imposible determinar si el beneficio es una consecuencia de los programas ambientales aplicados en la ZMVM o de la renovación del parque vehicular en dicha Ciudad.

A continuación se presenta un análisis de los vehículos estratificados por tecnología vehicular y por ciudad en la que se encuentra registrado, lo anterior con el objeto de conocer el impacto de las medidas ambientales en el parque vehicular de la ZMVM.

**Tabla 5. EMISIONES VEHICULARES POR ESTRATO TECNOLÓGICO**

| PROMEDIO/<br>MODELOS | DISTRITO FEDERAL 2000 |                           |             |              | DISTRITO FEDERAL 2005 |                           |             |              |
|----------------------|-----------------------|---------------------------|-------------|--------------|-----------------------|---------------------------|-------------|--------------|
|                      | CO<br>(%vol)          | CO <sub>2</sub><br>(%Vol) | HC<br>(ppm) | NOx<br>(ppm) | CO<br>(%vol)          | CO <sub>2</sub><br>(%Vol) | HC<br>(ppm) | NOx<br>(ppm) |
| 1980 y ant.          | 2.92                  | 12.90                     | 505         | 1,272        | 2.21                  | 13.43                     | 293         | 1,258        |
| 1981-1990            | 2.61                  | 13.12                     | 378         | 1,436        | 2.29                  | 13.36                     | 305         | 1,403        |
| 1991-1992            | 1.50                  | 13.93                     | 229         | 1,338        | 1.70                  | 13.78                     | 256         | 1,557        |
| 1993-1998            | 0.55                  | 14.64                     | 113         | 703          | 0.71                  | 14.50                     | 146         | 1,262        |
| 1999 y post.         | 0.33                  | 14.81                     | 90          | 374          | 0.36                  | 14.78                     | 80          | 647          |
| PROMEDIO/<br>MODELOS | ESTADO DE MÉXICO 2000 |                           |             |              | ESTADO DE MÉXICO 2005 |                           |             |              |
|                      | CO<br>(%vol)          | CO <sub>2</sub><br>(%Vol) | HC<br>(ppm) | NOx<br>(ppm) | CO<br>(%vol)          | CO <sub>2</sub><br>(%Vol) | HC<br>(ppm) | NOx<br>(ppm) |
| 1980 y ant.          | 2.97                  | 13.22                     | 484         | 1,478        | 3.32                  | 12.62                     | 379         | 1,239        |
| 1981-1990            | 2.75                  | 13.03                     | 414         | 1,640        | 2.64                  | 13.10                     | 406         | 1,443        |
| 1991-1992            | 1.88                  | 13.65                     | 286         | 1,514        | 1.85                  | 13.67                     | 303         | 1,582        |
| 1993-1998            | 0.62                  | 14.58                     | 147         | 897          | 0.90                  | 14.36                     | 181         | 1,403        |
| 1999 y post.         | 0.49                  | 14.68                     | 117         | 575          | 0.39                  | 14.76                     | 81          | 651          |

Fuente: Dirección de Instrumentación de Políticas de la DGGAA-SMA-GDF

En la tabla “5” se puede apreciar una reducción, en los vehículos matriculados en el Distrito Federal, para los tres gases contaminantes provenientes de los vehículos modelo 1990 y anteriores, asimismo se puede apreciar un incremento en la emisión de bióxido de carbono para este sector vehicular. Estos elementos son un indicador inobjetable de la mejora en las condiciones operativas de los vehículos de carburador, situación que se debe a la mejora operativa del programa de verificación vehicular.

En el caso de los vehículos con inyección electrónica y convertidor catalítico, se observa un incremento en la tasa de emisión de los hidrocarburos, el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno, así como una reducción en la emisión de bióxido de carbono, situación contraria a lo ocurrido con los modelos 1990 y anteriores. Esta situación se presume es una consecuencia de la degradación natural de la eficiencia de los convertidores catalíticos, sin embargo queda la duda respecto a que tan rápida o lenta esta siendo dicha degradación, así como el conocer si el programa de sustitución de convertidores catalíticos de la ZMVM esta funcionando.

La primera duda respecto a que tan rápido se están degradando los convertidores catalíticos, se contesta al observar la figura “8”, en donde se aprecia una degradación más acelerada en las unidades subcompactas y compactas nacionales que en sus similares de importación. Esta situación ha quedado resuelta toda vez que la Norma Oficial Mexicana NOM-042-SEMARNAT-2003 establece límites máximos permisibles de emisión de contaminantes vehiculares a 80,000 y 100,000 kilómetros.<sup>3</sup>

El segundo punto referente al análisis de la condición operativa del programa de sustitución de convertidores catalíticos, se puede aclarar al comparar la flota vehicular de otras ciudades, por lo cual se muestran los resultados obtenidos en una campaña de monitoreo realizada en una ciudad del norte del país.

**Tabla 6. COMPARACIÓN DE FLOTAS VEHICULARES DISTRITO FEDERAL VS CIUDAD DEL NORTE DEL PAIS**

| PROMEDIO/<br>MODELOS | DISTRITO FEDERAL 2005* |                           |             |              | CIUDAD DEL NORTE DEL PAÍS 2000 |                           |             |              |
|----------------------|------------------------|---------------------------|-------------|--------------|--------------------------------|---------------------------|-------------|--------------|
|                      | CO<br>(%vol)           | CO <sub>2</sub><br>(%Vol) | HC<br>(ppm) | NOx<br>(ppm) | CO<br>(%vol)                   | CO <sub>2</sub><br>(%Vol) | HC<br>(ppm) | NOx<br>(ppm) |
| 1991-1992            | 1.70                   | 13.78                     | 256         | 1,557        | 4.18                           | SIN DATOS                 | 675         | 1,671        |
| 1993-1998            | 0.71                   | 14.50                     | 146         | 1,262        | 2.46                           | SIN DATOS                 | 824         | 2,399        |
| 1999 y post.         | 0.36                   | 14.78                     | 80          | 647          | 2.48                           | SIN DATOS                 | 681         | 832          |

\* Ver Anexo 3

<sup>3</sup> La norma anterior establecía valores de emisión a cero kilómetros, lo cual no ejercía presión en los fabricantes de automóviles para que ofertarán sistemas anticontaminantes con larga vida útil.

La comparación de la flota vehicular que circula por las ciudades muestra, que las unidades de la ciudad del norte, presentan un ligero incremento en la emisión de óxidos de nitrógeno de los vehículos 1991 y 1992, pero presenta emisiones tres veces mayores de monóxido de carbono e hidrocarburos, situación que resulta lógica toda vez esas unidades presentan convertidores de dos vías (sólo disminuyen el CO y los HC).

En los vehículos modelos 1993 a 1998, el incremento para el CO y los HC es cercano a cuatro veces las emisiones de la flota de la ciudad del norte respecto a los similares del Distrito Federal, y de dos veces para el caso de los óxidos de nitrógeno.

Cabe señalar que la campaña de monitoreo en la ciudad del norte del País fue realizada en el año 2000, es decir, se está comparando flotas vehiculares con desgaste natural diferente, por lo que es de esperarse que la situación de los vehículos de la ciudad del norte hayan empeorado.

Por lo anterior, es posible afirmar que el programa de sustitución de convertidores catalíticos esta funcionando adecuadamente ya que se están detectando más de 20,000 convertidores catalíticos dañados al semestre en el Distrito Federal, mismos que se están sustituyendo en unidades a las que se les realiza un diagnóstico respecto a las condiciones mecánicas en las que se encuentran, para que el dueño pueda repararlo en el taller mecánico de su preferencia.

Sin embargo y a pesar del beneficio ambiental que esta generando el programa de sustitución de convertidores catalíticos, el incremento en la tasa de emisión de los óxidos de nitrógeno en los vehículos seminuevos siguen siendo un elemento a destacar.

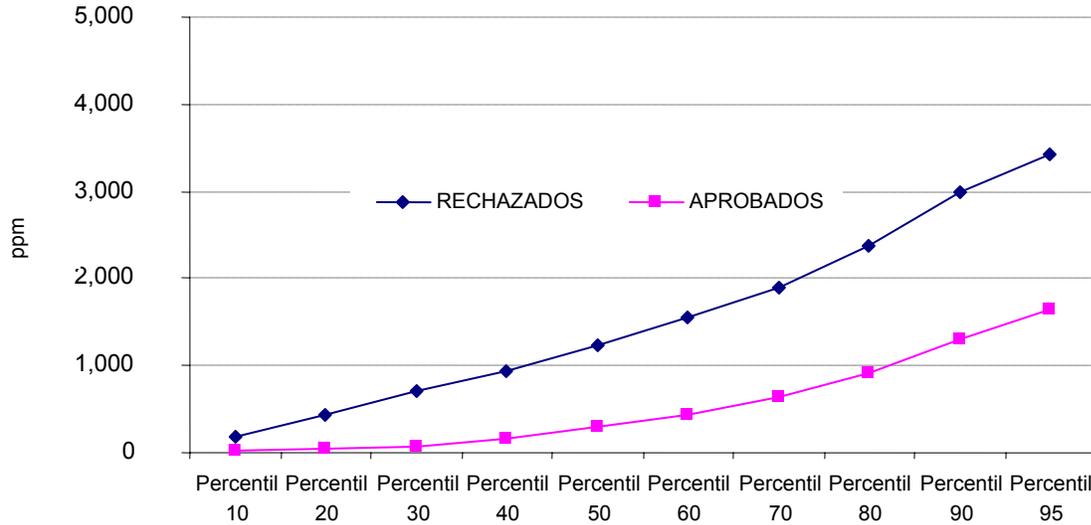
Al respecto, hay que recordar que el algoritmo para la detección de convertidores catalíticos en mal estado que se utiliza en el Valle de México, se basa en las emisiones del monóxido de carbono, del bióxido de carbono y en el oxígeno, es decir, en los gases involucrados en las reacciones de oxidación del convertidor catalítico, pero no existen elementos de evaluación de las reacciones de reducción.

Si: CO > 0.3% volumen, y  
O<sub>2</sub> ≥ 0.4% volumen y  
CO<sub>2</sub> < a 14% en volumen, entonces el convertidor ha dejado de funcionar.

Por lo anterior, es posible que existan condiciones operativas que afecten mayormente o solamente al rodio, por lo cual puedan estar operando unidades con convertidores que sólo realicen las reacciones de oxidación. Esta hipótesis se basa en el análisis de la información del programa de verificación vehicular del primer semestre del 2006, en donde se evaluaron los registros de emisiones vehiculares de las unidades rechazadas por convertidores en mal estado así como el cambio en su emisión de NOx al cambiarles el dispositivo.

Los datos muestran que el 10% de los vehículos rechazados presentan emisiones de óxidos de nitrógeno inferiores a las 2,000 partes por millón, es decir; valores muy bajos si consideramos que el criterio de rechazo vehicular es de 2,500 ppm (no existe norma para este combustible).

**Figura 13. EMISIONES DE NOx DE UNIDADES REPROBADAS POR PIREC Y APROBADAS POSTERIOR AL CAMBIO DEL CONVERTIDOR CATALÍTICO**



Fuente: Dirección de Instrumentación de Políticas de la DGGAA-SMA-GDF

En este sentido, es posible que el 10% de los convertidores catalíticos hayan dejado de realizar actividades de oxidación, pero no de reducción. Asimismo, resulta extraño que el 20% de los vehículos a los que se les cambio el convertidor catalítico presenten emisiones superiores a las 1,000 partes por millón (valor de norma para unidades de GLP). La figura “13”, sugiere revisar los niveles de emisión bajo las cuales se otorgan los hologramas “0”, “1” y “2” a los vehículos a gasolina en circulación.

En el caso de los datos del parque vehicular matriculado en el Estado de México, en comparación con sus similares del Distrito Federal, prácticamente en todos los estratos vehiculares así como en todos los gases (con excepción del bióxido de carbono), existen mayores tasas de emisión.

**Tabla 7. EMISIONES PROMEDIO POR USO VEHICULAR**

|                             | MONÓXIDO DE CARBONO<br>(% vol) | HIDROCARBUROS<br>(ppm) | ÓXIDOS DE NITRÓGENO<br>(ppm) |
|-----------------------------|--------------------------------|------------------------|------------------------------|
| Particular Distrito Federal | 0.51                           | 84                     | 690                          |
| Particular Estado México    | 0.79                           | 134                    | 852                          |
| Particular Provincia        | 1.42                           | 266                    | 1,231                        |
| Taxis Distrito Federal      | 0.69                           | 148                    | 1,156                        |
| Taxis Estado de México      | 0.74                           | 195                    | 1,477                        |
| Microbús Distrito Federal   | 1.31                           | 332                    | 2,056                        |
| Microbús Estado de México   | 1.47                           | 387                    | 1,332                        |

Fuente: UNAM con datos del sensor remoto de la Campaña 2005

En la tabla “7” se muestra el promedio de emisión para los distintos usos vehiculares de las unidades que circulan en la Ciudad de México. Para el caso de las unidades de uso particular, destaca el hecho que los vehículos de provincia que circulan en la Zona Metropolitana del Valle de México presentan emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos, tres veces mayores a sus similares del Distrito Federal y dos veces arriba a sus similares del Estado de México. Respecto a la comparación de los óxidos de nitrógeno, estos son entre 30 y 44% mayores que en las entidades que conforman la ZMVM.

Al realizar una revisión de las fotos de estas unidades, se detecta que un alto porcentaje de los vehículos de provincia corresponden a modelos 1990 y anteriores, la mayoría presentan matrícula de Michoacán e Hidalgo, y fueron registrados cuando circulaban, en día laboral, en vialidades del oriente de la Ciudad de México.

Dado lo anterior, existe un alta probabilidad que estas unidades sólo hayan sido registradas en estados ajenos a la ZMVM, pero que sigan radicadas y circulando en esta Ciudad, esto con el objeto de evitar las acciones varias que aplican en la Ciudad de México (programa de verificación vehicular, sanciones por contaminar ostensiblemente, reemplacamiento, cobro de sanciones por faltas al reglamento de tránsito). Esta hipótesis se basa en los siguientes elementos:

- Es complicado que por sus condiciones mecánicas los vehículos viejos sean sacados a carretera.
- Es muy alto el número de vehículos viejos que estarían visitando la Ciudad de México en días laborables.
- En el Distrito Federal se han dejado de verificar 350,000 vehículos viejos en los últimos cuatro años.
- En Delegaciones como Iztapalapa es común encontrar unidades con matrícula de otros estados y con un engomado del Distrito Federal en el medallón trasero, lo que denota que la unidad estuvo registrada en esta entidad.

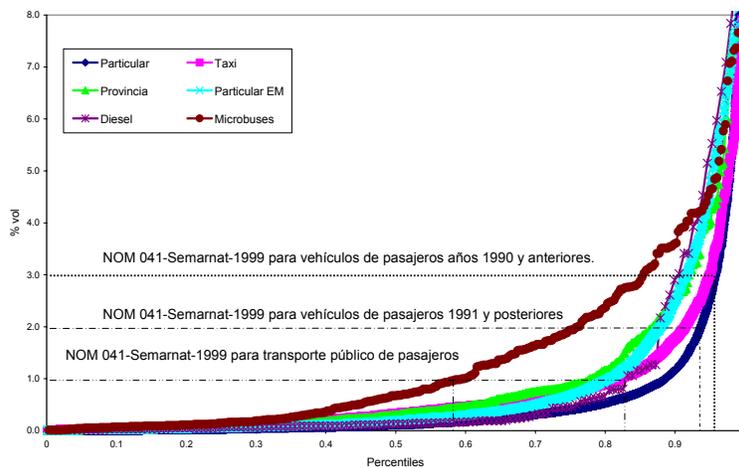
Otro hecho que destaca es que los vehículos de transporte público de pasajeros (taxis principalmente), presenten valores tan altos de emisión de contaminantes, sobre todo porque estas unidades cuentan con la misma tecnología de los particulares.

Al respecto, se detectó que el programa PIREC no esta siendo igualmente eficiente con los taxis que con los autos particulares, para ejemplificar lo anterior, se tiene que del primero de marzo al ocho de abril del presente año, en el Distrito Federal se verificaron 476,749 vehículos de uso particular y 40,887 unidades de uso intensivo, de los cuales se obligó la sustitución de convertidores catalíticos a 7,233 particulares y 1,241 intensivos, esto es; al 1.5% y 3% respectivamente.

En este sentido, la tasa de sustitución de los taxis fue del doble que la de los particulares, pero el recorrido promedio de los taxis es entre cuatro y cinco veces mayor al de los vehículos con convertidor catalítico, por lo que se esperaría que la tasa de sustitución de convertidores fuera similar a la de sus recorridos.

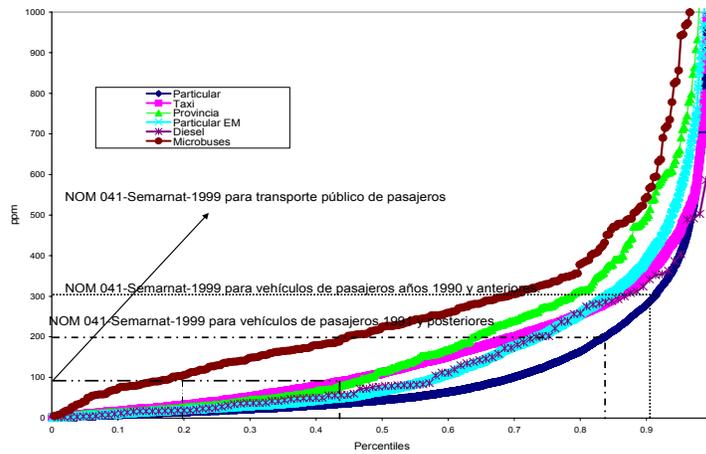
Otro elemento interesante, es que los microbuses en el Distrito Federal presentan 36% más emisión de óxidos de nitrógeno que sus similares del Estado de México, al respecto, es posible que esta diferencia se deba al combustible utilizado entre los microbuses de ambas entidades (gasolina, gas licuado de petróleo o gas natural), así como la utilización de convertidor catalítico en dichos vehículos. Al respecto, se recomienda revisar la operación del programa de sustitución de convertidores catalíticos en los vehículos de uso intensivo, particularmente taxis y microbuses, en ambas entidades.

**Figura 14. COMPORTAMIENTO DE EMISIONES DE MONÓXIDO DE CARBONO POR TIPO DE VEHÍCULO EN EL DISTRITO FEDERAL**



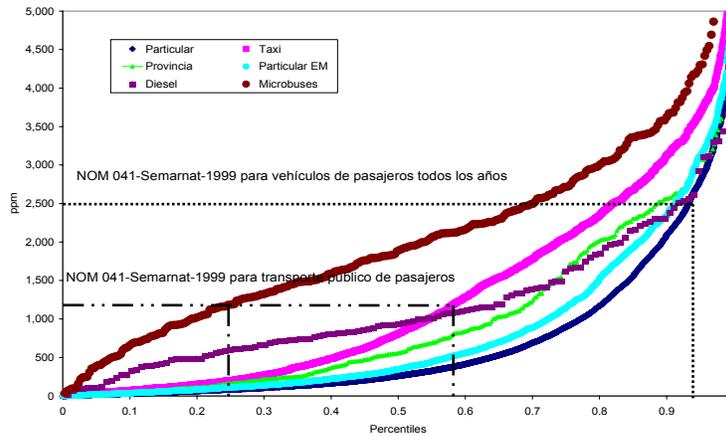
Fuente: UNAM

**Figura 15. COMPORTAMIENTO DE EMISIONES HIDROCARBUROS POR TIPO DE VEHÍCULO EN EL DISTRITO FEDERAL**



Fuente: UNAM

**Figura 16. COMPORTAMIENTO DE EMISIONES DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO POR TIPO DE VEHÍCULO EN EL DISTRITO FEDERAL**



.. Fuente: UNAM

Las figuras “14” a “16”, muestran a los vehículos de transporte público de pasajeros como los más contaminantes del parque vehicular, esta situación es preocupante toda vez que no sólo son unidades con mayor tasa de emisión vehicular sino que son automotores con recorridos entre cuatro y cinco veces mayores que las unidades particulares.

En el caso de los microbuses, sus emisiones de hidrocarburos y los de óxidos de nitrógeno muestran un comportamiento completamente distinto a la de los taxis y particulares, situación derivada del hecho que los microbuses son unidades de un mayor peso bruto vehicular, que operan constantemente sobrecargados y que operan con un combustible distinto a la gasolina (se estima que 21,000 microbuses del Distrito Federal operan con gas licuado de petróleo y sin convertidor catalítico).

Finalmente, destaca el hecho que las unidades que operan con diesel presentan valores de monóxido de carbono e hidrocarburos similares a los de gasolina, situación extraña ya que estos gases no constituyen la principal preocupación de estas unidades. Por el contrario, los óxidos de nitrógeno son uno de los principales problemas de las unidades diesel, pero en el campo, la emisión de este contaminante es similar a la de unidades más ligeras a gasolina.

### Factores de emisión en la ZMVM

Los datos obtenidos en las campañas de monitoreo de emisiones vehiculares a distancia pueden ser tratados con la metodología establecida en el anexo “2”, con el objeto de convertir los datos de emisiones en concentraciones volumétricas a emisiones en base masa por recorrido realizado. Al aplicar dicha metodología, se obtienen los factores de emisión contenidos en las tablas “8” y “9”:

**Tabla 8. EMISIONES VEHICULARES POR ESTRATO TECNOLÓGICO EN EL DISTRITO FEDERAL, EXPRESADAS EN GRAMOS POR KILOMETRO**

| Promedio     | DISTRITO FEDERAL 2000 |           |            | DISTRITO FEDERAL 2005 |           |            |
|--------------|-----------------------|-----------|------------|-----------------------|-----------|------------|
|              | CO (g/km)             | HC (g/km) | NOx (g/km) | CO (g/km)             | HC (g/km) | NOx (g/km) |
| 1980 y ant.  | 50.81                 | 3.03      | 2.37       | 39.12                 | 1.80      | 2.39       |
| 1981-1990    | 44.89                 | 2.25      | 2.64       | 39.73                 | 1.83      | 2.60       |
| 1991-1992    | 19.52                 | 1.03      | 1.87       | 22.00                 | 1.15      | 2.16       |
| 1993-1998    | 6.40                  | 0.45      | 0.87       | 8.17                  | 0.58      | 1.56       |
| 1999 y post. | 3.66                  | 0.35      | 0.45       | 3.98                  | 0.31      | 0.77       |

Fuente: Dirección de Instrumentación de Políticas de la DGGAA-SMA-GDF

**Tabla 9. EMISIONES VEHICULARES POR ESTRATO TECNOLÓGICO EN EL ESTADO DE MÉXICO, EXPRESADAS EN GRAMOS POR KILOMETRO**

| Promedio     | ESTADO DE MÉXICO 2000 |           |            | ESTADO DE MÉXICO 2005 |           |            |
|--------------|-----------------------|-----------|------------|-----------------------|-----------|------------|
|              | CO (g/km)             | HC (g/km) | NOX (g/km) | CO (g/km)             | HC (g/km) | NOX (g/km) |
| 1980 y ant.  | 50.53                 | 2.84      | 2.69       | 57.58                 | 2.27      | 2.30       |
| 1981-1990    | 47.03                 | 2.45      | 3.01       | 45.33                 | 2.41      | 2.65       |
| 1991-1992    | 24.22                 | 1.28      | 2.09       | 23.87                 | 1.35      | 2.19       |
| 1993-1998    | 7.13                  | 0.59      | 1.11       | 10.36                 | 0.72      | 1.73       |
| 1999 y post. | 5.49                  | 0.45      | 0.69       | 4.35                  | 0.31      | 0.78       |

Fuente: Dirección de Instrumentación de Políticas de la DGGAA-SMA-GDF

Estos factores de emisión son menores a los que se presentan en el inventario de emisiones vehiculares de la Zona Metropolitana del Valle de México en el 2002, por lo cual se revisaron pruebas realizadas con vehículos en la Ciudad de México para intentar establecer la certeza de estos resultados.

En primer lugar, se cuenta con la auditoria al programa de verificación vehicular realizada por el Instituto Mexicano del Petróleo, en dicha evaluación se llevaron a cabo 120 mediciones a igual número de automotores ligeros a gasolina, dichas unidades fueron probadas bajo el ciclo de manejo FTP – 75. Al promediar los resultados obtenidos, se obtuvieron los datos listados en la tabla “10”.

**Tabla 10. PROMEDIO DE EMISIONES VEHICULARES FTP-75, REALIZADAS POR EL IMP**

| Año modelo        | CO<br>(g/km) | HC*<br>(g/km) | NOx<br>(g/km) |
|-------------------|--------------|---------------|---------------|
| <b>1990 y ant</b> | 32.60        | 2.46          | 1.66          |
| <b>1991-1992</b>  | 18.93        | 1.47          | 1.94          |
| <b>1993-1997</b>  | 5.24         | 0.45          | 0.78          |
| <b>1998-2000</b>  | 2.23         | 0.2           | 0.27          |

\* Hidrocarburos en escape

En segundo lugar, se cuenta con un estudio para desarrollar factores de emisión para la Ciudad de México, para lo cual el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares analizó vehículos en el ciclo de manejo IM-240, los resultados se indican en la siguiente tabla:

**Tabla 11. PROMEDIO DE EMISIONES VEHICULARES IM-240, REALIZADAS POR EL ININ**

| Año modelo         | CO<br>(g/km) | HC<br>(g/km) | NOx<br>(g/km) |
|--------------------|--------------|--------------|---------------|
| <b>1985 y ant</b>  | 41.43        | 4.37         | 1.60          |
| <b>1986-1992</b>   | 27.24        | 2.94         | 1.93          |
| <b>1993-1998</b>   | 10.56        | 1.11         | 1.36          |
| <b>1999 a 2000</b> | 5.04         | 0.32         | 0.51          |

\* Hidrocarburos en escape

De esta forma, los valores obtenidos con el sistema de sensor remoto con la metodología expresada en el anexo "2", permite obtener datos cuya magnitud es similar a los datos obtenidos de pruebas realizadas en laboratorios de emisión vehicular. En contraparte, el inventario de emisiones del año 2002, incluye valores de emisión más altos en cada estrato tecnológico, mismos que sólo comparan con los vehículos más contaminantes evaluados en la muestra del IMP. Por ejemplo, para las unidades 1990 y anteriores, el inventario de emisiones 1998 establece un valor medio de 55.6 gramos de monóxido de carbono por kilómetro recorrido, en tanto que para la muestra del IMP, tan sólo 7 vehículos alcanzan esa cifra (23% de la muestra total), siendo la emisión promedio de 32.6 g/km.

La diferencia encontrada en los factores de emisión de los vehículos a gasolina entre el inventario de emisiones oficial y la metodología acoplada al sistema de monitoreo a distancia, genera una duda razonable respecto a la precisión del primero, toda vez que entre uno y otro puede existir una diferencia superior al 60%.

Dado lo anterior, es conveniente realizar análisis alternos que permitan ratificar o rectificar los factores de emisión utilizados en el inventario de emisiones, ya que de ser correcta la metodología utilizada con el sensor remoto, se estaría sobreestimando notablemente el inventario de emisiones de la Ciudad. Además, se estaría subestimando la importancia de las fuentes fijas en el problema de contaminación de la ZMVM, lo cual podría reflejarse en un “olvido” respecto a programas y acciones instrumentadas en dichas fuentes (el Proaire 2002 – 2010 establece 38 medidas aplicadas al sector transporte y tan sólo 16 acciones dirigidas a la industria y los servicios).

Otro elemento a considerar para mejorar el inventario de emisiones vehiculares en la Ciudad de México, lo es el considerar a los vehículos ligeros que, estando matriculados en otra entidad distinta al Estado de México y Distrito Federal, circulan cotidianamente en el Distrito Federal. En la muestra obtenida con el sensor remoto se encontró que el 4.5% del parque vehicular en circulación son vehículos con placas de otros Estados, razón por la cual sería conveniente considerar este parque en el inventario de emisiones vehiculares.

## Conclusiones y recomendaciones

- El registro de las emisiones vehiculares obtenidas de las campañas de monitoreo a distancia realizadas en los años 2000 y 2005, muestra una reducción en la tasa de emisión de los vehículos que carecen de convertidor catalítico, pero también se muestra un ligero incremento en las emisiones de las unidades que tienen este dispositivo.
- En el caso de las unidades sin convertidor catalítico (1990 y anteriores), la mejora ambiental sólo se explica por la aplicación del programa de verificación de emisiones vehiculares, toda vez que es la única acción que se aplica en la ZMVM y que tiene por objeto prevenir y controlar la contaminación del aire.
- En el caso del incremento de emisiones vehiculares que se detectó en los automotores con convertidor catalítico (1993 y posteriores), este es una consecuencia del desgaste que el mismo presenta, desgaste que se aprecia mayor en las unidades compactas y subcompactas construidas en el territorio nacional que en sus similares de importación, lo cual parece sugerir diferencias en la calidad y durabilidad del convertidor catalítico en los vehículos nacionales respecto a los de importación.

Recomendación: Este tema se resolverá con la publicación de la norma oficial mexicana 042 en la cual ya se establecen criterios de durabilidad de emisiones vehiculares. Sin embargo, continuarán existiendo diferencias entre los vehículos americanos y los nacionales, ya que en esta norma sólo se aplican algunos criterios normativos correspondientes de las normas americanas no incluyendo la norma TIER II en su totalidad.

- El incremento en emisiones de los vehículos seminuevos matriculados en la ZMVM es mucho menor al que presentan vehículos similares en una Ciudad del Norte del País, lo cual parece sugerir que los programas de verificación y sustitución de convertidores catalíticos en la ZMVM están generando importantes beneficios.
- Existen marcadas diferencias en la tasa de emisión de los vehículos de provincia y los de la ZMVM, situación que muestra la importancia de la operación de programas de verificación vehicular dinámicos y obligatorios en el país.

Recomendación: Establecer un área Megalopolitana en donde la verificación vehicular sea dinámica y obligatoria, para lo cual se deberán homogeneizar los procedimientos de prueba así como los límites máximos permisibles establecidos en las normas oficiales mexicanas.

- Un elevado número de microbuses y taxis presentan altas tasas de emisión de contaminantes. Sin embargo, la tasa de sustitución de convertidores catalíticos en este sector no es congruente con lo elevado de sus emisiones, ni es proporcional a la tasa de sustitución que presentan las unidades particulares.

Recomendación: Revisar el esquema de aplicación PIREC en este sector y, en su momento, obligar la sustitución del convertidor catalítico de estos vehículos de acuerdo a la edad.

- El inventario oficial de emisiones vehiculares presenta factores de emisión muy altos respecto a los calculados utilizando los valores y el procedimiento del sensor remoto. Asimismo, se detectó una alta circulación de unidades de provincia en las vialidades de la Ciudad de México.

Recomendación: Revisar los factores de emisión utilizados en el inventario de emisiones, comparándolos con los utilizados en distintas metodologías para hacer inventarios de emisiones por ejemplo, el IPCC.

Recomendación: Aplicar un doble Hoy No Circula para unidades de otros Estados, obligándolos a descansar en un día hábil y otro no laboral.

- El sistema sensor remoto no presenta buena correlación con los resultados obtenidos en la verificación vehicular. Sin embargo, es eficiente para detectar a los bajos emisores.

Recomendación: Establecer un programa de incentivos mediante el cual se exenten a vehículos de la verificación vehicular cuando los mismos sean detectados por el sensor remoto como bajos emisores.

**Bibliografía.**

Comisión Ambiental Metropolitana. Instituto Mexicano del Petróleo. Noviembre del 2000. Informe Final. "Auditoría Integral al Programa de Verificación Vehicular".

Coordinating Research Council, Inc. April 2002. Remote Sensing Measurement of Real World Vehicle High-Exhaust Emitters.

S.P. Beaton, G.A. Bishop and D.H. Steadman.1992. University of Denver. "Emission Characteristics of Mexico City Vehicles". J. Air Waste Manage Association Vol 42(11): 1424-1429.

National Research Council. 2001. Evaluating Vehicle Emissions Inspection and Maintenance Programs. "Emerging Testing Technologies" 4: 90-117.

# Anexo 1

## Planos de Localización de los Trece Puntos de Medición de la Campaña Metropolitana de Monitoreo Ambiental 2005 con el Sensor Remoto

---

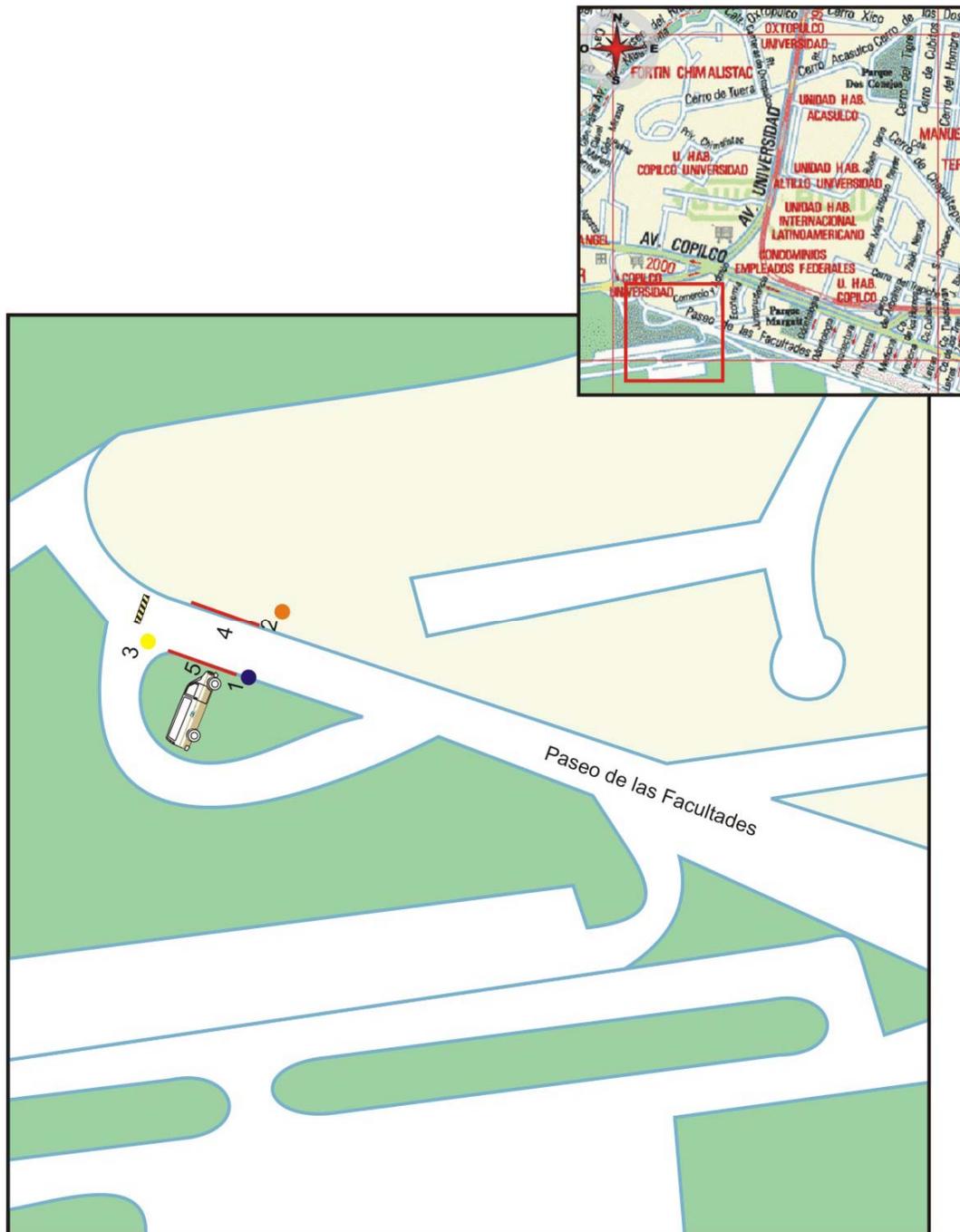
### Índice de figuras

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 1. PLANO DE LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO DE VEHÍCULOS EN CIUDAD UNIVERSITARIA EN EL 2005.....                | 2  |
| FIGURA 2. PLANO DE LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO DE VEHÍCULOS EN EL BOSQUE DE TLALPAN EN EL 2005.....                | 3  |
| FIGURA 3. PLANO DE LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO DE VEHÍCULOS EN AZCAPOTZALCO EN EL 2005.....                        | 4  |
| FIGURA 4. PLANO DE LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO DE VEHÍCULOS EN INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO EN EL 2005.....     | 5  |
| FIGURA 5. PLANO DE LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO DE VEHÍCULOS EN POLANCO EN EL 2005.....                             | 6  |
| FIGURA 6. PLANO DE LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO DE VEHÍCULOS EN LA DELEGACIÓN VENUSTIANO CARRANZA EN EL 2005.....   | 7  |
| FIGURA 7. PLANO DE LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO DE VEHÍCULOS EN TLALNEPANTLA, ESTADO DE MÉXICO EN EL 2005.....      | 8  |
| FIGURA 8. PLANO DE LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO DE VEHÍCULOS EN CUATITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO EN EL 2005..... | 9  |
| FIGURA 9. PLANO DE LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO DE VEHÍCULOS EN TULTITLÁN, ESTADO DE MÉXICO EN EL 2005.....         | 10 |
| FIGURA 10. PLANO DE LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO DE VEHÍCULOS EN COACALCO, ESTADO DE MÉXICO EN EL 2005.....         | 11 |
| FIGURA 11. PLANO DE LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO DE VEHÍCULOS EN ECATEPEC, ESTADO DE MÉXICO EN EL 2005.....         | 12 |
| FIGURA 12. PLANO DE LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO DE VEHÍCULOS EN HUIXQUILUCAN, ESTADO DE MÉXICO EN EL 2005.....     | 13 |
| FIGURA 13. PLANO DE LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO DE VEHÍCULOS EN NEZAHUALCÓYOTL, ESTADO DE MÉXICO EN EL 2005.....   | 14 |

---

**Anexo 1**  
**Planos de Localización de los Trece Puntos de Medición de la Campaña**  
**Metropolitana de Monitoreo Ambiental 2005**  
**con el Sensor Remoto**

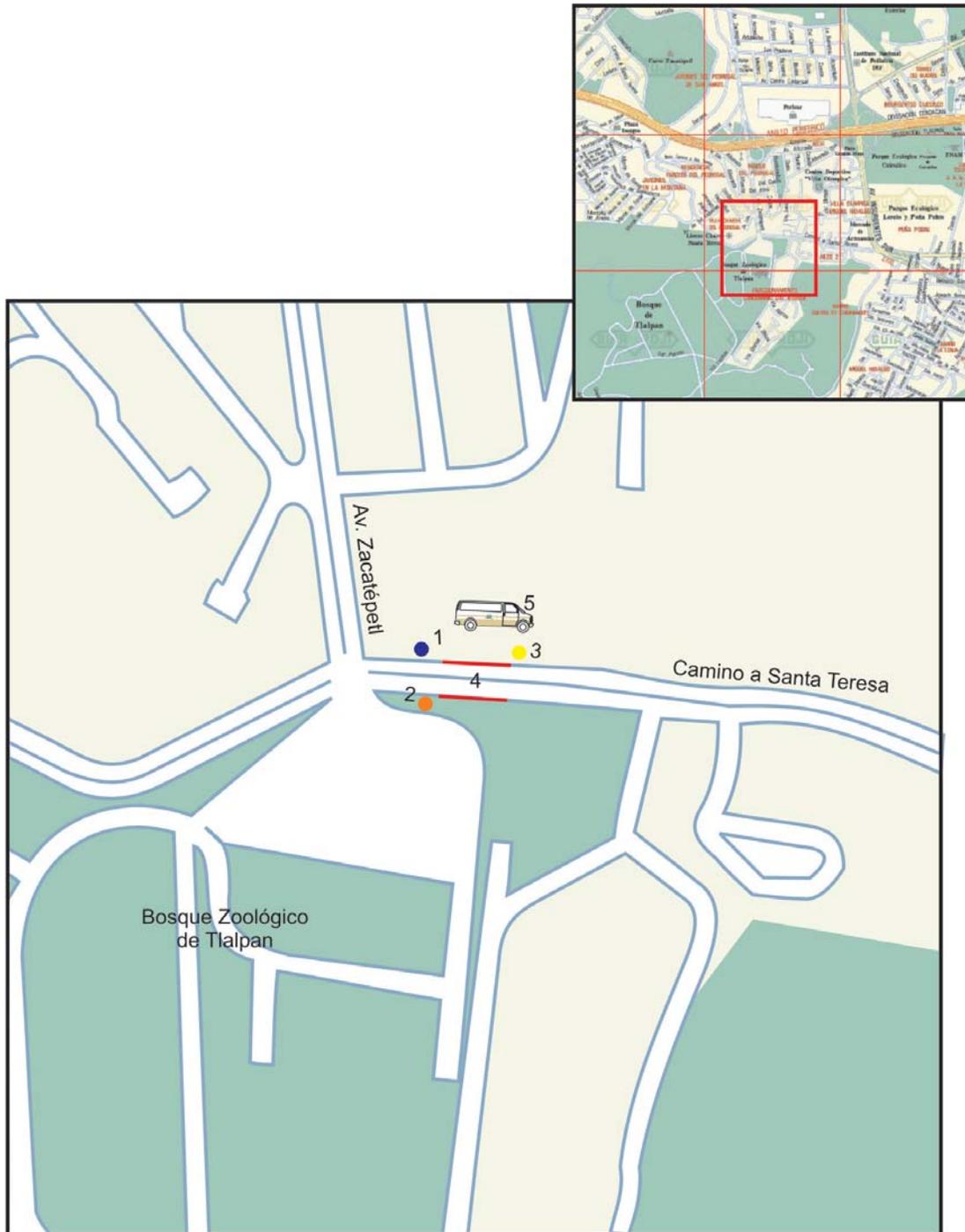
**FIGURA 1. PLANO DE LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO DE VEHÍCULOS EN CIUDAD UNIVERSITARIA EN EL 2005**



**Ciudad Universitaria. Circuito exterior casi en la entrada principal.**

**Anexo 1**  
**Planos de Localización de los Trece Puntos de Medición de la Campaña**  
**Metropolitana de Monitoreo Ambiental 2005**  
**con el Sensor Remoto**

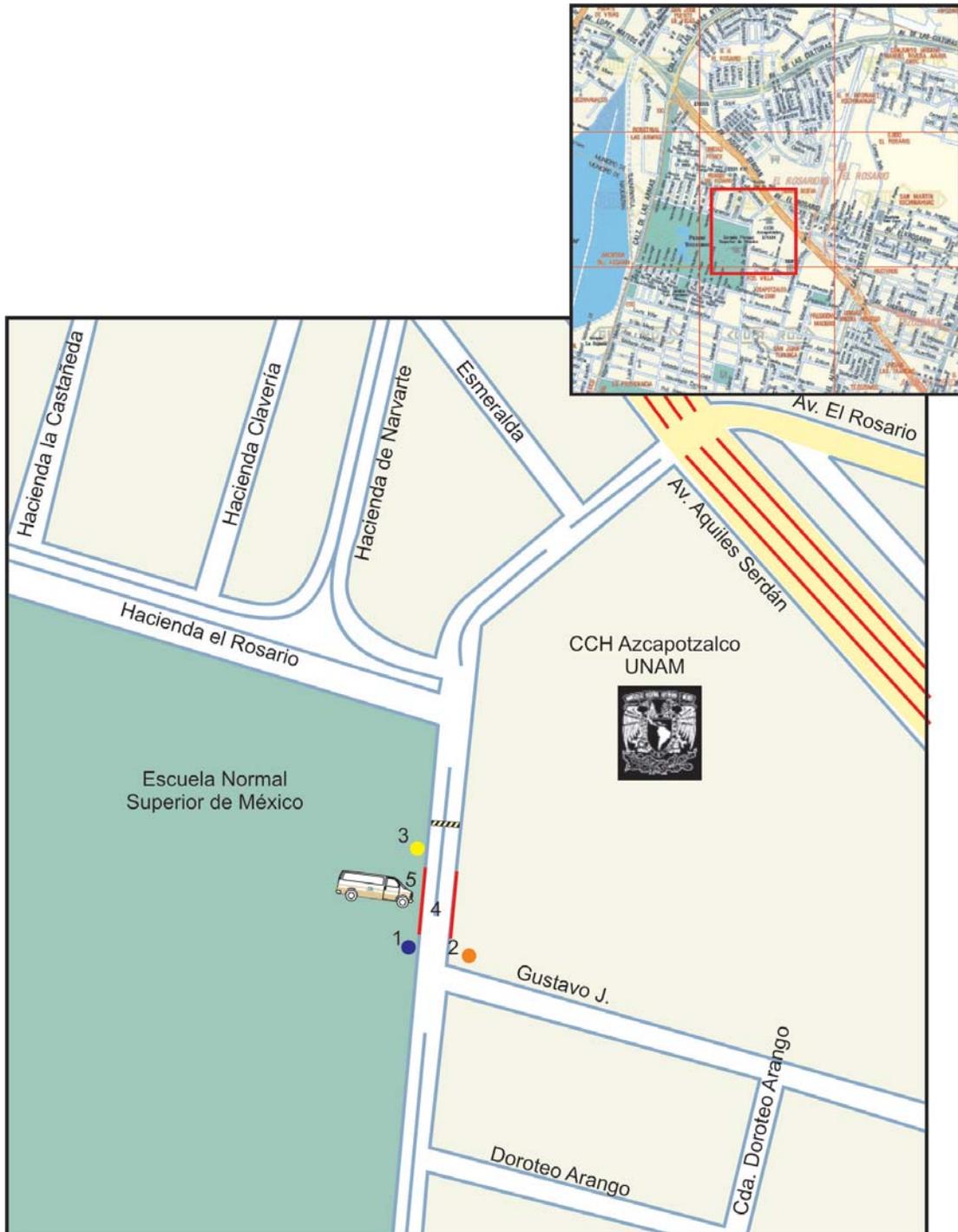
**FIGURA 2. PLANO DE LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO DE VEHÍCULOS EN EL BOSQUE DE TLALPAN EN EL 2005**



**Bosque de Tlalpan. Camino a Santa Teresa casi esq. Con Zacateptl**

**Anexo 1**  
**Planos de Localización de los Trece Puntos de Medición de la Campaña**  
**Metropolitana de Monitoreo Ambiental 2005**  
**con el Sensor Remoto**

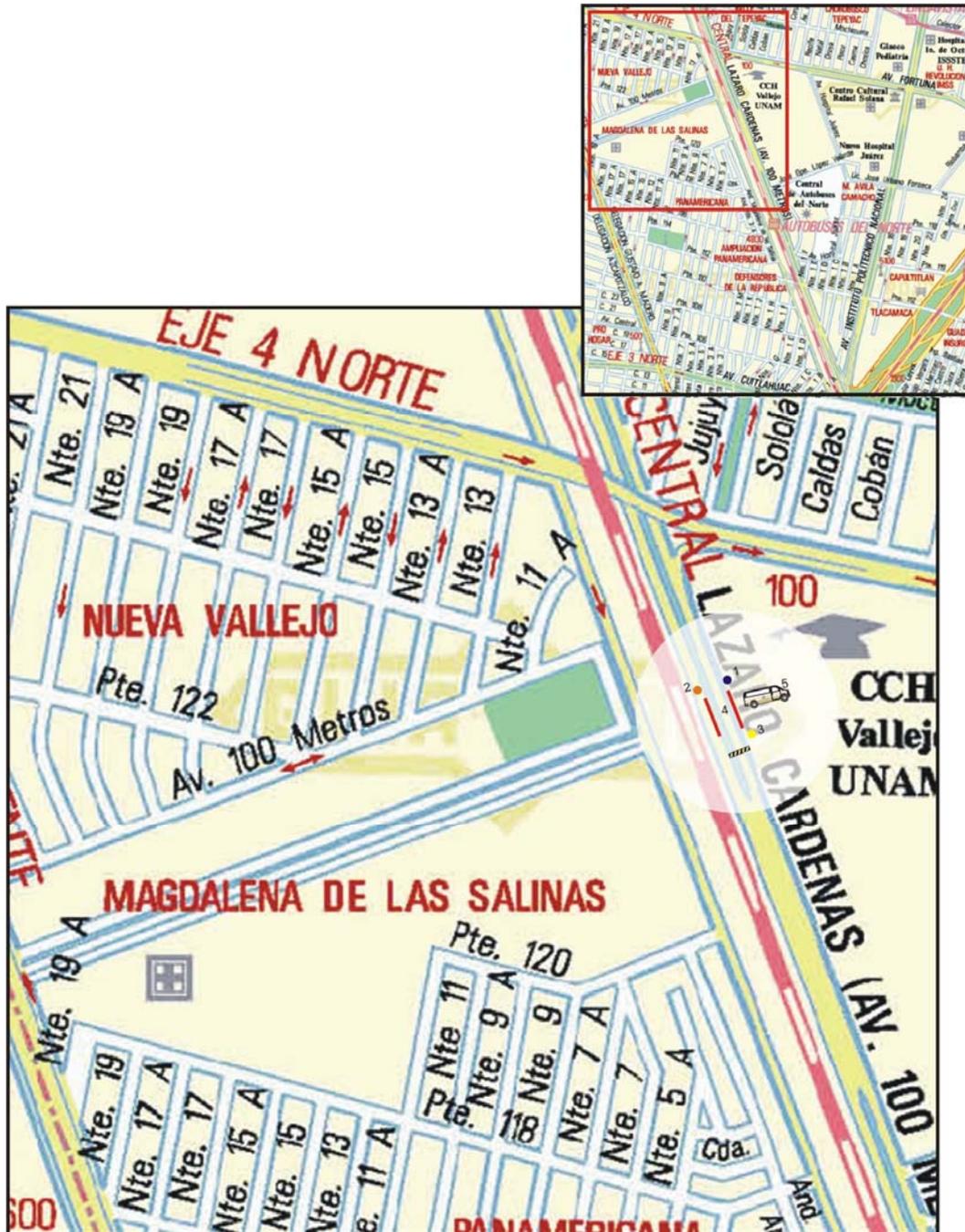
**FIGURA 3. PLANO DE LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO DE VEHÍCULOS EN**  
**AZCAPOTZALCO EN EL 2005**



**Azcapotzalco. Parque Tezozómoc. Av. Manuel Salazar casi esq. con**  
**Hacienda el Rosario. Col. Exhacienda el Rosario.**

**Anexo 1**  
**Planos de Localización de los Trece Puntos de Medición de la Campaña**  
**Metropolitana de Monitoreo Ambiental 2005**  
**con el Sensor Remoto**

**FIGURA 4. PLANO DE LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO DE VEHÍCULOS EN**  
**INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO EN EL 2005**



Instituto Mexicano del Petróleo. Eje Central Lázaro Cárdenas casi esq. Fortuna. Col. Magdalena de las Salinas. Delegación Gustavo A. Madero.

**Anexo 1**  
**Planos de Localización de los Trece Puntos de Medición de la Campaña**  
**Metropolitana de Monitoreo Ambiental 2005**  
**con el Sensor Remoto**

**FIGURA 5. PLANO DE LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO DE VEHÍCULOS EN**  
**POLANCO EN EL 2005**



Polanco. Horacio casi esq. Calderón de la Barca. Col. Polanco Reforma. Delegación Miguel Hidalgo.

**Anexo 1**  
**Planos de Localización de los Trece Puntos de Medición de la Campaña**  
**Metropolitana de Monitoreo Ambiental 2005**  
**con el Sensor Remoto**

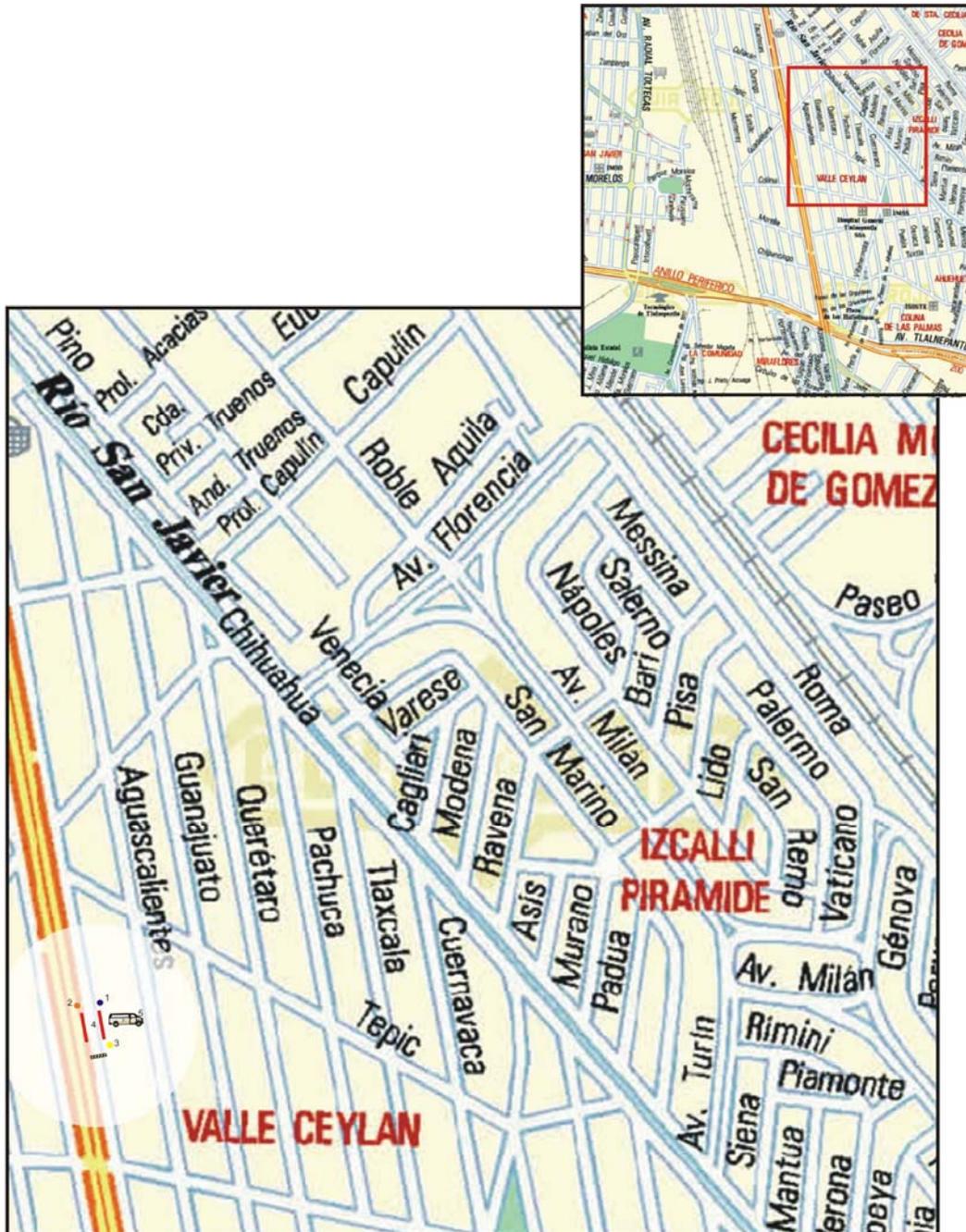
**FIGURA 6. PLANO DE LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO DE VEHÍCULOS EN LA DELEGACIÓN VENUSTIANO CARRANZA EN EL 2005**



Venustiano Carranza. Fray Servando Teresa de Mier casi esq. Av. Congreso de la Unión. Col. El Parque. Delegación Venustiano Carranza.

**Anexo 1**  
**Planos de Localización de los Trece Puntos de Medición de la Campaña**  
**Metropolitana de Monitoreo Ambiental 2005**  
**con el Sensor Remoto**

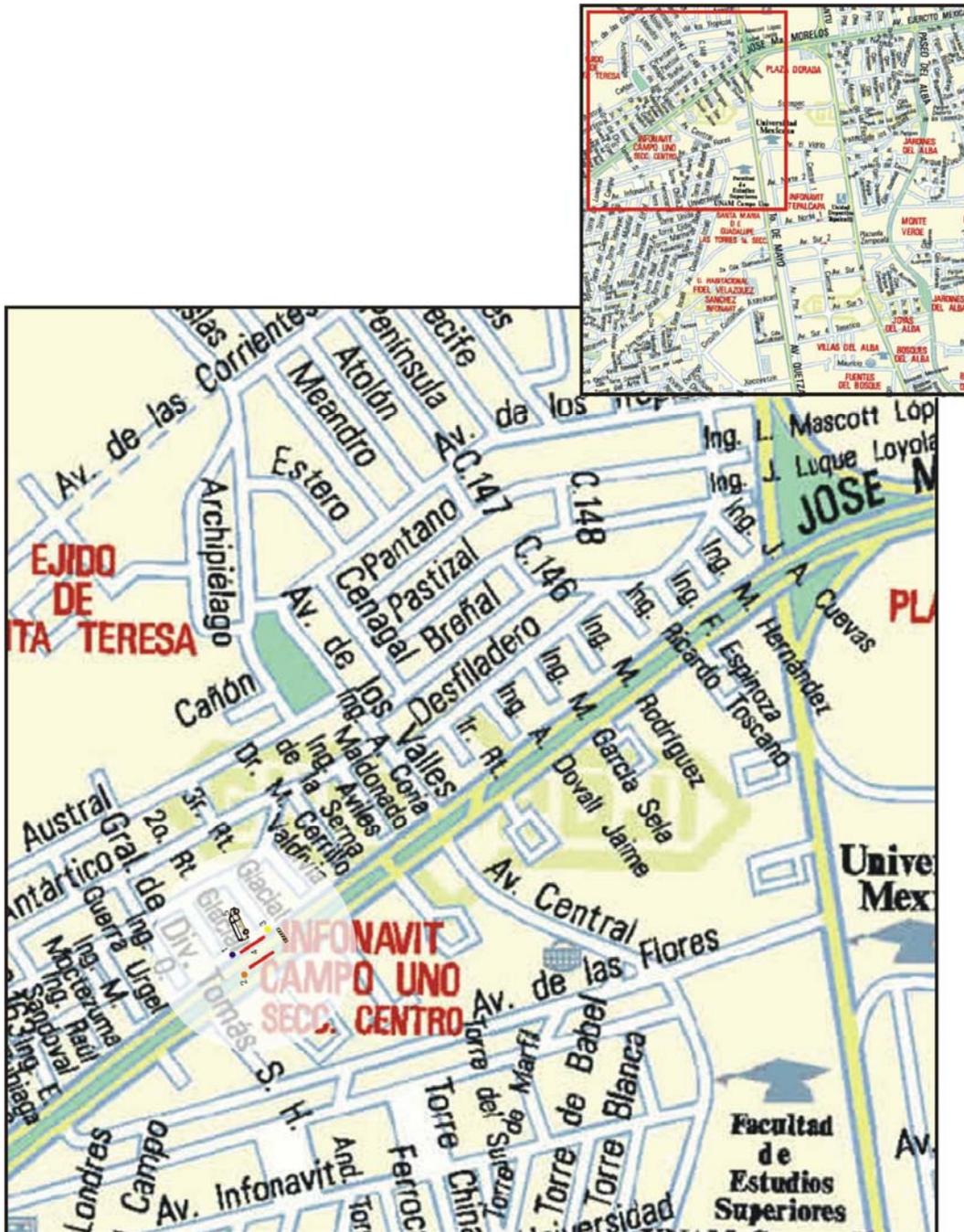
**FIGURA 7. PLANO DE LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO DE VEHÍCULOS EN**  
**TALNEPANTLA, ESTADO DE MÉXICO EN EL 2005**



Tlalnepantla. Av. Jesús Reyes Heróles casi esq. con Tepic. Col. Valle Ceylan.

**Anexo 1**  
**Planos de Localización de los Trece Puntos de Medición de la Campaña**  
**Metropolitana de Monitoreo Ambiental 2005**  
**con el Sensor Remoto**

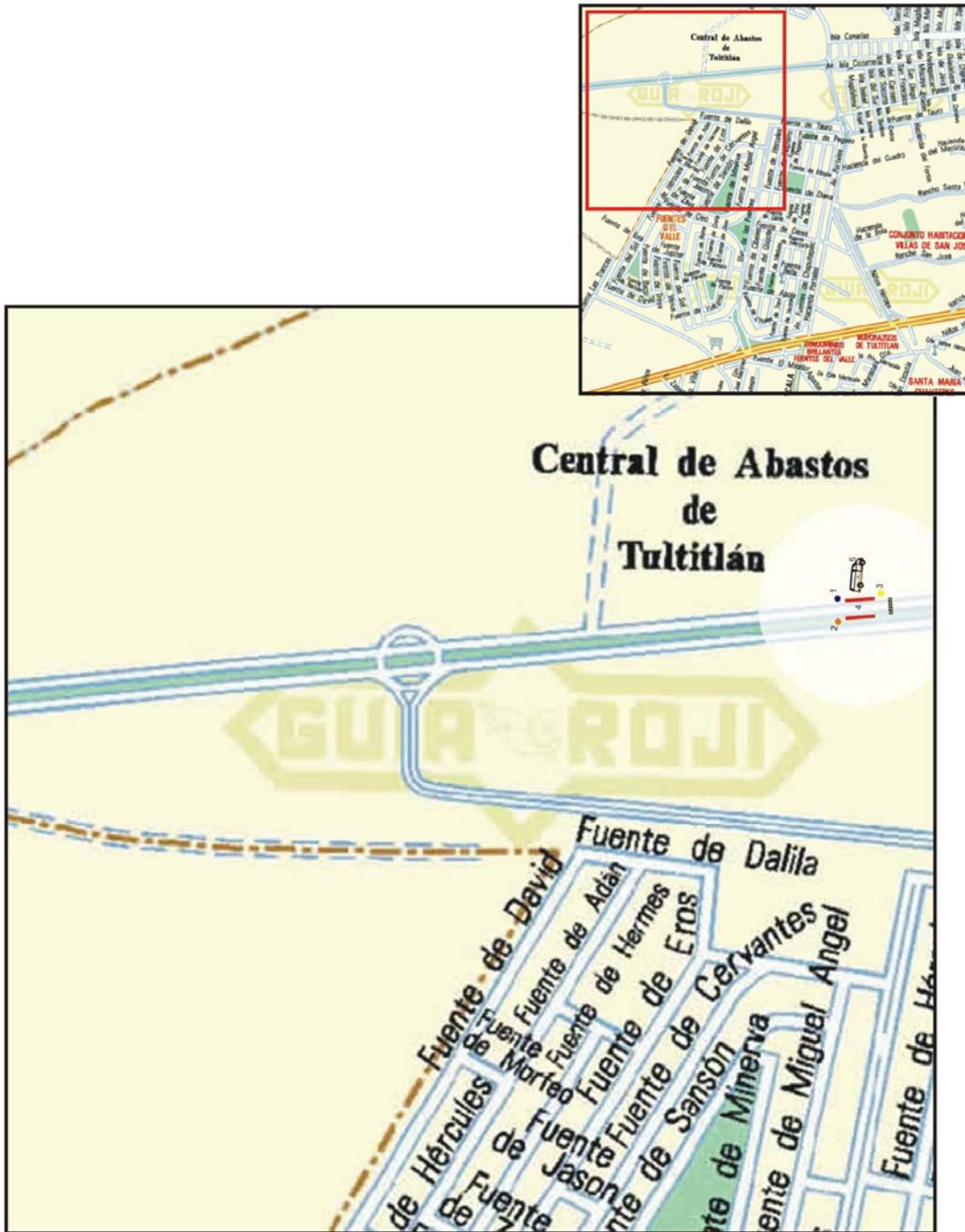
**FIGURA 8. PLANO DE LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO DE VEHÍCULOS EN**  
**CUATITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO EN EL 2005**



Cuatitlán Izcalli. Av. Morelos casi Esq. con Av. de las Flores. Col. Infonavit Campo Uno Sección Centro.

**Anexo 1**  
**Planos de Localización de los Trece Puntos de Medición de la Campaña**  
**Metropolitana de Monitoreo Ambiental 2005**  
**con el Sensor Remoto**

**FIGURA 9. PLANO DE LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO DE VEHÍCULOS EN TULTITLÁN, ESTADO DE MÉXICO EN EL 2005**



Tultitlán. Av. Mexiquenses a la altura de la Central de Abastos.

**Anexo 1**  
**Planos de Localización de los Trece Puntos de Medición de la Campaña**  
**Metropolitana de Monitoreo Ambiental 2005**  
**con el Sensor Remoto**

**FIGURA 10. PLANO DE LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO DE VEHÍCULOS EN COACALCO, ESTADO DE MÉXICO EN EL 2005**



Coacalco. Zarzaparrillas y Mirtos. Col. Villa de las Flores.

**Anexo 1**  
**Planos de Localización de los Trece Puntos de Medición de la Campaña**  
**Metropolitana de Monitoreo Ambiental 2005**  
**con el Sensor Remoto**

**FIGURA 11. PLANO DE LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO DE VEHÍCULOS EN ECATEPEC, ESTADO DE MÉXICO EN EL 2005**



**Ecatepec. Av. Revolución casi esq. con Márquez. Col. Residencial San Cristóbal**

**Anexo 1**  
**Planos de Localización de los Trece Puntos de Medición de la Campaña**  
**Metropolitana de Monitoreo Ambiental 2005**  
**con el Sensor Remoto**

**FIGURA 12. PLANO DE LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO DE VEHÍCULOS EN**  
**HUIXQUILUCAN, ESTADO DE MÉXICO EN EL 2005**



Hixquilucan. Paseo de la Herradura casi esq. Cda. de la Campana. Col. La Herradura 1ª. Sección.



**Anexo 2**  
**Memoria de Cálculo para obtener factores de emisión**

---

**Índice**

|  |   |
|--|---|
| I. Procedimiento para obtener los factores de emisión base combustible en gramos / kilómetro ..... | 2 |
| 1) Algoritmo de conversión de CO de % en volumen a gr/km.....                                      | 2 |
| 2) Algoritmo de conversión de HC de ppm a gr/km.....   | 3 |
| 3) Algoritmo de conversión de NOx de ppm a gr/km.....  | 3 |

## Anexo 2

### Memoria de Cálculo para obtener factores de emisión

---

#### ***I. Procedimiento para obtener los factores de emisión base combustible en gramos / kilómetro***

$$E_p = (Q_p / (1 + Q_{CO} + 3Q_{HC})) * (FC * \rho / 12) * PM$$

Donde

$E_p$  = HC, NO, CO (gr/lit)

$Q_p$  = CO/CO<sub>2</sub>, HC/CO<sub>2</sub>, NO/CO<sub>2</sub>

FC = Fracción de carbón en la gasolina

$\rho$  = Densidad de la gasolina

PM = Peso Molecular

#### **1) Algoritmo de conversión de CO de % en volumen a g/km**

Estas son las mediciones representativas de gases de vehículos 1990 y anteriores que aprobaron la verificación vehicular.

[CO]= 0.47 % en Vol.

[CO<sub>2</sub>]=13.8 % en Vol.

[HC]=55.9 ppm

[NO<sub>x</sub>]= 521.4 ppm

PM<sub>1</sub>= 28 (peso molecular del CO)

Fracción carbón en la gasolina=0.863

Densidad de la gasolina  $\rho$  = 732 gr/lit

$$E_p = (([CO]/[CO_2]) / (1 + ([CO]/[CO_2]) + (3 * (2.2 * [HC] / 10000) / [CO_2]))) * (FC * \rho / 12) * PM_1$$

Desglosando la fórmula anterior tenemos que:

$$E_p = C * D$$

Donde:

$$A = [CO] / [CO_2] = 0.03405797$$

$$B = 1 + (0.03405797) + ((3 * 2.2 * 55.9 / 10000) / 13.8) = 1.03673145$$

$$C = A / B = (0.03405797) / (1.03673145) = 0.0328513$$

$$D = (FC * \rho / 12) * PM_1 = (0.863 * 732 / 12) * 28 = 52.643 * 28 = 1,474.004$$

$$E_p = C * D = 0.0328513 * 1,474.004 = 48.42 \text{ gr/ lit}$$

Si tenemos que el rendimiento de combustible es de 5.4 km/l (encuesta DGGAA julio 2003) en promedio para los vehículos 90 y anteriores, tenemos que (48.42 gr/lit) / (5.4 km/l) = **8.97 g/km.**

## Anexo 2

### Memoria de Cálculo para obtener factores de emisión

---

#### 2) Algoritmo de conversión de HC de ppm a g/km.

$$E_p = ((2.2 * [HC] / 10000) / [CO_2]) / (([CO] / [CO_2]) + 1 + (3 * (2.2 * [HC] / 10000) / [CO_2])) * (FC * \rho / 12) * PM_2$$

Desglosando y sustituyendo valores de las mediciones de verificación.

$$A = (2.2 * [HC] / 10000) / [CO_2] = ((2.2 * 55.9 / 10000) / 13.8) = 0.00089115942$$

$$B = (1 + ([CO] / [CO_2]) + (3 * (2.2 * [HC] / 10000) / [CO_2])) = (1 + (0.03405797) + (3 * 2.2 * 55.9 / 10000) / 13.8) = 1.03673145$$

$$A/B = 0.00085959$$

$$D = (FC * \rho / 12) * PM_2$$

Donde  $PM_2 = 44$  (peso molecular del propano)

$$D = (0.863 * 732 / 12) * 44 = 2,316.292$$

$$E_p = C * D = 0.00085959 * 2,316.292 = 1.99 \text{ g/l}$$

Si tenemos que el rendimiento de combustible es de 5.4 km/l en promedio para los vehículos 90 y anteriores, tenemos que  $(1.99 \text{ gr/l}) / (5.4 \text{ km/l}) = \mathbf{0.37 \text{ g/km}}$ .

#### 3) Algoritmo de conversión de NOx de ppm a g/km.

$$E_p = ((([NO_x] / 10000) / [CO_2]) / (1 + ([CO] / [CO_2]) + (3 * 2.2 * ([HC] / 10000) / [CO_2]))) * (FC * \rho / 12) * PM_3$$

Desglosando y sustituyendo valores de las mediciones de verificación.

$$A = ([NO_x] / 10000) / [CO_2] = ((521.4 / 10000) / 13.8) = 0.00377826$$

$$B = (1 + (0.47 / 13.8) + (3 * 2.2 * 55.9 / 10000) / (13.8)) = 1.03673145$$

$$C = A/B = 0.0036444$$

$$D = (FC * \rho / 12) * PM_3$$

Donde  $PM_3 = 30$  (peso molecular del NO)

$$D = (0.863 * 732 / 12) * 30 = 1,579.29$$

$$E_p = C * D = 0.0036444 * 1,579.29 = 5.76 \text{ gr/l}$$

Si tenemos que el rendimiento de combustible es de 5.4 km/lt en promedio para los vehículos 90 y anteriores, tenemos que  $(5.76 \text{ gr/lt}) / (5.4 \text{ km/lt}) = \mathbf{1.07 \text{ g/km}}$ .

Nota: Es importante aclarar que la conversión de concentración volumétrica a másica no es lineal ya que depende de la concentración de los 4 contaminantes involucrados de acuerdo a la fórmula  $E_p$ .

**Anexo 3.**  
**Estadística descriptiva por estratos tecnológicos**

---

**Índice**

|   |          |
|---|----------|
| <b>1. Estadística descriptiva por estratos tecnológicos .....</b> | <b>2</b> |
| <b>1.1 Estrato vehicular 1980 y anteriores .....</b>              | <b>2</b> |
| <b>1.2 Estrato vehicular 1981-1990 .....</b>                      | <b>4</b> |
| <b>1.3 Estrato vehicular 1991-1992 .....</b>                      | <b>6</b> |
| <b>1.4 Estrato vehicular 1993-1998 .....</b>                      | <b>7</b> |
| <b>1.5 Estrato vehicular 1999 y posteriores.....</b>              | <b>9</b> |

**Índice de tablas y figuras**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Tabla 1. Estadística descriptiva para el estrato 1980 y anteriores.....</b>           | <b>2</b>  |
| <b>Tabla 2. Estadística descriptiva para el estrato 1981-1990.....</b>                   | <b>4</b>  |
| <b>Tabla 3. Estadística descriptiva para el estrato 1991-1992.....</b>                   | <b>6</b>  |
| <b>Tabla 4. Estadística descriptiva para el estrato 1993-1998.....</b>                   | <b>7</b>  |
| <b>Tabla 5. Estadística descriptiva para el estrato 1999 y posteriores.....</b>          | <b>9</b>  |
| <b>Figura 1. Distribución de CO para el estrato 1980 y anteriores.....</b>               | <b>3</b>  |
| <b>Figura 2. Distribución de HC para el estrato 1980 y anteriores.....</b>               | <b>3</b>  |
| <b>Figura 3. Distribución de CO para el estrato 1981-1990.....</b>                       | <b>5</b>  |
| <b>Figura 4. Distribución de HC para el estrato 1981-1990.....</b>                       | <b>5</b>  |
| <b>Figura 5. Distribución de NO<sub>x</sub> para el estrato 1981-1990.....</b>           | <b>6</b>  |
| <b>Figura 6. Distribución de CO para el estrato 1993-1998.....</b>                       | <b>8</b>  |
| <b>Figura 7. Distribución de HC para el estrato 1993-1998.....</b>                       | <b>8</b>  |
| <b>Figura 8. Distribución de CO para el estrato 1999 y posteriores.....</b>              | <b>10</b> |
| <b>Figura 9. Distribución de HC para el estrato 1999 y posteriores.....</b>              | <b>10</b> |
| <b>Figura 10. Distribución de NO<sub>x</sub> para el estrato 1999 y posteriores.....</b> | <b>11</b> |

**Anexo 3.**  
**Estadística descriptiva por estratos tecnológicos**

**1. Estadística descriptiva por estratos tecnológicos**

**1.1 Estrato vehicular 1980 y anteriores**

**Tabla 1. Estadística descriptiva para el estrato 1980 y anteriores.**

|                        |         | CO      | CO <sub>2</sub> | HC       | NOX     | MODELO  |
|------------------------|---------|---------|-----------------|----------|---------|---------|
| N                      | Valid   | 116     | 116             | 116      | 116     | 116     |
|                        | Missing | 0       | 0               | 0        | 0       | 0       |
| Media                  |         | 2.2051  | 13.4261         | 293.11   | 1258.00 | 1976.15 |
| Error std. de la media |         | .2065   | .1467           | 18.47    | 110.15  | .38     |
| Mediana                |         | 1.3750  | 14.0250         | 286.50   | 919.00  | 1977.00 |
| Desviación Std.        |         | 2.2241  | 1.5798          | 198.88   | 1186.36 | 4.15    |
| Variance               |         | 4.9467  | 2.4959          | 39552.97 | 1407441 | 17.19   |
| Skewness               |         | 1.027   | -1.022          | .738     | 1.480   | -1.927  |
| Std. Error of Skewness |         | .225    | .225            | .225     | .225    | .225    |
| Kurtosis               |         | .006    | .014            | .355     | 2.493   | 4.916   |
| Std. Error of Kurtosis |         | .446    | .446            | .446     | .446    | .446    |
| Percentiles            | 10      | .1000   | 10.8140         | 41.40    | 92.70   | 1971.70 |
|                        | 20      | .2940   | 11.8900         | 116.20   | 260.40  | 1973.00 |
|                        | 25      | .3750   | 12.5850         | 144.25   | 380.75  | 1974.25 |
|                        | 30      | .4410   | 12.7530         | 160.60   | 468.70  | 1975.00 |
|                        | 40      | .7880   | 13.4380         | 215.80   | 590.40  | 1976.00 |
|                        | 50      | 1.3750  | 14.0250         | 286.50   | 919.00  | 1977.00 |
|                        | 60      | 2.1700  | 14.3980         | 334.40   | 1224.40 | 1978.00 |
|                        | 70      | 3.1610  | 14.6770         | 361.70   | 1626.80 | 1979.00 |
|                        | 75      | 3.3975  | 14.7300         | 385.75   | 1882.75 | 1979.00 |
|                        | 80      | 4.3840  | 14.7700         | 451.80   | 2107.80 | 1979.60 |
| 90                     | 5.8690  | 14.9530 | 557.10          | 2831.80  | 1980.00 |         |

De la tabla 1 se puede observar que para el caso del estrato vehicular 1980 y anteriores, la media del CO es de 2.2, la del CO<sub>2</sub> es de 13.42, lo que indica baja eficiencia de combustión, la de los HC es de 293 ppm y la de los NOx es de 1,258 con un año modelo promedio de 1976.

La curtosis corresponde a una curva normal para los tres contaminantes, la mediana es muy semejante al promedio (excepto en el CO que es mayor al 50%) y los valores están sesgados a la derecha en poco grado excepto el CO<sub>2</sub> que esta sesgado a la izquierda.

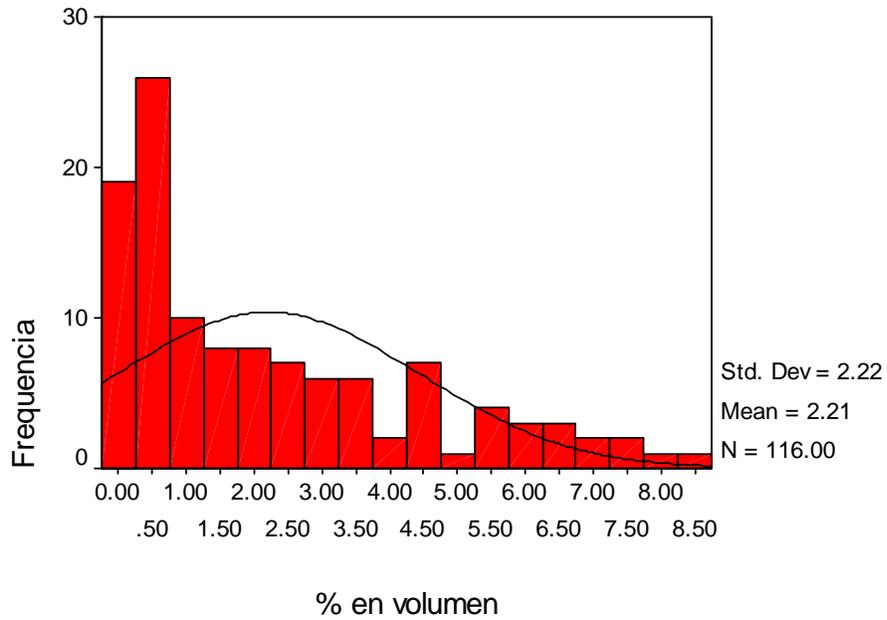
Los niveles de rechazo, como se puede observar en la tabla, serían de 30% para el CO, 40% para HC y 20% para los NOx.

En conclusión el comportamiento de de la distribución de los datos de este estrato es muy cercano a la distribución normal como se puede observar en las figuras 1 y 2.

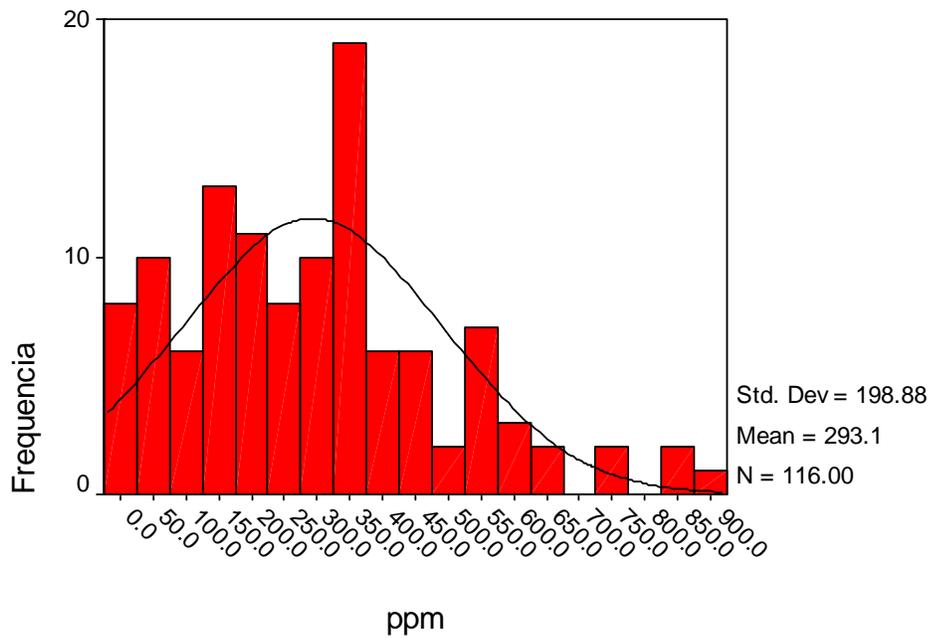
**Anexo 3.**  
**Estadística descriptiva por estratos tecnológicos**

---

**Figura 1. Distribución de CO para el estrato 1980 y anteriores**



**Figura 2. Distribución de HC para el estrato 1980 y anteriores**



**Anexo 3.**  
**Estadística descriptiva por estratos tecnológicos**

---

**1.2 Estrato vehicular 1981-1990**

**Tabla 2. Estadística descriptiva para el estrato 1981-1990**

|                        |         | CO     | CO2       | HC       | NOX     | MODELO  |
|------------------------|---------|--------|-----------|----------|---------|---------|
| N                      | Valid   | 512    | 512       | 512      | 512     | 512     |
|                        | Missing | 0      | 0         | 0        | 0       | 0       |
| Media                  |         | 2.2939 | 13.3565   | 305.27   | 1403.08 | 1986.83 |
| Std. Error of Mean     |         | .1050  | 7.448E-02 | 10.20    | 50.02   | .13     |
| Mediana                |         | 1.5550 | 13.8650   | 264.50   | 1121.00 | 1988.00 |
| Std. Deviation         |         | 2.3765 | 1.6852    | 230.80   | 1131.77 | 3.02    |
| Variance               |         | 5.6478 | 2.8400    | 53269.74 | 1280900 | 9.12    |
| Skewness               |         | 1.378  | -1.394    | 3.452    | 1.111   | -.644   |
| Std. Error of Skewness |         | .108   | .108      | .108     | .108    | .108    |
| Kurtosis               |         | 1.751  | 1.826     | 23.119   | 1.016   | -.903   |
| Std. Error of Kurtosis |         | .215   | .215      | .215     | .215    | .215    |
| Percentiles            | 10      | .1400  | 11.0150   | 89.30    | 209.90  | 1982.00 |
|                        | 20      | .2660  | 12.1000   | 138.00   | 422.20  | 1984.00 |
|                        | 25      | .3425  | 12.4675   | 168.00   | 507.25  | 1985.00 |
|                        | 30      | .4590  | 12.8190   | 193.80   | 585.60  | 1985.00 |
|                        | 40      | .8420  | 13.3880   | 228.00   | 819.80  | 1987.00 |
|                        | 50      | 1.5550 | 13.8650   | 264.50   | 1121.00 | 1988.00 |
|                        | 60      | 2.2560 | 14.3680   | 301.00   | 1454.00 | 1989.00 |
|                        | 70      | 3.0540 | 14.6410   | 350.00   | 1807.20 | 1989.00 |
|                        | 75      | 3.5600 | 14.7375   | 376.00   | 2042.50 | 1990.00 |
|                        | 80      | 4.0800 | 14.7800   | 414.00   | 2314.80 | 1990.00 |
|                        | 90      | 5.6130 | 14.8800   | 546.00   | 3025.10 | 1990.00 |

De la tabla 2 se puede observar que para el estrato 1981-1990, la media del CO es de 2.29%, la del CO<sub>2</sub> es de 13.35% (menor incluso que el anterior estrato, con baja eficiencia de combustión), para HC es de 305 ppm y la de los NOx es de 1,403 ppm.

La curtosis presenta un elevado grado de concentración de datos alrededor de la media para los tres contaminantes y los valores están muy poco sesgados a la derecha excepto el CO<sub>2</sub> que esta sesgado a la izquierda.

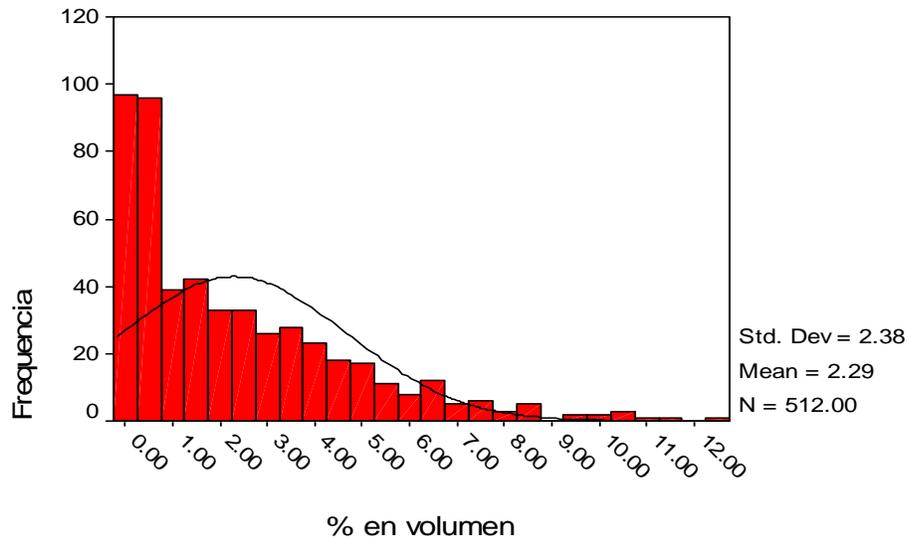
La media del año modelo es de 1986, la mediana de los tres gases contaminantes es parecida a la media y el índice de rechazo sería de 30% para CO, 40% para HC y del 10% para los NOx.

Como se muestra con los datos de curtosis y asimetría así como en las figuras 3 a 5, la distribución de los datos se aproxima en alto grado a la curva normal.

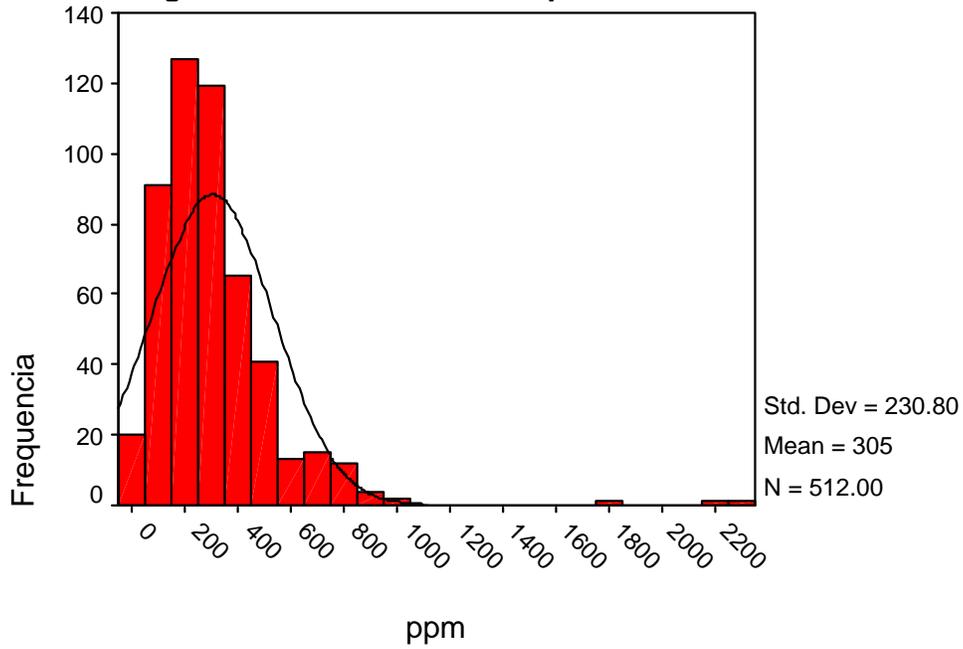
**Anexo 3.**  
**Estadística descriptiva por estratos tecnológicos**

---

**Figura 3. Distribución de CO para el estrato 1981-1990**

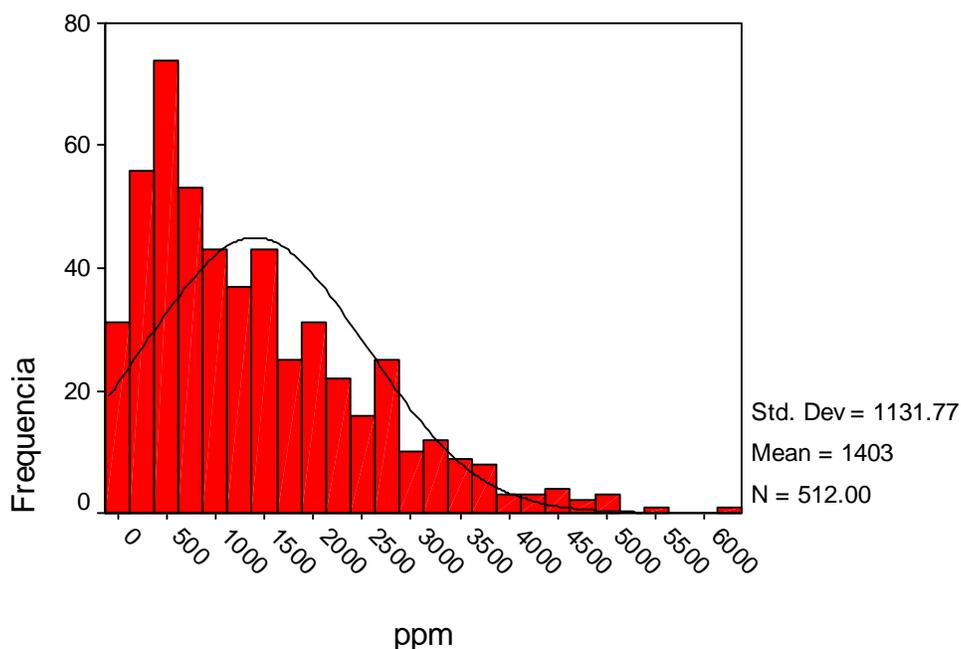


**Figura 4. Distribución de HC para el estrato 1981-1990**



**Anexo 3.**  
**Estadística descriptiva por estratos tecnológicos**

**Figura 5. Distribución de NO<sub>x</sub> para el estrato 1981-1990**



**1.3 Estrato vehicular 1991-1992**

**Tabla 3. Estadística descriptiva para el estrato 1991-1992**

|                        |         | CO        | CO2       | HC        | NOX     | MODELO   |
|------------------------|---------|-----------|-----------|-----------|---------|----------|
| N                      | Valid   | 493       | 493       | 493       | 493     | 493      |
|                        | Missing | 0         | 0         | 0         | 0       | 0        |
| Media                  |         | 1.6961    | 13.7811   | 255.92    | 1557.22 | 1991.56  |
| Std. Error of Mean     |         | 9.268E-02 | 6.572E-02 | 15.50     | 57.06   | 2.24E-02 |
| Mediana                |         | .7500     | 14.4500   | 208.00    | 1216.00 | 1992.00  |
| Std. Deviation         |         | 2.0579    | 1.4592    | 344.07    | 1266.99 | .50      |
| Variancia              |         | 4.2350    | 2.1293    | 118383.44 | 1605255 | .25      |
| Asimetría              |         | 1.585     | -1.594    | 10.509    | .949    | -.242    |
| Std. Error of Skewness |         | .110      | .110      | .110      | .110    | .110     |
| Kurtosis               |         | 1.988     | 2.051     | 144.501   | .354    | -1.949   |
| Std. Error of Kurtosis |         | .220      | .220      | .220      | .220    | .220     |
| Percentiles            | 10      | 7.000E-02 | 11.4060   | 45.40     | 198.20  | 1991.00  |
|                        | 20      | .1780     | 12.8100   | 98.20     | 397.80  | 1991.00  |
|                        | 25      | .2150     | 13.0950   | 119.00    | 494.00  | 1991.00  |
|                        | 30      | .2900     | 13.5320   | 139.00    | 612.00  | 1991.00  |
|                        | 40      | .4700     | 14.1560   | 170.00    | 905.40  | 1991.00  |
|                        | 50      | .7500     | 14.4500   | 208.00    | 1216.00 | 1992.00  |
|                        | 60      | 1.1800    | 14.6440   | 254.00    | 1689.00 | 1992.00  |
|                        | 70      | 2.0480    | 14.7800   | 304.60    | 2128.80 | 1992.00  |
|                        | 75      | 2.6650    | 14.8100   | 332.50    | 2335.00 | 1992.00  |
|                        | 80      | 3.0380    | 14.8500   | 358.00    | 2580.00 | 1992.00  |
| 90                     | 5.0560  | 14.9300   | 447.60    | 3356.80   | 1992.00 |          |

**Anexo 3.**  
**Estadística descriptiva por estratos tecnológicos**

Lo destacable en este estrato es la media de los contaminantes, 1.69% para CO, 14.45 para CO<sub>2</sub> (la eficiencia mejora respecto a estratos anteriores), 255 ppm para HC y 1,557 ppm para Nox. Los porcentajes de rechazo serían de 30% para CO, 40% para HC y de 40% para NO<sub>x</sub>.

**1.4 Estrato vehicular 1993-1998**

**Tabla 4. Estadística descriptiva para el estrato 1993-1998**

|                        |         | CO        | CO2       | HC       | NOX     | MODELO   |
|------------------------|---------|-----------|-----------|----------|---------|----------|
| N                      | Valid   | 2780      | 2780      | 2780     | 2780    | 2780     |
|                        | Missing | 0         | 0         | 0        | 0       | 0        |
| Media                  |         | .7063     | 14.5043   | 145.91   | 1262.35 | 1995.97  |
| Std. Error of Mean     |         | 2.396E-02 | 1.713E-02 | 3.99     | 22.26   | 3.51E-02 |
| Mediana                |         | .2800     | 14.8000   | 94.50    | 888.50  | 1997.00  |
| Std. Deviation         |         | 1.2631    | .9034     | 210.53   | 1173.68 | 1.85     |
| Variancia              |         | 1.5953    | .8161     | 44322.94 | 1377526 | 3.43     |
| Asimetria              |         | 3.959     | -3.925    | 13.001   | 1.137   | -.311    |
| Std. Error of Skewness |         | .046      | .046      | .046     | .046    | .046     |
| Kurtosis               |         | 18.731    | 18.530    | 319.545  | .896    | -1.429   |
| Std. Error of Kurtosis |         | .093      | .093      | .093     | .093    | .093     |
| Percentiles            | 10      | 4.000E-02 | 13.8100   | 17.00    | 107.00  | 1993.00  |
|                        | 20      | 8.000E-02 | 14.3800   | 30.00    | 226.20  | 1994.00  |
|                        | 25      | .1000     | 14.4900   | 38.00    | 286.00  | 1994.00  |
|                        | 30      | .1300     | 14.5800   | 47.00    | 380.30  | 1995.00  |
|                        | 40      | .1900     | 14.7100   | 69.00    | 595.40  | 1995.00  |
|                        | 50      | .2800     | 14.8000   | 94.50    | 888.50  | 1997.00  |
|                        | 60      | .4100     | 14.8700   | 130.00   | 1268.60 | 1997.00  |
|                        | 70      | .5800     | 14.9200   | 170.70   | 1731.70 | 1998.00  |
|                        | 75      | .6900     | 14.9400   | 198.00   | 1961.25 | 1998.00  |
|                        | 80      | .8700     | 14.9600   | 229.80   | 2247.20 | 1998.00  |
|                        | 90      | 1.6690    | 15.0000   | 318.90   | 2967.40 | 1998.00  |

De la tabla 5 se desprende que la media de los vehículos de este estrato es de 0.70% para CO, 14.5% para CO<sub>2</sub> (mejoró la eficiencia), 146 ppm para HC y 1,262 ppm para NOx. Los datos no están muy concentrados alrededor de la media, excepto los NOx, y están sesgados a la derecha de la media con excepción del CO<sub>2</sub>.

El año modelo promedio es 1996, la mediana de las emisiones contaminantes se empieza a comportar por debajo del promedio (casi a la mitad).

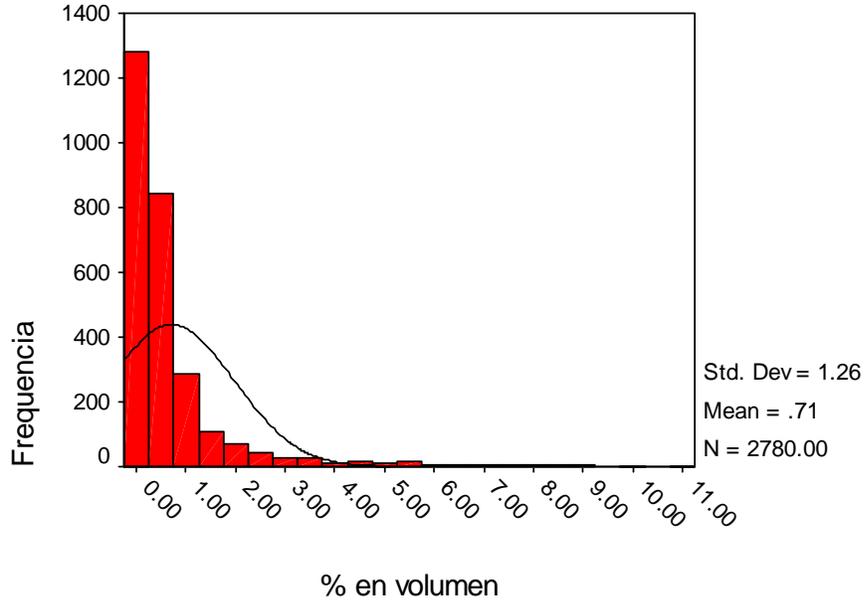
Por último para los vehículos 1993-1994 el índice de rechazo sería del 0%, para el CO, del 20% para HC y del 30% para los NOx; mientras que para los 1995-1998 el índice de rechazo sería del 10% para CO, del 40% para HC y del 40% para los NOx.

**Anexo 3.**  
**Estadística descriptiva por estratos tecnológicos**

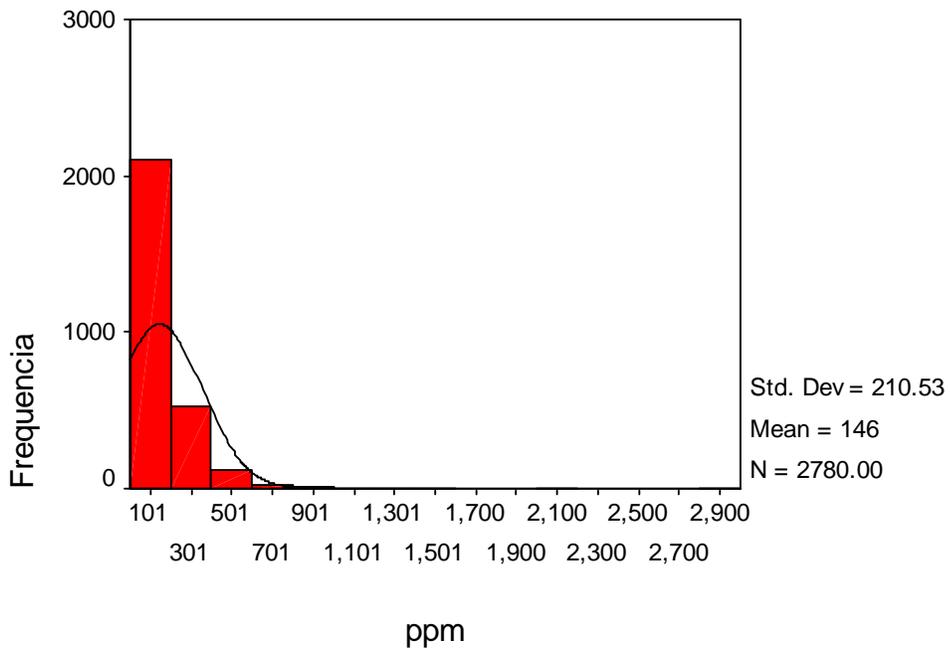
---

De la tabla 5 y de las figuras 6 y 7, se puede observar que los datos se distribuyen en forma normal aunque en menor grado que el estrato vehicular 1980 y anteriores.

**Figura 6. Distribución de CO para el estrato 1993-1998**



**Figura 7. Distribución de HC para el estrato 1993-1998**



**Anexo 3.**  
**Estadística descriptiva por estratos tecnológicos**

---

**1.5 Estrato vehicular 1999 y posteriores**

**Tabla 5. Estadística descriptiva para el estrato 1999 y posteriores**

|                        |         | CO        | CO2       | HC       | NOX       | MODELO   |
|------------------------|---------|-----------|-----------|----------|-----------|----------|
| N                      | Valid   | 5664      | 5664      | 5664     | 5664      | 5664     |
|                        | Missing | 0         | 0         | 0        | 0         | 0        |
| Media                  |         | .3561     | 14.7794   | 80.07    | 646.69    | 2001.38  |
| Std. Error of Mean     |         | 9.003E-03 | 6.536E-03 | 1.61     | 11.91     | 2.23E-02 |
| Mediana                |         | .1300     | 14.9400   | 36.00    | 234.00    | 2001.00  |
| Std. Deviation         |         | .6776     | .4919     | 121.33   | 896.45    | 1.68     |
| Variancia              |         | .4591     | .2420     | 14721.85 | 803617.11 | 2.82     |
| Asimetría              |         | 5.526     | -5.324    | 6.342    | 1.994     | .320     |
| Std. Error of Skewness |         | .033      | .033      | .033     | .033      | .033     |
| Kurtosis               |         | 42.129    | 39.845    | 99.059   | 3.696     | -.799    |
| Std. Error of Kurtosis |         | .065      | .065      | .065     | .065      | .065     |
| Percentiles            | 10      | 2.000E-02 | 14.4100   | 8.00     | 31.00     | 1999.00  |
|                        | 20      | 4.000E-02 | 14.6600   | 14.00    | 64.00     | 2000.00  |
|                        | 25      | 5.000E-02 | 14.7400   | 17.00    | 84.00     | 2000.00  |
|                        | 30      | 6.000E-02 | 14.8000   | 20.00    | 105.00    | 2000.00  |
|                        | 40      | 9.000E-02 | 14.8900   | 27.00    | 158.00    | 2001.00  |
|                        | 50      | .1300     | 14.9400   | 36.00    | 234.00    | 2001.00  |
|                        | 60      | .2100     | 14.9800   | 50.00    | 366.00    | 2002.00  |
|                        | 70      | .3200     | 15.0000   | 74.00    | 600.00    | 2002.00  |
|                        | 75      | .4000     | 15.0100   | 94.00    | 812.75    | 2003.00  |
|                        | 80      | .5000     | 15.0200   | 123.00   | 1108.00   | 2003.00  |
| 90                     | .8400   | 15.0400   | 215.00    | 2044.50  | 2004.00   |          |

De la tabla anterior se puede observar que la media es de 0.35% para CO, 14.7% para CO<sub>2</sub> (muy buena eficiencia), 80 ppm para HC y 647 ppm para NOx. La edad promedio de los vehículos es de 4 años y la mediana es la tercera parte del valor del promedio de los tres contaminantes. Para CO no existiría rechazo, mientras que para HC el rechazo sería del 20% y para NOx sería un poco menos del 20%.

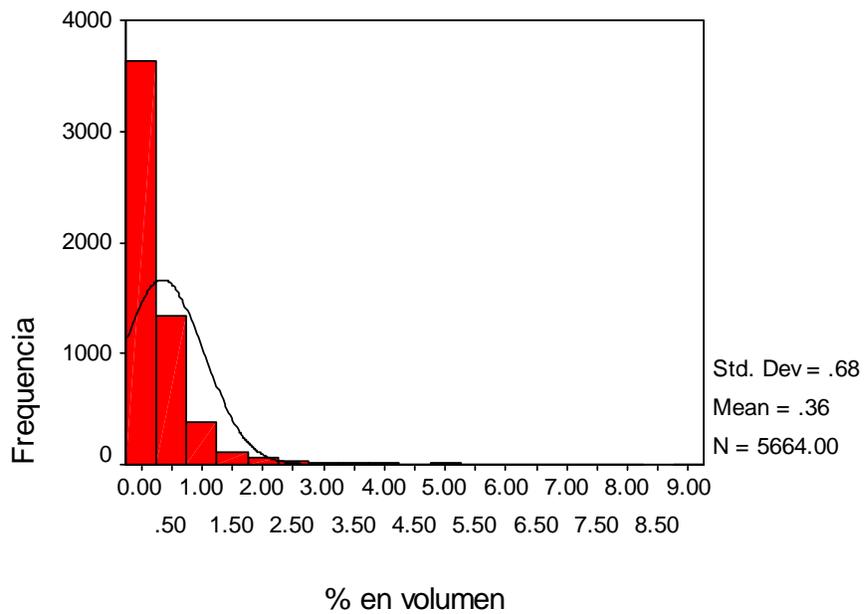
Respecto a la distribución de datos se puede concluir que se encuentran altamente concentrados alrededor de la media, sesgados a la derecha y que el promedio de los tres contaminantes se encuentra en 70 percentil (como se encuentra en la muestra global) lo que confirma que los datos globales están influidos por las características de las emisiones de este estrato vehicular que es el mayor con 5,564 vehículos.

En la figuras 8 a 10 se presentan las distribuciones de los datos para CO, HC y NOx

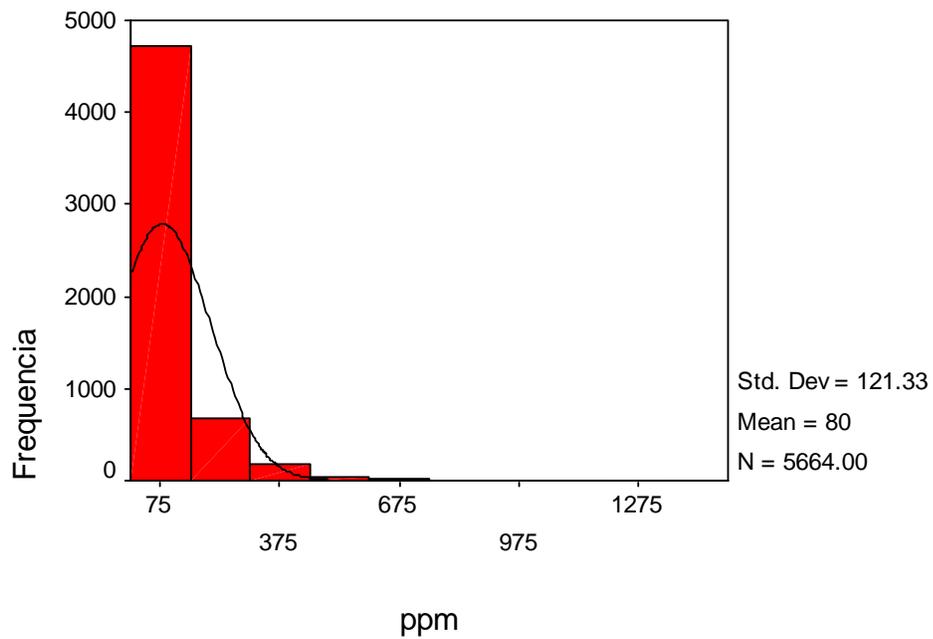
**Anexo 3.**  
**Estadística descriptiva por estratos tecnológicos**

---

**Figura 8. Distribución de CO para el estrato 1999 y posteriores**



**Figura 9. Distribución de HC para el estrato 1999 y posteriores**



Anexo 3.  
Estadística descriptiva por estratos tecnológicos

---

Figura 10. Distribución de NO<sub>x</sub> para el estrato 1999 y posteriores

