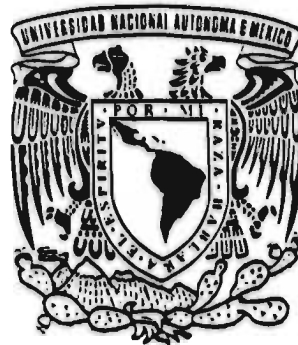


0 1173

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

FACULTAD DE INGENIERÍA



***“PROPUESTA DE UN CICLO DE MANEJO REPRESENTATIVO  
DE LA ZMCM, PARA HOMOLOGAR VEHÍCULOS LIGEROS”***

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**MAESTRO EN INGENIERÍA**  
(ESPECIALIDAD TERMOFLUIDOS)

PRESENTA:

**JOSÉ LUIS RAMÍREZ MELLADO**

DIRECTOR:

**DR. ROGELIO GONZÁLEZ OROPEZA**

MÉXICO, D.F.

1997

**TESIS CON  
SALA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

---

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN. El problema de la contaminación atmosférica en la ZMCM.</b>	1
- El aire y los contaminantes atmosféricos en la ZMCM.	1
- Características geográficas, climatológicas y meteorológicas de la ZMCM.	6
- Propuesta de investigación para un mejor control de la contaminación vehicular.	9
<b>CAPÍTULO I. Combustibles y combustión.</b>	11
- Clasificación y características de los combustibles para los MCIA.	11
- Los combustibles en la ZMCM.	13
- Uso de combustibles en la ZMCM.	17
- El proceso de combustión en MEP y requerimientos de funcionamiento.	19
<b>CAPÍTULO II. Emisiones contaminantes procedentes de MCIA.</b>	25
- Características, procedencia y efectos de las emisiones.	25
- Post-tratamiento de los gases de escape.	35
<b>CAPÍTULO III. El parque vehicular en ZMCM.</b>	43
- Distribución del parque vehicular.	43
- Características de los vehículos.	49
<b>CAPÍTULO IV. Normativa anticontaminante y métodos de evaluación.</b>	54
- Análisis de las normas internacionales de homologación de vehículos ligeros con MEP.	54
- Técnicas de evaluación de emisiones contaminantes en vehículos ligeros con MEP.	60
- Análisis de la Norma Mexicana para homologar vehículos ligeros en México.	64

<b>CAPÍTULO V.</b> Propuesta para el desarrollo del ciclo de manejo urbano para vehículos ligeros.	67
- Estimación de datos técnicos y metodología para determinar las condiciones de circulación en la ZMCM.	67
- Instrumentación e instalación del equipo a bordo del vehículo.	72
- Diseño experimental para el monitoreo de vehículos.	82
- Análisis estadístico y resultados del modelo experimental.	86
<b>CAPÍTULO VI.</b> Propuesta de un ciclo de manejo para homologar vehículos ligeros.	96
- Análisis de recorridos y trayectorias.	96
- Ciclo de manejo representativo de las trayectorias elegidas.	105
- Comparación entre el ciclo FTP-75, R15.04 y el propuesto.	120
- Extensiones del trabajo desarrollado.	121
<b>CONCLUSIONES.</b>	124
<b>ANEXOS.</b>	127
<b>REFERENCIAS.</b>	154

*Esta obra se la dedico a los seres que más quiero, de quienes siempre tendré su apoyo y cariño incondicional, mis padres:*

**NATALIO**

y

**MARGARITA.**

*A mis hermanos:*

**CRISTINA**

**ANGELICA**

**MARGARITA**

y

**GERARDO**

*por su cariño, apoyo y comprensión.*

*A mi abuela y a mi tía:*

**ANGELA**

y

**ALTAGRACIA**

*por estar siempre a mi lado.*

*Gracias a todos ustedes por el amor recibido.*

### ***Agradecimientos.***

- A CONACYT por la beca otorgada para la realización de mis estudios de maestría.
- Al Dr. Rogelio González Oropeza, por su enseñanza e invaluable apoyo en la dirección de la presente tesis.
- Al M. en I. Augusto Villareal y a la M. en I. Francisca Soler de quienes recibí una invaluable asesoría y contribución para la realización de este trabajo.
- Al Departamento de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, por la formación recibida durante estos años.
- A los profesores del Departamento de Mecánica de quienes tuve oportunidad de recibir sus cátedras.
- A Rodrigo, Jesús, José Antonio y Ernesto de quienes recibí un gran apoyo y motivación, compartiendo momentos inolvidables.
- Al Laboratorio de Control de Emisiones de la Facultad de Ingeniería y a todo el personal que lo integra, por las experiencias que he compartido con ellos.
- A los compañeros que han colaborado conmigo en la realización del proyecto: Rafael, Marco Antonio, Leobardo, Guillermo y Lauro.
- A ICA Fluor Daniel por los incentivos otorgados para la impresión de este trabajo.
- A Lorena por sus consejos, apoyo y cariño recibido.
- A Itzel por su cariño y los momentos inolvidables que hemos compartido.
- A Mayolo Salinas y Andrés Gómez de quienes siempre he tenido su confianza y amistad.
- A Alicia Quiroz y Eladio Luna por su cariño y motivación.
- A todos mis amigos y familiares quienes me han alentado para seguir siempre adelante, ofreciéndome su apoyo y amistad.

*Un agradecimiento especial al Ing. Guillermo López Reyes por permitirme ser parte de su familia, por brindarme las puertas de su hogar, y por el cariño incondicional y la confianza que me ha ofrecido durante estos años.*

## INTRODUCCIÓN

### EL PROBLEMA DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN ZMCM.

#### 1. EL AIRE Y LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN LA ZMCM.

Existe una gran dependencia del hombre con la naturaleza. A través del tiempo el hombre ha modificado el medio ambiente, alterando las condiciones iniciales de este y causando grandes daños. La contaminación atmosférica es un fenómeno que daña al medio ambiente, alterando la composición del aire, al grado de afectar la salud del hombre entre otras consecuencias.

La atmósfera terrestre es una mezcla de gases, vapor de agua, partículas sólidas y pequeñas gotas de líquido (Tabla 1). Esta composición evolutiva se remonta a la formación misma del planeta, aproximadamente hace 3.8 mil millones de años.

La contaminación generada por las actividades del hombre sobre la superficie terrestre repercuten directamente en la troposfera donde los contaminantes se mezclan, reaccionan y se transportan. Desde su origen, la atmósfera sufre el efecto de distintas fuentes de contaminación como resultado de distintos procesos químicos, físicos y biológicos. Estas fuentes de contaminación son naturales y antropogénicas<sup>1</sup>. En la Tabla 2 se pueden observar las principales fuentes de contaminantes atmosféricos, en una comparación con la cantidad de emisiones que producen.

La contaminación en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) constituye un hecho cotidiano, que ha tomado gran importancia durante los últimos 40 años, como resultado de un desequilibrio económico, urbano, energético, social y ambiental.

Actualmente, el problema de la contaminación del aire en la ZMCM tiene sus causas principales en las características demográficas, en las actividades fabriles y en las actividades vehiculares, sin hacer a un lado los factores geográficos, climatológicos y meteorológicos que son los que determinan la dinámica de los contaminantes en la atmósfera. Por lo que respecta a las

<sup>1</sup> Referencia 1, pg. 37.

actividades fabriles y vehiculares, la contaminación que generan está en función directa de la cantidad de energéticos consumidos ( gasolina, diesel, combustóleo, gas y otros. ); de la calidad y tipo de combustibles empleados; del tipo, estado y operación de los equipos de combustión y de los procesos industriales, y de las características de la tecnología de control de la combustión.

Cabe recalcar que el principal problema que genera a todos los demás es la enorme explosión demográfica de la ZMCM, en la cual habita cerca de la quinta parte de la población nacional, se genera el 36 % de PIB del país y se consume el 20 % de la energía producida - 44.4 millones de litros de combustible diarios<sup>2</sup> -; además se estima que la tasa anual de crecimiento es

Tabla 1. La composición del aire seco en la parte más baja de la troposfera (libre de vapor de agua).			
	Símbolo Químico	Concentración <sup>a</sup> (porcentaje)	Tiempo de residencia calculado
<b>Gases principales.</b>			
Nitrógeno.	N <sub>2</sub>	73.0	Continuo
Oxígeno.	O <sub>2</sub>	20.9	Continuo
Argón.	Ar	0.93	Continuo
Bióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	0.032 <sup>b</sup>	20 años <sup>c</sup>
<b>Gases raros.</b>			
a) Gases permanentes no reactivos		ppm	
Helio.	He	5.2	Continuo
Neón.	Ne	18.0	Continuo
Criptón	Kr	1.1	Continuo
Xenón.	Xe	0.086	Continuo
Hidrógeno.	H <sub>2</sub>	0.5	¿
Óxido nitroso.	N <sub>2</sub> O	0.25	8 - 10 años
b) Gases reactivos.			
Monóxido de carbono.	CO	0.1	0.2 - 0.3 años
Metano.	CH <sub>4</sub>	1.4	< 2 años
Hidrocarburos, excepto metano.	HC's	0.02	¿
Óxido nítrico.	NO	0.2 a 0.002	2 - 8 días
Dióxido de nitrógeno.	NO <sub>2</sub>	0.5 a 0.004	2 - 8 días
Amoniaco.	NH <sub>3</sub>	6.0 a 0.020	1 - 4 días
Dióxido de azufre.	SO <sub>2</sub>	0.03 a 0.0012	1 - 6 días
Ozono.	O <sub>3</sub>	0 a 0.05	¿
<p><sup>a</sup> Esta es la concentración ambiental atmosférica y no las concentraciones que se encuentran en áreas contaminadas. Cuando se da un rango de concentraciones, éste indica que las midieron distintos trabajadores en diferentes lugares.</p> <p><sup>b</sup> Concentración mínima de CO<sub>2</sub>, medida lejos de centros de población. En centros de población las concentraciones de CO<sub>2</sub> varían desde aproximadamente 0.034 hasta 0.035 %.</p> <p><sup>c</sup> Para la fotosíntesis. El tiempo de intercambio con el océano profundo es del orden de siglos.</p> <p><sup>¿</sup> Indica que se conoce poco acerca del tiempo de residencia del gas.</p>			

FUENTE: Strauss W. y Mainwaring, : Contaminación del Aire; Trillas: México; 1990: pg. 10.



de 1.4 % anual. Esta situación conduce a grandes desplazamientos de la población y a una gran demanda de bienes y servicios, que arrastra una planta industrial considerable. Las emisiones atmosféricas en la ZMCM generadas por la planta industrial de cerca de 30 000 industrias, que representan el 25 % del total del país, y de una planta vehicular de casi 3 000 000 de vehículos tienen una tendencia creciente, pero se ha logrado mantener en un nivel fijo, a partir de la aplicación de diversos programas anticontaminantes, aunque no deja de ser considerable (Figura F1.1)

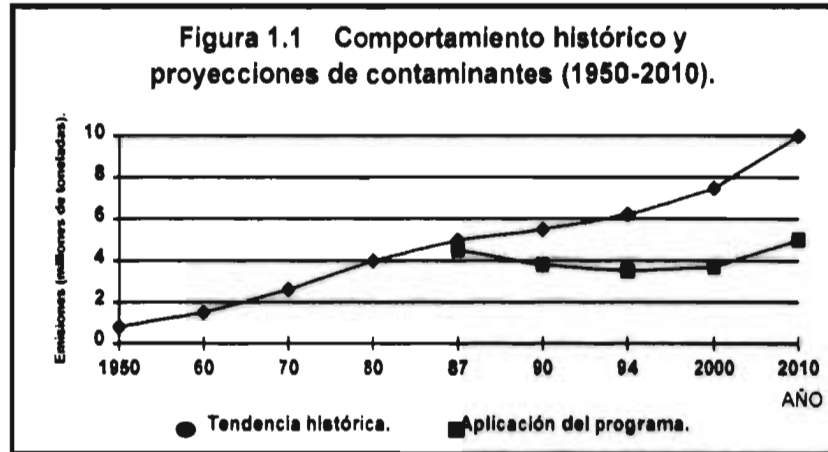
Tabla 2. Las fuentes contaminantes del aire				
Gas	Principales fuentes contaminantes		Cantidad ( $\times 10^6$ toneladas por año)	
	Antropogénicas	Naturales	Contaminación	Natural
Dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ )	Combustión de carbón y petróleo, cocido de materiales sulfurados.	Volcanes.	146	6 - 12
Ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ )	Procesos químicos, tratamientos de aguas negras.	Volcanes, acciones biológicas en pantanos.	3	30 - 100
Monóxido de carbono (CO)	Combustión, principalmente escapes de automóviles.	Reacciones de terpenos en incendios forestales.	300	> 3000
Óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ )	Combustión.	Acción bacteriana en suelos.	50*	60 - 270*
Amoníaco ( $\text{NH}_3$ )	Tratamientos de desechos.	Descomposición biológica.	4	100 - 200
Óxido nítrico ( $\text{N}_2\text{O}$ )	En forma directa por el uso de fertilizantes nitrogenados.	Acción biológica en suelos.	> 17	100 - 450
Hidrocarburos (HC's)	Combustión, escapes, procesos químicos.	Procesos biológicos	88	CH <sub>4</sub> : 300 - 1600, terpenos: 200
Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ )	Combustión biológica, liberación desde el océano.	Descomposición.	$1.5 \times 10^4$	$15 \times 10^4$

\* Expresado en toneladas de  $\text{NO}_2$

FUENTE: Strauss, W. y Mainwaring ; Contaminación del Aire ; Trillas; México; 1990: pg. 10.

Los principales contaminantes atmosféricos en la ZMCM son:  $\text{SO}_3$  , CO, NO,  $\text{NO}_2$  ,  $\text{O}_3$ , HC, partículas totales suspendidas y algunos metales como el Pb.

**Óxidos de azufre.** El  $\text{SO}_2$  se emite en cantidades mayores que el  $\text{SO}_3$  y son productos del diesel y combustible. De la aportación total de este contaminante el 97 % es industrial y el 3 %



FUENTE: D.D.F., 1991.

por emisión de vehículos a diesel. Es causante de problemas respiratorios, de malos olores y además participa en la formación del esmog y de la lluvia ácida.

**Óxidos de nitrógeno.** Predomina el NO y NO<sub>2</sub> y son producto de la combustión automotriz aportando un 62 % del total del contaminante. El 38 % es aportado por la industria. Son gases incoloros e inodoros. Participan en la formación del smog (o ozono) y en las lluvias ácidas, además es tóxico, en particular el NO<sub>2</sub> causa problemas respiratorios, tos y dolor de cabeza.

**Monóxido de carbono.** EL CO es el principal contaminante de las grandes ciudades, y es producto de la combustión incompleta de vehículos, aportando el 98.5 % del total. El 1.5 % es emitido por la industria. Es un gas incoloro, inodoro y más pesado que el aire, además resulta ser tóxico -en un 0.3 % de volumen en el aire, es mortal en 30 segundos- y a dosis elevadas puede producir problemas sensoriales.

**O<sub>3</sub>** . El O<sub>3</sub> se debe a la acción fotoquímica de la radiación solar, y a las reacciones de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno.

**Hidrocarburos.** Son emitidos por la mala combustión en automóviles, por evaporación de combustibles y disolventes industriales. Los automóviles aportan cerca del 69 % del total, el 31 % es aportado por la industria. Algunos contribuyen a la formación de ozono y otros son sospechosos de ser cancerígenos como son los aromáticos policíclicos (PAH), presentes en la gasolina con plomo, y sus derivados nitratos (NPAH), presentes en las emisiones de motores diesel.

**Partículas suspendidas.** Incluyen núcleos de plomo, agua, carbón, ceniza, silicatos, óxidos de azufre, metales, óxidos metálicos. Sus fuentes emisoras son erupciones volcánicas, tolveneras, procesos de combustión de carbón, de petróleo y derivados, fundiciones de metales y humos de tabaco. Son sospechosos de ser cancerígenos en la misma medida que los PAH y NPAH.

**Plomo.** El Pb proviene principalmente del tetraetilo de plomo de las gasolinas, así como de la manufactura de baterías, tanques, cisternas esmaltes insecticidas, etc., donde se generan emisiones directas. Este contaminante ataca el sistema nervioso y en los niños puede perturbar su desarrollo intelectual.

Se calcula que entre el 75 - 85 % de los contaminantes atmosféricos de la ZMCM es producido por los autos, el 10 % por las industrias y el 5 % por tolveneras y desechos orgánicos<sup>3</sup>.

El nivel de emisiones contaminantes en la ZMCM reportado para 1994 por la Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en el Valle de México (CMPCCAVM) ha mostrado un decremento notable en comparación con años anteriores<sup>4</sup>.

Los altos niveles de contaminación en la ZMCM en los últimos años han alarmado a la población provocando reacciones públicas y demandas sociales. A consecuencia de esto surgió la necesidad de establecer parámetros indicativos de la calidad del aire (Índice de calidad), como una base científica para relacionar los efectos potenciales, principalmente, en materia de salud, vegetación y materiales. El primer índice de calidad aplicado en la ZMCM a finales de 1960 fue el IMEXCA<sup>5</sup> que fue una mala copia del índice PSI<sup>5</sup> de los Estados Unidos; situación que reflejó un índice carente de bases científicas y de ética ambiental. Una falla notoria fue la incongruencia establecida al fijar los puntos de quiebre sin considerar los efectos esperados para una población a 2240 m. sobre el nivel del mar.

Actualmente, en la ZMCM se emplea el Índice Metropolitano de Calidad de Aire (IMECA), con el que se corrigen los errores del índice anterior, indicando el grado de contaminación de la atmósfera en una gama de 0 a 500 puntos. La tabla AI del Anexo A, muestra los efectos y recomendaciones, según los niveles de IMECAS. Los últimos criterios de calidad del aire para la ZMCM que se tiene actualmente son desde 1985 (Tabla 3)<sup>6</sup>. Estos criterios representan el punto de quiebre del IMECA y se fijan a partir de estudios epidemiológicos y experimentales. Además permiten regular las actividades industriales y de servicios.

3 Referencia 1, pg. 70.    4 Referencia 7, pgs. 33-37.    5 IMEXCA - Índice Mexicano de la Calidad del Aire. PSI - Pollution Standar Index.    6 Referencia 2, pg. 83.

Tabla 3. Criterios de Calidad del Aire.

Contaminante	Concentración *		Tiempo de muestreo	IMECA 500
	$\mu\text{g}/\text{cm}^3$	ppm		
Partículas en suspensión.	275	-	24 h.	1000 **
Monóxido de carbono.	14872	13	8 h.	50 ppm
Dióxido de azufre.	340	0.13	24 h.	1 ppm
Dióxido de nitrógeno.	395	0.21	1 h.	2 ppm
Ozono	216	0.11	1 h.	0.6 ppm
Plomo (recomendable)	1.5	-	3 meses	-

\* Correspondiente a IMECA 100.

\*\* Unidades en  $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ 

FUENTE: Reyes. 1990.

## 2. CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS, CLIMATOLÓGICAS Y METEOROLÓGICAS DE LA ZMCM.

La ZMCM esta situada a  $19^{\circ}$  lat. N y long. W  $98^{\circ} 15'$ , a una altura de 2240 m. snm. en el sur y a 2390 m. snm. en el norte, rodeado por cadenas montañosas; estas definiciones geográficas determinan que sus características climáticas y topográficas sean un caso único.

Las montañas que rodean la cuenca en su mayoría superan los 3000 m de altura en el sur y 2800 en el norte; sobresalen como límites el Popocatepelt de 5483 m y el Iztaccíhuatl de 5826 m. Su límite sur lo forman las sierras de Chichinautzin y del Ajusco, por el suroeste las Sierras de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo, al noroeste la Sierra de Tepotzotlán y de Tezontlalpan, cerrando al norte con la Sierra de Pachuca; por el noreste la Sierra de Chichucuautila, al este la Sierra del Tepozán y Calpulalpan, cerrando la cuenca, finalmente, con la Sierra de Río Frío y la Sierra Nevada<sup>7</sup>. Además dentro de la cuenca se encuentra la Sierra de Santa Catarina al este de la ZMCM, al norte y noroeste la Sierra de Guadalupe, de Patlachique y de las Pitahayas, y algunas otras elevaciones como el Cerro del Peñón de los Baños, el Peñón del Marqués, el Xihuingo, el Gordo y el de la Estrella.

Esta topografía impide la circulación del viento y la ventilación del valle, impidiendo la dispersión de los contaminantes y favoreciendo la formación de ozono.

Políticamente, la cuenca de México está integrada por el Distrito Federal y parte de los estados de México, Hidalgo, Tlaxcala y Puebla; geológicamente, se encuentra en el Eje Volcánico

<sup>7</sup> Referencia 1, pg. 63 (Ceballos y Galindo. 1984; Álvarez. 1985).

Transversal.

El clima en la Cuenca de México presenta cuatro tipos: semiseco, templado subhúmedo, frío y muy frío, que varían con la altitud y orientación. Por su variedad topográfica prevalecen lluvias de tipo orográfico.

En épocas de secas (de noviembre a abril), las condiciones anticiclónicas determinan cielos despejados y días soleados; en épocas de lluvia (de mayo a octubre), el cielo está nublado desde el medio día hasta la noche (sistema de vientos alisios). Por su altitud intervienen algunas características de las zonas templada y fría como la disminución de la temperatura, los vientos altos y secos del oeste en invierno, y el calentamiento intenso del aire en verano, originando movimientos convectivos. La parte más cálida del año es al final de la época de secas (de marzo a mediados de mayo) cuando las temperaturas altas son superiores a los 30 °C.

En la ZMCM, rodeada de montañas, predominan los vientos del noroeste-noreste y propician una alta incidencia de calma e inversiones térmicas todo el año. El número de días despejados está entre 100 - 200 al año y la incidencia de radiación solar es de entre 450 y 475 cal/cm<sup>2</sup>/día<sup>8</sup>.

Climatológicamente el noreste de la ciudad, en épocas de secas, tiene características semiáridas debido a la erosión que causa el viento sobre el lecho arcilloso del ex-lago de Texcoco, presentándose tolvaneras. La falta de vegetación en esta área facilita la absorción de energía solar, elevándose la temperatura notablemente en días soleados.

El gran crecimiento de la ZMCM, por su compacta masa de casas, edificios, pavimentos, calles, fábricas, vehículos y habitantes, así como la contaminación que generan las diversas actividades humanas, modifican considerablemente la conformación natural del paisaje, y consecuentemente alteran los factores del clima como: la temperatura, humedad, radiación solar, precipitación pluvial y velocidad del viento<sup>9</sup>. Estas alteraciones presentan una gran variabilidad meteorológica, y se deben básicamente a los materiales de construcción, a la reflexión de estos mismos, a la generación de calor, a la precipitación pluvial y a las características de la atmósfera.

En la ZMCM la radiación solar se ha reducido de 15 a 20 % debido a los aerosoles generados por las actividades humanas y los meses más críticos son mayo y diciembre<sup>9</sup>.

<sup>8</sup> Referencia 1. pg.65 (Bravo y Torres, 1985; Bravo, 1991).    <sup>9</sup> Referencia 1. pg. 79.

El exceso de temperatura en la ZMCM se debe al calor generado por las actividades humanas y a la gran concentración de contaminantes atmosféricos que no permiten su rápida evacuación. Esta concentración de calor recibe el nombre de Isla de Calor, y es un fenómeno nocturno de la época de secas, que se genera porque la ZMCM está rodeada de montañas. De acuerdo a las leyes de la termodinámica, las islas de calor urbanas generan corrientes térmicas verticales sobre las ciudades, debido a esto los contaminantes de las zonas aledañas a la ciudad y de la misma tienden hacia el centro de la isla de calor. Durante la noche las capas más cercanas al suelo se enfrían y quedan atrapadas por debajo de una capa de aire caliente, esta estratificación estable de la atmósfera urbana es conocida como inversión térmica, debido a que el perfil térmico se invierte con respecto a un día soleado.

La humedad, por otra parte, origina un fenómeno inverso al que ocurre con la isla de calor. En la ZMCM la humedad tiene una variación inestable. En épocas de lluvia se incrementa notablemente por la evaporación provocada por las grandes superficies pavimentadas, sin que exista evapotranspiración considerable, y además reduce la frecuencia del fenómeno de la inversión térmica. Sin embargo, como consecuencia en épocas de secas, la isla de calor de la ZMCM consume la humedad normal facilitando la inversión térmica.

En la ZMCM existen dos regímenes de vientos: la corriente del oeste prevaeciente de abril a noviembre, y la corriente de vientos húmedos prevaeciente en la época de lluvia de mayo a octubre. El cambio estacional de estos dos sistemas de circulación determinan la humedad y la precipitación pluvial. Las velocidades del viento, en épocas de secas, son menores a las de los alrededores como resultado de la turbulencia regional y a la rugosidad de la superficie urbana. Los vientos locales son vientos de montañas y valles que fluyen hacia la ciudad durante la noche, arrastrando los contaminantes que por su elevada concentración se acumulan en la parte más baja propiciando el fenómeno de inversión térmica, principalmente en épocas de secas.

Una característica meteorológica inducida por las grandes poblaciones es el aumento de lluvia (Isla de lluvia), y se debe al aumento de la turbulencia del aire por la rugosidad de la superficie urbana, a que la ciudad proporciona abundantes núcleos de condensación y de congelación, y a la convergencia de la circulación inducida por la isla de calor que favorece el desarrollo de tormentas sobre la ciudad. En la ZMCM las lluvias ocurren con mayor frecuencia entre mayo y octubre, y son intensas durante las tardes y las noches, debido a las corrientes verticales adicionales originadas por el calentamiento de las superficies.

### **3. PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN PARA UN MEJOR CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN VEHICULAR.**

Para entender mejor la influencia de la contaminación atmosférica en el ser humano, concretamente en el aparato respiratorio, es necesario comprender la importancia que tiene el aire para el organismo. El intercambio de CO<sub>2</sub> de desecho generado por el metabolismo del organismo y el oxígeno de aprovisionamiento necesario para los tejidos, debe producirse continuamente, noche y día, para permitir la continuación de la vida. Un adulto requiere aproximadamente 14 kg. de aire cada día; y sólo necesita un poco más de 1 kg. de alimento y 2 kg. de agua. Sin embargo se estima que el ser humano puede vivir cuatro a cinco semanas sin comida, casi cinco días sin agua, pero no alcanza a vivir cinco minutos sin aire.

Todos los argumentos que se han mencionado describen el gran problema de la contaminación atmosférica en la ZMCM. Con la aplicación de las 41 medidas del Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica, los contaminantes más peligrosos se han mantenido dentro de las normas de la calidad del aire<sup>10</sup>. Cabe recalcar que las emisiones contaminantes producidas por el parque vehicular son de gran importancia, ya que representan el mayor porcentaje de todas las fuentes de contaminación.

El control de emisiones contaminantes vehiculares en la ZMCM, hasta el momento se ha mantenido en un nivel estable, gracias al programa de verificación vehicular y al programa "hoy no circula". Pero esto no representa un control fiable ya que no se cuenta con las suficientes bases científicas, en las que se puedan apoyar estos programas.

En los siguientes capítulos se tratan aquellos factores involucrados en el problema de emisiones contaminantes vehiculares, como son los combustibles de la ZMCM y su uso, el proceso de combustión en motores de encendido provocado (MEP) y las emisiones procedentes de este proceso, el postratamiento de los gases de escape, y la distribución y características del parque vehicular, con el objeto de establecer las fuentes, causas y características de las emisiones provenientes de los vehículos. Así mismo se presenta un análisis breve de las normas internacionales y mexicanas que regulan los niveles de emisión.

<sup>10</sup> Referencia 7, pg. 27.

El objetivo específico de esta Tesis es dar una propuesta de desarrollo de un ciclo de manejo representativo de la ZMCM, para la homologación de vehículos ligeros con MEP, considerando las características geográficas, climatológicas y meteorológicas; esto con el fin de proporcionar un soporte para realizar pruebas más reales de las emisiones contaminantes provenientes de vehículos y establecer una comparación con los niveles legislados en la ZMCM.

Para alcanzar este objetivo, ha requerido de una extensa recopilación bibliográfica de trabajos similares al que se persigue, así como de visitas a diferentes compañías e instituciones que realizan pruebas de este tipo.

La propuesta de desarrollo que se plantea, permitiría asegurar los niveles críticos de emisiones contaminantes en un rango más confiable, que se puede traducir en un mejor control de la contaminación atmosférica en la ZMCM.



## CAPÍTULO I

### COMBUSTIBLES Y COMBUSTIÓN

#### I.1 CLASIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS COMBUSTIBLES PARA LOS MCIA.

Los combustibles como elemento principal en los procesos de combustión presentan una gran importancia en los niveles de emisiones contaminantes. El combustible durante la combustión se somete a un proceso de oxidación debido al aire, el cual aporta su contenido de oxígeno como oxidante, a través de una fuerte reacción exotérmica.

Una clasificación de los combustibles de acuerdo a su estado de agregación se muestra en la Tabla I.1, así como unas de sus características generales. Los motores de combustión interna alternativos (MCIA) del pasado utilizaban combustibles líquidos principalmente, pero en la

Tabla I.1. Clasificación de Combustibles por su estado de agregación <sup>1</sup> .			
	Estado	Producto	Características
	Gaseosos	Gas natural, GLP, etc.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Útiles en motores estacionarios.</li> <li>- Se obtiene buena formación de mezcla.</li> <li>- Se pueden quemar mezclas más pobres.</li> <li>- Sus gases de escape no son tan contaminantes</li> </ul>
Combustibles	Líquidos	Gasolina, Diesel, Combustóleo, Etanol, etc.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Útiles en MCIA.</li> <li>- Generan mayor cantidad de energía por unidad de volumen.</li> <li>- Fácil y seguro manejo, almacenamiento y transporte.</li> <li>- Proceden en un 99 % de la destilación del petróleo.</li> <li>- Son una mezcla de diversos HC's</li> </ul>
	Sólidos	Carbón pulverizado, Carbón de hulla, Leña.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Útiles principalmente en calderas u hornos.</li> <li>- Se ensayan actualmente mezclas de combustibles líquidos con carbón pulverizado en motores diesel.</li> </ul>

<sup>1</sup> Referencia 13, pg. 231.

actualidad se ha dado gran desarrollo en la utilización de combustibles alternativos, como son el gas natural (GN) y el gas licuado de petróleo (GLP), para la automoción de vehículos de transporte y repartidores que circulan en las grandes ciudades, como una medida para disminuir la contaminación atmosférica.

#### **Estructura molecular de los HC's.**

Los combustibles para MCI A en su mayoría, son derivados del petróleo, y están compuestos de una mezcla de sustancias de tipo orgánico formadas por diversos hidrocarburos, con ciertas concentraciones de azufre y otras impurezas. La estructura molecular de los hidrocarburos se clasifica básicamente en hidrocarburos de cadena abierta y de cadena cerrada, y a partir de esto se definen diversas compuestos de acuerdo al tipo de enlace y ramificaciones (Tabla AII, Anexo A).

#### **Procesos de obtención de combustibles líquidos.**

Los combustibles derivados del petróleo se obtienen a partir de un proceso de refinación. Dicha refinación consiste de varios procesos, tales como destilación, craqueo, polimerización, reformado, hidrogenación, alquilación e hidrosulfuración entre los principales. Las características de estos procesos se resumen en la Tabla AIII del Anexo A.

Los productos obtenidos por cualquiera de estos procesos no se caracterizan por un alto grado de pureza, por lo que para eliminar los residuos arrastrados por los vapores, los líquidos destilados deben pasar por una fase de conversión y refinado para obtener un producto final. En este proceso, a la gasolina se le añaden una serie de aditivos antidetonantes y colorantes.

La gasolina es una mezcla compleja de hidrocarburos que destila dentro de un intervalo aproximado de 20-30 a 200 °C. Las gasolinas comerciales son, en general, mezcla de gasolinas de destilación directa, de desintegración, reformadas y naturales<sup>2</sup>, formuladas para obtener las características deseadas cuando se queman en los motores de los vehículos.

La gasolina y el diesel no se especifican en una estricta fórmula de composición a causa de la diversidad de moléculas que la integran, así como también por las compañías y regiones geográficas donde se producen, sin embargo deben cumplir con ciertas especificaciones, respecto a las siguientes características: poder calorífico, volatilidad, presión de vapor, inflamabilidad, calor latente de vaporización, densidad y comportamiento respecto a la combustión (número de octano, número de cetano), entre otros.

<sup>2</sup> Referencia 16, pgs. 7-15.

En las Tablas AIV a AVIII del Anexo A, se especifican las exigencias mínimas de las gasolinas y del diesel, de acuerdo a las normas DIN y ASTM<sup>3</sup>.

Al tiempo que se busca la obtención del combustible más adecuado para un determinado motor, considerando las características anteriores, es preciso añadir otras sustancias que mejoren aún más su calidad. Estas sustancias son llamadas **Aditivos**. Por ejemplo, los *componentes fenolíticos* ayudan a elevar la estabilidad al almacenamiento cuando hay componentes de craqueo - protección contra el envejecimiento -, las *sustancias detergentes* impiden se depositen impurezas resinosas en el cárter y en el escape, las *sustancias anticorrosivas* desplazan las películas de agua arrastradas por el combustible, que pueden causar corrosión, y en el caso del diesel, los *polimeros mejoradores de la fluidez* que impiden el crecimiento de los cristales, al ser de tamaño microscópico pueden pasar por el filtro, dependiendo de la constitución estructural del combustible.

En la Tabla I.2 se muestran algunas propiedades de los principales combustibles utilizados en los MCIA.

Tabla I.2. Propiedades de los Combustibles Usuales <sup>4</sup> .							
Combustible	Masa molecular kg/kmol	Densidad (liq. 15 °C) kg/dm <sup>3</sup>	Temperatura vaporización a 1 bar °C	Poder Calorífico kJ/kg	Fracciones más- cas principales % peso	Limite de inflamabi- lidad Fr	Dosado estequio- métrico.
Gasolina (super)	≈ 98	0.72 - 0.77	30 - 210	43 700	86C, 14H	0.7 - 2.5	1/14.9
Gasolina (normal)	≈ 98	0.71 - 0.75	30 - 210	43 700	86C, 14H	0.7 - 2.5	1/14.9
Diesel auto	≈ 170	0.81 - 0.84	170 - 370	43 200	86C, 13H, O, 5S	0.74 - 2.1	1/14.5
Diesel pesado	≈ 198	≈ 0.95	175 - 450	41 000	85C, 14H, 1S	0.74 - 2.1	1/14.6
GLP	≈ 51	0.54	-30	45 900	82.2C, 17.7H	0.6 - 2.5	1/15.5
Metanol	32	0.79	65	19 700	38C, 12H, 50O	0.5 - 2.9	1/6.4
Etanol	46	0.79	78	26 800	52C, 13H, 35O	0.5 - 2.9	1/9

## I.2 LOS COMBUSTIBLES EN LA ZMCM.

Los combustibles como elemento principal en los procesos de combustión presentan una importancia enorme en los niveles de emisiones contaminantes, tal que el mayor índice de emisión

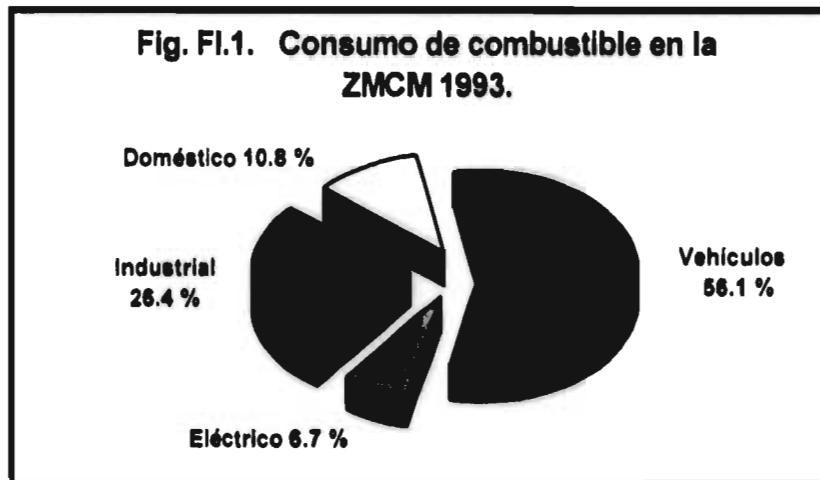
3 DIN - Dirección Internacional de Normas. ASTM - American Society for Testing Materials. 4 Referencia 11. pgs. 294-301.

se da en los procesos de combustión interna, como se ve en el siguiente capítulo.

En la ZMCM se estima que se consumen alrededor de 44.4 millones de litros diariamente de combustibles derivados del petróleo, y más de 50 % de éstos se utilizan en los vehículos. La distribución del consumo de combustibles en la ZMCM se muestra en la Figura FI.1.

La comercialización de combustibles permite generar bienestar social, empleos, transporte, servicios, energía y otras comodidades, sin embargo la combustión de éstos generan aproximadamente el 95 % de las emisiones contaminantes totales en la ZMCM.

Es claro que el consumo de combustible representa un consumo energético que, entre otras cosas, repercute fuertemente en la economía nacional. En relación a esto en la Tabla I.3 se muestran los consumos energéticos por tipo de combustible, en la ZMCM durante 1990, donde se puede apreciar que las gasolinas presentan el mayor valor.



FUENTE: CMPCCAVM, 1994.

Actualmente en la ZMCM, los vehículos usan como combustible, gasolina Premium, gasolina Magna Sin, diesel Sin y gas licuado de petróleo. De acuerdo a datos publicados por la CMPCCVM, el consumo de estos combustibles continúa en aumento, con un incremento en el consumo promedio anual del 5.3 %, según lo estimado durante 1986 y 1993. En el caso de las

gasolinas, en los últimos cuatro años el consumo promedio diario se elevó 22 %, al pasar de 15.4 millones de litros diarios en 1989 a 19.0 millones a fines de 1993<sup>5</sup>.

Combustible	10 <sup>12</sup> kcal
Gasolinas	50.1
Diesel	15.0
Gas natural	19.7
Gasóleo	7.3
Gas natural (sector eléctrico)	12.4
Gas licuado	21.2
Electricidad	28.4
Turbosina	5.4
Total	159.5

FUENTE: PEMEX, CFE.

Los principales factores que determinan el consumo de combustible, específicamente de gasolina, son el número de vehículos en circulación y el ingreso disponible de la población.

Los combustibles de la ZMCM, elaborados por Petróleos Mexicanos (PEMEX), contienen una gama de hidrocarburos con diferentes puntos de ebullición, temperatura de ignición y características de combustión propias para las condiciones geográficas de la ciudad, de acuerdo a sus especificaciones. En las Tablas AIX a AXIII del Anexo A se muestran las especificaciones más recientes de los principales combustibles para vehículos. Es importante señalar que algunas características de los combustibles, principalmente de las gasolina, varían en su especificación según la región de la República Mexicana donde se distribuye, tal como se puede observar en la gasolina Magna Sin ZMVM y la gasolina Magna Sin ZFN<sup>6</sup>.

Hasta antes de 1985 la gasolina más comercializada era la Nova Plus, en comparación con la Nova que tenía un contenido mayor de plomo, y fue puesta en el mercado nacional como una primera medida para eliminar las emisiones contaminantes -específicamente plomo- de los vehículos que circulaban en la ZMCM y otras ciudades con problemas serios de calidad del aire, sin

<sup>5</sup> Referencia 9; pg. 2-2, y referencia 7; pg. 28.

<sup>6</sup> ZMVM - Zona Metropolitana y Valle de México, ZFN - Zona Fronteriza Norte.

embargo los niveles de contaminación registrados mostraron que no era suficiente el beneficio que se obtenía con esta gasolina.

La necesidad de reducir las emisiones contaminantes por el uso de combustibles, particularmente en vehículos a gasolina, promovió por parte de PEMEX, el desarrollo e introducción de una gasolina Magna Sin con niveles casi nulos de plomo, permitiendo una contaminación máxima permisible de plomo en el sistema de distribución de 0.01 gramos por galón (Tabla AIX, Anexo A).

La gasolina Nova Plus, representa el mayor consumo por ser usada en una gran cantidad de vehículos anteriores a 1989 que aún circulan en la ciudad, aunque este consumo ha venido disminuyendo en los últimos años conforme ha sido sustituida por la gasolina Magna Sin. A tal demanda, PEMEX ha logrado disminuir su contenido de plomo en un 92 % en los últimos siete años, pasando de 0.89 a 0.07 gramos de plomo por litro (0.26 g/gal.).

Para compensar la deficiencia de oxígeno en la atmósfera de la ZMCM y permitir una combustión más completa en los vehículos, PEMEX ha introducido la Gasolina Nova Plus y Magna Sin con MTBE (Éter Metil Terbutílico en 5 %) <sup>7</sup> desde 1989. Las gasolinas oxigenadas permiten reducir las emisiones de monóxido de carbono en un 15 % y de hidrocarburos en un 12 %, sin incrementar las de óxidos de nitrógeno. Así también, se ha recomendado una presión de vapor de 7.3 lb/pulg<sup>2</sup> (0.514 Kg/cm<sup>2</sup>) para evitar evaporaciones por la altura de la ZMCM y por las temperaturas que se alcanzan durante el día.

PEMEX, a partir de diciembre de 1992, adoptó especificaciones más estrictas para reducir el contenido de compuestos reactivos, alcanzando niveles similares a los de las gasolinas de E.U.. Esto ha permitido reducir las emisiones de hidrocarburos reactivos y la formación de ozono. La Tabla I.4 muestra la comparación en cuanto a algunos compuestos de las gasolinas de México y E.U.

En 1993 PEMEX introdujo el Diesel Sin, con un contenido máximo de 0.05 % en peso de azufre y menos de 30 % en volumen de compuestos aromáticos (Tabla AXII). Estas especificaciones han reducido las emisiones de SO<sub>2</sub> y partículas en los vehículos con motor encendido por compresión, al mismo tiempo que han permitido controlar las emisiones de hidrocarburos reactivos. El contenido de azufre es el más bajo a nivel internacional, ya que contiene 10 veces menos azufre que el diesel especial que se utilizaba anteriormente.

7 Referencia 9; pg. 2-11.

Tabla I.4. Comparación de las gasolinas de México y E.U.*					
Compuesto	Meta E.U. para 1996	California sin plomo	Promedio nacional	Magna Sin	Premium
Oleofinas.	6	9.5	11.5	9.64	4.9
Aromáticos.	25	31.0	29.0	25.44	24.85
Benceno.	1	2.0	16.0	0.89	0.5

\* Promedio de todas las muestras durante el período invernal 1993-1994, excepto Premium.

FUENTE: PEMEX.

En general, las gasolinas están formuladas de acuerdo a la capacidad de producción de las refinерías y de acuerdo con las especificaciones de los fabricantes de automóviles, sin embargo, desde el punto de vista ambiental y de salud pública, no existen gasolinas buenas, todas son tóxicas y reactivas en el ambiente.

El problema de la calidad del aire de la ZMCM ha conducido al estudio de combustibles alternativos, para los vehículos que circulan en la ciudad, que limiten lo menos posible el desarrollo funcional de las unidades vehiculares y que reduzcan las emisiones contaminantes. Tal es el caso de el GLP y el Gas Natural Comprimido (GNC).

### 1.3 USO DE COMBUSTIBLES EN LA ZMCM.

Ante la necesidad de reducir las emisiones contaminantes provocadas por los vehículos, se siguen desarrollando y probando gasolinas con menores contenidos de plomo y azufre. Dicha reducción del plomo y del azufre en la gasolina esta en función de los procesos de destilación<sup>8</sup>. Por ejemplo, la disminución del contenido de azufre conduce a reducir la emisión de óxidos de azufre, no obstante estas medidas no dan una solución real ya que en contraparte, el tetraetilo de plomo se usa para aumentar el octanaje cuando éste no alcanza valores adecuados a través de la formulación de las gasolinas. Como consecuencia un motor de alto rendimiento no podrá ofrecer todas sus prestaciones con gasolinas de reducido número de octano; esto puede traducirse a un alto consumo específico de combustible y consecuentemente en mayor cantidad de emisiones contaminantes.

<sup>8</sup> Referencia 5: pg. 24.

Frente a esta limitante, el diseño de los motores y las especificaciones de combustibles establecidas por la Industria Automotriz, PEMEX ha tenido y tiene un fuerte compromiso para que sus productos generen el menor número de emisiones contaminantes, considerando las características geográficas, climáticas y meteorológicas especiales que tiene la ZMCM. Actualmente Petróleos Mexicanos realiza pruebas de gasolinas con menor contenido de azufre y plomo, y con compuestos de hidrocarburos mejor refinados (iso-parafinas y aromáticos), obtenidos a partir de procesos de destilación mucho más controlados, que no limiten las prestaciones del vehículo y que generen menores emisiones tóxicas.

Así mismo, se han realizado estudios sobre el uso de combustibles opcionales como GLP, gas natural comprimido (GNC), etanol, metanol y metano, que tienen factores de emisión menores en algunos compuestos o en la mayoría de los compuestos contaminantes, en comparación con la gasolina, y que además son muy volátiles. Pero contrariamente, el GNC y el GLP limitan la maniobrabilidad de un vehículo, ya que el rango de velocidades oscila entre 50 y 160 km/h, siendo más adecuados para conducir en la ciudad, más aún el aprovisionamiento de estos combustibles es limitado. Sin embargo el metanol, etanol y metano se pueden elaborar a partir de recursos renovables como madera, material orgánico de desecho y fermentación de cosechas, lo que podría complementar el aprovisionamiento con el combustible ya existente; esto significaría más conversión a vehículos de alcohol puro, cuyos programas de desarrollo de motores de este tipo actualmente se encuentran en fases de investigación y experimentación<sup>9</sup> en Europa y E.U principalmente.

Durante 1992 se inició el Programa para el Uso de Gas Licuado de Petróleo (GLP) y Gas Natural Comprimido (GNC) como sustituto de la gasolina, en el transporte público y en el concesionado dentro de la ZMCM y algunas otras ciudades de la República Mexicana. Esta conversión implicó también el uso del convertidor catalítico de 3 vías.

De acuerdo a estudios estadísticos, hasta enero de 1994 se habían convertido al uso de GLP 15,968 vehículos de transporte de carga y/o servicios y 1,435 vehículos de transporte público de pasajeros.

A pesar del gasto económico que genera la conversión a gas por el equipo requerido, los resultados han sido favorables reduciendo las emisiones en un 50 %, 80 % y 25 % de HC's, CO y

<sup>9</sup> Referencia 4, pg. 160.



NO<sub>x</sub> respectivamente, así como la eliminación total de emisiones de plomo y emisiones evaporativas<sup>10</sup>.

Este programa de uso de combustibles alternativos para la reducción de emisiones mejoró los resultados anteriores con el incremento de vehículos convertidos, los cuales para octubre de 1994 eran más de 27,000.

Por otro lado, en la misma medida los combustibles actuales se están tratando de sustituir por baterías y celdas de energía eléctrica, principalmente para transporte. Las baterías son capaces de suministrar suficiente fuerza pero su rango de aplicación es limitado por lo que su fabricación es de elevado costo. Más aun, estas baterías requieren de una cantidad adicional de energía eléctrica para ser recargadas, lo que conduce a una producción mayor de energía eléctrica con sus emisiones contaminantes asociadas.

En la ZMCM existe una cantidad relativamente pequeña de vehículos eléctricos, con reducida área y velocidad de circulación, destinados principalmente al reparto de mercancías ligeras y al transporte público (trolebuses). Se hacen estudios para la implantación de éste tipo de vehículos en el Sistema de Transporte Colectivo - microbuses -, de los cuales uno está aún en desarrollo en el Instituto de Ingeniería de la UNAM. Existe por ahora un sólo prototipo con el que se espera resolver algunos de los problemas que presenta este servicio, principalmente el de la contaminación.

#### **1.4 EL PROCESO DE COMBUSTIÓN EN MEP Y REQUERIMIENTOS DE FUNCIONAMIENTO.**

La combustión se define como el proceso de oxidación del combustible por el aire, el cual aporta su contenido de oxígeno como oxidante, a través de una fuerte reacción exotérmica.

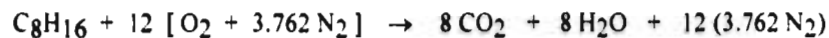
El mecanismo de reacción que se describe en una ecuación, explica la transformación química completa a través de reacciones elementales y reacciones intermedias, y consiste en largas secuencias de pasos desde la ruptura de las moléculas de combustible hasta la formación de

<sup>10</sup> Referencia 21. pg. I-14.

productos de combustión, en un tiempo muy corto. La efectividad de la reacción aumenta con el incremento de temperatura, ya que motiva la frecuencia y la velocidad de los encuentros moleculares.

En los MCIAs se generan productos contaminantes durante la combustión, la carrera de escape y a través del recorrido por el conducto de escape, ya que se producen algunas reacciones posteriores que varían la concentración de éstos.

Para analizar la formación de las emisiones o productos de la combustión, considerese el proceso de combustión ideal con un combustible de sustitución (en el caso de la gasolina se puede utilizar el octeno  $C_8H_{16}$ ) y aire y se supone que tanto el combustible y el aire son gases perfectos, entonces la ecuación resulta:



para una composición del aire de 79 %  $N_2$  y 21 % de  $O_2$ . Este proceso no produce ningún tipo de contaminante ya que el total de C se convierte a  $CO_2$  y el H a  $H_2O$ , por lo que la reacción se define como combustión completa, teórica o ideal, o también *reacción estequiométrica*.

Pero el proceso de combustión real de un motor presenta algunas desviaciones: *a)* por los dosados ( $F$ ) distintos al estequiométrico, *b)* por la disociación de los productos de la reacción y *c)* por el apagado de la llama por el efecto de pared.

*a)* El *dosado o dosado absoluto* ( $F$ ) se define como la relación entre la masa de combustible y la masa de aire utilizada en un proceso de combustión ( $F = m_c / m_a$ ), y a la relación entre la masa de combustible y la masa de aire para la reacción estequiométrica se denomina *dosado estequiométrico* ( $F_e$ ). Es importante distinguir entre el dosado macroscópico y el dosado microscópico. El macroscópico depende únicamente del gasto de aire y de la cantidad de combustible proporcionada por el carburador o sistema de inyección, y puede ser menor que  $F_e$  por exigencias de economía de combustible o bien mayor que  $F_e$  por exigencias de potencia. El microscópico depende de la gasificación y homogeneización de la mezcla, es decir a mayor gasificación y homogeneización, el  $F$  microscópico de un diferencial de volumen de la mezcla admitida en la cámara de combustión, se aproximará más o será igual al  $F$  macroscópico.

Cuando  $F$  es mayor a  $F_e$  , en los productos de la reacción aparecen nuevos compuestos parcialmente oxidados como  $CO$ ,  $H_2$ , aldehídos, peróxidos o  $HC$ 's sin quemar. Si los  $F$  son menores al  $F_e$  en los productos de la reacción tendríamos  $O_2$  y  $NO_x$  como consecuencia del exceso de aire en la mezcla.

Los óxidos de nitrógeno  $NO_x$  ( $NO_x = NO + NO_2$ ) se forman cuando el nitrógeno del aire se combina con el oxígeno excedente a temperaturas altas durante la explosión en el cilindro. El principal gas formado es  $NO$  y durante el conducto de escape se transforma parcialmente en  $NO_2$ .

b) En el proceso de combustión, la temperatura elevada en la cámara de combustión desplaza el equilibrio de la reacción hacia productos intermedios - reacciones intermedias - produciéndose una serie de radicales como  $O^-$ ,  $H^+$ ,  $N^+C_x$ ,  $H^-y$ , etc., que al reaccionar entre sí generan compuestos que no aparecen en el modelo de combustión teórico, y que finalizan en la formación de compuestos contaminantes.

c) El  $F$  suministrado que se encuentra en la superficie del pistón, del cilindro y de la culata puede evacuar calor fácilmente debido a que las superficies del cilindro y de la culata principalmente están enfriadas por aire o por agua, por lo que se generan gradientes de temperatura que no son suficiente para que la llama, originada por la chispa de encendido progrese, deteniéndose a cierta distancia de la superficie ocasionando que la mezcla no se queme y sea arrastrada durante la carrera de expulsión a través del conducto de escape, con una cantidad de hidrocarburos sin quemar. Esto conduce a la formación de compuestos contaminantes de escape, principalmente  $HC$ 's y  $CO$ .

Se han identificado más de 200 hidrocarburos entre los productos de escape de una gasolina dada con diferentes potenciales de reactividad<sup>11</sup>.

El proceso de combustión en los MEP y en los MEC se caracteriza en distinta forma. En los MEC se presenta la difusión de la combustión por la autoinflamación del combustible cuando se somete a alta compresión y temperatura.

---

NOTA: La palabra dosado es una forma más breve de referirse a la relación inversa aire-combustible, y si se adoptan tecnicismos en inglés, también se puede adoptar una palabra que se deriva del castellano.

<sup>11</sup> Referencia 10. pg. 522.

En los MEP el proceso de combustión se analiza bajo consideraciones macroestructurales (combustión detonante o detonación, encendido superficial y combustión normal) y microestructurales (energía de activación, reacciones en cadena, etc.). Sin embargo los factores que finalmente interfieren en el proceso de combustión son: régimen, grado de carga, dosado, presión y temperatura exterior, humedad, posición de las bujías, diseño de la cámara de combustión, punto de encendido y dispersión cíclica<sup>12</sup>.

Obviamente todos los factores que afectan el desarrollo de la presión en la cámara de combustión y la velocidad de combustión, modifican la evolución de la fracción de masa quemada con relación al ángulo de retraso y a la duración de la combustión, situación que generalmente finaliza en combustiones incompletas, lo cual conduce a la emisión de compuestos contaminantes.

Desafortunadamente no siempre se consigue una combustión normal a pesar de tener un sistema de encendido que controle los factores anteriores, que se pueden resumir en condiciones ambientales, gasificación del combustible, dosados, factores de funcionamiento y diseño del motor.

Lo anterior permite tener una idea de lo complicado que es el control del proceso de combustión para que se produzca una combustión completa, bajo la premisa de mantener el funcionamiento óptimo del motor y del vehículo. Para la combustión completa de la gasolina, en este caso, se requiere de una cantidad suficiente de oxígeno y una temperatura mínima en el frente de onda de la flama, con el propósito principal de obtener una cantidad baja de emisiones contaminantes y las prestaciones más óptimas del motor.

De acuerdo a esto un MEP tiene un funcionamiento óptimo cuando su relación aire combustible esta dentro de una banda angosta alrededor de 14.7 (equivalente a  $F = 0.068$ ), que pertenece al valor de la reacción estequiométrica, tal como lo muestra la Figura FI.2. Fuera de este rango la combustión es anormal, y como consecuencia se incrementan los niveles de emisiones contaminantes.

En la Figura FI.3 se puede observar como varía la potencia y el consumo específico de combustible al optimar la relación aire-combustible, de igual manera se puede observar que la mezcla estequiométrica se encuentra entre los valores de máxima potencia y rendimiento. Por tal razón los requerimientos de funcionamiento en diferentes regímenes estacionarios deben mantener el dosado lo más cercano a la relación estequiométrica, así mismo, en los regímenes transitorios una regulación efectiva a través de los sistemas de carburación o sistemas de inyección permitirán

<sup>12</sup> Referencia 13, pg.

controlar el tiempo de dosificación y las variaciones de la mezcla para que la combustión sea lo más completa posible<sup>13</sup>, y se corrijan los dosados lo más rápido posible al valor estequiométrico, sobre todos los factores que lo afectan.

En la Tabla I.5 se muestran los dosados estequiométricos de algunos de los principales combustibles utilizados en los MCIA, como una medida de comparación de los límites de funcionalidad durante el proceso de combustión.

**Tabla I.5. Propiedades de los Combustibles Usuales<sup>14</sup>.**

Combustible	Poder Calorífico kJ/kg	Limite de inflamabilidad Fr	Dosado estequiométrico.	NO Research	NO Motor	NC
Gasolina (super).	43 700	0.7 - 2.5	1/14.9	97	85	-
Gasolina (normal)	43 700	0.7 - 2.5	1/14.9	92	80	-
Gasóleo-auto.	43 200	0.74 - 2.1	1/14.5	-	-	50
Diesel pesado	41 000	0.74 - 2.1	1/14.6	-	-	40
GLP	45 900	0.6 - 2.5	1/15.5	100	95	-
Metanol	19 700	0.5 - 2.9	1/6.4	110	92	≈ 3
Etanol	26 800	0.5 - 2.9	1/9	110	89	≈ 6

Nota: Ver tabla I.4 para más información.

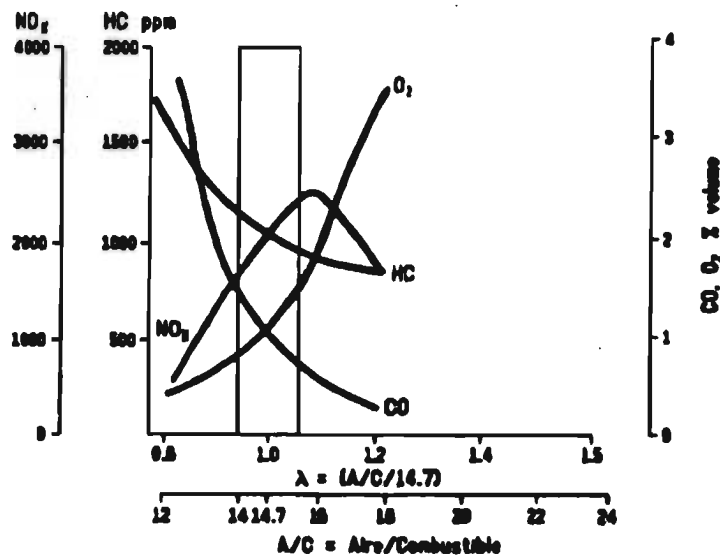


Fig. F1.2. Emisiones contaminantes por un motor a gasolina, para diferentes valores de la razón aire/combustible introducida por el carburador.<sup>15</sup>

13 Referencia 13; pg. 357-372.

14 Referencia 13, pg. 253.

15 Referencia 18, pg. 62.

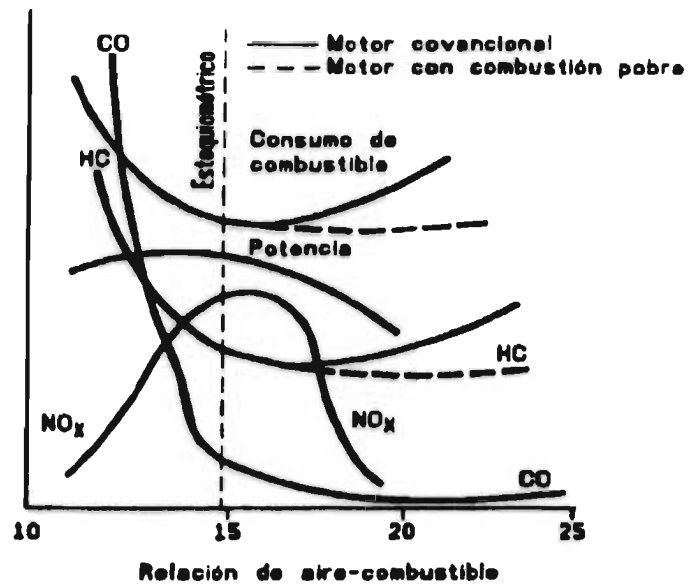


Fig. F1.3. Potencia, rendimiento y emisiones en motores de gasolina como función de la razón aire/combustible.<sup>16</sup>

<sup>16</sup> Referencia 18. pg. 63.

## CAPÍTULO II

## EMISIONES CONTAMINANTES PROCEDENTES DE LOS MCIA

## II.1 CARACTERÍSTICAS, PROCEDENCIA Y EFECTOS DE LAS EMISIONES.

Todos los procesos de combustión tienen como resultado, en parte, la emisión de contaminantes; pero el nivel de emisiones varía de acuerdo al tipo de combustión, ya sea interna o externa. En la Tabla II.1 se muestra una comparación de las principales emisiones procedentes de algunas fuentes de combustión, y se puede apreciar de manera general que los procesos de combustión interna generan mayores emisiones contaminantes que los de externa.

	Combustión Interna		Combustión Externa			
	Motores Otto	Motores Diesel	Petróleo combustible		Carbón	
			Generación de energía	Comercial doméstica	Generación de energía	Comercial doméstica
Monóxido de carbono	395	9	0.005	0.025	0.25	25
Óxidos de nitrógeno	20	33	14	10	10	4
Óxidos de azufre	1.55	6.0	20.8 S	20.8 S	19 S	19 S
Hidrocarburos	34	20	0.42	0.26	0.1	5
Aldehídos y ácidos orgánicos	1.4	6.1	0.08	0.25	0.0025	0.0025
Partículas	2 <sup>a</sup>	16 <sup>b</sup>	1.3 <sup>c</sup>	1 - 12 <sup>c</sup>	8 A <sup>d</sup>	2 - 8 A <sup>d</sup>

S : Para obtener los óxidos de azufre producido, multiplicar el número por el porcentaje S en el combustible (S = azufre).  
A : Para obtener las partículas producidas, multiplicar el número por el porcentaje A en el combustible (A = ceniza).  
(Nota: la mayor parte de las unidades encendidas con carbón están equipadas con dispositivos de control y las emisiones son del orden del 1 al 10 % de éstas).

a Aproximadamente el 20 % de este total es plomo que procede de aditivos antidetonantes.

b Se deben en gran parte a que pequeñas cantidades de compuestos aromáticos como 3,4-benzopireno y compuestos similares, se han absorbido sobre carbono no quemado.

c En su mayoría óxidos metálicos que proceden de impurezas en el petróleo combustible. Estos incluyen óxidos de hierro y vanadio.

d Sulfatos y cloruros metálicos (calcio, magnesio, hierro, etc.) procedentes de inclusiones de ceniza en el carbón.

FUENTE: Strauss, W. y Mainwaring ; Contaminación del Aire ; Trillas: México; 1990; pg. 45.

La principal fuente de emisiones contaminantes en los procesos de combustión interna son los vehículos, los cuales para lograr la fuerza de tracción que genere el desplazamiento de los mismos, son equipados con motores de combustión interna alternativos (MCIA).

Cuando se realiza la combustión de un combustible y aire en forma ideal y completa los productos que se obtienen son  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{N}_2$  como se describió en capítulo anterior. Sin embargo, en la realidad los gases de escape de los MCIA, contienen productos de combustión incompleta, formados por compuestos que incluyen hidrocarburos no quemados (parafinas, oleofinas, aromáticos), hidrocarburos parcialmente quemados (aldehídos, cetonas, ácidos carboxílicos, monóxido de carbono), productos del craqueo térmico y de desintegración (acetileno, etileno, hidrógeno, hollín e hidrocarburos policíclicos), productos de la oxidación del nitrógeno del aire atmosférico ( $\text{NO}$  y  $\text{NO}_2$ ) y además humos en el caso de los motores diesel.

Las emisiones de los automóviles contienen una cantidad más grande de hidrocarburos en comparación con los que se encuentran en el combustible original, incluyendo aldehídos, ácidos orgánicos y benzopireno.

En el caso de los MEP la Figura FII.1 muestra las concentraciones del  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$  y  $\text{HC}$ 's en función del  $\text{FR}$ . Esta figura muestra como al disminuir  $\text{FR}$ , es decir para mezclas pobres, el  $\text{CO}$  disminuye; similarmente los  $\text{HC}$ 's tienden a disminuir hasta que encuentran un mínimo para determinado  $\text{FR}$ , después tienden a aumentar. El aumento de los  $\text{HC}$ 's en los gases de escape cuando se tienen mezclas pobres, se debe a que con la chispa de encendido la evolución de la combustión no siempre se logra concretar. Los  $\text{NO}_x$  se forman por las reacciones entre el oxígeno y el nitrógeno admitidos por el motor. El  $\text{NO}$  se forma dentro de la cámara de combustión durante el periodo de máxima temperatura y de igual manera es influenciado por el  $\text{FR}$ . La cantidad máxima de  $\text{NO}_x$  se obtiene para un  $\text{FR}$  cercano al estequiométrico.

Para los MEC la Figura FII.2 muestra la misma relación entre emisiones contaminantes y  $\text{FR}$ . Se puede apreciar que los  $\text{NO}_x$  son mayores a los que se tiene en los MEP para un  $\text{FR}$  equivalente, las concentraciones de  $\text{HC}$ 's son casi constantes en mezclas pobres ( $\text{FR} < 1$ ) disminuyendo su valor para el  $\text{FR}$  correspondiente a plena carga. El  $\text{CO}$  crece mucho únicamente en las proximidades del límite de humos. La concentración de humos es muy baja para  $\text{FR} < 0.5$ , pero crece rápidamente para  $\text{FR}$  mayores. Generalmente el límite de funcionamiento en los MEC se encuentra en un  $\text{FR} = 0.7$ .



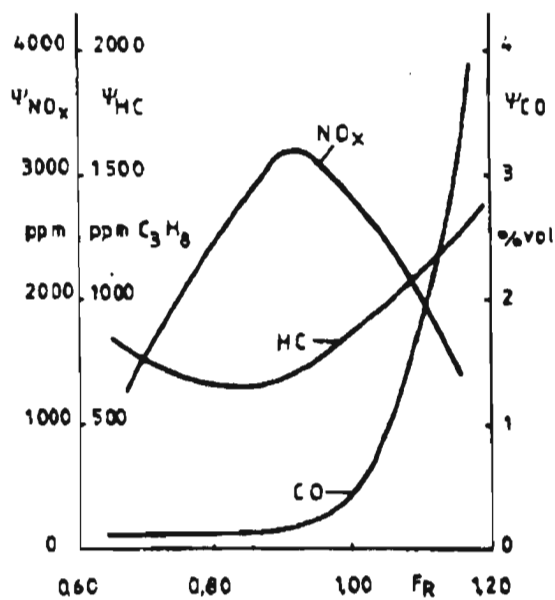


Fig. FII.1. Relación entre los compuestos contaminantes y el FR en un MEP.

(  $\Psi = n_i/n_{g}$ ,  $n_i$  - número de kilomoles del contaminante i, y  $n_{g}$  - número total de kilomoles de los gases de escape )

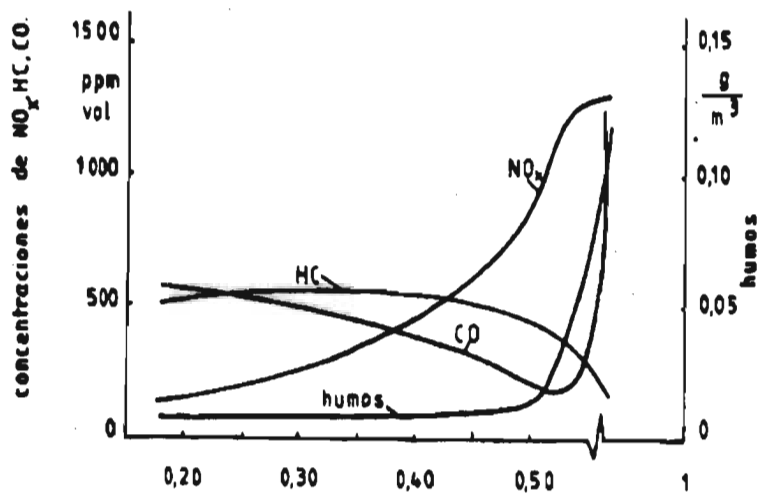


Fig. FII.2. Relación entre los compuestos contaminantes y el FR en un MEC.

Los contaminantes emitidos por el automóvil se pueden clasificar en dos categorías:

- Los que actualmente están reglamentados, como el CO, NO, NO<sub>2</sub>, los HC's sin quemar, y partículas (polvos y hollín). Se incluye el plomo y el azufre que están reglamentados en los combustibles.
- Los que no están reglamentados, como el CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y los aldehidos.

A continuación se da una breve descripción de estos contaminantes mencionándolos de acuerdo al orden jerárquico que tienen por el riesgo que representan cuando se encuentran en la atmósfera.

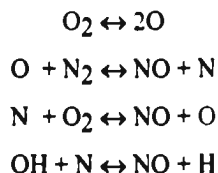
#### Monóxido de Carbono (CO).

En los **MEP** el CO es un producto intermedio de la combustión de un hidrocarburo y se debe fundamentalmente a la disociación del CO<sub>2</sub> principalmente en dosados próximos a la unidad. En dosados pobres hay una cantidad pequeña de CO que por la inercia del proceso de recombinación con O<sub>2</sub> no da tiempo a que la totalidad de CO se oxide a CO<sub>2</sub>, debido a que el proceso es muy rápido (expansión y escape).

En los **MEC** el CO es cuantitativamente despreciable debido a que el **FR** es menor a la unidad (generalmente **FR** < 0.7).

#### Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>).

En los **MEP** la concentración mayor de NO<sub>x</sub> se encuentra en la zona de mezclas pobres (**FR** ≈ 0.91) donde se requiere de una temperatura elevada y una concentración suficiente de oxígeno. El mecanismo de formación de NO - mecanismo generalizado de Zeldovich<sup>1</sup> - más aceptado postula las siguientes reacciones,



Estas reacciones son muy lentas y a temperaturas elevadas no se llega a un estado de equilibrio.

En los **MEC** los NO<sub>x</sub> se encuentran en concentraciones menores debido al **FR** bajo que se maneja. Sin embargo para **FR** iguales tanto en MEC como en MEP retoman gran importancia por las altas temperaturas y presiones de trabajo. En estos motores el NO se oxida y forma NO<sub>2</sub>.

<sup>1</sup> Referencia 19, pg. 134.

### **Hidrocarburos Sin Quemar (HC).**

En los **MEP** los HC se pueden formar por el apagado de la llama - combustión incompleta - por el efecto de pared, y por el cortocircuito de la carga fresca durante el cruce de apertura y cierre de válvulas de admisión y escape respectivamente. En mezclas pobres con exceso de oxígeno y temperatura aún elevada, los HC en el escape son mínimos, ya que se oxidan parcialmente en el colector y tubo de escape (formación de CO).

En los **MEC** los HC tienen mecanismos de formación similares al caso de los MEP aunque se emiten en menor cantidad.

### **Partículas (Humos).**

En los **MEC** son de mayor importancia que en los **MEP**. Los humos compuestos por hollín y polvo se generan en las zonas con dosados ricos sometidos a elevadas presiones y temperaturas donde las cadenas de los HC's comienzan a fracturarse y deshidrogenizarse convirtiéndose en carbón. Tales zonas pueden ser, por ejemplo, el chorro de combustible proporcionado por el inyector y el combustible depositado en las paredes de la cámara de combustión. La emisión de partículas crece cuando tiende a disminuir el tiempo de retraso, para una cantidad fija de combustible inyectada.

### **Plomo.**

En los **MEP** la emisión de plomo aparece principalmente como bromuro de plomo y es producto de la reacción de combustión entre el tetraetilo de plomo y el dibromuro de etilo ( $\text{Br}_2\text{C}_2\text{H}_4$ ), los cuales son compuestos de la gasolina. El tetraetilo de plomo en su reacción genera óxidos de plomo que se depositan en válvulas, bujías y paredes de la cámara de combustión, pero esta deposición se evita con el dibromuro de etilo.

Estas emisiones no se generan en los **MEC** debido a que el plomo no es un constituyente del combustible que utilizan.

### **Óxidos de Azufre ( $\text{SO}_2$ ).**

En los **MEP** las emisiones de  $\text{SO}_2$  tienen poca relevancia porque el contenido de azufre (S) que tiene la gasolina es muy bajo. Sin embargo en los **MEC**, retoman importancia debido a que el diesel tiene un contenido mayor de S.

**Aldehídos (R-COH).**

Son productos de la oxidación parcial a baja temperatura de los HC's, por lo que se presentan tanto en los MEP como en los MEC; principalmente el formaldehído (HCHO) y la acroleína (C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>CHO). El formaldehído, en ciertas concentraciones, está considerado como la causa del olor y las propiedades irritantes de los gases de escape en los MEC.

**Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>).**

Tanto en los MEP y MEC aparece en los gases de escape generados por la propia combustión y se emite en proporciones de 10 a 30 veces más que el CO en los motores modernos. Aunque no es directamente tóxico y no se considera un contaminante, representa una gran influencia en el aumento del efecto invernadero. Dicho efecto se está combatiendo con el diseño de motores que tengan un consumo ínfimo.

Un factor prominente que influye en los niveles de emisiones contaminantes es la temperatura ambiente. Un estudio realizado por Stump<sup>2</sup> en vehículos con MEP usando gasolina y catalizador, mostró que las emisiones de CO y HC casi se duplican al cambiar la temperatura ambiente de 21.1 a 4.4 °C (Tabla II.2). Esto explica porqué la contaminación se agrava en el invierno, además de las inversiones térmicas, originando serios problemas para la salud de los habitantes, tal como se menciona en la introducción de esta tesis.

Temperatura °C	HC g/km	CO g/km	NO <sub>x</sub> g/km
21.1	0.33	3.96	0.39
4.4	0.60	7.62	0.48

Es importante remarcar que las emisiones contaminantes en los MCIA varían según el tipo de combustible que utilizan. Hasta ahora se han mencionado algunas características de las emisiones en MEP cuando utilizan gasolina y en MEC cuando utilizan diesel. Sin embargo resulta interesante hacer mención de las ventajas y desventajas de las distintas motorizaciones que

<sup>2</sup> Referencia 18, pg. 66.

actualmente se utilizan en los automóviles. como una medida comparativa en relación a las características del motor, las prestaciones que se obtienen de ellos, el nivel y tipo de emisiones en el que incurren, y las soluciones que existen para el control de las mismas. En la Tabla II.3 se resumen algunas características de las distintas motorizaciones actuales y las que se plantean para el futuro como ecológicas.

Tabla II.3. Comparación de las Distintas Motorizaciones Actuales y Futuras <sup>3</sup> .			
MOTORIZACIONES ACTUALES.			
Tipo de Motor	Situación Actual	Ventajas	Desventajas
Motor a Gasolina	Es el motor actualmente dominante para automóviles. El porcentaje de penetración mundialmente varía entre un 70 y 95 % en diversos países.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Potencia específica elevada, superior al motor a diesel.</li> <li>- Velocidad máxima superior para un peso, volumen o precio igual al motor a diesel.</li> <li>- Motor poco ruidoso.</li> <li>- Problemas de contaminación teóricamente resueltos por la inyección y el catalizador de tres vías con sonda lambda.</li> <li>- Presenta la mejor autonomía y comodidad de conducción.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Consumo de 30 a 40 % en lt/km más elevado que el motor a diesel.</li> <li>- Produce de 25 a 35 % más CO que el motor a diesel.</li> <li>- El problema de contaminación esta resuelto a un precio muy elevado.</li> <li>- Esta solución es inoperante en frío y se generan grandes emisiones de CO, CO<sub>2</sub> y HC.</li> <li>- El catalizador se degrada con el uso y puede destruirse llenando el depósito con gasolina con plomo. Su vida promedio es de 3.5 años.</li> </ul>
Motor a Diesel	Su penetración mundial hasta 1989 era de aproximadamente un 8 %. Actualmente Europa tiene un porcentaje de utilización superior a otros continentes. Posee el mejor rendimiento termodinámico. Su principal aplicación es en barcos, en el transporte pesado y en la industria.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Consumo de combustible inferior al motor a gasolina.</li> <li>- Producción inferior de CO, HC y CO<sub>2</sub> comparado con el motor a gasolina.</li> <li>- Mejor comportamiento en frío.</li> <li>- Es más limpio si cuenta con post-tratamiento de los gases de escape.</li> <li>- Mayor comodidad de conducción en frío y a bajas velocidades.</li> <li>- Mayor fiabilidad. Menor costo de mantenimiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menor potencia específica.</li> <li>- Ruidoso en general, en cualquier situación de operación.</li> <li>- Alta contaminación por partículas.</li> <li>- Mayor contaminación por los NO<sub>x</sub>.</li> <li>- Costo de fabricación más elevado.</li> <li>- Motor de mayor peso y volumen.</li> </ul>
Motor a GLP	Circulaban alrededor de 1 millón de vehículos en Europa hasta 1989, y en Japón alrededor de 300.000.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No emite humos negros.</li> <li>- Emite menos HC, NO<sub>x</sub> y partículas que el motor a gasolina y a diesel.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Logística costosa de montar y poca disponibilidad, además del sobrecosto de equipamiento.</li> <li>- Consumo mayor que el motor a diesel.</li> <li>- Mayor emisiones de CO y CO<sub>2</sub> comparado con el motor diesel.</li> <li>- Se requiere un depósito muy grande para evitar una autonomía reducida.</li> <li>- Necesaria la adaptación de un catalizador.</li> <li>- Riesgo de explosión en caso de accidente.</li> </ul>

Tabla II.3. ... continuación.			
Tipo de Motor	Situación Actual	Ventajas	Desventajas
Motor a GNC	En Italia era utilizado por unos 300.000 vehículos hasta 1989. El GNC se debe almacenar a 220 bar a 21 °C.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Combustible disponible en cantidades importantes.</li> <li>- Contaminación muy reducida. Emite de 5 a 10 % menos de CO y CO<sub>2</sub> que un motor a diesel de igual rendimiento.</li> <li>- No emite NO<sub>x</sub> ni partículas.</li> <li>- Los HC emitidos son pocos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rendimiento inferior al motor a gasolina.</li> <li>- Produce formol y requiere por tanto de un catalizador para eliminarlo.</li> <li>- Requiere de un depósito de combustible de gran peso y tamaño para no reducir la autonomía del vehículo (depósito de 300 kg para almacenar 70 kg de GNC).</li> <li>- Peligro de explosión en caso de accidente.</li> </ul>
Motor a Metanol	Hasta ahora sólo se tienen prototipos que son objeto de muchos estudios. El metanol o alcohol metílico (CH <sub>3</sub> OH) se obtiene por destilación del carbón o de la madera.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Combustible disponible en grandes cantidades.</li> <li>- Combustión global limpia.</li> <li>- No emite NO<sub>x</sub> ni HC ni partículas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poco control en regímenes transitorios y arranques.</li> <li>- Corrosivo para juntas, gomas y otras piezas no metálicas.</li> <li>- Ocupa más volumen a igualdad de energía.</li> <li>- Es muy tóxico si se ingiere, provoca lesiones irreversibles en el cerebro, ceguera e incluso puede causar la muerte.</li> <li>- Produce tanto CO<sub>2</sub> como el motor a gasolina.</li> <li>- El metanol quema de manera invisible y tiene una volatilidad muy alta.</li> </ul>
Motor a Etanol	Su mayor utilización a sido en Brasil hasta ahora. El etanol o alcohol etílico (CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -OH) se obtiene por fermentación de azúcares C <sub>6</sub> de algunas plantas.	Prácticamente iguales al motor a metanol, sólo que: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Emite poco NO<sub>x</sub> y HC, pero no emite partículas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Produce tanto CO<sub>2</sub> como el motor a gasolina.</li> <li>- Su toxicidad es menor al del motor a metanol, pero si considerable.</li> <li>- Causa problemas de lubricación y corrosión, reduciendo la utilidad del motor.</li> <li>- Ocupa más volumen a igualdad de energía.</li> <li>- Los regímenes transitorios y los arranques tienen menos control que en el motor a diesel.</li> </ul>
MOTORIZACIONES ECOLÓGICAS DEL FUTURO.			
Motor Eléctrico	Actualmente circulan algunos vehículos utilitarios principalmente en Europa, pero en otros países su introducción hasta ahora es constante en el transporte público. Motor eléctrico de corriente continua alimentado por baterías de plomo, de níquel-cadmio o de sulfuro de sodio.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No contamina directamente. No emite gases de escape.</li> <li>- Son silenciosos.</li> <li>- No hay peligro de explosión en caso de accidente.</li> <li>- Efectivo en aplicaciones de transporte urbano y reparto de mercancías ligeras.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiene poca autonomía (máximo 150 km).</li> <li>- La máxima velocidad es baja (máxima 100 km/h).</li> <li>- El motor es muy robusto.</li> <li>- El costo, peso y fabricación de las baterías representan un problema serio.</li> <li>- Las baterías contienen plomo, níquel o cadmio, peligrosos para el entorno.</li> </ul>

Tabla II.3. ... continuación.			
Tipo de Motor	Situación Actual	Ventajas	Desventajas
Turbina de Gas	Existen prototipos de Renault, Rover y Toyota. Utiliza aire comprimido calentado por un hidrocarburo a presión constante. El aire se expande en la turbina la cual acciona al eje del motor y al compresor.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poco contaminante.</li> <li>- Es multicomcombustible.</li> <li>- La turbina prácticamente es ligera.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El rendimiento y la inercia del motor son inferiores a un motor gasolina o diesel.</li> <li>- Su aplicación es reservada principalmente a camiones pesados y turismos de altas gamas.</li> </ul>
Motor de Hidrógeno	Existen prototipos de BMW, Renault, Mercedes y Peugeot en estudio. El H se puede obtener por electrólisis y alimentarse directamente a un MCIAs o turbina.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El H es el combustible por excelencia.</li> <li>- Su combustión desprende esencialmente agua.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El H es muy explosivo, y no puede almacenarse líquido más que a una temperatura inferior a -250 °C.</li> <li>- Se podría almacenar hidrógeno a temperatura y presión ambiente en esponjas metálicas especiales (hidruros), pero el depósito sería 15 veces más pesado que para cualquier otra energía equivalente.</li> <li>- Limita autonomía de espacio en el vehículo.</li> </ul>
Conjuntos Híbridos	Existen prototipos de Audi (Audi 100 Avant) y PSA en estudio. Son vehículos con un motor eléctrico y un MCIAs o turbina a la vez.	<p>En ciudad el motor eléctrico:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- No genera contaminación directa.</li> <li>- Es silencioso.</li> <li>- La velocidad máxima es limitada.</li> </ul> <p>En carretera el MCIAs:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Proporciona gran autonomía.</li> <li>- Permite altas velocidades.</li> <li>- Su nivel de contaminación gaseosa y sonora es reducida.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limita autonomía de espacio en el vehículo.</li> <li>- Son más pesados por las baterías.</li> <li>- El costo es grande, superior al motor a gasolina y diesel.</li> <li>- Se pone en riesgo su funcionalidad por los hábitos de conducción.</li> </ul>

Como se ha podido apreciar de lo anterior, el MCIAs que más contamina y el que más se utiliza en los automóviles es el MEP usando gasolina. A pesar de todos los grandes desarrollos que han surgido en el diseño de motores de bajas emisiones contaminantes, hasta ahora no se ha conseguido alguna otra motorización que ofrezca la autonomía y comodidad de conducción de éstos. El beneficio ecológico que permiten algunas de estas motorizaciones podría ser la justificación de su uso, a pesar del alto costo que se les adjudica y tomando en cuenta también el decremento en sus prestaciones.

En la ZMCM, ubicada a 2240 m.s.n.m., la quema de combustibles en MEP es todavía menos eficiente debido a la baja presión atmosférica y la consecuente deficiencia en la concentración de oxígeno en el aire. Debido a esto, los vehículos tienden a ser más

3 Referencia 11, pg. 41.

contaminantes. Cerca del 98 % del parque vehicular en circulación esta equipado con MEP usando gasolina, como se describe en el siguiente capítulo. Esto remarca el interés que se tiene en los vehículos ligeros a gasolina.

El origen de las emisiones contaminantes en los vehículos con MEP a gasolina son:

- a) *El combustible evaporado en el depósito de combustible y el carburador.*
- b) *Los gases procedentes del cárter del motor, y*
- c) *Los gases de escape originados por la combustión.*

En lo que respecta a las emisiones por el combustible evaporado en el depósito de combustible y el carburador, éstas se deben básicamente a la alta volatilidad de la gasolina y a la temperatura exterior y la que se alcanza en el carburador. Para evitar las emisiones de estos vapores, se comunica el carburador y el depósito a un recipiente lleno de carbón activado, el cual adsorbe y retiene los vapores, mientras el motor está parado. Los vapores retenidos se recuperan cuando el motor se pone en marcha, a través de una corriente de aire que pasa por el recipiente (canister), así los hidrocarburos se introducen a los cilindros en lugar de emitirse a la atmósfera.

La cantidad de emisiones evaporativas aportan aproximadamente un 20 % de los hidrocarburos sin quemar.

Las emisiones procedentes del cárter son principalmente hidrocarburos evaporados, aunque en ocasiones por el estado del motor se pueden presentar productos de la combustión, fluyendo al exterior por el respiradero del cárter. Para evitar esta emisión, los gases se reciclan hacia el filtro de aire, a través de una válvula de ventilación positiva.

La cantidad de emisiones aportadas por la evaporación de hidrocarburos no quemados en el cárter, es de aproximadamente el 20 %.

Las emisiones del escape del motor, productos de la combustión, están en función directa del dosado suministrado y de las condiciones operativas, como se explicó en el apartado 1.4. Existen otros factores que presentan una gran influencia en la cantidad de emisiones contaminantes de escape, como son: el carburador, cuya función es suministrar la mezcla para distintas condiciones de operación, pero debido a sus tolerancias de fabricación, diseño, ajuste y propiedades de las gasolinas específicas, no es posible que siempre se suministre la mezcla



adecuada, lo que significa un aumento en las emisiones de escape; la sincronización de la chispa, la cual cuando se reduce el adelanto de la chispa, disminuye la formación de óxidos de nitrógeno e hidrocarburos, pero esto ocasiona pérdida de potencia y alteración de las condiciones de manejo; y la relación entre las superficies y el volumen de la cámara de combustión, donde a mayor cociente de relación la formación de hidrocarburos aumenta.

De forma general, las emisiones de escape aportan, prácticamente el 100 % del CO, NO<sub>x</sub>, etc. y aproximadamente el 60 % de los hidrocarburos sin quemar.

En relación a lo anterior las emisiones evaporativas del carburador, del depósito del combustible y del cárter han sido controladas en los vehículos de diseño reciente. En estos, los sistemas de inyección sustituyen al carburador, eliminando las emisiones evaporativas que antes se generaban en él. No obstante es claro darse cuenta que las emisiones de escape representan un problema más complejo. En esencia, una mejor combustión reducirá la cantidad de HC no quemados y CO, pero no cambiará la materia en forma de partículas y podría incrementar los NO<sub>x</sub> debido a las elevadas temperaturas de combustión. Se puede concluir que *las emisiones vehiculares dependen de la eficiencia de combustión y ésta a su vez, del dosado suministrado al motor.*

A raíz de esto se ha realizado una intensa investigación con el propósito de reducir las emisiones contaminantes de escape. En un inicio y hasta la fecha se sigue tratando de mejorar los procesos de combustión a través de dispositivos de suministro que controlen mejor los requerimientos de mezcla, tal es el caso de los sistemas de inyección de combustible modernos; pero con esto no se ha logrado una reducción significativa de las emisiones de escape, por lo que también se han desarrollado sistemas de tratamiento de estos gases que conjuntamente ayuden a minimizar las emisiones a la atmósfera.

### II.2 POST-TRATAMIENTO DE LOS GASES DE ESCAPE.

La gran demanda de automóviles con MEP y la exigencia de las normas anticontaminantes han generado el desarrollo de diversos sistemas para reducir la cantidad de emisiones contaminantes de escape, como una medida para proteger el entorno ecológico.

Una vez que se forman los compuestos contaminantes y antes de expulsarse a la atmósfera se tratan con distintos dispositivos o sistemas que los reducen como son:

- Filtros para eliminar emisiones de plomo.
- Reactores térmicos.
- Reactores catalíticos de oxidación.
- Reactores catalíticos de reducción..
- Reactores catalíticos mixtos o de tres vías.

Los filtros para eliminar emisiones de plomo utilizan un silenciador de gases de escape fabricado en lámina de acero inoxidable recubierto de alúmina en su interior, con lo cual se logra disminuir las emisiones de plomo en un 50 a 75 %. Este sistema no afecta el funcionamiento del motor, tiene una vida de operación alta y es económico.

Los reactores térmicos se usan para oxidar, al CO y HC's que provienen de la cámara de combustión, obteniendo de la reacción  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . Esta oxidación esta en función de la cantidad de  $\text{O}_2$  existente en el escape, de la temperatura del reactor, y del tiempo de residencia de los productos reactantes. En relación a la cantidad de  $\text{O}_2$ , es necesario suministrarlo cuando los dosados son ricos, ya que no hay suficiente oxígeno libre. Para mantener la temperatura suficientemente elevada, alrededor de  $600^\circ\text{C}$ , se deben evitar las pérdidas de calor del fluido desde la válvula de escape hasta el reactor, pero cuando se manejan dosados pobres ( $F_R < 0.75$ ) la temperatura de los gases de escape disminuyen al igual que su energía química y el calor aportado al sistema por el proceso de oxidación es pequeño, por lo que se recurre a recubrimientos refractarios del conducto de escape y al diseño especial de colectores de escape. La temperatura en el colector se debe mantener por la propia energía disipada. Con estos reactores se logra disminuir en un 80 % el CO y los HC, pero tiene el inconveniente de ocupar un gran volumen y el aumento de  $\text{NO}_x$ , debido al  $\text{O}_2$  en exceso presente en el reactor.

Los reactores catalíticos de oxidación tienen la función específica de eliminar los HC's y el CO que proceden de la cámara de combustión. El convertidor catalítico es un depósito intercalado en el tubo de escape y los gases se hacen pasar a través de él. El material del catalizador está fabricado de sustancias metálicas heterogéneas, como platino, iridio, paladio, etc. y cada vez se trata de utilizar catalizadores más activos y eficientes. Este tipo de catalizadores son más rápidos

que los reactores térmicos, además no están tan influenciados con la temperatura y el tiempo de residencia de los gases, ya que operan alrededor de 250 °C. Los requerimientos de inyección de aire, en el proceso de oxidación, dependen del dosado requerido en el motor. El rendimiento de estos reactores catalíticos dependen en gran medida de la superficie de contacto del catalizador con los gases de escape. El inconveniente en la utilización de estos reactores es el aumento en la emisión de  $\text{NO}_x$  y la pérdida gradual de rendimiento del reactor por envenenamiento con el plomo que contiene la gasolina.

Los reactores catalíticos de reducción se emplean para eliminar  $\text{NO}_x$  reduciéndolos a  $\text{N}_2$  y  $\text{O}_2$ , y los más utilizados son los reactores con catalizador de rodio o rutenio, por ser más baratos y fáciles de obtener. Para obtener el mejor rendimiento de estos reactores es necesario eliminar, si es posible en su totalidad, el oxígeno, lo cual es prácticamente imposible, ya que las cantidades de oxígeno en los gases de escape están en función del dosado requerido. Para tal efecto, entre el motor y el reactor de reducción se acopla un reactor de oxidación, o térmico, que disminuya la cantidad de oxígeno a través de la reacción de los HC's y el CO, los cuales se ven disminuidos. El inconveniente que presentan estos reactores es la formación de amoníaco, el cual se llega a oxidar y como consecuencia puede generar  $\text{NO}_x$ .

Los reactores catalíticos mixtos o de tres vías se utilizan para eliminar HC's, CO y  $\text{NO}_x$ , de tal manera que el  $\text{NO}_x$  se reduce y con el oxígeno que cede se oxidan los HC's y el CO. Consta de un material inerte recubierto por materiales con propiedades catalíticas, como el platino, el paladio y el rodio. El platino y el paladio actúan en la conversión de CO y HC's a  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , y el rodio transforma químicamente los  $\text{NO}_x$  a  $\text{N}_2$ . El rendimiento de estos reactores está condicionado a la exactitud del dosado por lo que generalmente se adaptan a motores con sistemas de inyección electrónica (sistemas cerrados) y a motores carburados con microprocesadores adaptados para la inyección de combustible (sistemas abiertos). Obviamente los sistemas cerrados permiten alcanzar una mayor eficiencia catalítica.

Estos sistemas anticontaminantes para MCIA han sido adaptados con gran éxito tanto en MEC a diesel y a GNC, como en MEP a GNC, a GLP y a gasolina, sin embargo, la evolución más notoria ha sido en éstos últimos.

Volvo y Robert Bosch desarrollaron el sistema cerrado SONDA-LAMBDA, con un reactor catalítico de tres vías y un sistema de inyección controlado por un bucle cerrado, el cual a través de un sensor dispuesto en el colector de escape, se controla el sistema de inyección, tratando de mantener constante el dosado estequiométrico, ya que el reactor catalítico funciona óptimamente en un intervalo muy cerrado alrededor de este dosado. La Figura FII.3 muestra el efecto del catalizador de tres vías en la reducción de las emisiones de CO, HC y  $\text{NO}_x$  y su intervalo de funcionamiento; se puede apreciar como las emisiones de HC's y  $\text{NO}_x$  se reducen considerablemente dentro del intervalo de funcionamiento del reactor. El catalizador del reactor para este sistema está elaborado de platino-rodio en una proporción de 5:1. El sensor que se dispone en el colector de escape, y que es el que da nombre al sistema (Fig. FII.4), consta de un electrolito sólido de dióxido de circonio interpuesto entre dos electrodos de platino poroso; el electrodo exterior está expuesto a los gases de escape y el interior está en contacto con el aire exterior, por lo que a través de ellos se genera una diferencia de presiones parciales debidas al oxígeno de ambos electrodos, generando un flujo de iones en el electrolito y una diferencia de

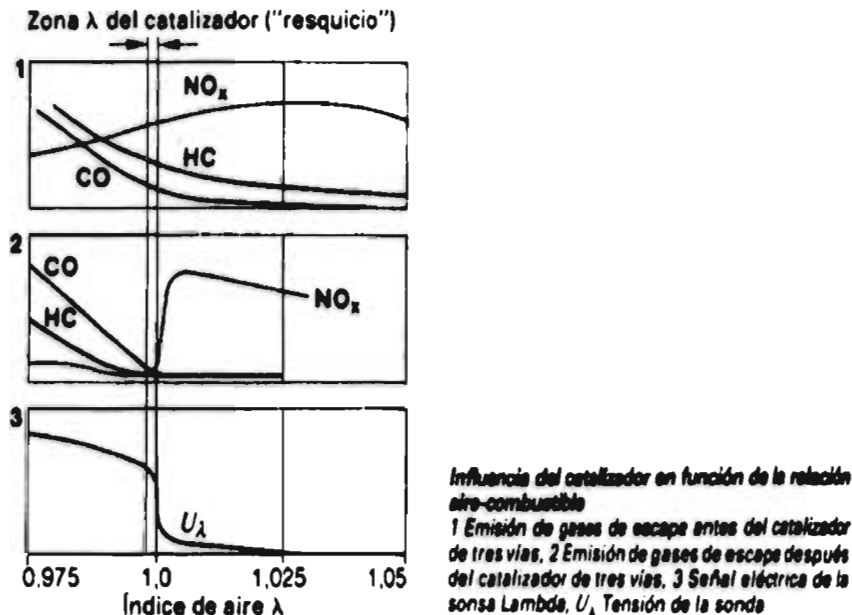


Fig. FII.3 Efecto del Catalizador de Tres Vías ( $\lambda = 1 / \text{FR}$ ).

potencial en el sensor, que sirve de señal para el control del dosado. Estos reactores catalíticos tienen el inconveniente de un elevado costo y la escasez de los materiales del catalizador, por otro lado es indudable la ventaja de la reducción de emisiones de escape, sin verse afectada la potencia o el consumo específico.

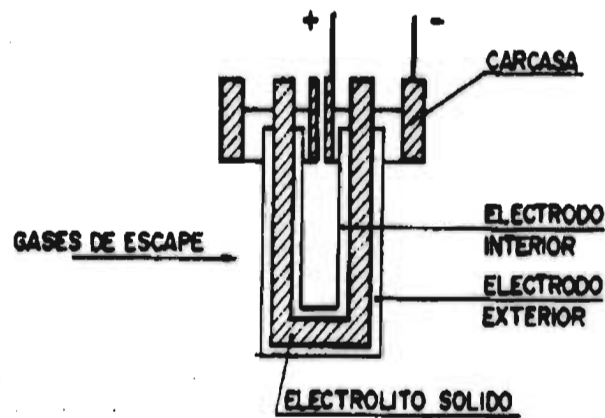
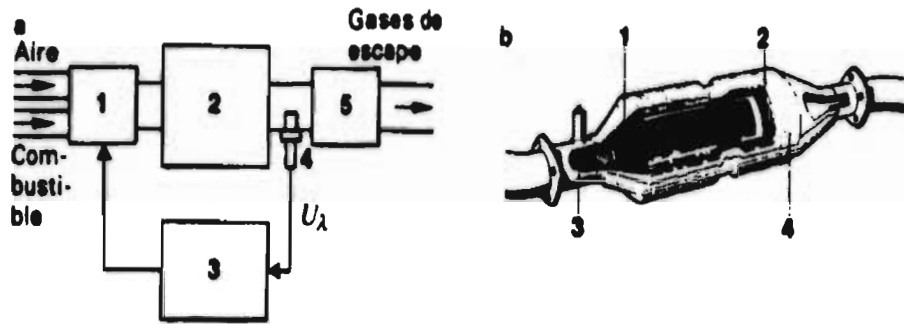


Fig. FII.4 Esquema del Sensor SONDA-LAMBDA.

En la Figura FII.5 se muestra el esquema de funcionamiento para la depuración de los gases de escape a través de un sistema cerrado.

Con relación al sistema cerrado SONDA-LAMBDA, actualmente se tienen sistemas similares que involucran el monitoreo de otros parámetros, como el avance de encendido, gases recirculados, par, régimen, etc. para lograr un control más eficiente de los dosados estequiométricos y principalmente la disminución de emisiones contaminantes de escape; por ejemplo el sistema L-Jetronic<sup>4</sup>, muy utilizado en los vehículos (Fig. FII.6). El objetivo de éstos sistemas cerrados es disminuir las concentraciones de las emisiones contaminantes y que éstas estén por debajo de los niveles permisibles que marcan las normas de cada país, a fin de proteger al medio ambiente.

<sup>4</sup> Referencia 5, pg. 31.



Depuración de los gases de escape con el catalizador de tres vías y sonda Lambda

a) Esquema de funcionamiento, 1 Formador de mezcla, 2 Motor, 3 Regulador, 4 Sonda Lambda, 5 Catalizador de tres vías,  $U_\lambda$  Tensión de la sonda

b) Catalizador de tres vías, 1 Cerámica monolítica, 2 Tecla metálica, 3 Sonda Lambda, 4 Alojamiento

Fig. FII.5. Esquema de Funcionamiento de un Sistema Cerrado.

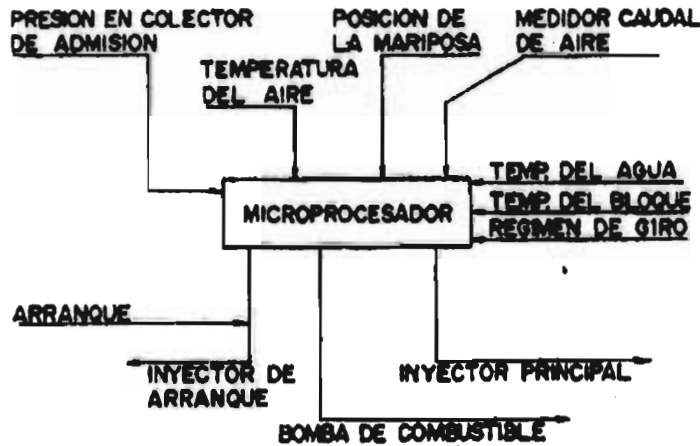


Fig. FII.6. Sistema Cerrado L-Jetronic.

La tecnología del convertidor catalítico ha alcanzado un alto nivel de desarrollo. En los Estados Unidos su uso masivo se inicio desde 1974 y posteriormente en Europa y Japón. En México los convertidores catalíticos empezaron a utilizarse en los autos nuevos a partir de 1991.

El Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) a través de pruebas desarrolladas con el método de muestreo a volumen constante (CVS/FTP-75) en vehículos con convertidor catalítico (sistema cerrado), constató que las emisiones de CO se reducen en un 53 %, los HC's en 81.3 % y los NO<sub>x</sub> en 64.9 % con desviación estándar de 8.93, 14.22 y 14.68 respectivamente<sup>5</sup>. En la Tabla II.4 se muestra el nivel de contaminación producido por un auto nuevo de 1988 (sin convertidor catalítico) comparada con un nuevo de 1995 (con convertidor catalítico), donde se pueden apreciar los porcentajes anteriores. En esta misma tabla se puede apreciar que un auto en circulación puede emitir hasta ocho veces más contaminantes que cuando era nuevo.

<b>Tabla II.4. Emisiones Contaminantes de Distintos Tipos de Autos Nuevos y en Circulación<sup>6</sup>.</b>			
	<b>CO</b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>HC</b>
<b>Nuevos (normas de emisión)*</b>			
Auto 1988.	11.40	1.49	1.52
Auto 1995.	2.11	0.62	0.25
<b>En circulación (promedios)**</b>			
Sedán compacto sin convertidor catalítico.	29.30	1.85	3.48
Sedán compacto con convertidor catalítico.	17.60	1.97	2.21
Auto americano de 4 cilindros sin convertidor catalítico.	17.40	2.69	1.32
Auto americano de 4 cilindros con convertidor catalítico.	7.48	2.75	0.57
* Valores de certificación de autos nuevos en planta (FTP-75).			
** DDF. Laboratorio de Emisiones Vehiculares (LM-240).			

Sin embargo, el desempeño real del convertidor catalítico tiene la limitante de que es inoperante en los arranques en frío del vehículo, ya que requiere de una temperatura aproximada de 300 °C para su activación catalítica, temperatura que se alcanza después de un cierto tiempo de operación. El convertidor catalítico va perdiendo su eficiencia con el uso y además puede quedar inservible si el motor del vehículo quema gasolina con plomo, debido a que éste elimina la capacidad catalítica del mismo. Normativamente la vida útil del convertidor catalítico debe ser de al menos 80,000 kilómetros bajo condiciones adecuadas de mantenimiento y uso.

5 Referencia 21 .pg IV-13.

6 Referencia 22. pg 7.

En general *el post-tratamiento o tratamiento posterior de los gases de escape ha conducido a una reducción notable de las emisiones contaminantes procedentes de los MCI.A.* pero también ha originado una elevación considerable en el costo vehicular por la adaptación de estos sistemas anticontaminantes.

No importando el alto costo vehicular, el automóvil sigue siendo el medio de transporte por excelencia, y la gran demanda que tiene es proporcional al grado de contaminación que origina.



## CAPÍTULO III

### EL PARQUE VEHICULAR EN LA ZMCM Y SUS CARACTERÍSTICAS.

#### III.1 DISTRIBUCIÓN DEL PARQUE VEHICULAR EN LA ZMCM.

Las actividades que se desarrollan en la ZMCM como en otras ciudades, provocan la necesidad de desplazarse de un lugar a otro. Sin embargo, por la gran masa poblacional la situación es crítica. Es evidente que tal necesidad conduce al uso de vehículos automotores como medio de transporte. Estos vehículos, son la principal fuente de contaminación, pero su uso es hasta el momento inevitable.

En 1989 las actividades económicas de la ZMCM emitieron a la atmósfera aproximadamente 5 millones de toneladas de diversas sustancias, de las cuales 74 % correspondió a CO, 9 % a HC, 8 % a partículas, 5 % a SO<sub>2</sub>, 4 % a NO<sub>x</sub> y un porcentaje mínimo a plomo<sup>1</sup>. Del total de emisiones contaminantes el 75-85 % corresponde a emisiones generadas por los vehículos, el 10 % por las industrias y el 5 % por tolvaneras y desechos orgánicos. En base a la toxicidad de las emisiones contaminantes los vehículos producen el 42 % en la ZMCM<sup>2</sup>.

El parque vehicular de la ZMCM, hasta 1995, era de aproximadamente 3,000,000 de vehículos, considerando solamente los registrados en el DDF.

En la Tabla III.1 se muestra su *distribución por tipo de vehículo* y el porcentaje que representa cada categoría del total, según las cifras estimadas por la Dirección de Prevención y Control de la Contaminación (DGPCC); se puede apreciar que el 80 % de los vehículos son autos particulares o privados, 15 % pertenecen al transporte de carga y 5 % al transporte público, sin embargo, esto contrasta con el hecho de que aproximadamente el 21 % de los viajes por persona,

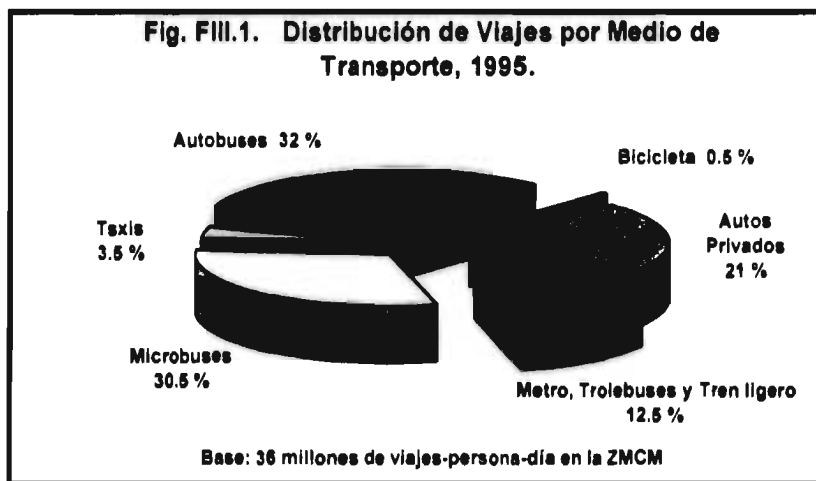
1 Referencia 8, pg. 73.

2 Referencia 1, pg 70.

por día, que se realizan en la ciudad son en automóvil particular, mientras que el 79 % restante se desplaza en transporte colectivo<sup>3</sup> (Fig. FIII.1).

Tabla III.1. Tipo de Vehículos que Circulan en la ZMCM, 1995.		
Tipo de Vehículo	Número	%
Autos Particulares	2'391,873	79.7
Microbuses	51,466	1.7
Taxis	85,000	2.8
Autobuses	10,946	0.4
Camiones y camionetas de carga	457,800	15.3
Autobuses Suburbanos	3,649	0.1
<b>Total</b>	<b>3'000,734</b>	<b>100</b>

FUENTE: DGPCC, DDF.



FUENTE: INEGI, Estudio de Origen-Destino 1995.

Por otro lado, la Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA) estimó, a través de datos proporcionados por el INEGI sobre ventas vehiculares, que el parque vehicular en circulación en la ZMCM era aproximadamente de 4'049,148 hasta finales de 1993, y de acuerdo a su distribución el 83 % lo ocupan los autos particulares (Tabla III.2). En el Anexo A se presenta una lista de los automóviles más vendidos por marca y modelo (Tabla AXIV), según datos

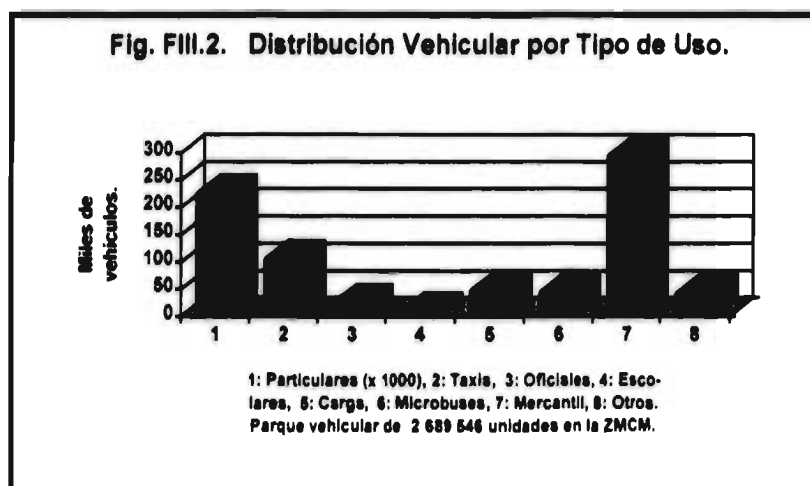
<sup>3</sup> Referencia 22, pg. 4.

estadísticos de AMIA; puede considerarse que éstos son los de mayor circulación.

Resulta asombrosa la diferencia que existe entre el parque vehicular reportado por DDF y el de AMIA. Hay que recalcar que éste último se basa en las estadísticas de ventas de las compañías automotrices, lo cual en su momento podría ser más real. sin embargo, muchos de los vehículos vendidos en la ZMCM se trasladan o registran en otros estados. Esta situación es una de las razones por las cuales en el DDF se tenga un menor número de unidades registradas.

	Oficiales	De alquiler	Particulares	Totales
Automóviles	9.021	147.122	3.369.550	3'525.693
Camiones de pasajeros	389	17.986	5.463	23.838
Camiones de carga	1.237	27.383	470.997	499.617
			<b>Total</b>	<b>4'049.148</b>

Las estadísticas publicadas en 1994 por el DDF, a través de la Dirección de Ecología, señalan que los vehículos más utilizados son para uso particular y mercantil, según su *distribución por tipo de uso* (Fig. FIII.2), aunque es necesario hacer notar que el recorrido vehicular promedio



FUENTE: Dirección de Ecología DDF, 1994.

<sup>4</sup> Referencia 23, pg. 11.

diario varía considerablemente entre algunos tipos de uso. Los microbuses y taxis son los vehículos que más kilómetros diarios recorren, contrariamente a los autos particulares (Tabla III.3).

La gran cantidad de vehículos que circulan en la ZMCM y el recorrido vehicular promedio diario, ponen de manifiesto la dificultad que existe actualmente para su desplazamiento. Un estudio de conteo de tráfico, realizado por TUV (Technischer Überwachungs Verein - Grupo de Supervisión Técnica) en 1995, reveló que los vehículos circulan a 36 km/h en promedio y con velocidades inferiores a los 15 km/h en "horas pico", sobre vialidades como el periférico, viaducto, circuito interior o ejes viales<sup>5</sup>.

Distribución	km diarios
Particulares	20
Taxis	200
Oficiales	20
Escolares	20
Carga	80
Microbuses	250
Mercantil	50
Otros (camiones diesel)	50

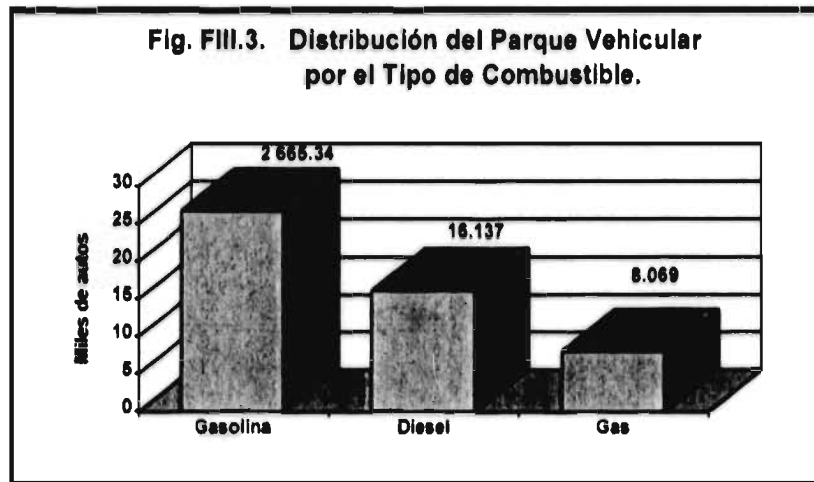
Por otra parte, la *distribución por el tipo de combustible* que consume el parque vehicular en la ZMCM, indica que aproximadamente el 98.9 % de los vehículos utilizan gasolina (Fig. FIII.3); de acuerdo a lo que se muestra en la Tabla II.1, los motores a gasolina son los causantes de los más altos índices de emisión de CO y HC's principalmente. La eficiencia de combustión es considerable inferior en este caso, ya que con la altura de la ZMCM el nivel de oxígeno por unidad de volumen es sensiblemente menor al que se encuentra a nivel del mar.

Si se hace una comparación al respecto, a 2240 m.s.n.m., 1 m<sup>3</sup> de aire contiene 212 gr. de O<sub>2</sub>, y al nivel del mar el mismo volumen contiene 275 gr. de O<sub>2</sub>, esto determina la eficiencia de combustión, ya que si un auto bien afinado al nivel del mar tiene una eficiencia del 92 %, para un auto con las mismas condiciones a la altura de la ZMCM será de 69 %. Esta comparación conduce a establecer que los 3'000,734 de vehículos que circulan en la ZMCM, liberen una cantidad de contaminantes similar a la que emitirían 6.3 millones de vehículos.

<sup>5</sup> Referencia 22, pg. 3.

<sup>6</sup> Referencia 8, pg. 77.

La economía es el factor más determinante para explicar las ventas de automóviles y por tanto el consumo de gasolinas; a medida que se mejora la economía, la sociedad tiende a adquirir más autos.

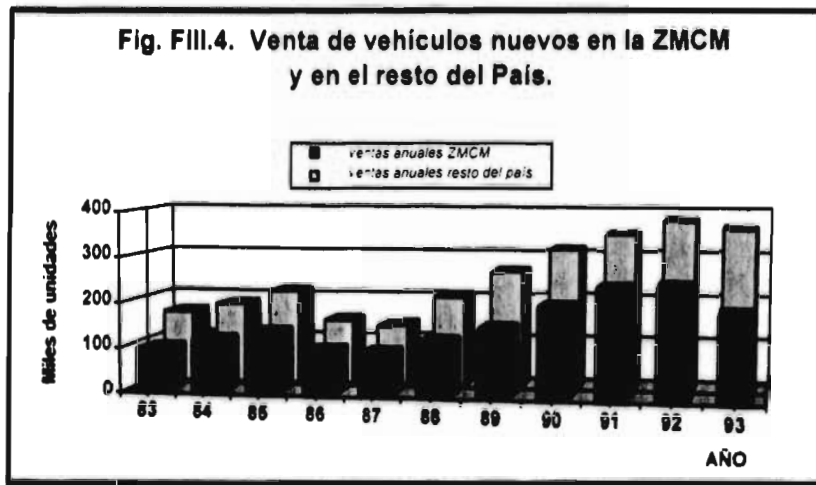


FUENTE: Dirección de Ecología, DDF, 1994.

Entre 1983 y 1988 las ventas se incrementaron a un ritmo anual de 6.6 % y entre 1989 y 1993 fue de 5.3 % en la ZMCM (Fig. FIII.4). Cabe destacar que el costo de poseer un automóvil en esta ciudad es mayor que en otras, por los daños ambientales que éste produce, aplicando al automovilista el principio de "quien contamina paga".

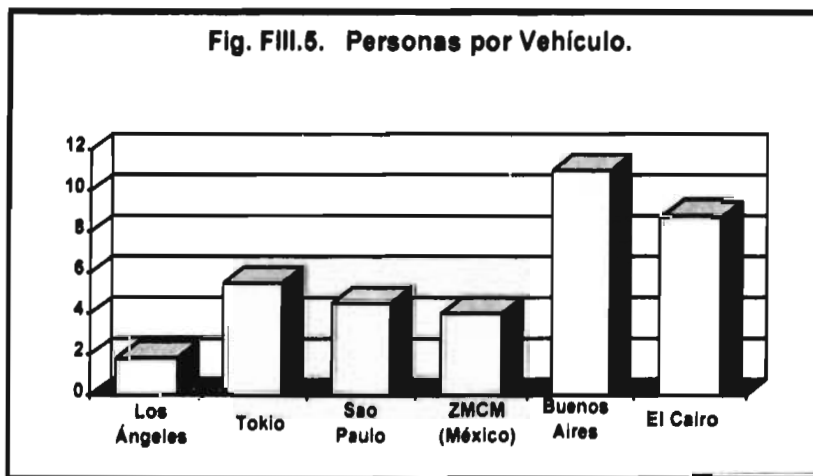
En realidad el parque vehicular esta en función de la masa poblacional de la ciudad, y es el principal problema a controlar. En algunos países como Japón y México se ha logrado aumentar la tasa de personas por vehículo a través de diversos programas, tal como la implantación de sistemas de transporte que permiten desplazar un mayor número de personas. En la Figura FIII.5 se muestra la tasa de personas por vehículo para algunas de las ciudades más pobladas del planeta, según datos estadísticos de 1994; se puede apreciar que aproximadamente el 25 % de la población de la ZMCM tenía vehículo, considerando que en este lugar había aproximadamente 16'672,000 habitantes, según estimaciones sobre datos del INEGI, del censo de 1990<sup>7</sup>.

7 Referencia 24, pg. 131.



FUENTE: Asociación Mexicana de la Industria Automotriz.

A pesar de las medidas que se han tomado en la ZMCM con los programas anticontaminantes, como el programa hoy no circula y la implantación de más rutas de transporte y extensión de las ya existentes, no ha sido suficiente para reducir el parque vehicular. El parque vehicular ha crecido a un ritmo superior al demográfico.



FUENTE: CMPCCAVM. 1994.

### III.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS VEHÍCULOS EN LA ZMCM.

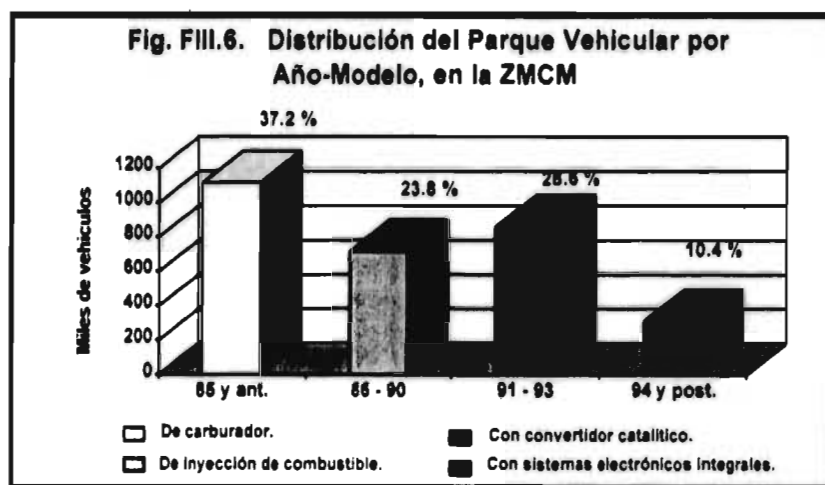
El avance tecnológico de la industria automotriz ha permitido desarrollar motores más pequeños y eficientes, reducir el peso y tamaño de los vehículos, mejorar la combustión y principalmente, reducir las emisiones a través de sistemas anticontaminantes, cuyos logros han sido significativos.

Este avance tecnológico en México se ha realizado por la industria automotriz y por acciones gubernamentales, con la finalidad de reducir las emisiones contaminantes generadas por los vehículos que circulan, principalmente en la ZMCM. La evolución de este mejoramiento se puede remontar a partir de 1960, con la introducción de la válvula de ventilación positiva del cárter, tal como se muestra en la Tabla III.4.

<b>Tabla III.4. Mejoramiento en Tecnología de Control de Emisiones Vehiculares<sup>8</sup>.</b>	
<b>Período</b>	<b>Innovación Tecnológica</b>
1960 - 1972	Ventilación positiva del cárter. Control evaporativo en 1972.
1973 - 1977	Primer sistema de encendido electrónico en los modelos Chrysler 1974. Sistema electrónico en los modelos General Motors desde 1976.
1978 - 1980	Primeras pruebas de homologación en el año de 1979. Corrector altimétrico en los carburadores de 1979.
1981 - 1984	Encendido computarizado en algunos modelos de Chrysler desde 1983. Operación del sistema de diagnóstico y verificación de fuentes móviles del DDF en 1983, con 10 centros fijos y 2 móviles.
1985 - 1989	Inyección de combustible en modelos de la General Motors desde 1986. Decreto de la SECOFI que prohíbe a partir de 1985 la fabricación de motores de 8 cilindros. En 1989 se incluye la certificación de los NO <sub>x</sub> para los automóviles nuevos. Operación del programa de verificación vehicular obligatorio en 1989.
1990	Verificación vehicular semestral en el D.F. y Estado de México. Verificación semestral para camiones de carga que circulan por carreteras federales.
1991	Introducción de convertidor catalítico en vehículos ligeros de la Chrysler, General Motors, Ford, Nissan y Volkswagen.
1992	Verificación anual en el D.F. y Estado de México. Inicio del programa de conversión a GLP en el transporte de carga y de pasajeros.
1993	Verificación semestral computarizada en el D.F. y Estado de México. Introducción de vehículos nuevos de planta dedicados a GLP.
1994	Introducción de convertidores catalíticos de tres vías en todos los modelos de automóviles a gasolina.

<sup>8</sup> Referencia 21, pg. III-3.

De la tabla anterior se puede notar que los vehículos más recientes cuentan con sistemas integrales de reducción y control de emisiones que además proporcionan un rendimiento de combustible superior, pero en la actualidad en la ZMCM circula una gran cantidad de vehículos de años anteriores a 1986 que no cuentan con estos sistemas o dispositivos anticontaminantes. La **distribución del parque vehicular de acuerdo al año-modelo** (Fig. FIII.6) muestra que el 37.2 %, de los 3'000,734 vehículos en circulación, están equipados con motores carburados, 23.8 % con inyección de combustible, 28.6 % con convertidor catalítico y tan sólo 10.4 % con sistemas electrónicos integrales.



FUENTE: DGPCC. DDF. 1995.

El IMP y la Universidad de Denver, en dos estudios realizados (uno en 1991 y otro en 1994), mostraron que el 25 % de los autos en su mayoría 1985 y anteriores, producen cerca del 70 % de la contaminación que proviene de autos particulares<sup>9</sup>.

Un parámetro relevante del parque vehicular circulante en la ZMCM es su edad promedio; de esta gráfica se puede apreciar que la edad promedio es de 8.5 años aproximadamente. Esta resulta antigua comparada con la edad que se tiene en algunas ciudades de Japón y USA, donde es de 4 a 6 años.

<sup>9</sup> Referencia 22, pg. 5.



Por otro lado, la cantidad de emisiones contaminantes de los vehículos en circulación, de acuerdo a la distribución presentada en la Tabla III.4, permite observar que los vehículos privados y taxis sin convertidor catalítico presentan mayores índices de emisiones de CO y HC's; esto aunado al recorrido diario por tipo de vehículo y a la cantidad de vehículos sin convertidor resulta en niveles superiores.

Por lo general los vehículos de más de 5.5 toneladas carburan con diesel, por lo que sus emisiones de partículas y NO<sub>x</sub> son mayores.

Tabla III.4. Emisiones Contaminantes por Pasajero Transportados. (gr/km)			
Distribución*	NO <sub>x</sub>	HC	CO
Vehículos privados sin convertidor catalítico.	1.0	4.47	45.2
Vehículos privados con convertidor catalítico.	0.94	0.14	4.7
Taxis sin convertidor catalítico.	2.14	9.57	96.85
Taxis con convertidor catalítico.	2.0	1.0	10.0
Combi sin convertidor catalítico.	0.2	1.3	13.4
Combi con convertidor catalítico.	0.2	0.144	1.11
Microbús a gasolina sin convertidor catalítico.	0.1563	0.088	0.787
Microbús a gasolina con convertidor catalítico.	0.2	0.018	0.348
Microbús a GLP sin convertidor catalítico.	0.725	0.06	0.907
Microbús a GLP con convertidor catalítico.	0.037	0.011	0.11
Autobuses urbanos.	0.6	0.2	0.7
Vehículos de carga.	20.77	7.71	18.76

\* El convertidor catalítico dispuesto en las unidades es de tres vías.

FUENTE: CMPCCAVM, 1994.

La introducción del convertidor catalítico, a partir de 1991, permitió la disminución en más del 90 % de las emisiones de HC's y CO, y en un 60 % los NO<sub>x</sub> con respecto al año modelo 1990.

Actualmente se estima que del parque vehicular que circula en la ZMCM, el 31.9 % tiene convertidor catalítico instalado desde la planta. También se supone que deberán pasar

aproximadamente 16 años para que el 68.1 % restante cuente con convertidor catalítico, de acuerdo al ritmo actual de renovación vehicular<sup>10</sup>.

Por los tipos de servicio que presentan los taxis, combis, microbuses, vehículos de carga y los destinados al servicio de las empresas, son los que recorren mayores distancias, lo cual provoca un mayor desgaste de las unidades, deterioro de las condiciones de carburación, y finalmente un aumento en las emisiones contaminantes; a este grupo de vehículos se les llama "vehículos de uso intensivo".

Un intento para el control de este problema fue dictaminado por el DDF a través del "Manual de Revista de 1993", donde solamente se autoriza para prestar el servicio de taxis y microbuses a vehículos modelo 1987 y posteriores, para el servicio de turismo a vehículos 1985 o más recientes y para carga sólo a vehículos posteriores a 1987. Esto ha implicado que los vehículos antiguos de uso intensivo hayan pasado al servicio privado reduciendo el kilometraje que recorren, o bien, que hayan salido de circulación en la ZMCM.

Por otro lado, sin duda el programa de verificación vehicular, cuyo objetivo es el de controlar el nivel de emisiones vehiculares que se presentan en la ZMCM en base a niveles permitidos, ha influido en gran medida en la modernización del parque vehicular. Los automovilistas se han visto obligados a prestar mayor atención al mantenimiento de sus vehículos, lo que según las estadísticas se ha reducido la tasa de rechazo por no cumplir con los niveles dictaminados.

Comparando el porcentaje de emisiones contaminantes que se encuentran en la atmósfera de la ciudad de L.A., California y en la ZMCM (Tabla III.5), se refleja que en ésta última los

Tabla III.5. Contaminación debida a Vehículos <sup>11</sup> . (Porcentaje de las Emisiones)*			
Areas	HC	NO <sub>x</sub>	CO
L.A., California	43	57	82
ZMCM	53	75	97
* Información oficial.			

<sup>10</sup> Referencia 21, pg. III-4.    <sup>11</sup> Referencia 8, pg. 78.

niveles son superiores. Esta situación es consecuencia de la antigüedad del parque vehicular, de la tecnología anticontaminante adaptada a los vehículos y del número de vehículos en circulación, así como también, las características del flujo vial y vialidades, y las características geográficas, climatológicas y meteorológicas que se presentan.

En general, las características que presenta el parque vehicular son de considerarse, y el problema de la contaminación originada por éste requiere de una estrategia integral que contemple:

- la modernización ambiental del parque vehicular,
- la introducción de tecnologías avanzadas de control de emisiones,
- la verificación periódica de sus emisiones, estableciendo niveles permisibles acordes a las características del parque vehicular y de la ZMCM,
- el establecimiento de niveles permisibles de emisiones más reales, así como de las técnicas de evaluación para la homologación de vehículos nuevos,
- el mejoramiento de los combustibles,
- el uso de combustibles alternos, ambientalmente más limpios,
- la expansión y mejoramiento del transporte colectivo,
- el desaliento al transporte individual y la promoción de su uso racional,
- la modernización y ampliación de la infraestructura vial,
- y principalmente, la descentralización de los servicios (de educación, de salud, etc.) y funciones burocráticas del gobierno federal.

## CAPÍTULO IV

### NORMATIVA ANTICONTAMINANTE Y MÉTODOS DE EVALUACIÓN

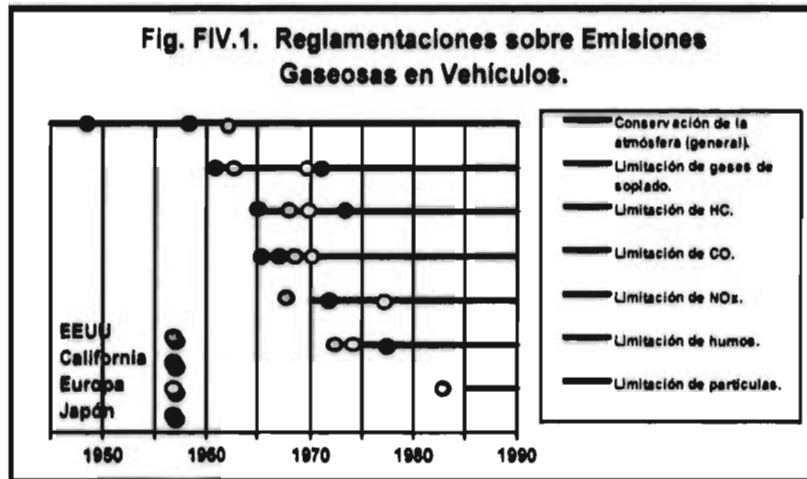
#### IV.1 ANÁLISIS DE LAS NORMAS INTERNACIONALES DE HOMOLOGACIÓN DE VEHÍCULOS LIGEROS CON MEP.

Actualmente muchos de los países están preocupados por la conservación y la protección del medio ambiente y esto ha conducido a diversos estudios y desarrollos de protección ambiental. Los altos niveles de contaminación atmosférica han dado origen a limitar niveles de concentración de contaminantes sobre una base de normatividad, la cual es cada día más exigente.

La contaminación atmosférica causada por el parque vehicular poblacional es un problema que se presenta en todas las ciudades a nivel internacional. Esto ha generado que, por parte de los gobiernos federales de cada país, donde el problema es más significativo, se establezcan normas que regulen las emisiones provenientes de los vehículos. Así han surgido organizaciones que legislan sobre estos temas, que han desarrollado técnicas de evaluación para el control y reducción de las concentraciones de gases y partículas contaminantes, en todo tipo de vehículos, como una necesidad de imponer ciertos límites a las emisiones contaminantes (Fig. FIV.1).

Entre las organizaciones más importantes esta la **Comunidad Europea ( *Europe Communiti*; CE )** y a la **Agencia de Protección Ambiental ( *Environment Protecction Agency*; EPA ), en Europa y Estados Unidos** respectivamente. Así como también al **Gobierno Japonés**.

Estas organizaciones en colaboración con las empresas automotrices y asociaciones internacionales de esta misma rama, como SAE, han establecido diversas pruebas y procedimientos de evaluación de emisiones de los motores, bajo una normativa que establece los niveles de emisión aceptables. Dichas normas explican los métodos usados, el equipo requerido, las condiciones de prueba y las técnicas para la medición de las emisiones contaminantes. Cabe destacar que el interés se centra en los vehículos ligeros con MEP.



La principal prueba de evaluación de emisiones que se realiza para la certificación de vehículos nuevos, es una *prueba dinámica* o *prueba de manejo* (Tabla IV.1); ésta se desarrolla sobre un dinamómetro de chasis, el cual permite aplicar una carga al vehículo probado, ejerciendo una fuerza extra que es igual al peso de inercia más la potencia efectiva estimada del vehículo, con lo cual se simulan las condiciones de desplazamiento normal, durante un *ciclo de manejo*. Este ciclo de manejo simula el desplazamiento del vehículo en ciudad y carretera, en forma habitual.

**Tabla IV.1. Principales Pruebas Dinámicas para Evaluar Emisiones**

CEE	EPA	JAPÓN
R15.04	FTP 1972	10 - MODE
R15.05	FTP 1974	11 - MODE
	FTP 1975	
	HWFET	

Las características del **ciclo de manejo** de cada una de las principales pruebas dinámicas usadas normalmente en el mundo para medir las emisiones de escape y la economía de combustible en automóviles y camiones ligeros son:

**1) Procedimiento de Prueba Federal 1972 (United States (U.S.) 1972 Schedule, EPA Urban Dynamometer Driving Schedule (UDDS), 1972 Federal Test Procedure (FTP), LA-4 Schedule, o también conocido como Swedish A10 Test Schedule).**

Esta prueba requiere de 1372 s en dos fases, cubriendo una distancia de 12.1 km. a 31.46 km/h promedio. La primera fase tiene una duración de 505 s y alcanza una velocidad máxima de 91.2 km/h. La segunda fase dura 867 s y tiene una velocidad máxima de 55.2 km/h.

**2) Procedimiento de Prueba Federal 1974 (505 Schedule o FTP 1974).**

Este programa consiste de los primeros 505 s del programa LA-4 cubriendo una distancia total de 5.78 km a 41.2 km/h en promedio. Puede ser corrido desde un estado frío. Normalmente se corre con el vehículo completamente calentado ( Hot 505` Schedule ). Se usa comúnmente para medir las emisiones de un trabajo desarrollado por el vehículo.

**3) Procedimiento de Prueba Federal 1975 (U.S. 1975 Schedule, 1975 FTP Schedule, o también conocido como 1978 Schedule).**

Este programa consiste de un programa FTP 1972, seguido de 10 min de reposo, seguido del programa 505. La prueba tiene una duración de 2477 s, cubriendo una distancia de 17.89 km con una velocidad media de 34.1 km/h y una velocidad máxima de 91.2 km/h (Fig. FIV.2). Se usa en el cálculo de valores oficiales de emisiones de escape y economía de combustible en ciudad.

**4) Programa de prueba para Economía de Combustible en Carretera (Highway Fuel Economy Test Schedule (HWFET)).**

Este programa consiste de 2 ciclos de manejo de 765 s., con colección de emisiones durante el segundo ciclo solamente, recorriendo una distancia de 16.4 km a 78.2 km/h promedio. Este programa se usa en E.U. para obtener los datos oficiales de economía de combustible en carretera.

**5) Programa R15.04 de la Comisión Económica para Europa (Economic Commission for Europe (ECE) R15.04 Schedule).**

Este programa de prueba se realiza para la certificación oficial de emisiones de escape y economía de combustible de vehículos para venta en muchos países europeos. La prueba puede ser corrida en caliente o en frío, cuatro veces sucesivas. Hay diferencias pequeñas que dependen de si la transmisión es manual o automática. El programa cubre una distancia total de 4.06 km a 18.7 km/h promedio con transmisión manual, y 3.98 km a 18.4 km/h promedio con transmisión automática, durante 195 s. Las emisiones se obtienen después de los primeros 40 s.

**6) Programa R15.05 de la Comisión Económica para Europa (Economic Commission for Europe (ECE) R15.05 Schedule).**

Este programa de prueba se realiza para la certificación oficial de emisiones de escape y economía de combustible de vehículos nuevos a partir de 1993 (Fig. FIV.3). El programa cubre una distancia total de 11.0 km en 1220 s en dos partes. La primera consiste del ciclo urbano básico R15.04. La segunda es llamada ciclo no urbano y se realiza a una velocidad media de 62.6 km/h cubriendo una distancia de 6.955 km, con una velocidad y aceleración máxima de 120 km/h y  $0.833 \text{ m/s}^2$  respectivamente. En este programa existen variaciones en la velocidad máxima que dependen de si la transmisión es manual o automática, así también para cuando los vehículos son de potencia insuficiente.

**7) Programa de Prueba Japones Modo 10 (Japanese 10-Mode Test Schedule).**

Este programa es parte de la prueba de emisiones vehiculares oficial para la certificación japonesa. La prueba se realiza con el vehículo completamente caliente en 10 km de acondicionamiento. La prueba es de 135 s y se realiza 6 veces sucesivas con una velocidad media de 17.7 km/h, velocidad máxima de 40 km/h y con un porcentaje al ralentí de 26.7 % (Fig. FIV.4). Los gases emitidos se muestrean durante las cinco últimas veces. Estos últimos ciclos cubren una distancia de 3.32 km.

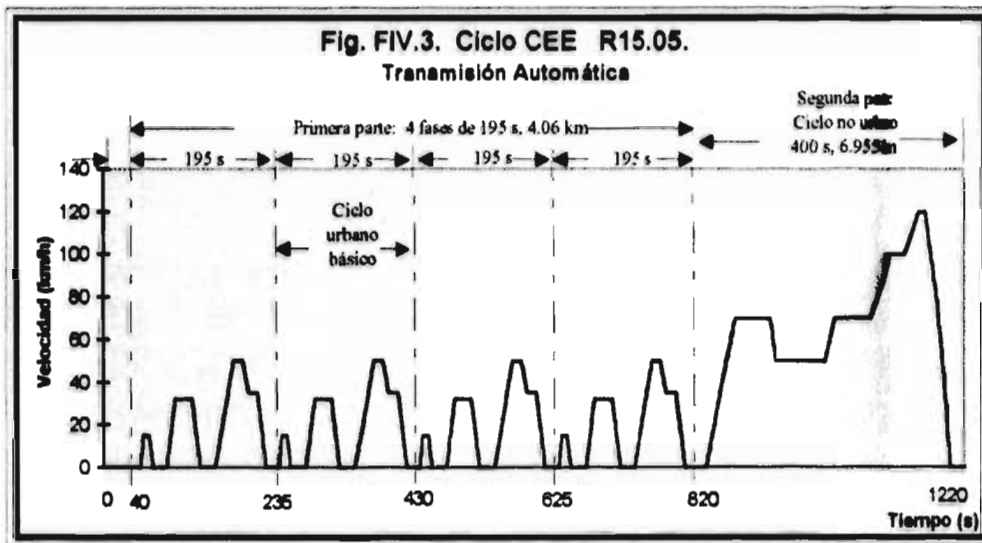
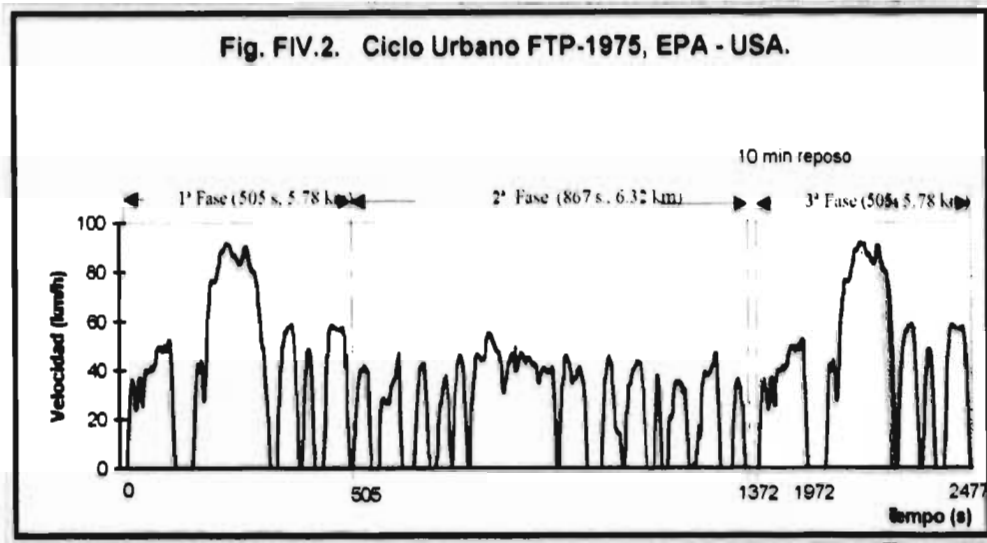
**8) Programa de Prueba Japones Modo 11 (Japanese 11-Mode Test Schedule).**

Esta prueba es para vehículos construidos después de 1976, y se realiza con arranque en frío; su duración es de 120 s y se realiza 4 veces sucesivas, cubriendo una distancia de 4.08 km, con una velocidad promedio de 30.6 km/h y una velocidad máxima de 60 km/h. El porcentaje al ralentí es de 21.7 % (Fig. FIV.4).

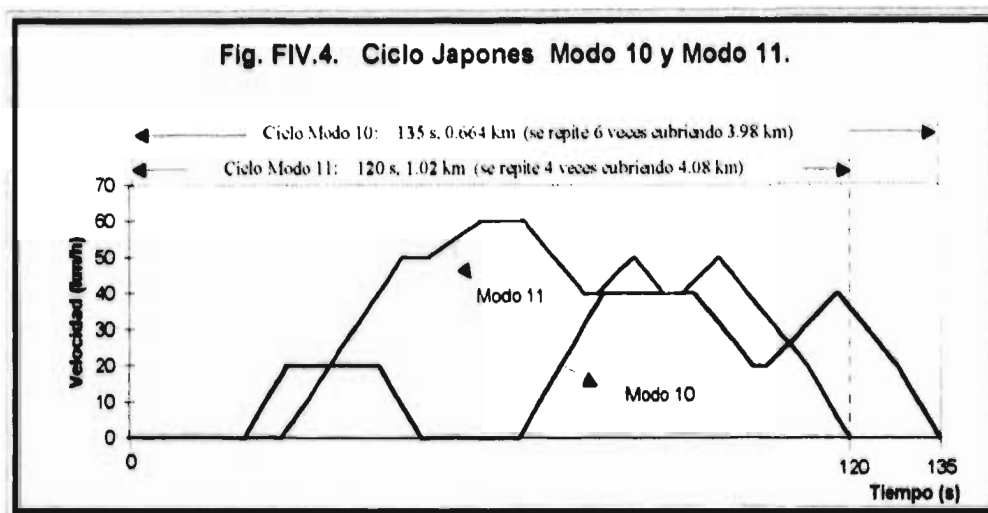
En el Anexo C, se muestra la descripción segundo a segundo de los ciclos de manejo correspondientes a estas pruebas<sup>1</sup>. La representación gráfica de estos ciclos de manejo permite apreciar la gran diferencia que existe en las trayectorias que conforman a cada uno de ellos.

Sin duda, como ya se mencionó, el ciclo de manejo simula el desplazamiento del vehículo en ciudad y carretera en una forma habitual, por tal razón, debe ser representativo de la habilidad de conducción del operador, del flujo vial, de las condiciones del camino (calles, avenidas, carreteras), de la tecnología del parque vehicular, y de las características climáticas, geográficas y meteorológicas del lugar. Sin embargo de los ciclos de manejo aquí presentados resulta ser más representativo el de la prueba FTP-1975 de USA, en comparación con los otros.

<sup>1</sup> Referencia 14: pgs 25.124-25.130







Existen otras pruebas que se aplican para inspección y mantenimiento de los motores, en función de las emisiones contaminantes producidas, tal como la prueba **COMB.**, la prueba **IM-240** y la prueba de **Velocidad Constante**.

En relación a los vehículos ligeros con MEP, las pruebas anteriores pueden aplicarse a ellos, a fin de obtener los niveles de emisiones de escape para la homologación de los mismos, según la disposición y requerimientos de los fabricantes. Los niveles permisibles más actuales dados por la EPA, - en el *Code of Federal Regulations 40 Parts 86 a 90*, revisada el primero de julio de 1990 - la CE, - en el *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, por modificación de la directiva 70/220/CEE, vigentes desde 1994 - y el Gobierno Japonés -vigentes desde 1990 - para vehículos ligeros con MEP son:

Tabla IV.2. Niveles Permisibles de Emisiones de Algunas Normativas Internacionales (g/km)*.						
Prueba		CO	HC	NO <sub>x</sub>	Evaporación**	Partículas***
EPA	FTP-75	2.10	0.25	0.62	2.0	0.12
CE	R15.05	2.20	0.50		-	0.08
JAPÓN	10 - MODE	2.10	0.25	0.25	2.0	-

\* Vigencia a partir de 1990 - EPA, 1994 - CE y 1990 - Japón, para vehículos ligeros.

\*\* Se mide en g/Prueba.

\*\*\* Para vehículos ligeros a diesel.

Estos niveles tienden a ser más estrictos, ya que el desarrollo tecnológico en relación a emisiones contaminantes se proyecta a una normatividad con el nivel de emisión permisible de 0 % para el año 2003. Es claro que un motor de combustión interna alternativo no podrá funcionar con un nivel de emisión de 0 %, por lo que se piensa en la introducción de vehículos eléctricos cuyos desarrollos son proyectos de investigación muy fuertes en este momento.

#### IV.2 TÉCNICA DE EVALUACIÓN Y CONTROL DE EMISIONES CONTAMINANTES EN VEHÍCULOS LIGEROS CON MEP.

A través de las pruebas dinámicas o dinamométricas se realiza la evaluación y control de emisiones contaminantes en los vehículos. El equipo para la realización de estas pruebas se basa en un dinamómetro de chasis y un sistema de análisis de gases de emisión .

Existen varios tipos de dinamómetros: hidráulicos, de corrientes parásitas, de corriente directa, de corriente alterna, etc.. Su aplicación depende de la precisión y versatilidad que posean. Los dinamómetros de chasis tienen una unidad de absorción de potencia para simular la masa inercial del vehículo y las condiciones de manejo, como puede ser resistencia o fricción al movimiento, en carretera o ciudad. La masa inercial se considera, de acuerdo a la norma, como el peso del vehículo más el peso de dos pasajeros. El sistema de inercia puede ser eléctrico o mecánico y es independiente de la carga de frenado estimada, propia para el motor, la cual es

constante. Por norma se aplica la restricción de que los dinamómetros sean de carga constante, aunque esta condición no permite hacer una simulación tan real como si se emplearan dinamómetros de carga variable, con los que se simularía mejor los desplazamientos en subidas y bajadas, independientemente de los rangos de aceleración y deceleración en los ciclos de manejo. La EPA actualmente estudia la adaptación de este tipo de dinamómetros.

La técnica de evaluación consiste en montar el vehículo sobre los rodillos del dinamómetro, y programar el peso de inercia y la carga de frenado del vehículo. A partir de este momento se simula el desplazamiento del vehículo, siguiendo un ciclo de manejo. El ciclo de manejo traza una trayectoria de cruceo que asemeja el recorrido vehicular en ciudad y carretera. Para esto el operador dispone de un monitor en el que se sigue una trayectoria de velocidades variables, y su habilidad de manejo permitirá que la prueba se realice dentro de los límites establecidos por norma, para que sea válida.

Durante el recorrido el motor del vehículo se calienta, por lo que para simular condiciones más reales se utiliza un ventilador para enfriamiento, colocándose frente al motor del vehículo con el cofre abierto (Fig. FIV.5).

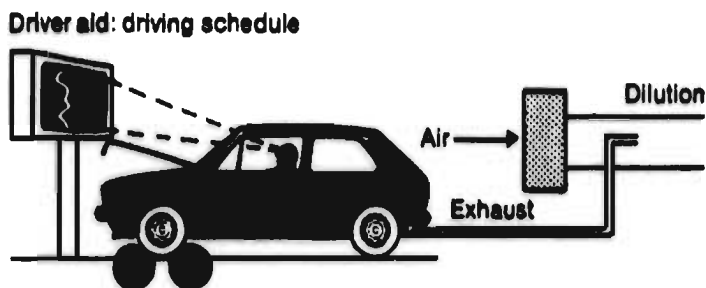


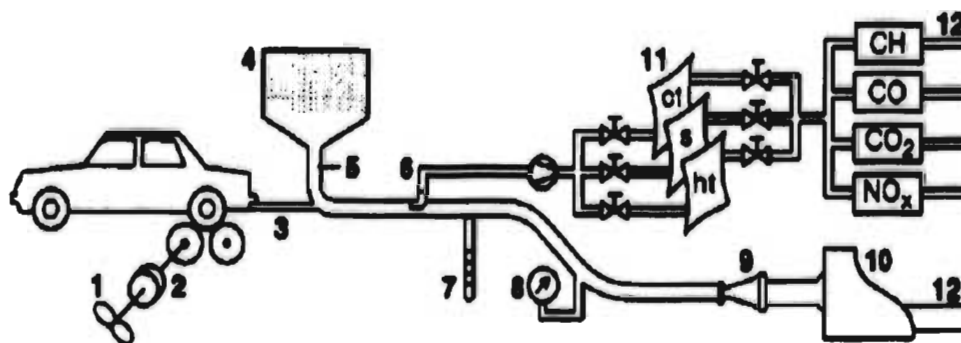
Fig. FIV.5. Simulación de recorrido en ciudad y carretera (ciclo de manejo).

En el transcurso de la prueba el vehículo emite gases contaminantes, que se analizan. El sistema de análisis de gases más empleado para las pruebas dinamométricas es un Sistema de Muestreo a Volumen Constante (CVS). Este sistema lo establece por norma la EPA y la CE, aunque la instalación de control varía entre ellas por el equipo utilizado (Fig. FIV.6 y FIV.7). Los gases de

escape se diluyen con aire limpio, en un proporción aproximada de 1:10, antes de llegar al analizador, a través de una bomba de desplazamiento positivo o un extractor con venturi eyector que recoge los gases que emite el vehículo. La capacidad de la bomba o del extractor se compensa con el aire que succiona del ambiente, por lo tanto los gases se diluyen en proporciones variables, pero el caudal se mantiene constante. De estos gases diluidos se toman muestras en forma continua y se almacenan en unas bolsas de plástico teflonizadas.

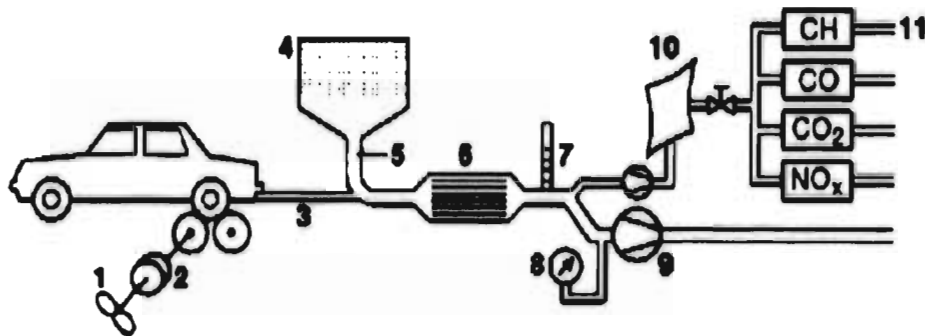
En el sistema de análisis de gases se tienen dos estaciones de muestreo (bolsas teflonizadas), donde en una estación se almacena aire ambiental del cual se determina su concentración de gases contaminantes para posteriormente restarse de la concentración determinada en los gases diluidos, que se almacenan en la otra estación de muestreo. Así se determina la cantidad de gases contaminantes producidos por el vehículo.

El análisis de los gases se realiza con técnicas ya establecidas por las normas, así los HC's se analizan con un detector de ionización de flama (FID); los NO<sub>x</sub> se analizan con un detector de luminiscencia química (CLD); y los bióxidos y monóxidos de carbono se analizan con un detector de absorción no dispersiva de infrarrojos (NDIR). Los analizadores o mejor dicho comparadores, deben calibrarse y verificarse antes de cada prueba. Para calibrarse se utilizan gases de calibración con diferentes factores de dilución de acuerdo a la prueba que se realice con el sistema de muestreo CVS.



1 Freno, 2 Volante de inercia, 3 Gases de escape, 4 Filtro de aire, 5 Aire de dilución, 6 Eyector de venturi de toma de prueba, 7 Temperatura del gas, 8 Presión, 9 Eyector venturi, 10 Ventilador, 11 Bolsa de aire, 12 Al escape.

Fig. FIV.6. Instalación de ensayo para la prueba FTP-1975 (en este caso con instalación Venturi).



1 Freno, 2 Masas de inercia, 3 Gases de escape, 4 Filtro de aire, 5 Aire de dilución, 6 Refrigerador, 7 Temperatura del gas, 8 Presión, 9 Ventilador de pistones rotatorios, 10 Bolsa colectora (aprox. 100 l), 11 Hacia la salida.

Fig. FIV.7. Instalación de ensayo para la prueba CE (en este caso con ventilador de desplazamiento positivo).

Los sistemas de muestreo CVS cuentan con un soporte electrónico de gran nivel, así los análisis comparativos que se realizan en los detectores arrojan datos que se registran mediante una computadora. En estos resultados se obtienen los niveles de emisión en masa por kilómetro, que se comparan con los niveles permisibles establecidos en la norma.

En general, los dinamómetros, los analizadores de gases y la instrumentación adicional que requiere un sistema CVS son básicamente los mismos; actualmente la diferencia estriba en los ciclos de manejo, que tratan de representar condiciones características de manejo propias de cada país.

Actualmente se estudia la posibilidad de introducir el dinamómetro de chasis en una cabina evaporativa, con el fin de tener un mejor control para cuantificar los hidrocarburos evaporados durante y después de la prueba a la que se somete el vehículo.

### **IV.3 ANÁLISIS DE LA NORMA MEXICANA PARA EL CONTROL DE EMISIONES CONTAMINANTES EN LA ZMCM.**

Los primeros estudios legislativos en México en materia de control de contaminación ambiental surgen en 1970, a partir de la formación del CONACYT, a través del Comité Nacional para la Prevención y Control de la Contaminación. En 1972 surge la primera Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación; el 14 de julio de este año se dictó un acuerdo que fijaba las bases a las que se debería estar sujeta la fabricación de equipos y dispositivos para prevenir y controlar la contaminación ambiental, con la finalidad de impulsar una industria nacional frente al costoso equipo fabricado en el extranjero. Desde entonces ya se conocía el peligro que representaba la industria automotriz, cuyos motores no eran aptos a las condiciones geográficas de la ciudad. Con el propósito de obligar a los fabricantes de vehículos a construirlos con una tecnología adecuada, se aprobó el 29 de octubre de 1976 el decreto que fija los límites permisibles de emisiones de escape de los vehículos automotores nuevos que usan gasolina como combustible<sup>2</sup>. En este decreto el Gobierno Mexicano adoptó el Procedimiento de Prueba Federal 1972 (FTP-1972), con los niveles permisibles de emisiones establecidos para el mismo por la EPA.

Durante 1971 y 1980 los niveles de emisión adoptados en México tenían como base una altura de 1600 m.snm., lo cual no era compatible con la situación geográfica de la ZMCM; pero a partir de 1981 los niveles de emisión fueron corregidos a una altura de  $2\ 200 \pm 200$  m.snm.

En 1982 aparece una nueva Ley Federal de Protección al Ambiente con los niveles corregidos, sobre la prueba FTP-1972.

Actualmente en México, el Instituto Nacional de Ecología ( INE ) y la Procuraduría Federal de Protección Ambiental ( PROFEPA ), a través de la consulta con otros organismos, son los encargados de reglamentar la cantidad de emisiones vehiculares que contribuyen a la contaminación de la atmósfera, con base en las Normas Oficiales Mexicanas en materia de Protección Ambiental. Por otro lado la Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación en el Valle de México (CMPCCVM), integrada por varias secretarías y dependencias gubernamentales del D.F., es la encargada de promover, vigilar y mejorar los programas de apoyo para prevención y control de emisiones contaminantes en la ZMCM, como el "Programa Hoy No Circula" o el "Programa de Verificación Vehicular".

<sup>2</sup> Referencia 2, pg. 69.

La norma adoptada por el Gobierno Mexicano, en última instancia, para el control y verificación de emisiones contaminantes es el Procedimiento de Prueba Federal 1975 (FTP-1975) dictaminada por la EPA<sup>3</sup>. En México esta prueba recibe el nombre de CVS-75 (Control de Volumen Estándar).

Es importante hacer notar que los métodos de prueba para hacer cumplir las normas de emisión de vehículos automotores en las fabricas de autos son distintos a los que se emplean en los centros de verificación vehicular para los autos en circulación. En las plantas automotrices se realizan pruebas en laboratorios de alta precisión que permiten verificar el buen diseño del motor y sus equipos periféricos de control de contaminantes. En los centros de verificación, las pruebas sólo permiten conocer el orden de magnitud de las emisiones y están orientadas a detectar motores mal afinados o con problemas en sus equipos periféricos de control, como pueden ser los convertidores catalíticos.

Los niveles máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible, y el procedimiento de evaluación de emisiones, están especificados en las Normas Oficiales Mexicanas NOM-041/047-ECOL/1993 publicadas en el Diario Oficial de la Federación el 22 de octubre de 1993. Para los vehículos automotores nuevos en planta con peso bruto vehicular de 400 a 3857 kg., los niveles permisibles de emisión y el procedimiento de prueba CVS-75 están especificados en las NOM-042/048-ECOL/1993, del mismo Diario Oficial de la Federación. Estos últimos niveles permisibles son los mismos que maneja la EPA, mostrados en la Tabla IV.2. Los modelos nuevos se someten a esta prueba y se certifican anualmente antes de salir al mercado.

El hecho de adoptar los niveles permisibles dados por la EPA, lleva consigo el hecho de adoptar también el ciclo de manejo en base al cual se realiza la prueba. Para el interés de este trabajo, es claro que aunque los valores de los niveles de emisión se han ajustados a la altura de la ZMCM, existen muchas diferencias que retoman gran influencia sobre los valores, como son las características climatológicas y meteorológicas de la ZMCM, y más importante aun las características de manejo típicas de la población, que no son comparables con las existentes en las ciudades de Estados Unidos.

<sup>3</sup> Referencia 15, parte 86.101-86.145.

La norma adoptada por el Gobierno Mexicano, en última instancia, para el control y verificación de emisiones contaminantes es el Procedimiento de Prueba Federal 1975 (FTP-1975) dictaminada por la EPA<sup>3</sup>. En México esta prueba recibe el nombre de CVS-75 (Control de Volumen Estándar).

Es importante hacer notar que los métodos de prueba para hacer cumplir las normas de emisión de vehículos automotores en las fabricas de autos son distintos a los que se emplean en los centros de verificación vehicular para los autos en circulación. En las plantas automotrices se realizan pruebas en laboratorios de alta precisión que permiten verificar el buen diseño del motor y sus equipos periféricos de control de contaminantes. En los centros de verificación, las pruebas sólo permiten conocer el orden de magnitud de las emisiones y están orientadas a detectar motores mal afinados o con problemas en sus equipos periféricos de control, como pueden ser los convertidores catalíticos.

Los niveles máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible, y el procedimiento de evaluación de emisiones, están especificados en las Normas Oficiales Mexicanas NOM-041/047-ECOL/1993 publicadas en el Diario Oficial de la Federación el 22 de octubre de 1993. Para los vehículos automotores nuevos en planta con peso bruto vehicular de 400 a 3857 kg., los niveles permisibles de emisión y el procedimiento de prueba CVS-75 están especificados en las NOM-042/048-ECOL/1993, del mismo Diario Oficial de la Federación. Estos últimos niveles permisibles son los mismos que manda la EPA, mostrados en la Tabla IV.2. Los modelos nuevos se someten a esta prueba y se certifican anualmente antes de salir al mercado.

El hecho de adoptar los niveles permisibles dados por la EPA, lleva consigo el hecho de adoptar también el ciclo de manejo en base al cual se realiza la prueba. Para el interés de este trabajo, es claro que aunque los valores de los niveles de emisión se han ajustados a la altura de la ZMCM, existen muchas diferencias que retoman gran influencia sobre los valores, como son las características climatológicas y meteorológicas de la ZMCM, y más importante aun las características de manejo típicas de la población, que no son comparables con las existentes en las ciudades de Estados Unidos.

<sup>3</sup> Referencia 15, parte 86.101-86.145.



Por otro lado, en lo que respecta a los automóviles en circulación, la verificación del nivel de emisiones de HC, CO, CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> de los vehículos a gasolina se realiza en dos etapas. Primero se hace una revisión visual, para verificar que el auto no emita humo en exceso, no tenga roto el escape, tenga tapón de gasolina y sus equipos de control estén debidamente conectados. Posteriormente se utiliza un analizador de gases para medir las emisiones contaminantes de escape. A los autos particulares se les realiza una prueba estática, pero si es de uso intensivo debe de montarse en un dinamómetro de rodillos, donde giran las ruedas de tracción para realizar una prueba dinámica. Por norma, a partir de 1997 todos los vehículos se someterán a dicha prueba dinámica. Sin embargo, para la prueba dinámica en los centros de verificación, no se tiene una definición real de las variaciones de velocidad, es decir, no se cuenta con un ciclo de manejo que represente las condiciones reales de conducción.

## CAPÍTULO V

### PROPUESTA PARA EL DESARROLLO DEL CICLO DE MANEJO URBANO PARA VEHÍCULOS LIGEROS

#### V.1. ESTIMACIÓN DE DATOS TÉCNICOS Y METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LAS CONDICIONES DE CIRCULACIÓN EN LA ZMCM.

##### **Selección de la Muestra Vehicular.**

El desarrollo de ciclos de manejo representativos tiene como base un estudio estadístico de diversos parámetros vehiculares obtenidos por el muestreo de una gran cantidad de vehículos en condiciones de operación reales.

Esto permite observar la importancia que tiene la selección de una muestra vehicular adecuada que represente las características típicas de conducción de los automovilistas en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM).

Como punto de partida del desarrollo de un ciclo de manejo de vehículos ligeros con MEP, se ha tomado en cuenta el parque vehicular desde los modelos más recientes hasta aquellos con una antigüedad de 12 años. Para seleccionar la muestra vehicular se analizaron las características constructivas y de desplazamiento de los vehículos, a fin de establecer grupos y categorías tal como se muestran en la Tabla V.1.

Respecto al *tipo de vehículo*, los de alquiler agrupan a los taxis, camionetas de carga ligera y combis colectivas; entre los utilitarios están contemplados los vehículos oficiales, escolares, de transporte de personal, de vigilancia e industriales, así como los de uso comercial (empresariales, de transporte de materiales y repartidores de mercancías); los particulares o privados se considera que pertenecen a una persona física.

Tabla V.1 Características para la Elección de la Muestra Vehicular.	
GRUPO	CATEGORÍA
Tipo de Vehículo.	Particulares o privados, de alquiler y utilitarios.
Tipo de Tecnología.	Con carburador, con inyección electrónica, con catalizador, sin catalizador, cilindrada o desplazamiento volumétrico, y No. de cilindros.
Edad del Vehículo.	Marca, modelo (año de fabricación), y kilometraje recorrido.
Distribución Geográfica.	Urbana, rural, montañosa.
Elección en Función del Conductor.	Edad, sexo, profesión, situación familiar y estado civil.

Con relación al *tipo de tecnología*, se consideran motores de 4, 6 y 8 cilindros; la cilindrada permite establecer grupos definidos representativos de la potencia, del número de válvulas y del turbocompresor de los vehículos; además se tiene en cuenta grupos con catalizador de 2 y 3 vías.

Respecto a la *distribución geográfica*, esta es función de los vehículos que se seleccionen y del lugar de residencia de sus propietarios.

Es importante enfatizar que un factor muy importante en la representatividad de las condiciones típicas de manejo en la ZMCM es el conductor, por tal razón se definieron diversas características que permiten la elección del vehículo en función de éste. Por ejemplo, la situación familiar puede ser estable o inestable; en la edad se consideran 4 grupos que abarcan rangos entre 15-22, 23-30, 31-50, y de 51 años en adelante y con ello, la diferencia de sexo y profesión.

Las características que presenta cada grupo resultan en gran número de combinaciones difícil de determinar exactamente. Existen grupos que tienen el número de categorías bien determinado, por ejemplo, *tipo de vehículo* y *repartición geográfica* tienen 3 categorías respectivamente, sin embargo dentro de los grupos *tipo de tecnología*, *edad del vehículo* y *elección en función del conductor*, cada uno de ellos tiene  $n$  combinaciones posibles de las categorías definidas, y más aún si se consideran las combinaciones entre estos grupos.

Esta diversidad de combinaciones conduce a considerar variables aditivas, que permiten reducir el número de combinaciones, es decir de unidades vehiculares.

Es importante poner atención a los costos relativamente elevados del equipo y del desarrollo experimental, por lo que el número final de vehículos muestreados no debe ser elevado pero sí relativamente fiable.

Un análisis de la *edad del vehículo*, apoyado en la información estadística publicada por el INEGI, la AMIA, la Dirección de Ecología del DDF<sup>1</sup> y la CMPCCAVM<sup>2</sup>, permitió seleccionar 30 marcas/modelos de vehículos de mayor circulación (Tabla V.2).

La gran variedad de marcas y modelos de automóviles que circulan en la ZMCM es muy extensa por lo que, con base a los datos de ventas anuales de vehículos entre 1985 y 1994<sup>3</sup>, primeramente fueron seleccionadas las marcas y modelos cuyo año es el de mayor venta. Estos datos se muestran en la Tabla XIV del Anexo A.

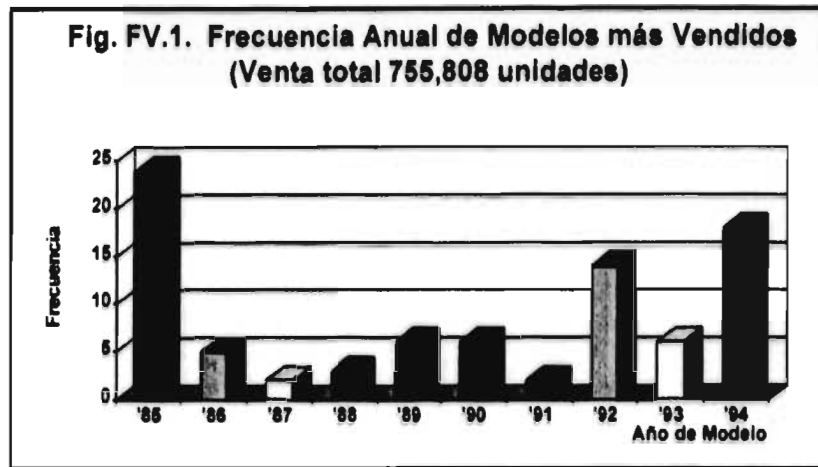
Del total de autos vendidos durante este periodo (2'996,713 automóviles), el 50 % fue vendido en la ZMCM y en el Edo. de México (EM), es decir 1'498,356. Por otro lado, el total de automóviles de mayor venta por marca y modelo (Tabla XIV, Anexo A) es de 755,808 unidades; cantidad que representa el 50.4 % de los 1'498,365 automóviles. Esto justifica que la selección de marcas y modelos de mayor venta es representativa del parque vehicular en circulación.

La Figura FV.1 nos muestra la distribución de frecuencia por año de los modelos más vendidos, y se puede apreciar que los modelos de mayor venta fueron de 1985, 1992 y 1994. Esta gráfica permitió elegir los vehículos de la Tabla V.2.

Tabla V.2. Marcas/Modelos de Vehículos de Mayor Circulación en la ZMCM<sup>3</sup>.

Marca	Modelo	Clase	Tipo	Marca	Modelo	Clase	Tipo
Renault **	1985	Subcompacto	Tipo B	Spirit	1992	Compacto	Tipo A
Caribe 2 pts.	1985	Subcompacto	Tipo B	Golf 4 pts.	1992	Subcompacto	Tipo B
Atlantic 4 pts.	1985	Subcompacto	Tipo B	Shadow 4 pts.	1992	Compacto	Tipo A
Topaz 2 pts.	1985	Compacto	Tipo A	Gran Marquis 4 pts	1992	Lujo	Tipo B
Corsar 4 pts.	1985	Compacto	Tipo B	Guía 4 pts.	1992	Compacto	Tipo B
Cougar 2 pts.	1985	Lujo	Tipo A	VW Sedan 2 pts.	1993	Subcompacto	Tipo A
Datsun SW	1986	Subcompacto	Tipo B	Cavalier 4pts.	1993	Compacto	Tipo A
Corsar Variant	1986	Subcompacto	Tipo B	Tsubame	1993	Compacto	Tipo B
Phantom 2 pts.	1987	Deportivo	Tipo B	Tsuru 4 pts.	1994	Subcompacto	Tipo B
Volare K 4 pts.	1988	Compacto	Tipo A	Chevy	1994	Subcompacto	Tipo B
Taurus SW	1989	Lujo	Tipo B	Neón	1994	Compacto	Tipo A
Shadow 2 pts.	1989	Compacto	Tipo A	Escort	1994	Compacto	Tipo A
Tsuru 2 pts.	1990	Subcompacto	Tipo B	Jetta	1994	Compacto	Tipo A
Topaz 4 pts.	1990	Compacto	Tipo A	Cavalier 2 pts.	1994	Compacto	Tipo A
Golf 2 pts.	1991	Subcompacto	Tipo B	Mustang	1994	Deportivo	Tipo B

1. Departamento del Distrito Federal (DDF); 2. Comisión Metropolitana Para el Control de la Contaminación Ambiental del Valle de México (CMPCCVM); 3. Referencia 23 y 25.



#### Parámetros a Medir.

Los vehículos que constituyen la muestra representativa del parque vehicular de la ZMCM, tienen como función única crear una *base de datos* (BD) con parámetros reales de funcionamiento. Bajo esta premisa, se realizó un análisis para determinar los parámetros más representativos tanto del funcionamiento de vehículo como de su motor, y con ello se obtuvo la clasificación mostrada en la Tabla V.3.

GRUPO	CATEGORÍA
Uso del Vehículo.	Horarios, duración, distancias recorridas, número y duración de las paradas.
Circulación del Vehículo.	Velocidad de cruce, aceleraciones, características de la carretera (pendientes, zonas geográficas, medio urbano o rural, condiciones climáticas, etc.).
Estado del Motor.	Régimen y carga del motor, características térmicas del motor (temperatura de enfriamiento, del aceite de lubricación, de gases de escape, de aire de admisión).
Auxiliares del Motor.	Posición de la caja de velocidades, consumo eléctrico y producción (alternador, batería y red), uso del freno, uso del limpiaparabrisas, y presión en neumáticos.
Consumo de Energía.	Consumo de combustible (gasolina).

En su mayoría, estos parámetros deben medirse directamente del vehículo. Sin embargo, algunos se consideran como datos implícitos ya que se pueden obtener a partir de un programa que relacione y analice los datos que se obtengan del monitoreo a bordo.

Por otro lado, se estima que la frecuencia de lectura de la mayoría de estos parámetros sea segundo a segundo, con el fin de obtener lecturas confiables del desempeño del vehículo y de su motor. En la Tabla V.4 se presentan algunos parámetros a medir a bordo de los vehículos seleccionados, con su frecuencia de registro y la forma en que serán medidos.

**Tabla V.4. Estimación de la Frecuencia de Registro de los Parámetros Reales de Funcionamiento.**

PARAMETRO	MEDICIÓN	FRECUENCIA DE REGISTRO
Tiempo (reloj contador)		Cada segundo
Inicio del recorrido	Datos del monitoreo	Uno por recorrido
Final del recorrido	Datos del monitoreo	Uno por recorrido
Distancia recorrida	Datos del monitoreo	Uno por recorrido
Número de paradas	Datos del monitoreo	n por recorrido
Duración de paradas	Datos del monitoreo	n por recorrido
Velocidad de cruceo*	Directo del vehículo	Cada segundo
Aceleraciones	Datos del monitoreo	Cada segundo
Régimen de giro (rpm)*	Directo del vehículo	Cada segundo
Par o carga del motor*	Directo del vehículo	Cada segundo
Temperatura del motor*	Directo del vehículo	Cada segundo
Posición de la caja de velocidades	Datos del monitoreo	n por recorrido
Presión de neumáticos*	Directo del vehículo	Uno por recorrido

\* Parámetros que deben ser sensados directamente del vehículo.

El tiempo, distancia recorrida, inicio y final de un recorrido, velocidades cruceo y aceleraciones, permiten determinar la duración del recorrido y el número de paradas, tanto por intersecciones como por carga o descarga.

Por otra parte, la carga del motor se puede estimar como una medida directa del ángulo de apertura de la mariposa en motores con carburador y de inyección electrónica, y si se relaciona con el régimen de giro, se puede llegar a tener una idea de la pendiente de la carretera, realizando pruebas dinamométricas. Los cambios de la caja de velocidad pueden estimarse con las relaciones de velocidad del vehículo y régimen del giro. Así mismo, la medida conjunta de la aceleración, de la pendiente y el ángulo de apertura de la mariposa, se considera como un medio de cálculo de las potencias motrices y resistencias, obtenidas y representadas sobre un dinamómetro de chasis.

Las condiciones térmicas del motor permiten establecer el comportamiento del vehículo relacionándolo con las condiciones climáticas, dando la posibilidad de analizar el consumo de combustible con relación al par y la potencia desarrollada.

El consumo de combustible permite tener una idea clara del consumo energético del vehículo bajo condiciones de operación típica y lo que esto representa desde el punto de vista de consumo nacional de energía, e impacto ambiental y económico.

Todos estos parámetros son básicos para tener una base de datos, función directa de la muestra vehicular elegida.

## V.2. INSTRUMENTACIÓN E INSTALACIÓN DEL EQUIPO A BORDO DEL VEHÍCULO.

### **Equipo de Monitoreo.**

El equipo requerido para el monitoreo de los parámetros antes mencionados se denomina Sistema de Adquisición de Datos a Bordo (SADAB). Los elementos que componen dicho sistema son los siguientes:

- Grupo de Sensores.
- Módulo de Adquisición de Datos a Bordo (MADAB).
- Estación de Análisis y Base de Datos.

El grupo de sensores esta compuesto por: sensores de temperatura de aire, de aceite, y de agua (termopares), sensores de velocidad del vehículo (captador magnético), de régimen de giro (contador de revoluciones), de consumo de combustible (medidor volumétrico), de posición de apertura de la mariposa (potenciometro), de uso del freno y limpiaparabrisas (captadores de contacto), y consumo eléctrico (medidores de corriente eléctrica).

El MADAB esta formado por un módulo microcomputarizado - tarjetas de memoria programable y de almacenamiento de información - y por un módulo de interfase de acondicionamiento de señales. El módulo microcomputarizado tiene la función de realizar todas las operaciones de toma de datos, gestión de memoria y comunicación con la estación de análisis, es decir, el procesamiento de datos. Esto a través de un microcontrolador veloz que soportar un programa autoejecutable, con memoria suficiente para almacenar datos de 7 días al menos, un reloj

de tiempo real para sincronizar las lecturas de los diversos parámetros, un timer interruptor y una vía de comunicación puerto serie RS232C. El módulo de interfase de acondicionamiento tiene la función de amplificar, dividir, linealizar, saturar, y eliminar el posible ruido eléctrico, de todas las señales que se están monitoreando.

La estación de análisis y base de datos se compone de una computadora personal estacionaria, con capacidad de memoria para el procesamiento y análisis estadístico de los datos.

El diálogo y la transferencia de datos registrados se realiza a través de un microordenador portátil compatible (PC).

La Figura FV.2 muestra un esquema de flujo de información del SADAB.

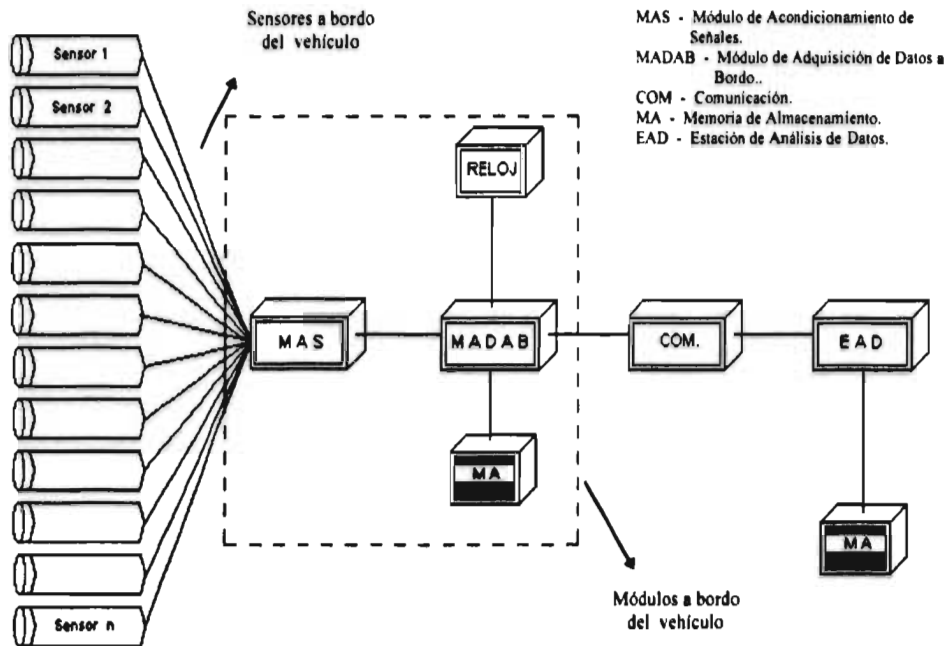


Fig. FV.2. Esquema del Sistema de Adquisición de Datos a Bordo (SADAB).

El conjunto de sensores y el MADAB deben tener las siguientes características:

- volumen reducido mínimo.



- consumo eléctrico limitado (del orden de 30 Watts/ 12 Volts).
- protección a las perturbaciones eléctricas de la red del vehículo.
- buen comportamiento a vibraciones y temperaturas.
- concepción modulada y reconfigurable.
- y la posibilidad de hacer evolucionar al programa.

Así mismo, en la instalación del MADAB, junto con los sensores, se deben tener las siguientes consideraciones:

- No perturbar el funcionamiento del vehículo (su uso cotidiano) y al conductor, y
- Ser adaptable al modelo y al tipo de vehículo.

Es claro que la presencia de un técnico a bordo del vehículo simplificaría los problemas de equipo y además garantizaría la fiabilidad de mucha información complementaria, sin embargo, tendría gran incidencia sobre el comportamiento real del vehículo debido al riesgo de inducir una sobreutilización dentro de condiciones no típicas por parte del conductor.

Es importante recordar, que el número de vehículos seleccionados para su caracterización y monitoreo, dependen del número de MADAB de que se dispongan.

Ahora bien, con objeto de evaluar la viabilidad de lo antes planteado, se realizó un **Estudio de la Propuesta de Desarrollo del Ciclo de Manejo Urbano para Vehículos Ligeros.**

#### **Vehículos Monitoreados.**

Los vehículos elegidos para ser monitoreados fueron de los de mayor circulación y con características similares.

- Ford Topaz, mod. 1990, 4 ptas., 4 cilindros, con inyección electrónica, 8 válvulas y 110 HP de potencia.
- Nissan, Tsuru, mod. 1994, 4 ptas., 4 cilindros, con inyección electrónica, 8 válvulas y 90 HP de potencia.
- Volkswagen Sedan, mod. 1993, 2 ptas., 4 cilindros, con inyección electrónica, 8 válvulas y 60 HP de potencia.

**Parámetros Medidos.**

Es claro que un ciclo de manejo se basa principalmente en los cambios de velocidad que experimenta el vehículo con respecto al tiempo. Por tal razón, y bajo las limitaciones de recursos económicos, sólo se eligieron los parámetros más relevantes de los mencionados en la Tabla V.4, los cuales son:

- velocidad del vehículo (*VV*),
- velocidad del motor (*VM*), y
- carga del motor (*CM*).

De estos, a través del MADAB, se obtuvo el número de paradas (*NP*) y su duración (*DP*), la distancia recorrida (*DR*), las aceleraciones (*AC*) y la posición de la caja de velocidades (*PV*), a fin de complementar la información para su análisis posterior.

**Sensores.**

Después de una investigación de mercado se comprobó que en los sensores automotrices que existen actualmente, la precisión, tamaño y configuración material, hacen que el costo de éstos sea muy elevado, y ante esta situación, en el Laboratorio de Control de Emisiones (LCE) de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, se seleccionaron unos y otros se construyeron.

Para la *VV* se utilizó como sensor un dispositivo electrónico llamado "Reed Switch", capaz de detectar el efecto de campo producido por unos imanes que giran sobre el tambor de la llanta trasera del vehículo, con el fin de obtener una relación frecuencia/velocidad. Los imanes se montaron sobre el plato giratorio del tambor repartidos equitativamente en su perímetro, tratando de tener una señal cuadrada con un ciclo de trabajo menor o igual al 50 %. El Reed Switch se colocó sobre una base acondicionada montada en el plato fijo del tambor. La señal mandada por el Reed Switch, para su acondicionamiento, pasa por una etapa de rectificado de altos y bajos, eliminando la imperfección de la señal en el caso de que tuviera distorsión, y posteriormente por un divisor de frecuencia de 2 a 1, garantizando una señal cuadrada a la salida y mandándola directamente al procesamiento (Fig. FV.3).

En otra disposición, el Reed Switch se colocó cerca de la flecha que une la caja de velocidades con la llanta del vehículo, sobre la cual se montó el imán. Sin embargo se pudo comprobar que es mejor la resolución que se tiene con la primera disposición comparada con esta última.

En el caso de la *VM* se instaló una bobina como sensor, montada en el cable de alimentación del distribuidor, la cual es excitada magnéticamente por el paso de corriente. Este sensor magnético capta un tren de impulsos consecutivos correspondientes al régimen de giro del motor. Para su acondicionamiento, el tren de impulsos pasa por una etapa de rectificado de altos y bajos, y posteriormente a un circuito temporizador obteniéndose una señal cuadrada, que se envía a un divisor de frecuencia, garantizando una señal que cuadre al 50 % a la salida y pueda procesarse. (Fig. FV.3)

La *CM*, se estimó midiendo el ángulo de apertura de la mariposa o estrangulador, por lo que se utilizó como sensor un potenciómetro, que varía directamente la corriente en forma gradual y lineal. En su acondicionamiento la señal se filtra para evitar posibles cambios bruscos. Posteriormente pasa por una etapa de amplificación donde se desacoplan las etapas anteriores de las posibles descargas que llegarían a afectar la entrada en la tarjeta de procesamiento. Este sensor se acopló directamente al eje del estrangulador o válvula de regulación de aire (Fig. FV.3).

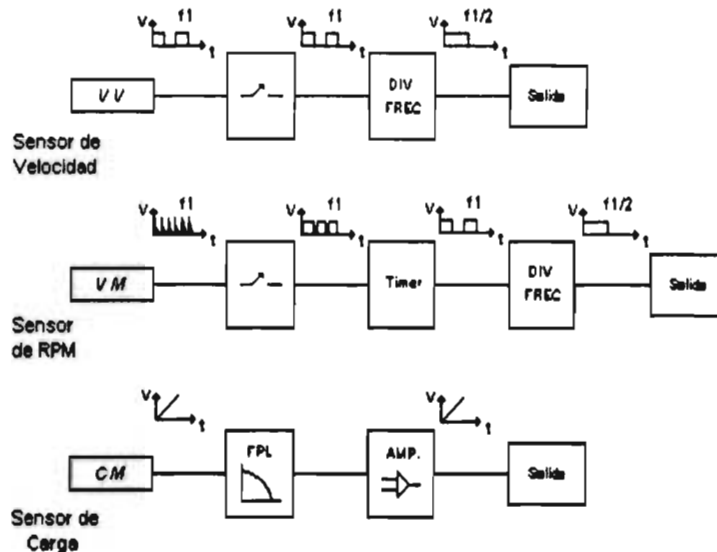


Fig. FV.3. Esquema de Acondicionamiento de Señales

Las Figuras FV.4 a FV.11 muestran la ubicación y el montaje de los sensores, así como del arnés que los conecta al MADAB.

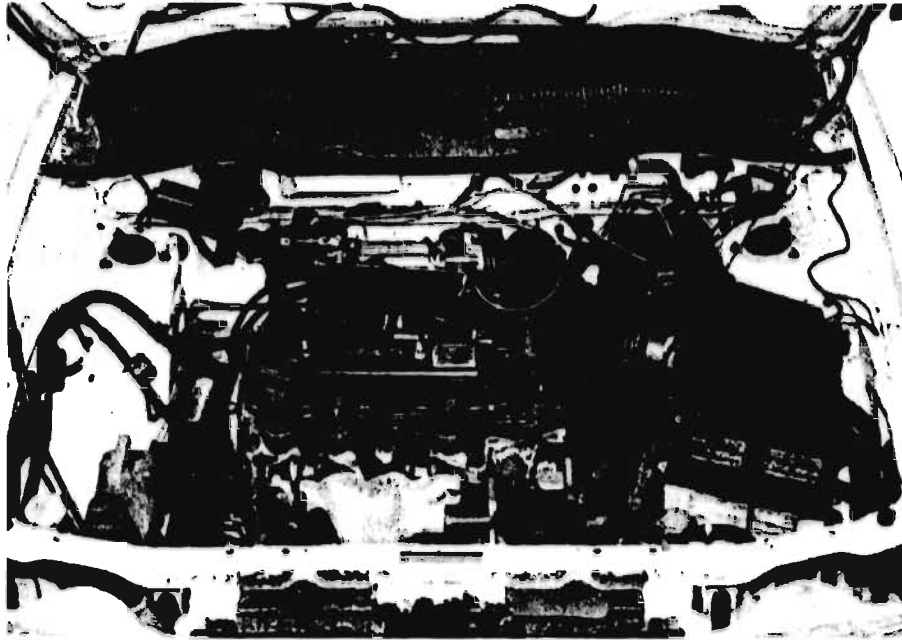


Fig. FV.4. Cableado de Sensores y Pruebas de Medición.

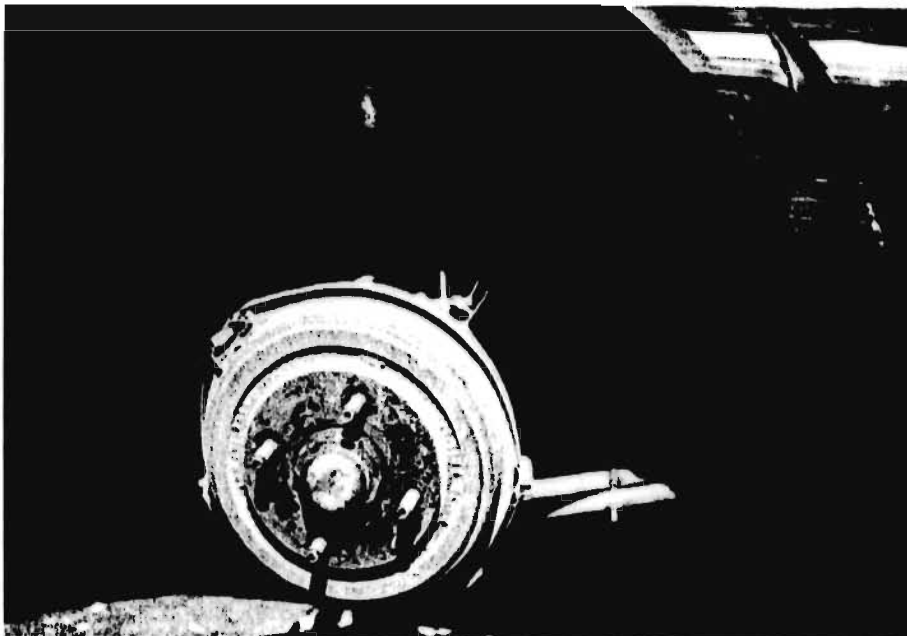


Fig. FV.5. Sensor de Velocidad montado en el Tambor Trasero del Vehículo.



Fig. FV.6. Captador de RPM montado en el Cable Principal de la Bobina.



Fig. FV.7. Montaje de Reed Switch en el Plato Fijo del Tambor Trasero del Vehículo.



Fig. FV.8. Adaptación del Sensor de Apertura de la Mariposa.

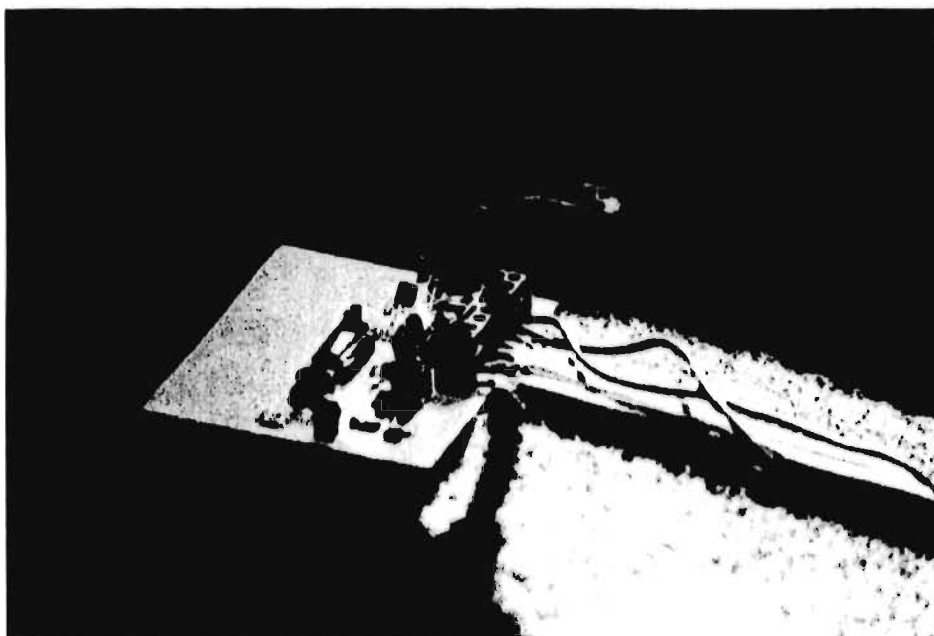


Fig. FV.9. Tarjeta de Acondicionamiento de Senales

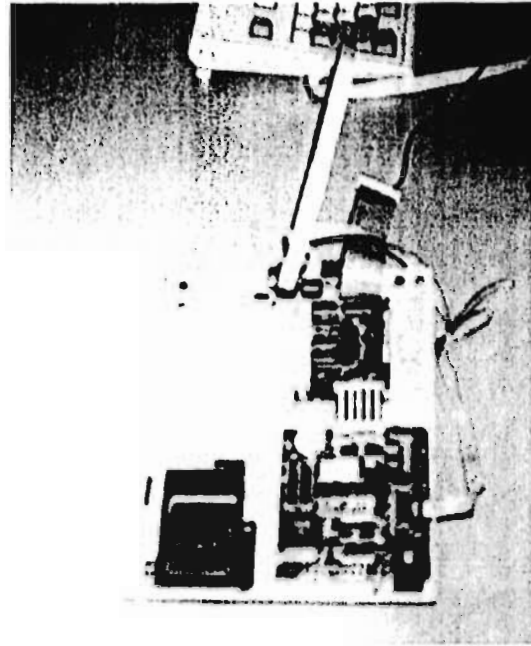


Fig. FV.10. Módulo de Adquisición de Datos a Bordo (MADAB).



Fig. FV.11. Pruebas sobre el Dinamómetro de Chasis de uno de los Vehículos Instrumentados.

Para cada uno de los sensores se realizaron pruebas sobre el acondicionamiento de la señal, y se pudo comprobar que por lo menos las señales *VV* y *VM* coincidieron con la indicación que da el velocímetro en el tablero del vehículo y con las rpm reportadas por el dispositivo de diagnóstico de fallas (Automotive Scanner), respectivamente.

Cabe mencionar que también se realizaron pruebas para obtener estas señales directamente de los sensores del vehículo, con el objeto de no instalar ningún sensor, sin embargo se comprobó que las señales de respuesta son muy pequeñas y diferentes en cuanto a magnitud según la marca y modelo del vehículo. Como consecuencia de esto cada vehículo necesitaría de una electrónica particular para el acondicionamiento de señales.

Por otro lado, el MADAB fue completamente configurado en el LCE. Dicho desarrollo tomó un tiempo considerable, debido a todos los ajustes requeridos, tanto en el acoplamiento de sus elementos como en la programación funcional del sistema.

Las características técnicas del MADAB son:

- microprocesador Z180, conjuntado con memoria EPROM y RAM,
- 12 entradas y 14 salidas digitales,
- RAM de hasta 512 Kbytes,
- EPROM de hasta 512 Kbytes,
- comunicación serial RS485 y RS232,
- reloj de tiempo real (en Epson 72421 con funciones de fecha y tiempo),
- reloj de 9.216 MHz,
- puerto PLCBus<sup>TM</sup> para expansión del sistema,
- temporizadores programables,
- batería salvaguarda para memoria,
- EEPROM de 512 bytes normales, e
- interruptor de fallas eléctricas.



### V.3. DISEÑO EXPERIMENTAL PARA EL MONITOREO DE VEHICULOS.

#### Variable a Medir.

Para llevar a cabo el monitoreo de las unidades se analizaron todos los factores que podrían influir en un momento dado, en la funcionalidad del vehículo y del motor, así como en el conductor.

Como parte de este análisis y sin perder el objetivo del desarrollo, se definió una variable a medir en la cual se reflejara la influencia de estos factores en forma cuantitativa para poder evaluarlos y contemplar los más representativos. Dicha variable es la *Velocidad Media de Crucero* ( $V_m$ ) que desarrolla el vehículo durante un recorrido, la cual representa una medida de las condiciones reales de circulación.

#### Diseño Experimental.

Inicialmente se consideró un Modelo Experimental que incluyera la mayoría de los factores, pero el número de observaciones que se tenían que desarrollar al mismo tiempo para asociar condiciones experimentales similares, resultaba en un gran número de vehículos y como consecuencia, en un gran número de MADAB's.

Esto condujo a considerar factores aditivos para simplificar el modelo experimental, y finalmente se eligió un modelo estadístico llamado **Diseño por Bloques Aleatorizados Completos (DBAC)**<sup>4</sup>, cuyo objetivo fue obtener la  $V_m$  de cada monitoreo para su análisis.

Los factores para desarrollar las pruebas fueron: (a) *monitoreo de tres vehículos ligeros* de diferentes marcas, (b) *con tres conductores* distintos, (c) *circulando en tres rutas* distintas definidas dentro de horas pico de tránsito vehicular en la ZMCM (Tabla V.5). Para llevar a cabo el DBAC se establecieron las siguientes consideraciones:

- los dos factores que intervienen se consideran fijos y son: vehículos-conductores y rutas,

Tabla V.5. Factores del Diseño Experimental.		
1er Factor (vehículos-conductores)		2º Factor (rutas)
Topaz	X	R - 1
Tsuru	Y	R - 2
Volkswagen	Z	R - 3

<sup>4</sup> Referencia 25, pg. 119.

- entre estos factores pueden existir interacciones,
- se replicaran las observaciones para comprobar igualdad de resultados,
- el replicamiento se basa en que existiran 2 observaciones por cada combinación de factores,
- se realizaron un total de 54 observaciones {9 (vehículos-conductores) x 3 (rutas) x 2 (replicas)}
- y se considera que no existen interacciones entre vehículos y conductores.

### Prueba de Interacción entre Vehículos y Conductores.

Respecto a esta última consideración, para utilizar el DBAC se asumió que los conductores no presentaban diferencia notable en la forma de manejo, con respecto al tiempo, la distancia y la hora del recorrido. Esta suposición se corroboró a través de un pre-monitoreo de los tres vehículos, tres conductores y 2 rutas de prueba, para evaluar su comportamiento de manejo y tratar de homogeneizar su habilidad de conducción. En la Tabla V.6 se muestran los resultados obtenidos del monitoreo tomando como medida principal el tiempo de recorrido. Cada una de las pruebas se desarrollo consecutivamente seleccionando en forma aleatoria al vehículo y después al conductor. En esta tabla se muestra la hora en que se desarrollo la prueba con el fin de apreciar las condiciones típicas de circulación que se pudieron presentar en ese momento.

Automóvil	RECORRIDO 1 (Vespertino)**						RECORRIDO 2 (Matutino)***				Promedio conductor
	Topaz		Tsuru		Dart K		Topaz		Tsuru		
Conductor 1	3:27*	27'43	5:22	20'32	7:12	19'00	11:32	18'48	12:49	21'30	21'30
Conductor 2	3:59	30'27	5:42	20'23	6:24	18'41	11:11	18'41	12:27	18'40	21'22
Conductor 3	4:30	19'45	4:58	20'22	6:48	24'15	10:48	20'54	12:05	20'13	21'05
Prom. Autos		25'58		20'25		20'38		19'27		20'07	21'19

\* Hora de la prueba.

\*\* La distancia del recorrido 1 fue de 8.0 km.

\*\*\* La distancia del recorrido 2 fue de 16.05 km.

Estos datos fueron tratados a través de un análisis de varianza como un "modelo completamente aleatorizado con efectos fijos"<sup>5</sup>, obteniéndose los resultados mostrados en las Tablas V.7a y V.7b.

<sup>5</sup> Referencia 25, pg. 49.

Tabla V.7a. Tabla de Análisis de Varianza para el Recorrido 1.					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Valor medio cuadrático	Valor F calculado	Probabilidad
Tratamiento	2	4.35	2.18	0.10	.902756
Error	6	135.42	22.57		
Total	8	139.77			

Tabla V.7b. Tabla de Análisis de Varianza para el Recorrido 2.					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Valor medio cuadrático	Valor F calculado	Probabilidad
Tratamiento	2	4.06	2.03	1.50	.353834
Error	3	4.06	1.35		
Total	5	8.12			

A través de una razón de varianza (distribución F) se evaluó si existían efectos en los tratamientos estableciéndose las siguientes hipótesis a probar, para cada uno de los recorridos.

Recorrido 1	Recorrido 2
$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$	$H_0: \mu_1 = \mu_2$
$H_1: \text{Al menos una } \mu \text{ es distinta de las otras.}$	$H_1: \text{Al menos una } \mu \text{ es distinta de la otra.}$

$\mu_i$  representa el valor promedio del tiempo en cada uno de los vehículos. La hipótesis  $H_0$  nos asegura que no existen efectos por la combinación de factores conductor-vehículo, es decir, no existen diferencia en la forma de manejo con respecto al tiempo, distancia y hora del recorrido, cuando los conductores manejan 3 vehículos distintos. La habilidad de los conductores para manejar resultar ser homogénea.

El valor teórico del estadístico F, obtenido de tablas, para un nivel de significancia del 5 % ( $\alpha = 0.05$ ) y con los respectivos grados de libertad de las varianzas permitió aceptar la hipótesis  $H_0$  para ambos recorridos (Tabla V.8).

Tabla V.8. Resultados del Estadístico F.	
Recorrido 1	Recorrido 2
$F_{2,6,0.05} = 5.14 > F_0 = 0.10$ y se acepta $H_0$ .	$F_{2,3,0.05} = 9.55 > F_0 = 1.5$ y se acepta $H_0$ .

### Desarrollo de las Pruebas de Monitoreo.

Para iniciar el desarrollo del experimento, se realizó una aleatorización de la secuencia de muestreo de cada una de las combinaciones vehículo-conductor-ruta, a través de un sorteo con cartas representativas de cada factor.

Los 54 recorridos se realizaron durante tres días, iniciando aproximadamente a las 9:00 hrs y con intervalos de 10 a 15 minutos entre ellos.

Durante las pruebas se tuvieron todas las condiciones típicas de la ZMCM como son: lluvias, días soleados, congestionamientos, horas pico, calles con topes, semáforos, vías rápidas, etc. Las rutas recorridas se seleccionaron considerando que fueran de las más comunes y la descripción de estas es:

**RUTA 1:** CU, Insurgentes Sur, Periférico, Barranca del Muerto, Revolución, CU.

**RUTA 2:** CU, Insurgentes Sur, Miguel Angel de Quevedo, Av. Universidad, Eje10, Cerro del Agua, CU.

**RUTA 3:** CU, Cerro del Agua, Eje 10, Div. del Norte, Miguel Angel de Quevedo, Cerro del Agua, CU.

Los datos almacenados en el MADAB se transfirieron después de cada recorrido a una PC para ser procesados y obtener la  $V_m$  en cada uno de ellos. Los resultados de este análisis se muestran en las Tablas V.9a y V.9b.

Tabla V.9a. Datos de la Velocidad Media de Crucero $V_m$ de la Réplica No. 1.									
Factor 1	Vehículo 1			Vehículo 2			Vehículo 3		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
	12.13	40.02	13.28	19.15	26.16	13.50	12.19	22.49	12.25
		15.82		14.52	14.44			13.87	

Factor 1	Vehículo 1			Vehículo 2			Vehículo 3		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
	18.85	24.17	23.20	26.56	29.46	28.55	26.34	18.92	23.03
	15.64	19.63	16.41	15.53	14.08	14.29	13.22	14.10	12.33
	13.12	15.44	16.20	13.46	12.48	13.03	14.20	13.40	20.35

#### V.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y RESULTADOS DEL MODELO EXPERIMENTAL.

##### Modelo de Análisis de Varianza del DBAC.

El análisis del DBAC se realiza a través de hipótesis para probar la igualdad de medias de los tratamientos ( $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_j$ , o equitativamente,  $H_0: \gamma_1 = \gamma_2 = \dots = \gamma_i$ ), con determinados intervalos de confianza, evaluadas bajo la "Distribución F", la cual resulta de un cociente de varianzas.

El modelo de análisis de varianza para este diseño experimental es:

$$Y_{ij} = \mu + \gamma_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

$$i = j = 1, 2 \text{ y } 3.$$

donde:

$Y_{ij}$  es el valor de la observación  $i, j$ .

$\mu$  es el efecto medio global (valor medio esperado).

$\gamma_i$  es el efecto de los tratamientos (factor vehículos-conductores) en los niveles  $i$ .

$\beta_j$  es el efecto de los bloques (factor ruta) en los niveles  $j$ .

$\varepsilon_{ij}$  es el error aleatorio<sup>6</sup>.

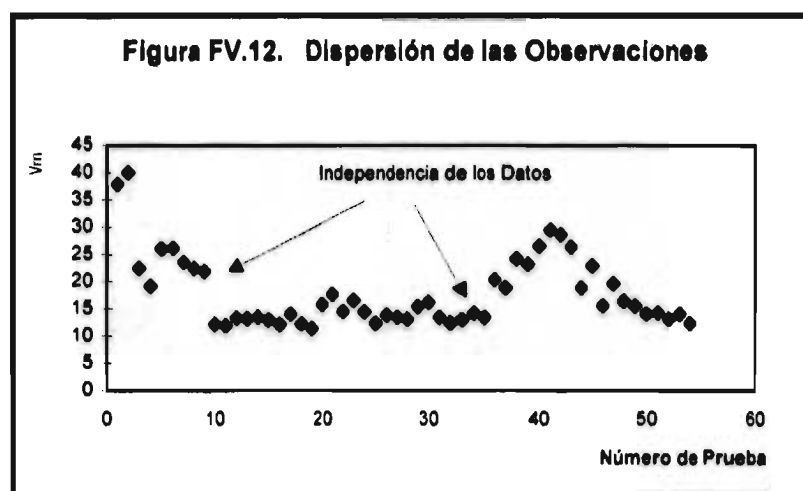
Las condiciones que deben cumplir los datos que se evalúan bajo este modelo son: independencia de las observaciones, homocedasticidad (igualdad de varianzas) entre tratamientos y distribución de probabilidad normal. Cuando no se cumple esta última los datos deben ser analizados bajo Pruebas no Paramétricas en las que la suposición de normalidad no es necesaria.

<sup>6</sup> Referencia 27. pg. AH-10.

### Análisis Estadístico de los Datos.

Las primeras pruebas que se realizaron fueron para comprobar las condiciones del DBAC antes mencionadas, en cada una de las réplicas.

La *INDEPENDENCIA DE LOS DATOS* se aceptó después de obtener la gráfica de dispersión de la información (Fig. FV.12), donde no se encontraron correlaciones entre las 54 observaciones, es decir, una observación no depende ni influye en los resultados de las otras.

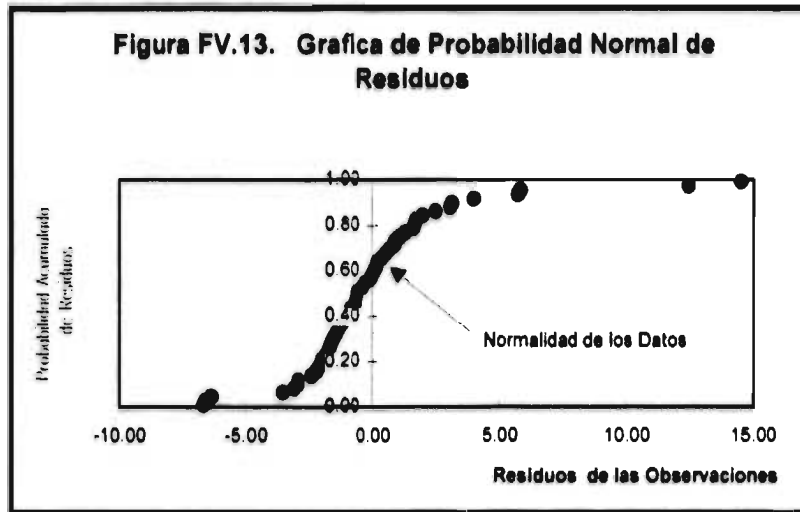


La *HOMOCEASTICIDAD* se pudo comprobar a través de la Prueba de  $SSW_{máx}/SSW_{mín}$ <sup>7</sup> de la cual se aceptó la hipótesis de igualdad de varianzas, es decir, la variancia dentro de cada ruta esta situada entre de los límites aceptables de variabilidad de esta prueba. Además, a través de una Prueba de Estadístico T se pudo comprobar la igualdad de medias entre réplicas.

La *NORMALIDAD* se comprobó primeramente, a través de un "Análisis de Residuos"<sup>8</sup> donde la gráfica de probabilidad normal de residuos (Fig. FV.13) mostró una tendencia lineal recta, por lo que se aceptó que la información tiene una distribución normal. Posteriormente se realizó una Prueba de Bondad de Ajustes en la que se corroboró la tendencia de la información a la normalidad.

7 Referencia 27, pg. 30.

8 Referencia 25, pg. 86.



Los resultados anteriores permitieron utilizar el DBAC y algunas otras pruebas paramétricas, para la evaluación de varianzas y análisis de efectos en los tratamientos. El nivel de significancia que se utilizó en cada una de las prueba fue del 5% ( $\alpha = 0.05$ ) y por separado se analizaron cada uno de los tres factores como tratamientos.

**a) Modelo con Bloques Aleatorizados Completos.**

Primeramente se consideraron las RUTAS como tratamientos y la combinación vehículo-conductor como bloque. La Tabla V.10 nos muestra la concentración de datos de la replica No. 1

**Tabla V.10. Concentración de Datos de la Réplica No. 1 para el Análisis de Rutas.**

Tratamientos	VEHICULO 1			VEHICULO 2			VEHICULO 3		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
Ruta 1	37.93	40.02	22.49	19.15	26.00	26.16	23.60	22.49	21.87
Ruta 2	12.13	11.89	13.28	13.19	13.50	12.99	12.19	13.99	12.25
Ruta 3	11.36	15.82	17.67	14.52	16.51	14.44	12.37	13.87	13.48

La posible existencia de efectos en los tratamientos y en los bloques permitió establecer las siguientes hipótesis a probar.

Tratamientos	Bloques
$H_0: \gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3. (\gamma_i = 0)$	$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_n. (\beta_j = 0)$
$H_1: \text{Al menos una } \gamma_i \neq 0$	$H_1: \text{Al menos una } \beta_j \neq 0.$

La hipótesis  $H_0$  para los tratamientos plantea que no existen efectos entre ellos o bien, que las medias  $\mu$  de cada uno son iguales, por lo que en un momento dado se podrían considerar como una sola muestra. La hipótesis  $H_1$  es contraria a  $H_0$ , y considera que la media  $\mu$  de los tratamientos son diferentes debido a los efectos que intervienen en cada uno de ellos.

Los resultados de los cálculos del análisis de varianza se muestran en la Tabla V.11, así como el valor teórico del estadístico F, obtenido de tablas, para un nivel de significancia del 5% y con los respectivos grados de libertad de las varianzas.

En el caso de los tratamientos, como  $F_0 = 24.387 > F_{2,16} = 3.63$  se rechaza la hipótesis nula  $H_0$  por lo que se concluye que los vehículos tienen diferente desempeño ( $V_m$ ) en las tres rutas, es decir, existen efectos.

Fuente	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Valor medio cuadrático	F prueba	F tablas (Teórico)
Tratamiento	2	1025.624	512.812	24.387	3.63
Bloque	8	129.127	16.14	0.767	2.59
Error	16	336.452	21.028		
Total	26	1491.213			

Para verificar la efectividad del bloqueo, se encontró que  $F_1 = 0.767 < F_{8,16} = 2.59$  y se aceptó la hipótesis nula  $H_0$ . Concluyendo que no es necesario bloquear el factor vehículo-conductor, es decir, no existen diferencias entre estas combinaciones dentro de una misma ruta, y se podría aplicar un Modelo Completamente Aleatorizado.

Estas mismas conclusiones se obtuvieron de la replicación No. 2, tal y como se puede apreciar en las siguientes Tablas.



Tabla V.12. Concentración de Datos de la Réplica No. 2 para el Análisis de Rutas.

	VEHICULO 1			VEHICULO 2			VEHICULO 3		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
<b>Ruta 1</b>	18.85	24.17	23.20	26.56	29.46	28.55	26.34	18.92	23.03
<b>Ruta 2</b>	15.64	19.63	16.41	15.53	14.08	14.29	13.22	14.10	12.33
<b>Ruta 3</b>	13.12	15.44	16.20	13.46	12.48	13.03	14.20	13.40	20.35

Tabla V.13. Análisis de Varianza de la Réplica No. 2 para el DBAC.  
(rutas)

Fuente	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Valor medio cuadrático	F prueba	F tablas (Teórico)
Tratamiento	2	543.78	271.89	28.42	3.63
Bloque	8	47.33	5.916	0.6185	2.59
Error	16	153.09	9.565		
Total	26	744.15			

Considerando ahora a los CONDUCTORES como tratamientos y a la combinación vehículo-ruta como bloque. La Tabla V.14 muestra la concentración de datos de la réplica No. 1.

Tabla V.14. Concentración de Datos de la Réplica No. 1 para el Análisis de Conductores.

	VEHICULO 1			VEHICULO 2			VEHICULO 3		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
<b>Conductor 1</b>	37.93	12.13	11.36	19.15	13.19	14.52	23.60	12.19	12.37
<b>Conductor 2</b>	40.02	11.89	15.82	26.00	13.50	16.51	22.49	13.99	13.87
<b>Conductor 3</b>	22.49	13.28	17.67	26.16	12.99	14.44	21.87	12.25	13.48

Nuevamente, la existencia de efectos en los tratamientos y en los bloques permitió establecer hipótesis a probar similares a las anteriores.

Los resultados de los cálculos del análisis de varianza para los conductores se muestran en la Tabla V.15, así como el valor teórico del estadístico F, para un nivel de significancia del 5 % y con los respectivos grados de libertad de las varianzas.

Tabla V.15. Análisis de Varianza de la Réplica No. 1 para el DBAC. (Conductores)					
Fuente	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Valor medio cuadrático	F prueba	F tablas (Teórico)
Tratamiento	2	25.68	12.84	0.909	3.63
Bloque	8	1245.96	155.745	11.35	2.59
Error	16	219.46	13.716		
Total	26	1491.1			

En el caso de los tratamientos, como  $F_0 = 0.909 < F_{2,16} = 3.63$  se acepta la hipótesis nula  $H_0$  por lo que se concluye que no existen efectos entre los conductores, es decir que el promedio de la  $V_m$ , en este caso  $\mu$ , que desarrollaron los conductores en todos los recorridos es igual entre ellos.

Sin embargo, para los bloques, se encontró que  $F_1 = 11.35 > F_{8,16} = 2.59$  y se rechaza la hipótesis nula  $H_0$ . Concluyendo que existen efectos entre los bloques y que se pueden deber básicamente a las rutas.

Estos mismos resultados se obtienen en la réplica no. 2, analizando a los conductores.

Así mismo, para el caso de considerar a los vehículos como tratamientos, se obtuvieron conclusiones idénticas a esta última. Las siguientes tablas muestran las concentraciones de datos para el análisis de conductores y vehículos.

Tabla V.16. Concentración de Datos de la Réplica No. 2 para el Análisis de Conductores.									
	VEHICULO 1			VEHICULO 2			VEHICULO 3		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Conductor 1	18.85	15.64	13.12	26.56	15.53	13.46	26.34	13.22	14.20
Conductor 2	24.17	19.63	15.44	29.46	14.08	12.48	18.92	14.10	13.40
Conductor 3	23.20	16.41	16.20	28.55	14.29	13.03	23.03	12.33	23.35

Tabla V.17 Concentración de Datos de la Réplica No. 1 para el Análisis de Vehículos.									
	RUTA 1			RUTA 2			RUTA 3		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
Vehículo 1	37.93	40.02	22.49	12.13	11.89	13.28	11.36	15.82	14.44
Vehículo 2	19.15	26.00	26.16	13.19	13.50	12.99	14.52	16.51	14.44
Vehículo 3	23.60	22.40	21.87	12.19	13.99	12.25	12.37	13.87	13.48

Tabla V.18. Concentración de Datos de la Réplica No. 2 para el Análisis de Vehículos.

	RUTA 1			RUTA 2			RUTA 3		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
Vehículo 1	18.85	24.17	23.20	15.64	19.63	16.41	13.12	15.44	16.20
Vehículo 2	26.56	29.46	28.55	15.53	14.08	14.29	13.46	12.48	13.003
Vehículo 3	26.34	18.92	23.03	13.22	14.10	12.33	14.20	13.40	20.35

La conclusión definitiva que se obtuvo del DBAC fue que la diferencia en la  $V_m$  de los 54 recorridos se debe básicamente a la ruta recorrida, ya que en condiciones normales de circulación, tal y como se desarrollaron las pruebas, los vehículos tuvieron una maniobrabilidad y funcionalidad similares, y los conductores presentaron iguales habilidades de manejo.

El hecho de que las rutas sean la única causa de variabilidad de la  $V_m$  se debe a que los congestionamientos, número de semáforos, flujo vial, número de topes, vías rápidas, etc., presentes en cada ruta son diferentes.

Esto implica que por mucha destreza que tenga el conductor para manejar y por muy potente que sea el vehículo que conduce en la ZMCM, la velocidad que pueda desarrollar durante un recorrido estará limitada por las características de la ruta que recorra.

#### b) Modelo Completamente Aleatorizado.

Las conclusiones del DBAC permitieron corroborar los resultados a través un análisis de varianza bajo un Modelo Completamente Aleatorizado (MCA), en el cual se supone que no existen efectos entre bloques.

La ecuación representativa del análisis de varianza para el MCA es:

$$Y_{ij} = \mu + \gamma_i + \epsilon_{ij}$$

$$i = 1, 2 \text{ y } 3; j = 1, 2, \dots, 9.$$

donde:

$Y_{ij}$  es el valor de la observación  $i, j$ .

$\mu$  es el efecto medio global (valor medio esperado).

$\gamma_i$  es el efecto de los tratamientos (factor rutas) en los niveles  $i$ .

$\epsilon_{ij}$  es el error aleatorio.

Para la evaluación de este modelo se utilizó la información de las tabla de concentración de datos para cada una de las réplicas de cada factor. Las hipótesis a probar fueron:

Tratamientos

$$H_0: \gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3. (\gamma_i = 0)$$

$$H_1: \text{Al menos una } \gamma_i \neq 0$$

De igual forma, la hipótesis  $H_0$  plantea que no existen efectos entre tratamientos o bien, que la media  $\mu$  de cada uno de ellos es igual, por lo que en un momento dado se podrían considerar todas las observaciones como una sola muestra. La hipótesis  $H_1$  considera que la media  $\mu$  de los tratamientos son diferentes debido a los efectos que intervienen en cada uno de ellos.

Los resultados de los cálculos del análisis de varianza para rutas, conductores y vehículos se muestran en las siguientes tablas. El valor teórico del estadístico F, obtenido de tablas con un nivel de significancia del 5 % y con los respectivos grados de libertad de las varianzas, permitieron evaluar la hipótesis  $H_0$  llegando a las mismas conclusiones del inciso anterior.

Se puede apreciar en las Tablas V.19 a v.24 que  $F_{\text{calculado}} > F_{\text{teórico}}$  sólo cuando se consideran las rutas como tratamientos. Esto pone en manifiesto la existencia de efectos entre las rutas.

Tabla V.19. Análisis de Varianza de la Replicación No. 1 para el MCA (Rutas)					
	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Valor medio cuadrático	Valor F calculado	F tablas (Teórico)
Tratamiento	2	1025.63	512.82	26.43	3.40
Error	24	465.58	19.40		
Total	26	1491.22			

Tabla V.20. Análisis de Varianza de la Replicación No. 2 para el MCA (Rutas)					
	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Valor medio cuadrático	Valor F calculado	F tablas (Teórico)
Tratamiento	2	543.78	271.89	32.57	3.40
Error	24	200.36	8.35		
Total	26	744.15			

<b>Tabla V.21. Análisis de Varianza de la Replica No. 1 para el MAC (Conductores)</b>					
	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Valor medio cuadrático	Valor F calculado	F tablas (Teórico)
Tratamiento	2	25.68	12.84	0.21	3.40
Error	24	1465.53	61.06		
Total	26	1491.22			

<b>Tabla V.22. Análisis de Varianza de la Replica No. 2 para el MAC (Conductores)</b>					
	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Valor medio cuadrático	Valor F calculado	F tablas (Teórico)
Tratamiento	2	10.37	5.18	0.16	3.40
Error	24	756.55	31.52		
Total	26	766.92			

<b>Tabla V.23. Análisis de Varianza de la Replica No. 1 para el MAC (Vehículos)</b>					
	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Valor medio cuadrático	Valor F calculado	F tablas (Teórico)
Tratamiento	2	78.54	39.27	0.67	3.40
Error	24	1412.67	58.86		
Total	26	1491.22			

<b>Tabla V.24. Análisis de Varianza de la Replica No. 2 para el MAC (Vehículos)</b>					
	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Valor medio cuadrático	Valor F calculado	F tablas (Teórico)
Tratamiento	2	7.48	3.74	0.12	3.40
Error	24	736.66	30.69		
Total	26	744.15			

Independientemente de estas pruebas paramétricas, se realizó una evaluación más completa de la información a través de la Pruebas de Kruskal-Wallis<sup>9</sup> y la Prueba de Frietman<sup>10</sup>, que no son paramétricas. Nuevamente estas pruebas mostraron que existen efectos en las rutas y que son la causan de variabilidad de la  $V_m$  que desarrolla un vehículo-conductor.

9 Referencia 25, pg. 112.

10 Referencia 27, pg. AD-5.

Finalmente todo este análisis con respecto al desarrollo del Ciclo de Manejo permitió establecer las siguientes conclusiones:

- La muestra vehicular representativa de la ZMCM no tiene que ajustarse a un modelo estadístico experimental tan complejo en el que intervengan muchos factores.
- El DBAC puede reducirse a un MCA, en el cual se pueden reducir el número de observaciones a una sólo réplica y obtener resultados confiables.
- El número de vehículos a monitorear depende únicamente del número de MADAB que se tenga.
- La marca o modelo del automóvil, sistema de alimentación, tipo de motor, etc. se reflejan directamente en la  $V_m$  del vehículo, sin embargo su efecto real se ve limitado por las condiciones de circulación en ciudad. Esto mismo sucede con las condiciones climáticas, meteorológicas y geográficas de la ZMCM.
- La habilidad de manejo y así mismo la experiencia de los conductores finalmente se ven limitadas por las condiciones de flujo vial.
- La  $V_m$  es un parámetro representativo de las condiciones típicas de circulación en la ZMCM, ya que representa una medida real de las trayectorias y recorridos en los que se desplazó el vehículo, y la información que se genera alrededor de ésta resulta confiable por los resultados obtenidos del análisis de varianza.

## **CAPÍTULO VI**

### **PROPUESTA DE UN CICLO DE MANEJO PARA HOMOLOGAR VEHÍCULOS LIGEROS**

#### **VI.1. ANÁLISIS DE RECORRIDOS Y TRAYECTORIAS.**

La información que se obtuvo del monitoreo, segundo a segundo, de los 54 recorridos fue transferida a una PC para conformar una base de datos y posteriormente, procesada para su análisis. En cada recorrido se calculó la velocidad media  $V_m$ , tiempo de recorrido  $T_p$ , distancia recorrida  $DR$ , número de paradas  $NP$ , tiempo con  $V=0$  y el porcentaje que éste representa del tiempo total recorrido.

La Tabla VI.1 muestra como están ordenados los recorridos de acuerdo a la ruta, vehículo y conductor.

*Un recorrido consiste de una serie de trayectorias de desplazamiento desarrolladas a través de las rutas establecidas. Así mismo, una trayectoria se define como el desplazamiento que experimenta el vehículo comprendido entre dos lapsos con  $V=0$ .*

Los recorridos que se realizaron presentaron una gran diversidad de trayectorias a pesar de que fueran de la misma ruta, y esto se puede apreciar en las gráficas GVI.1 a GVI.5 del Anexo B. En estas gráficas se muestra la variación de la velocidad, sobre el régimen del motor y el ángulo de apertura de la mariposa, a fin de apreciar más ampliamente en que condiciones se fue desarrollando el recorrido. El ángulo de apertura de la mariposa se midió dentro de un rango de variación lineal de voltaje comprendido entre 350 y 1350 mV, de donde se puede estimar la proporción de apertura, es decir a 350 mV la mariposa estaba totalmente cerrada y a 1350 mV, totalmente abierta.

<b>Tabla VI.1. Ordenación de los Recorridos</b>									
<b>Replica No. 1.</b>									
	Vehículo 1			Vehículo 2			Vehículo 3		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
Ruta 1	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ruta 2	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Ruta 3	19	20	21	22	23	24	25	26	27
<b>Replica No. 2.</b>									
	Vehículo 1			Vehículo 2			Vehículo 3		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
Ruta 1	37	38	39	40	41	42	43	44	45
Ruta 2	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Ruta 3	28	29	30	31	32	33	34	35	36

El tiempo de recorrido  $T_r$  se estimó desde que se arrancaba el motor del vehículo hasta que se paraba al final del recorrido. De igual manera, la distancia recorrida  $DR$  fue evaluada en ese mismo rango de tiempo.

En lo que respecta a la  $V_m$ , ésta se determinó considerando los intervalos con  $V=0$  dentro de cada recorrido, a efecto de que dicho parámetro fuera representativo de la distancia real de la ruta. Los resultados del análisis de los 54 recorridos se muestran en la Tabla VI.2.

De este análisis encontramos que la  $V_m$  máxima fue de 40.02 Km/h en el recorrido 2, y la  $V_m$  mínima de 11.36 Km/h en el recorrido 19. Sin embargo, la mayoría de las  $V_m$  se encontraron comprendidas por abajo de los 15 Km/h. El hecho de que se registraran  $V_m$  muy bajas en algunos recorridos se debe a que se presentaron con mayor frecuencia intervalos de tiempo con  $V=0$ , debido principalmente al tránsito vehicular.

El "*Promedio de la  $V_m$* " de los 54 recorridos, resultó ser de aproximadamente **18.0 Km/h**; valor que resulta ser un estimador real de las condiciones de desplazamiento en la ZMCM. Es decir, actualmente la velocidad media que puede desarrollar un vehículo en un recorrido normal, con topes, semáforos, tráfico vial, vías semi-rápidas, etc., es de 18 Km/h. Este dato está justificado a través del DBAC utilizado en el monitoreo de los vehículos.



En el Capítulo III se mencionó que un estudio de conteo de tráfico en la ZMCM, realizado por TUV<sup>1</sup> en 1995, reveló que los vehículos circulan a 36 Km/h en promedio. Independientemente del tamaño de muestra que utilizaron y la forma en que desarrollaron este conteo, la diferencia que existe entre los 36 y 18.0 Km/h, se puede deber en primera instancia a que en los dos últimos años el parque vehicular en esta ciudad ha crecido, y por consiguiente las condiciones de desplazamiento entre un mayor número de vehículos resultan más difíciles. Esto sin considerar algunos otros factores que también influyen, como son el aumento en el número de habitantes y todo lo que trae consigo esta situación.

Tabla VI.2. Resultados del Monitoreo de Vehículos.					
No. Prueba	Velocidad Media $V_m$ (Km/h)	Tiempo Recorrido (s)	Distancia Recorrida (Km)	Tiempo con V=0 (s)	% de Tiempo V=0
1	37.93	2683	28.3	424	15.80%
2	40.02	2139	23.8	323	15.10%
3	22.49	2151	13.4	181	8.41%
4	19.15	2169	11.5	332	15.31%
5	26.00	1598	11.5	128	8.01%
6	26.16	1613	11.7	57	3.53%
7	23.60	1764	11.6	68	3.85%
8	22.49	1796	11.2	107	5.96%
9	21.87	1819	11.0	93	5.11%
10	12.13	1294	4.4	434	33.54%
11	11.89	1326	4.4	313	23.60%
12	13.28	1180	4.4	394	33.39%
13	13.19	1200	4.4	283	23.58%
14	13.50	1160	4.3	278	23.97%
15	12.99	1154	4.2	245	21.23%
16	12.19	1218	4.1	299	24.55%
17	13.99	1051	4.1	204	19.41%
18	12.25	1091	3.7	180	16.50%
19	11.36	1627	5.1	434	26.67%
20	15.82	1240	5.4	185	14.92%
21	17.67	1134	5.6	170	14.99%
22	14.52	1405	5.7	288	20.50%
23	16.51	1203	5.5	257	21.36%
24	14.44	1436	5.8	289	20.13%
25	12.37	1673	5.7	485	28.99%
26	13.87	1493	5.8	273	18.29%
27	13.48	1535	5.7	341	22.21%

1 - Technischer Überwachungs Verein - Grupo de Supervisión Técnica.

Tabla VI.2. ...continuación.					
No. Prueba	Velocidad Media $V_m$ (Km/h)	Tiempo Recorrido (s)	Distancia Recorrida (Km)	Tiempo con $V=0$ (s)	% de Tiempo $V=0$
28	13.12	1572	5.7	279	17.75%
29	15.44	1339	5.7	266	19.87%
30	16.20	1278	5.7	175	13.69%
31	13.46	1540	5.8	387	25.13%
32	12.48	1650	5.7	425	25.76%
33	13.03	1531	5.5	370	24.17%
34	14.20	1383	5.5	238	17.21%
35	13.40	1539	5.7	350	22.74%
36	20.35	1011	5.7	57	5.64%
37	18.85	2499	13.1	479	19.17%
38	24.17	1818	12.2	138	7.59%
39	23.20	1887	12.2	184	9.75%
40	26.56	1683	12.4	114	6.77%
41	29.46	1594	13.0	124	7.78%
42	28.55	1546	12.3	85	5.50%
43	26.34	1688	12.3	105	6.22%
44	18.92	2359	12.4	328	13.90%
45	23.03	1940	12.4	153	7.89%
46	15.64	1010	4.4	145	14.36%
47	19.63	1190	6.5	335	28.15%
48	16.41	1422	6.5	543	38.19%
49	15.53	1510	6.5	428	28.34%
50	14.08	1665	6.5	528	31.71%
51	14.29	1636	6.5	456	27.87%
52	13.22	1747	6.4	435	24.90%
53	14.10	1615	6.3	419	25.94%
54	12.33	1873	6.4	643	34.33%
	Vel. Prom. Gral. (Km/h)	Tiempo Total Recorrido (s)	Dist. Total Recorrido (Km)	Tiempo Total $V=0$ (s)	% Total
	17.98	84677, 23.52 h.	441.9	15254	18.01%

El  $T_r$  varió mucho entre y dentro de las rutas. La variación *entre las rutas* se atribuye principalmente a que las distancias recorridas fueron distintas, y *dentro de las rutas* por las condiciones cambiantes del tráfico y flujo vial (Tabla VI.2).

La  $DR$  se determinó como el cociente de la  $V_m$  entre el  $T_r$ . Como se puede apreciar en la Tabla VI.2, los 18 recorridos (del 19 al 36) sobre la ruta 3, tuvieron distancias semejante, con un promedio de 5.7 Km.

En el caso de la ruta 2 (recorridos del 10 al 18 y del 46 al 54), las  $DR$  dentro de cada réplica son semejantes, sin embargo, la segunda réplica presenta distancias mayores a las de la primera, debido a que los  $T_r$  y las  $V_m$  son mayores para ésta. El promedio de la  $DR$  en esta ruta fue de 5.2 Km.

Para la ruta 1 (recorridos del 1 al 9 y del 37 al 45), las  $DR$  dentro de cada réplica también fueron muy semejantes, aunque, igual que en el caso anterior, presentaron una diferencia pequeña entre réplicas y el promedio fue de 12.1 Km.

La diferencia que existe entre los valores de  $DR$  se debe a muchos factores, entre los que se puede mencionar, la temperatura del pavimento, si éste está seco o mojado, y la presión en los neumáticos; factores que en su momento causan que el neumático tenga un mejor adherencia sobre el pavimento, o bien, se deslice.

Para poder obtener aquellas trayectorias más representativas del desplazamiento vehicular se analizaron visualmente las gráficas de los 54 recorridos, a fin de encontrar las trayectorias más típicas y con estas conformar el ciclo de manejo representativo de la ZMCM. Sin embargo esta inspección visual no resultó ser muy adecuada debido a la variabilidad existente, es decir, no presentaron semejanza los perfiles de velocidad de los recorridos.

Ante esta situación se decidió hacer un estudio de los tiempos con  $V=0$  para determinar los intervalos de tiempo más comunes de los recorridos y a partir de este obtener las trayectorias.

La Tabla VI.3 muestra el número de intervalos con  $V=0$  en cada uno de los recorridos y su duración, así mismo, permite observar el tiempo total durante el cual el vehículo no se desplazó durante el recorrido y el porcentaje que representa este del  $T_r$ .

Este análisis permitió obtener otro dato muy interesante: durante un recorrido dentro de la ZMCM, el tiempo promedio durante el cual el vehículo en marcha no se desplaza es de

18 % del tiempo de recorrido. En otras palabras, si un determinado recorrido tiene una duración de 1 h, durante 10.8 minutos el vehículo permanecerá con el motor en marcha sin desplazarse.

A través de una distribución de frecuencias de los datos anteriores, se determinó que el rango de tiempos con V=0 más frecuente fue de 16 a 20 segundos (Fig. FVI.1), por lo que se decidió tomar como medida de separación de trayectorias el límite inferior de este rango, es decir, a partir de los intervalos con V=0 de 16 segundos, en adelante.

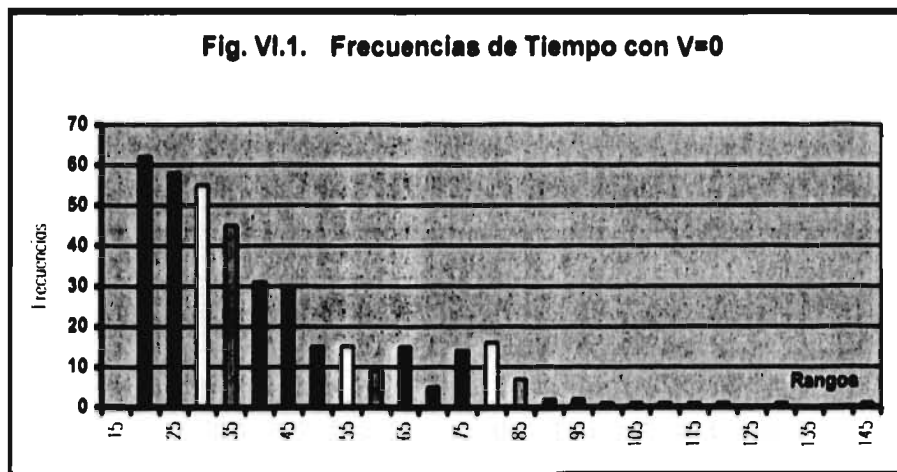
El hecho de tomar este límite inferior como medida de separación de trayectorias, significa que por una u otra causa el vehículo se detiene más frecuentemente y por lo menos, durante 16 segundos.

**Tabla VI.3. Análisis de Tiempos con V=0.**

No. Prueba	Duración y Número de Intervalos con V=0 para cada recorrido																Tiempo V=0	%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
1	44	72	106	59	23	26	33	19	21	21							424	15.80
2	19	50	27	23	24	180											323	15.10
3	27	27	39	72	16												181	8.41
4	119	37	17	42	22	21	74										332	15.31
5	41	25	39	23													128	8.01
6	38	19															57	3.53
7	27	21	20														68	3.85
8	61	27	19														107	5.96
9	69	24															93	5.11
10	33	16	40	66	71	57	90	44	17								434	33.54
11	22	20	40	28	31	36	19	17	78	22							313	23.60
12	28	65	79	93	77	52											394	33.39
13	22	27	80	51	20	83											283	23.58
14	21	19	17	64	79	34	44										278	23.97
15	24	49	76	20	36	40											245	21.23
16	19	25	29	42	79	33	35	37									299	24.55
17	24	18	17	41	76	28											204	19.41
18	23	18	26	81	32												180	16.50
19	64	18	21	38	33	35	17	29	50	30	44	35	20				434	26.67
20	18	33	32	31	71												185	14.92
21	27	44	22	45	32												170	14.99
22	128	44	36	18	31	31											288	20.50
23	29	65	45	16	45	57											257	21.36
24	51	30	42	41	16	31	25	53									289	20.13
25	52	28	16	48	29	30	59	56	16	29	19	28	42	33			485	28.99
26	28	33	47	45	23	34	33	30									273	18.29
27	32	43	64	29	37	34	47	30	25								341	22.21

**Tabla VI.3. ...continuación.**

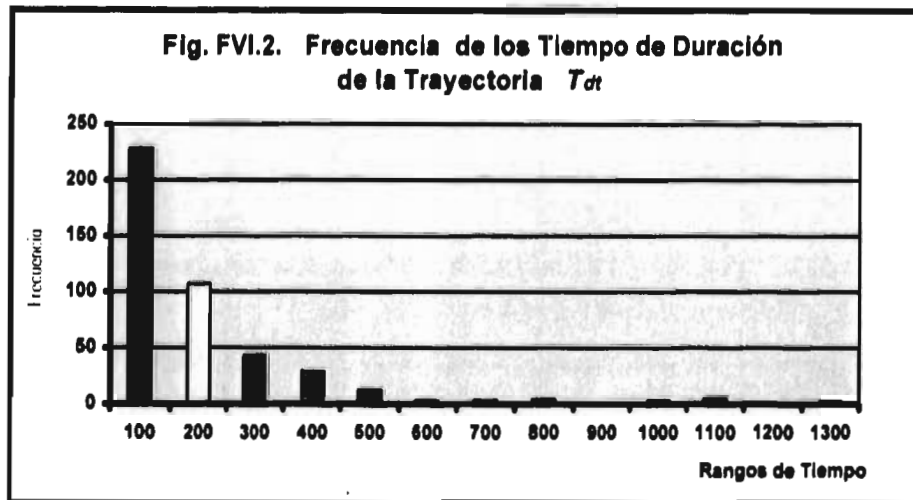
No. Prueba	Duración y Número de Intervalos con V=0 para cada recorrido																Tiempo	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	V=0	%
28	19	54	31	43	34	23	75										279	17.75
29	32	58	26	42	38	38	32										266	19.87
30	30	22	44	22	21	36											175	13.69
31	49	40	42	47	37	28	27	64	53								387	25.13
32	78	18	71	50	38	25	31	21	29	20	44						425	25.76
33	21	61	46	28	38	32	45	28	71								370	24.17
34	37	20	55	32	34	24	36										238	17.21
35	58	24	104	77	32	55											350	22.74
36	28	29															57	5.64
37	18	45	91	61	85	21	78	45	31	22							479	19.17
38	29	30	79														138	7.59
39	61	17	39	18	24	25											184	9.75
40	60	28	26														114	6.77
41	23	28	20	53													124	7.78
42	25	37	23														85	5.50
43	23	44	33	28													105	6.22
44	112	33	26	37	32	17	25	18	28								328	13.90
45	16	17	55	17	18	30											153	7.89
46	19	28	29	27	42												145	14.36
47	37	54	73	38	49	84											335	28.15
48	33	60	34	27	78	67	76	62	31	55	20						543	38.19
49	28	21	20	32	26	23	40	23	70	82	46	17					428	28.34
50	63	19	35	18	68	79	42	34	82	88							528	31.71
51	64	16	21	47	26	20	36	37	63	72	34	20					456	27.87
52	16	50	20	18	21	35	32	22	55	71	21	23	25	26			435	24.90
53	76	21	19	21	38	29	71	18	24	27	75						419	25.94
54	21	45	27	17	16	54	64	72	96	82	20	16	22	22	21	48	643	34.33



De acuerdo con esto, se revisaron los 54 recorridos y se obtuvieron 441 trayectorias distintas. Para poder seleccionar las más representativas se realizaron estimaciones con el "Tiempo de Duración de la Trayectoria"  $T_{dt}$ , y con la "Velocidad Media de la Trayectoria"  $V_{mt}$ .

Los datos estadísticos del análisis de los  $T_{dt}$  se muestran en la Tabla VI.4. También en la Figura FVI.2 se puede apreciar la frecuencia de los mismos de acuerdo a los rangos establecidos.

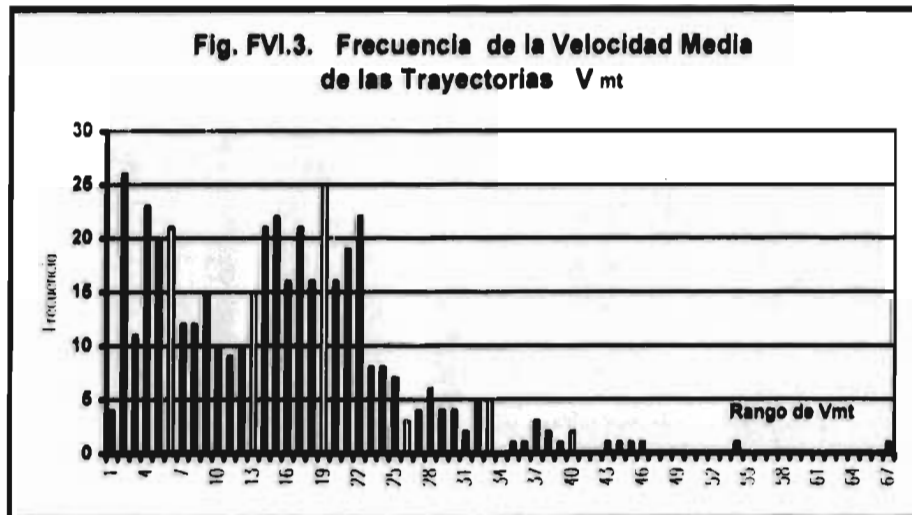
Valor medio:	164	Moda:	30
Valor máx.:	1279	Mediana:	96
Valor mín.:	8	Núm. datos:	441



El  $T_{dt}$  con mayor repetibilidad, es decir la moda, es de 30 segundos, sin embargo, el número de eventos con este valor es muy bajo, y no se podrían obtener resultados significativos de su análisis.

Por otro lado, de los datos estadísticos del análisis de las  $V_{mt}$  (Tabla VI.5) y de la distribución de frecuencias de éstas (Fig. FVI.3) se encontró que las más significativas y de mayor repetibilidad son de 2, 19, 4, 15, y 22 Km/h.

Valor medio:	15	Moda:	19.60
Valor máx.:	66	Mediana:	15
Valor mín.:	0	Núm. datos:	441



A través de un análisis de todas las trayectorias con  $V_{mt}$  igual a 2 y 4 Km/h se comprobó que éstas no son muy relevantes ni representativas de la cinemática típica de los vehículos en la ZMCM, por lo que no se consideraron. Por lo tanto sólo se seleccionaron las trayectorias de 15, 19, y 22 Km/h, además de tener en cuenta que el valor medio y la mediana fue de 15 Km/h y la moda muy cercana a 19 Km/h.

## **VI.2. CICLO DE MANEJO REPRESENTATIVO DE LAS TRAYECTORIAS ELEGIDAS.**

Con base en lo anterior, se obtuvieron un total de 69 trayectorias de las 441 con  $V_{mt}$  de 15, 19, y 22 km/h. Cada una de éstas se analizó más detalladamente para seleccionar las que presentaban las condiciones más comunes de desplazamiento del vehículo.

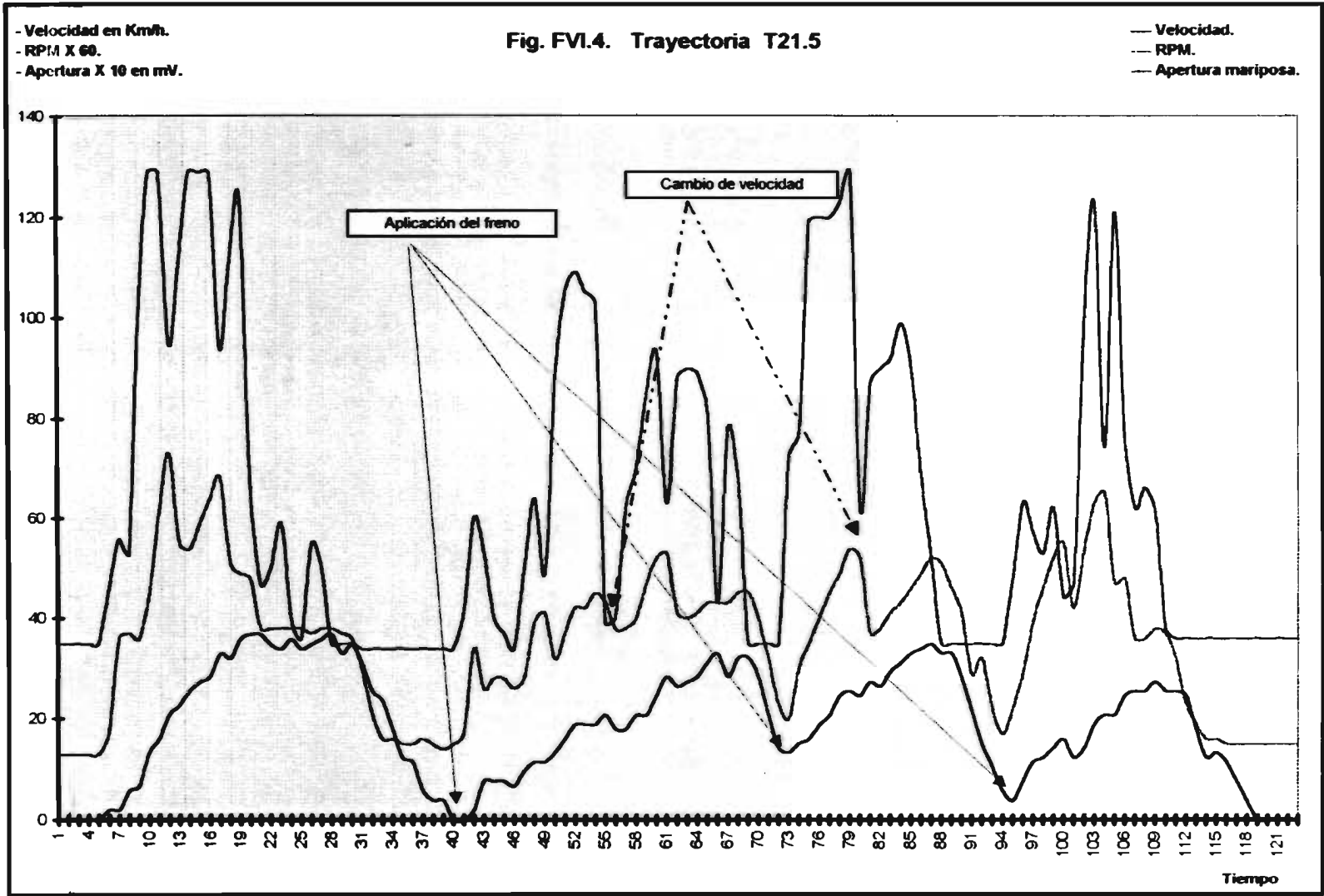
Por ejemplo, cuando en un intervalo de tiempo se presenta un aumento en las RPM por el incremento del ángulo de apertura de la mariposa, y la velocidad del vehículo tiende a aumentar inicialmente, se estima que el vehículo, en ese momento, se desplaza en una pendiente ascendente.

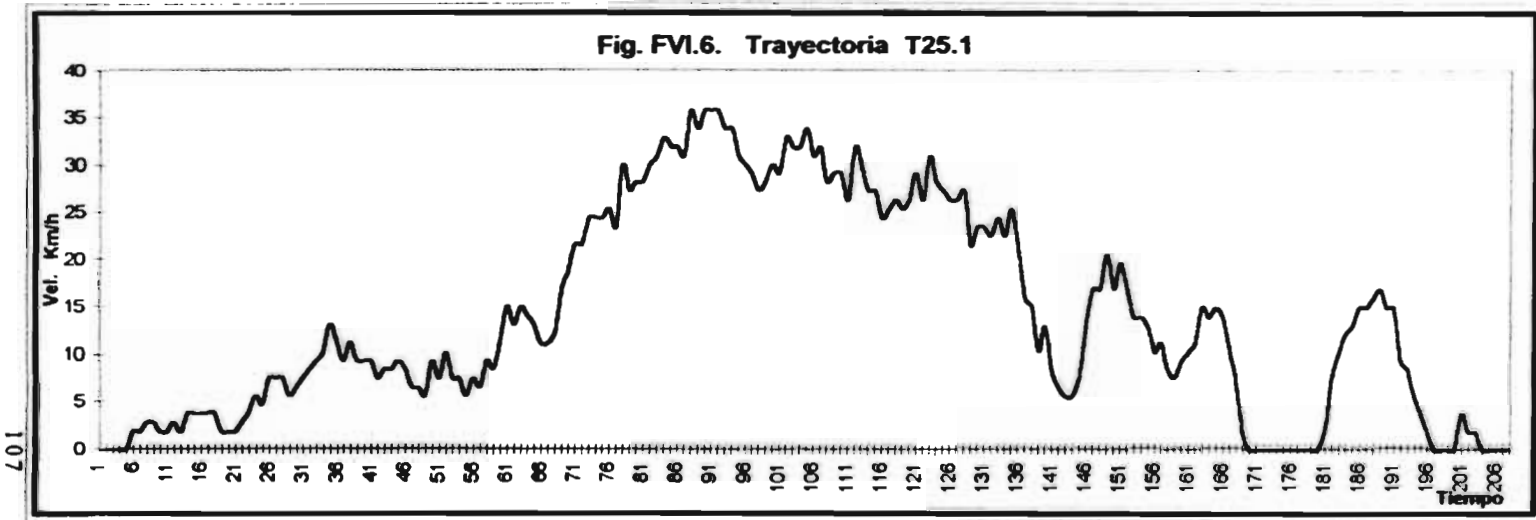
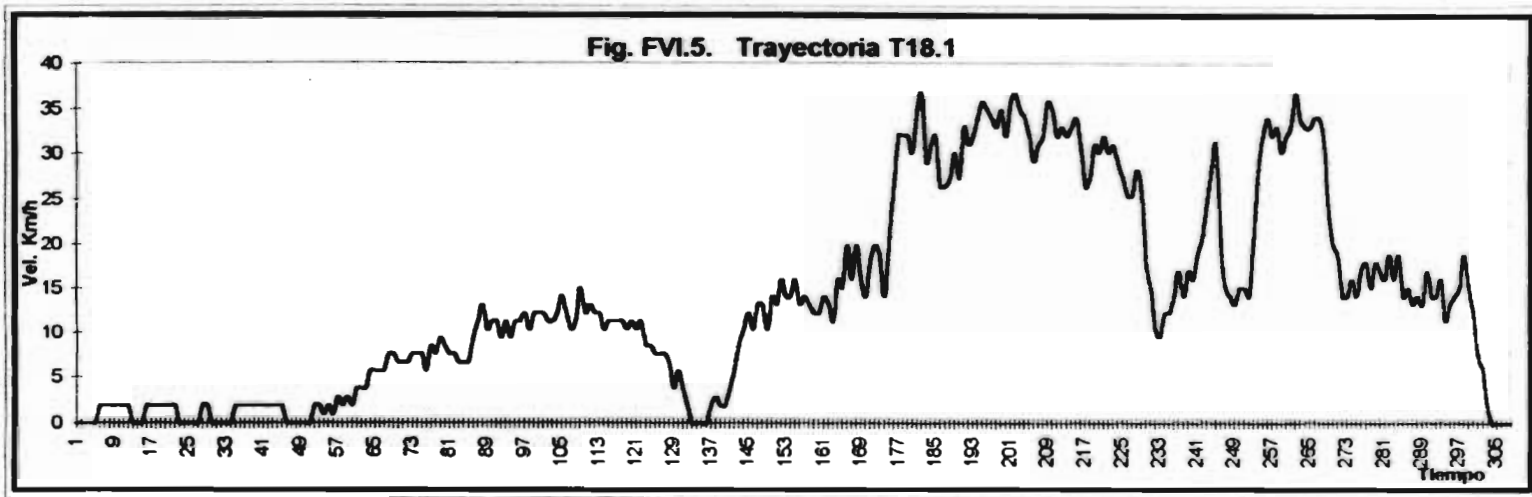
Como se puede observar en la Figura FVI.4, al analizar el perfil de velocidad encontramos que a los 40 s. se aplicó el freno hasta detener por un instante al vehículo, y ésto se deduce por que desde unos segundos antes las RPM disminuyeron casi al mínimo y la mariposa permaneció cerrada. Una situación similar se presentó a los 73 y 95 s. con la diferencia de que no se detuvo completamente el vehículo, prosiguiendo su desplazamiento. A los 79 segundo se puede apreciar un cambio de velocidad - en este caso de segunda a tercera -, ya que unos segundos antes se observa una apertura total de la mariposa y un incremento en las RPM, de repente éstas disminuyen para volverse a incrementar al ejecutar el cambio de velocidad.

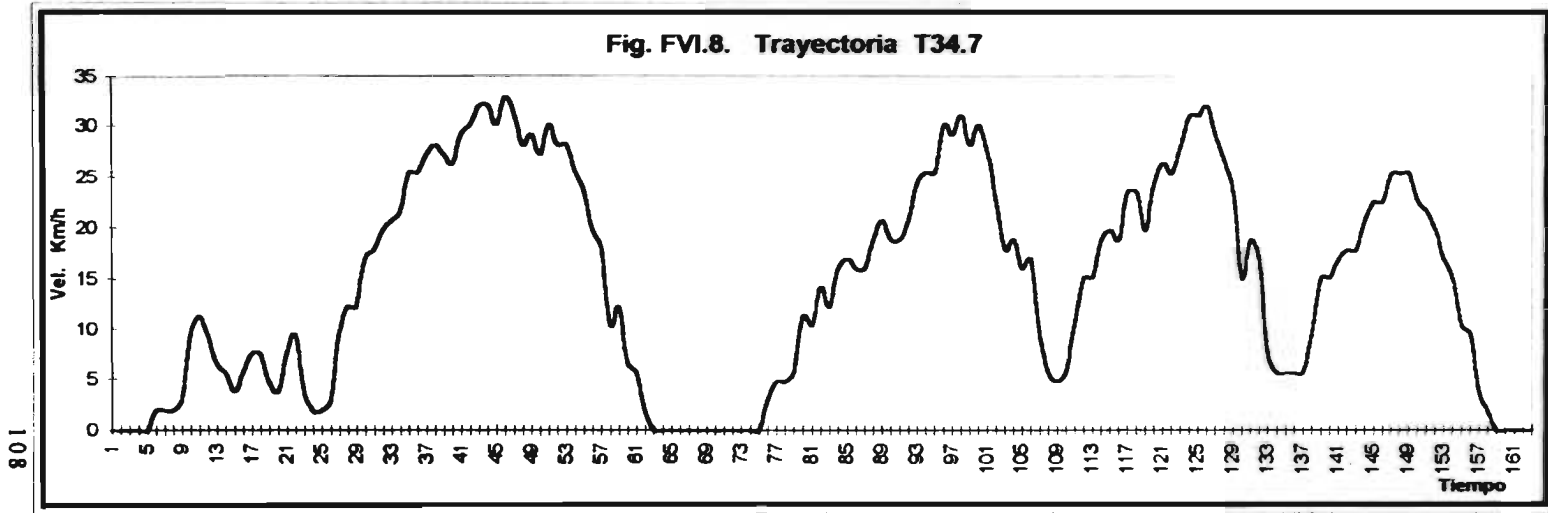
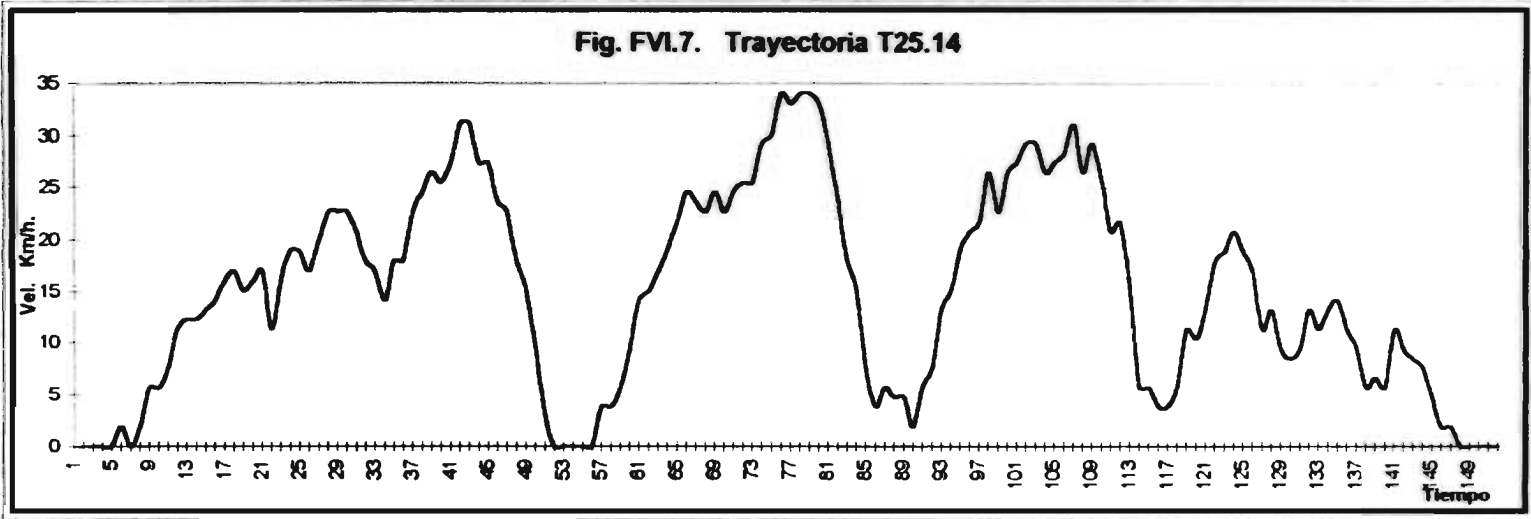
La cinemática que desarrolla el vehículo en relación a estos tres parámetros varía en lapsos muy cortos, por lo que para establecer una estimación más real de las características del recorrido, cada una de estas trayectorias podría reproducirse en un dinamómetro de chasis.

Los tiempo de duración de las 69 trayectorias resultaron muy variables por lo que fue difícil hacer una evaluación a partir de esta característica, sin embargo se logró establecer una comparación de las trayectorias, entre tiempos aproximados y con la forma del perfil de velocidad. De acuerdo a ésto, se obtuvieron finalmente 17 trayectorias que resultan ser las más representativas de las condiciones típicas de manejo y desplazamiento. Las Figuras FVI.5 a FVI.21 muestran el perfil de velocidad de las 17 trayectorias elegidas.









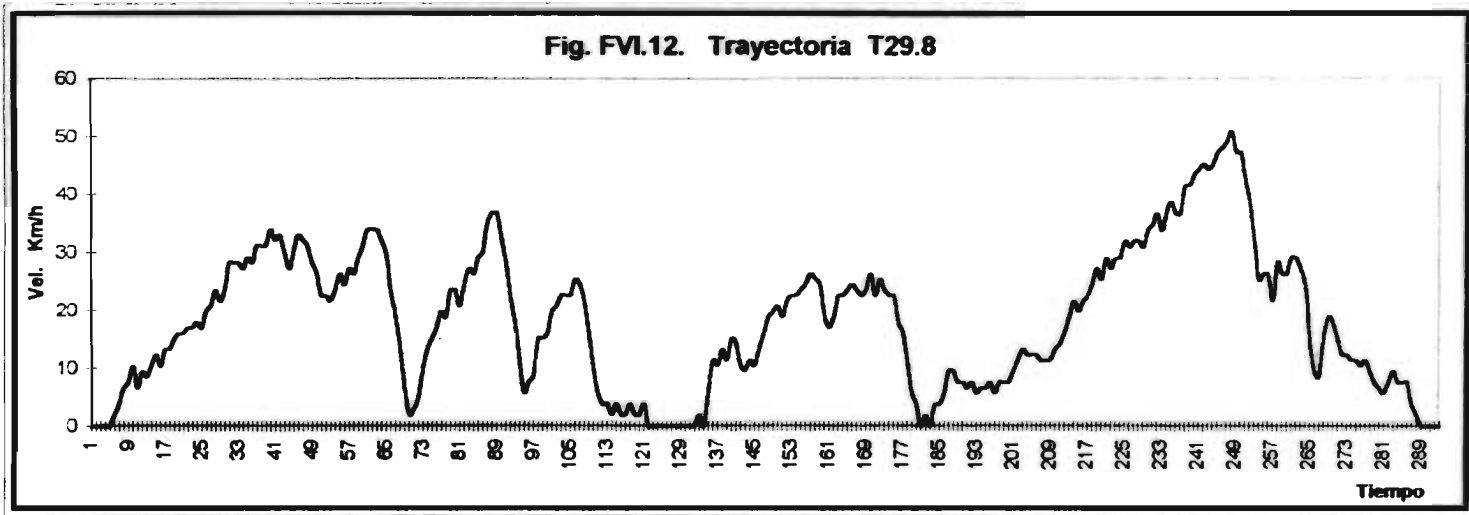
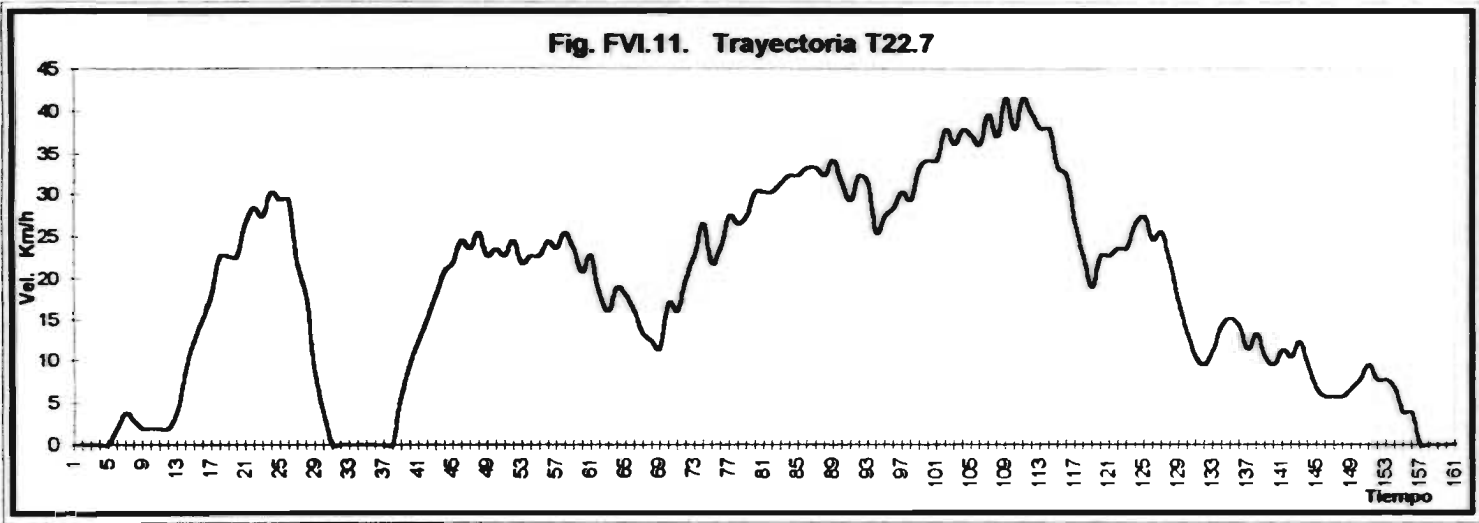


Fig. FVI.13. Trayectoria T35.2

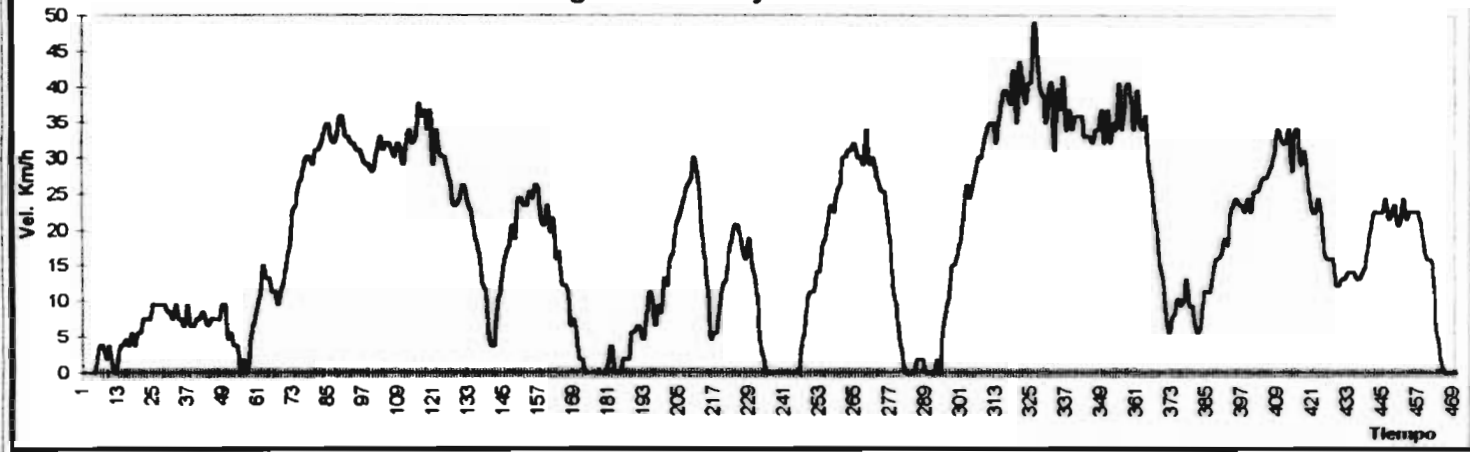
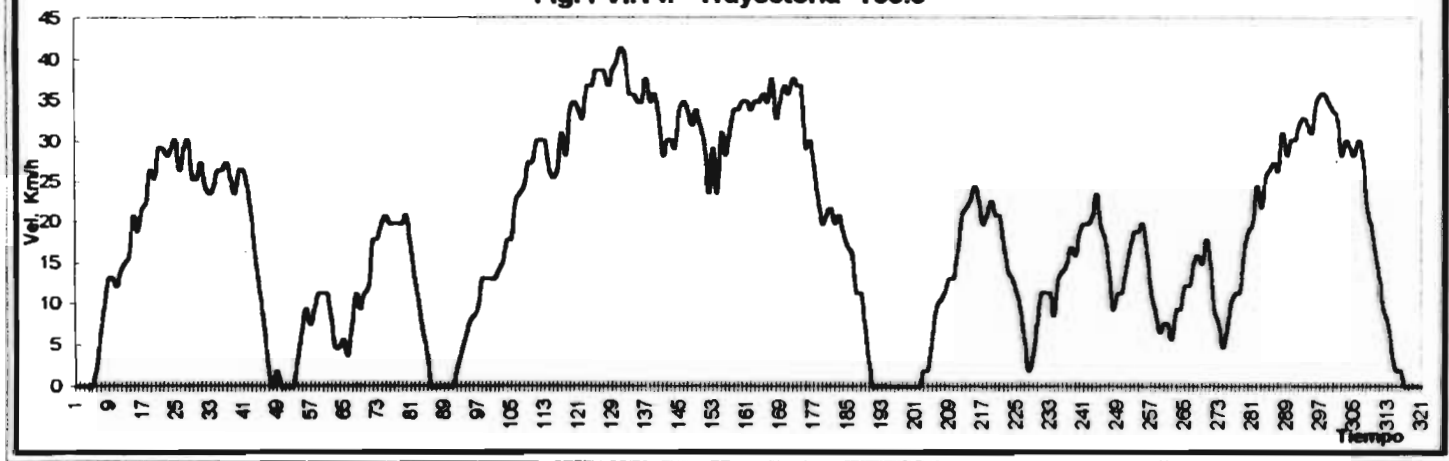
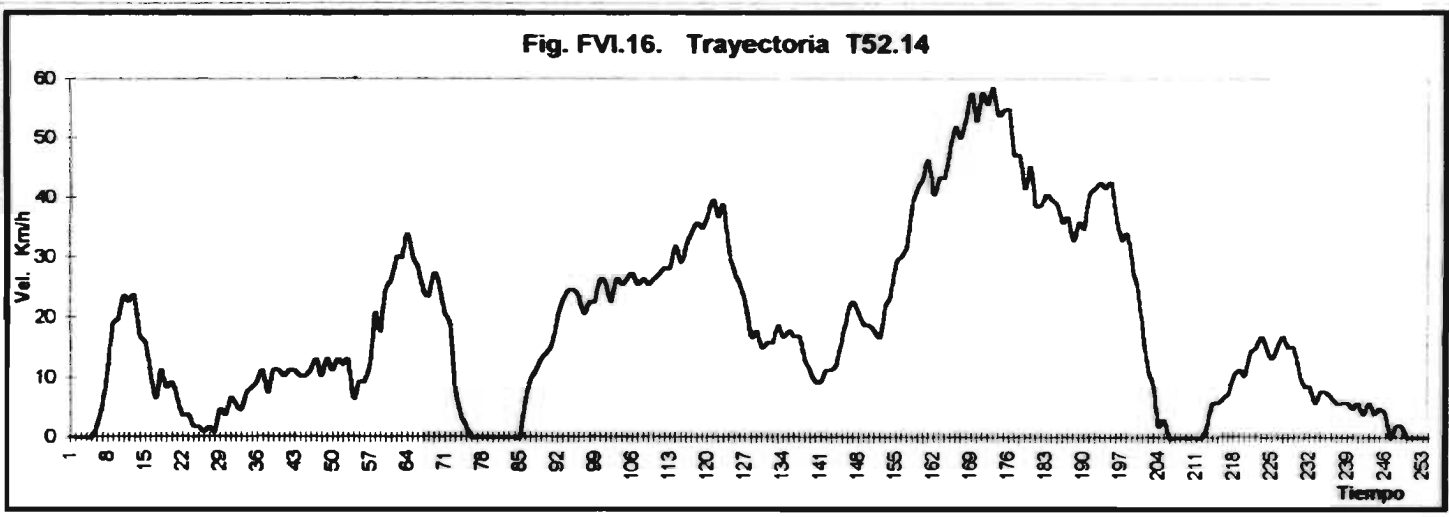
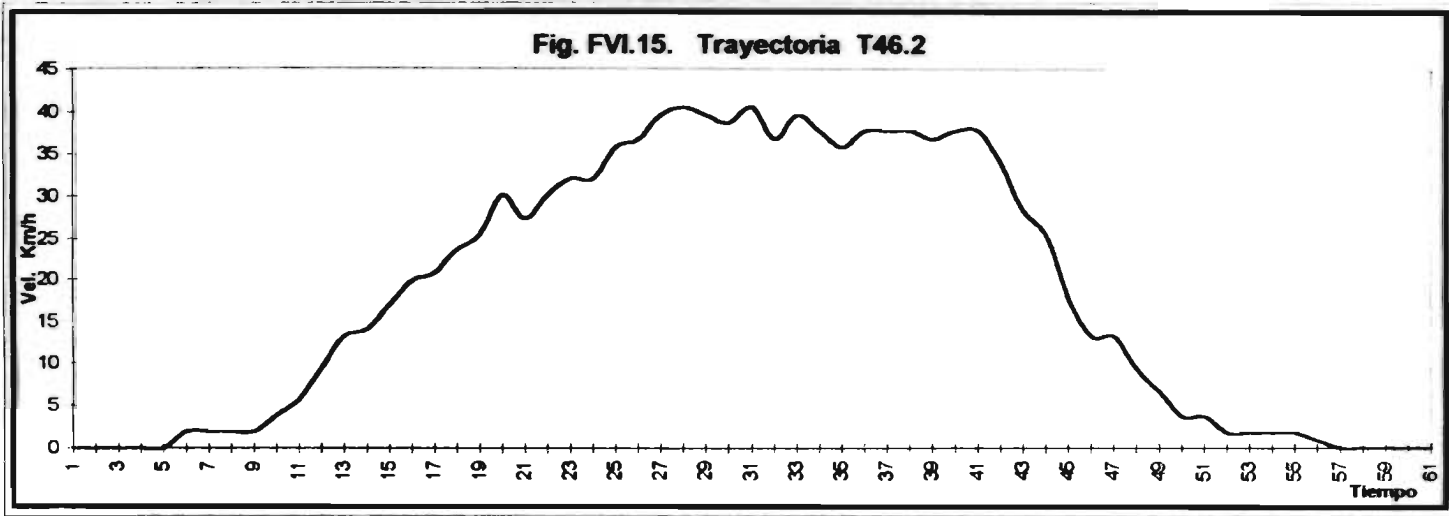
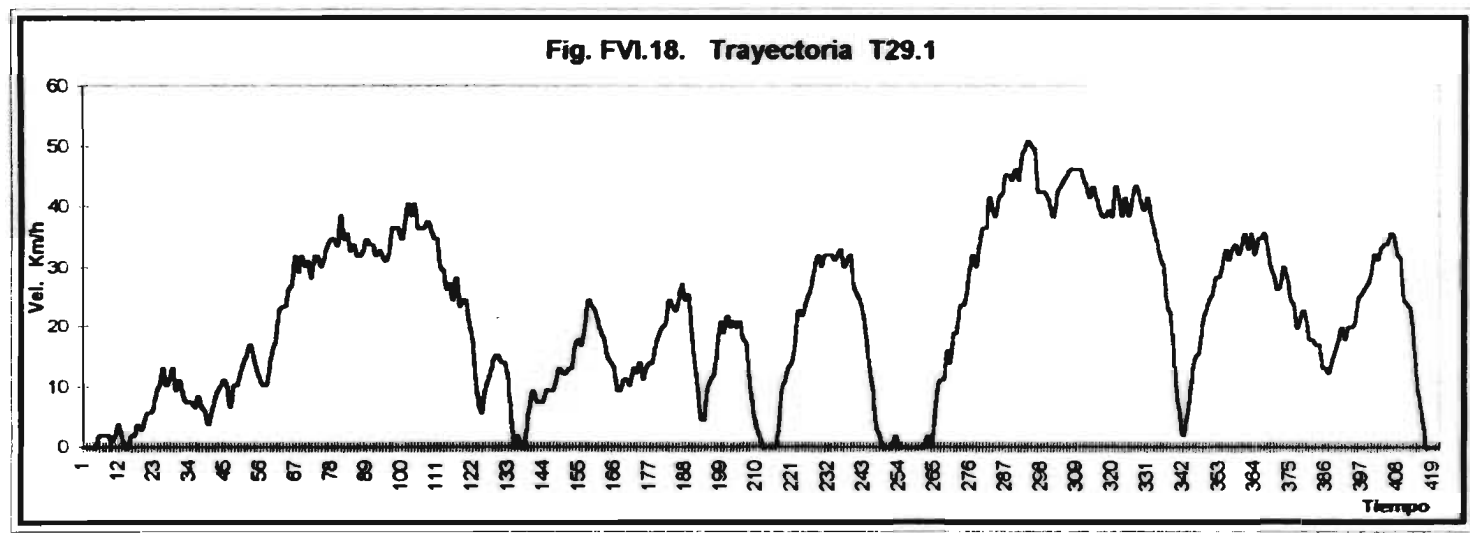
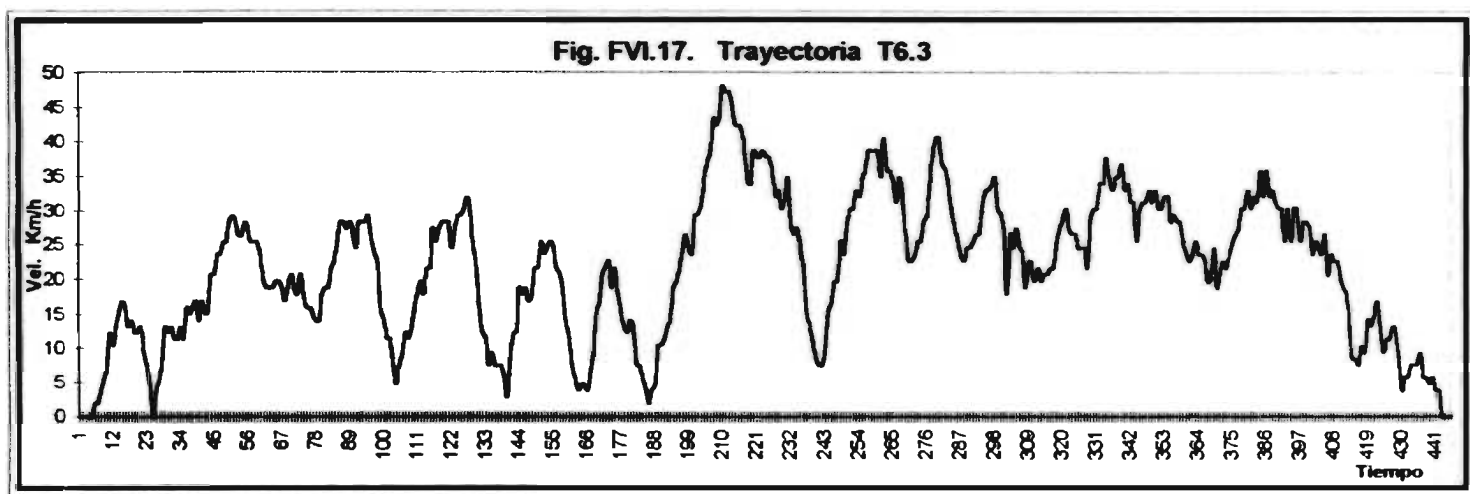
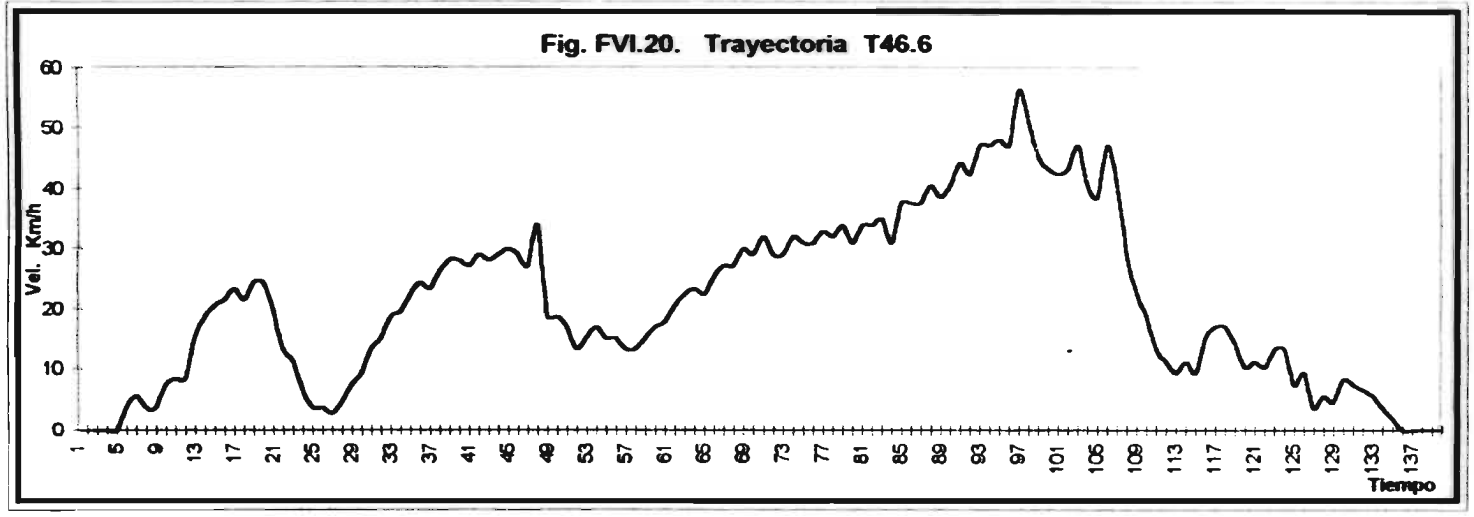
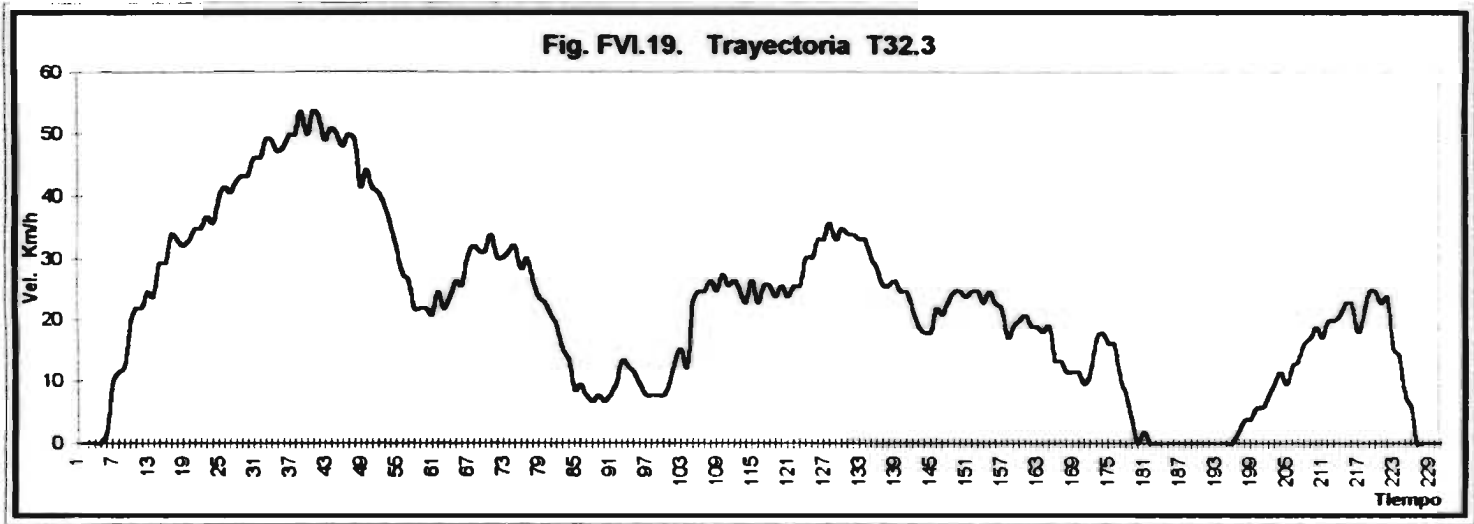


Fig. FVI.14. Trayectoria T35.5

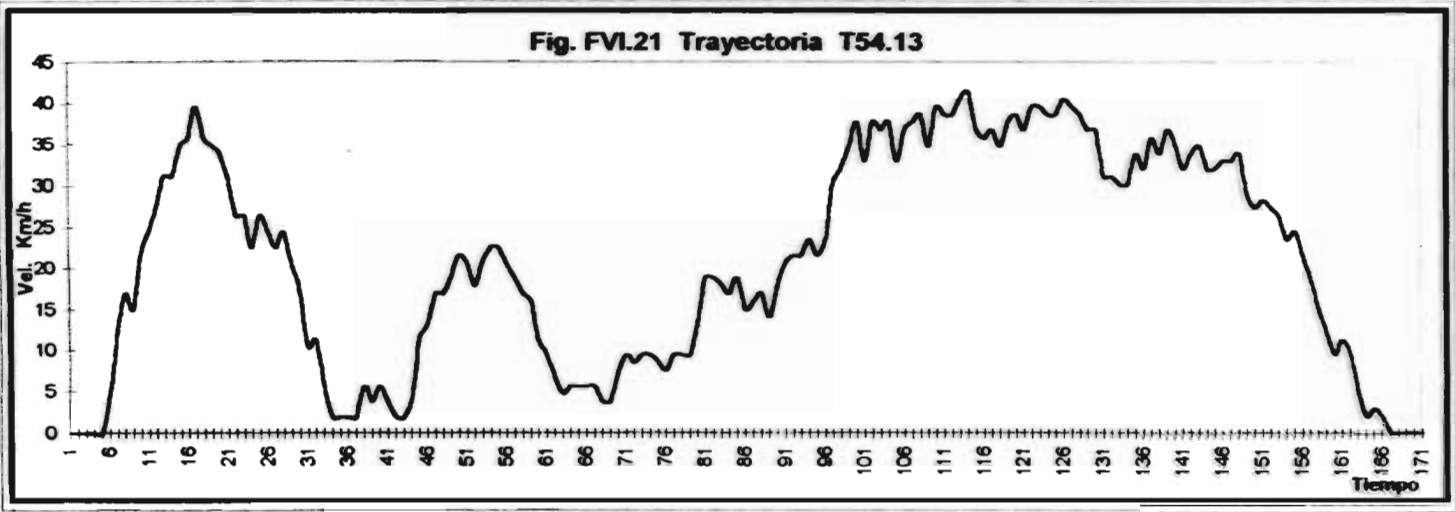












Con estas trayectorias típicas de la ZMCM se realizaron diversas combinaciones para estructurar algunos ciclos de manejo.

Para conformar estos ciclos se consideraron los principales resultados del análisis estadístico de los 54 recorridos, es decir el promedio de la  $V_m$  de 18 Km/h y el porcentaje de tiempo con  $V=0$  que resultó de 18 %. La evaluación de los ciclos conformados de acuerdo a estos valores, permitió elegir aquellos que tuvieron una mejor aproximación a los mismos, y finalmente se describieron tres *Ciclos de Manejo Representativos* que pueden apreciarse en las Figuras FVI.22 a FVI.24.

La Tabla VI.6 muestra las características descriptivas de los mismos.

Tabla VI.6. Características Descriptivas de los Ciclos de Manejo.					
Número de Ciclo	Número de Trayectoria	Velocidad media $V_m$	% Tiempo con $V=0$	Tiempo de Recorrido	Velocidad máxima
1	T25.1 y T6.3	17.6 Km/h	14	722 s	48 Km/h
2	T52.14 y T29.1	18.8 Km/h	18	745 s	58 Km/h
3	T34.7, T9.3 y T46.6	17.9 Km/h	9	830 s	57 Km/h

Como se puede observar, el ciclo no. 2 es el que mejor concuerda con la velocidad media típica y con el porcentaje de tiempo con  $V=0$ , sin embargo, por el perfil de velocidad que describe y su duración, se eligió el ciclo no. 3 como el más representativo

Por lo tanto el *Ciclo de Manejo Representativo* que se propone, representado gráficamente en la Figura FVI.24, tiene como base un estudio real de la velocidad media que puede alcanzar un vehículo en circulación en la ZMCM, bajo condiciones típicas de conducción.

Es importante resaltar que todo el estudio se desarrolló sobre rutas típicas dentro de una pequeña área al sur de la ZMCM. Por tal razón la representatividad de este ciclo de manejo esta limitado a esta área.

Fig. FVI.22. Ciclo de Manejo Representativo de la ZMCM No. 1

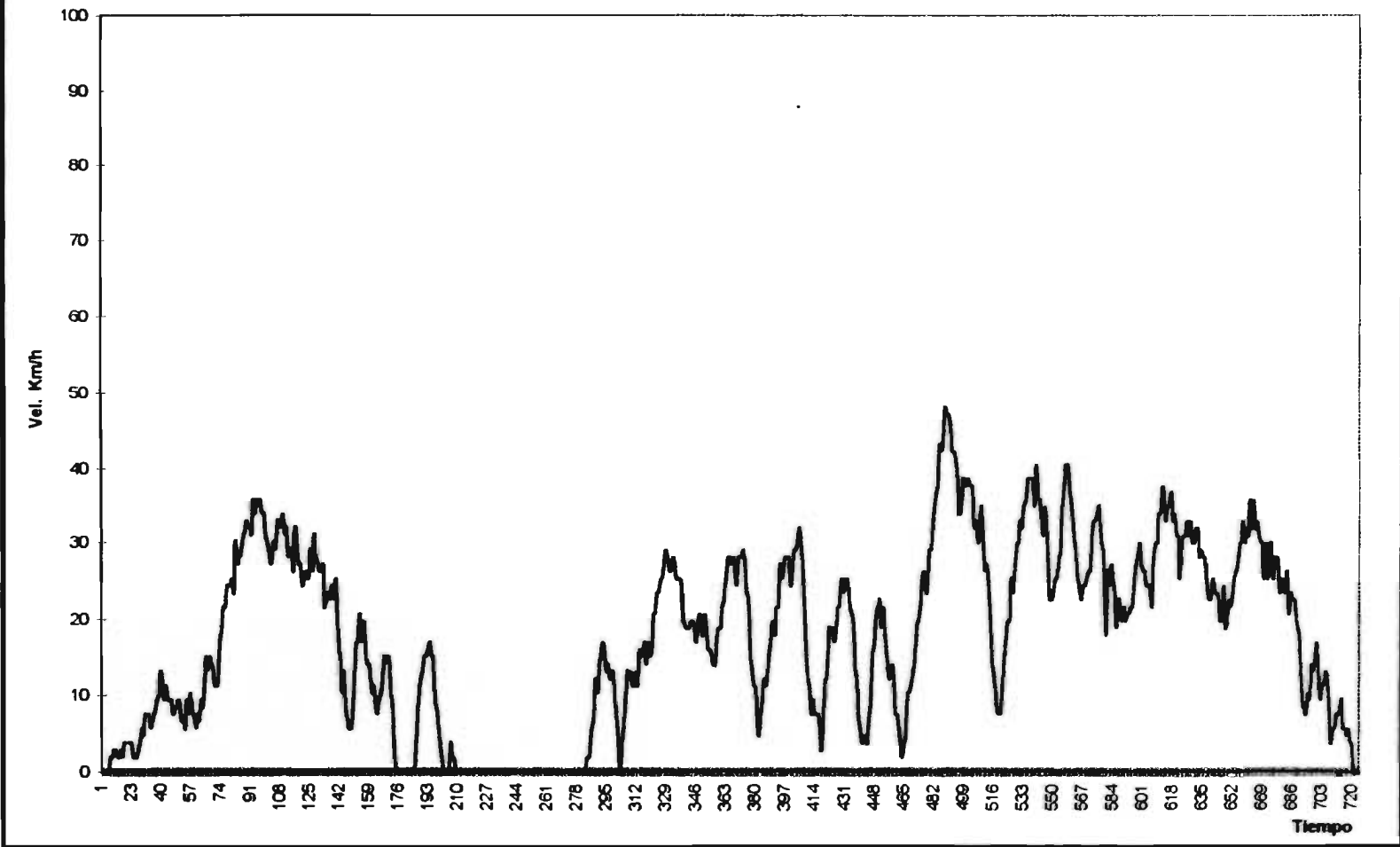
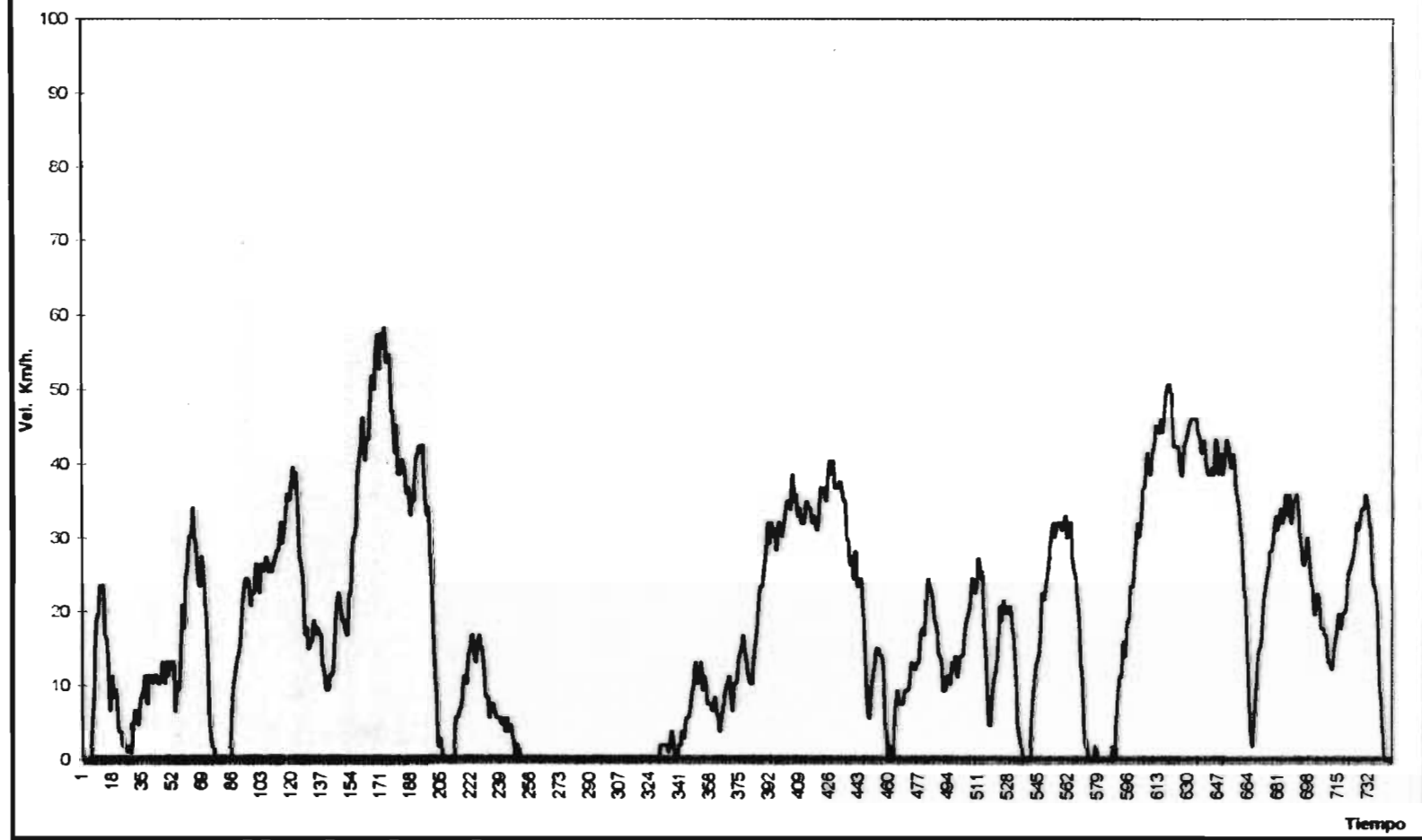
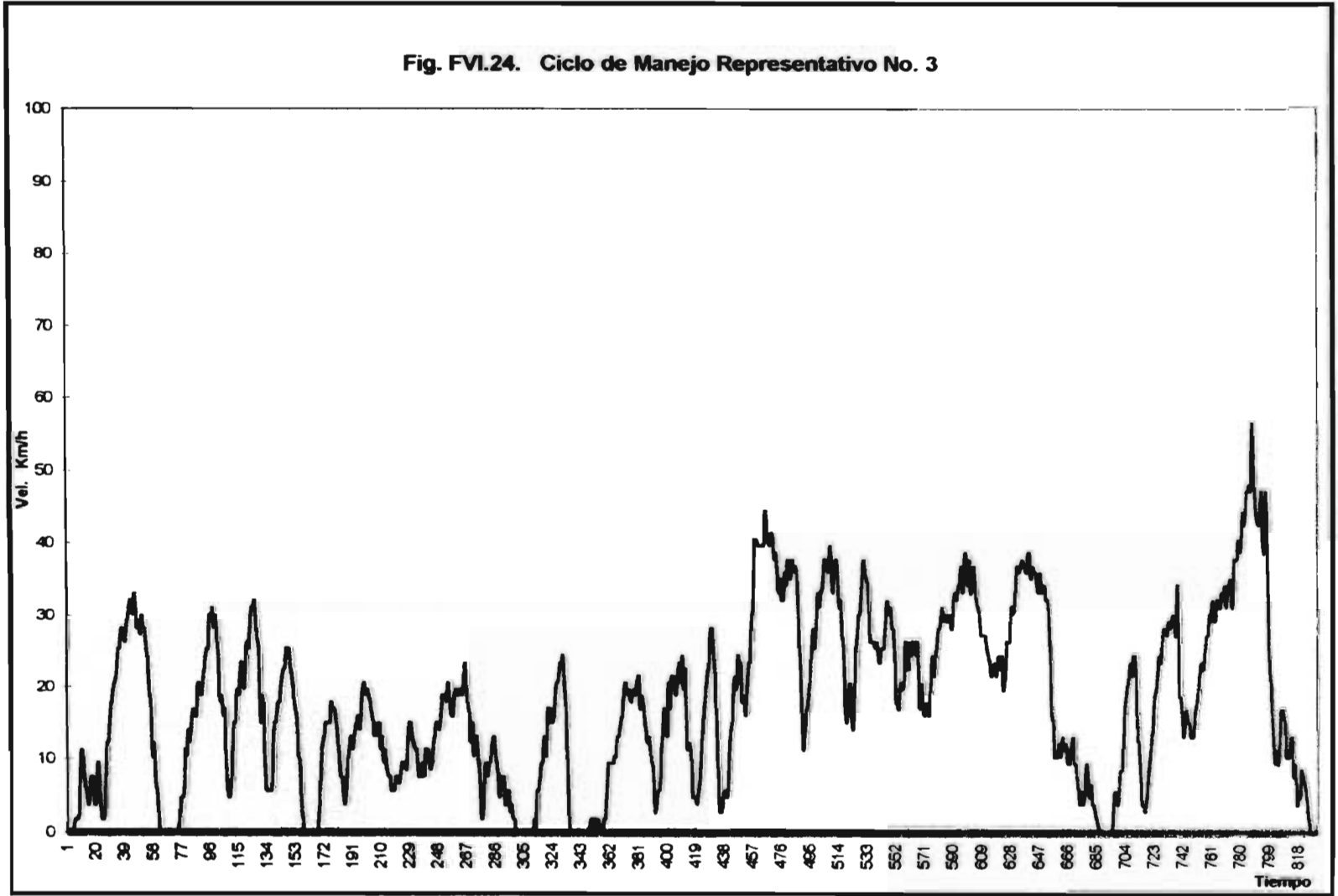


Fig. FVI.23. Ciclo de Manejo Representativo No. 2





Así entonces, para poder establecer un ciclo de manejo representativo de la ZMCM será necesario extender el estudio a otras áreas de la Ciudad de México, y corroborar los resultados obtenidos.

De acuerdo al Modelo Completamente Aleatorizado se puede reducir el número de observaciones a una sólo réplica y obtener resultados confiables. Esto simplifica la extensión del estudio.

### **VI.3. COMPARACIÓN DEL CICLO PROPUESTO CON EL FTP-75 Y EL R15.04.**

Considerando que el Ciclo de Manejo Representativo que se ha propuesto tiene como objetivo la realización de pruebas dinámicas para evaluar emisiones contaminantes, resulta interesante hacer una comparación de éste con los principales ciclos de manejo más comúnmente usados para este tipo de pruebas.

En las Figuras FIV.2 a FIV.4 del Capítulo IV se pueden observar las trayectorias que se desarrollan en el ciclo FTP-1975 de la EPA - USA, ciclo R15.05 de la CE, y ciclos Modo 10 y 11 de Japón.

Como puede apreciarse entre estos tres ciclos y el propuesto existe una gran diferencia en las trayectorias y su secuencia, sin embargo en un determinado momento podría decirse que entre el ciclo propuesto y el FTP-1975 existe similitud en los perfiles de velocidad. La Tabla VI.7 muestra un resumen de las principales características de los cuatro ciclos.

La velocidad media del ciclo propuesto es mucho menor que en los otros tres ciclos, sin embargo, se debe tomar en cuenta que las condiciones de circulación vehicular de otras ciudades, son distintas a las de la ZMCM, y de acuerdo al modelo estadístico aplicado en este experimento esa es la velocidad media que se logra desarrollar en un recorrido dentro de la ZMCM.

La velocidad máxima y la distancia recorrida son muy inferiores a las del ciclo FTP-1975 y R15.05, pero con el ciclo Japonés resultan ser similares. El tiempo de recorrido definitivamente es muy distinto en los cuatro ciclos.

<b>Tabla VI.7. Resumen de las Principales Características de los Ciclos de Manejo para Pruebas Dinámicas</b>				
	<b>Ciclo ZMCM</b>	<b>FTP -1975</b>	<b>R15.05</b>	<b>Modo 11</b>
Tiempo del recorrido (s)	830	2477	1220	480
Velocidad promedio (Km/h)	17.9	34.1	62.6 (en la 2ª Fase)	30.6
Velocidad máxima (Km/h)	57	91.2	120	60
Distancia recorrida (Km)	4.13	17.89	11	4.08
Otras	Tiene un porcentaje al ralentí de 18 %	Consta de 3 fases y entre la segunda y tercera hay 10 min. de reposo.	Consta de 2 fases: urbana y no urbana. La velocidad máxima varía si la potencia es insuficiente	Tiene un porcentaje al ralentí de 21.7 %

En definitiva el Ciclo de Manejo Representativo de la ZMCM para vehículos ligeros no tiene que guardar necesariamente similitud alguna con otros ciclos, ya que la condición que establece las características de éste, es que se haya desarrollado bajo las formas típicas de conducción y desplazamiento, en cada una de las ciudades que representa.

#### **VI.4. EXTENSIONES DEL TRABAJO DESARROLLADO.**

Toda la investigación, análisis y desarrollo realizado para la propuesta del Ciclo de Manejo Representativo, ha abierto muchas perspectivas de investigación.

En primera instancia es necesario evaluar este ciclo propuesto así como otros que sean representativos sobre un dinamómetro de chasis, a fin de estimar las cargas inerciales que se deben agregar a los rodillos para simular las pendientes de desplazamiento y

determinar la potencia desarrollada por el vehículo. De igual manera se deberán establecer exactamente los cambio de velocidad, y esto complementará la propuesta realizada con características específicas para vehículos con transmisión manual y automática. Actualmente en el Laboratorio de Control de Emisiones se esta acondicionando un dinamómetro de este tipo que permitirá representar estos ciclos y realizar pruebas.

Aunado a esto se deberán hacer evaluaciones de emisiones contaminantes, siguiendo las trayectorias del ciclo propuesto sobre el dinamómetro de chasis, con el propósito de establecer índices permisibles y compararlos con los que actualmente han sido establecidos por el INE<sup>2</sup> y la SEMARNAP<sup>3</sup>, con el objetivo de tener mejores indicadores para el control de emisiones vehiculares.

La información obtenida en este desarrollo experimental se deberá corroborar abarcando otras áreas de la Ciudad de México con el objetivo de que los resultados que se obtengan sean representativos de la ZMCM.

Por otro lado, el estudio realizado sólo consideró las condiciones típicas de manejo y desplazamiento en la ciudad, por lo que sería conveniente realizar un estudio similar en carretera, y con esto llegar a complementar el ciclo de manejo propuesto.

El ciclo propuesto tiene como base vehículos ligeros con un peso inferior a 3250 Kg. Por tal razón se podría hacer un estudio similar específicamente para vehículos de peso medio y pesados, a fin de establecer trayectorias típicas de este tipo de vehículos y finalmente llegar a evaluar sus emisiones contaminantes.

De acuerdo a las últimas disposiciones del DDF, la verificación de vehículos se debe realizar bajo una prueba dinámica. Las trayectorias típicas que se obtuvieron en esta propuesta pueden ser una base para establecer estas pruebas y evaluar las emisiones contaminantes, bajo condiciones típicas de circulación, en los Centro de Verificación de la ZMCM.

2 INE - Instituto Nacional de Ecología.  
Pesca.

3 SEMARNAP - Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y



En relación a la conformación del Ciclo de Manejo a través de trayectorias definidas se ha visualizado que se puede aplicar un análisis estadístico estocástico con el que se esperaría obtener un perfil de velocidades más representativo.

## CONCLUSIONES

La necesidad de establecer una metodología para evaluar emisiones contaminantes provenientes de vehículos ligeros, bajo las condiciones más reales de simulación, es el principal objetivo de esta propuesta de desarrollo de un Ciclo de Manejo Representativo de la ZMCM. Los resultados presentados en este trabajo aun no pueden ser representativos de toda la zonas conurbadas de la Ciudad de México, ya que debe hacerse un monitoreo más amplio, sin embargo, se ha logrado establecer una técnica de monitoreo bien definida y se ha logrado desarrollar el equipo necesario para tal fin.

Las condiciones en que se llevó a cabo el desarrollo experimental tuvo como base la selección de tres vehículos representativos del parque vehicular de mayor circulación, con tres conductores y circulando en tres rutas distintas. Estas rutas se definieron considerando las características típicas de las avenidas (semáforos, topes, tránsito vehicular, horas pico), así como las condiciones climáticas de la ciudad.

La instrumentación a bordo de los vehículos, fue una de las tareas más difíciles de lograr, ya que debido a los altos costos de los sensores y equipos de adquisición de datos en el mercado, estos se tuvieron que elaborar en el Laboratorio de Control de Emisiones, cumpliendo con las características requeridas, a fin de no alterar el funcionamiento normal del vehículo, ni la lectura de los parámetros monitoreados. La información captada por el MADAB fue transferida a una computadora para su procesamiento y análisis.

El monitoreo de los vehículos se realizó con base en el Diseño por Bloques Aleatorizados Completos, el cual permitió justificar estadísticamente que la

habilidad de manejo y la experiencia de los conductores se ven limitadas por las condiciones de flujo vial, sin importar la marca y modelo del vehículo que conduzcan. A partir de esta situación se pudo establecer que para obtener trayectorias típicas de circulación basta con monitorear vehículos en sus recorridos típicos. Además, la muestra vehicular no necesita analizarse bajo un modelo estadístico complejo, por lo que se puede aplicar el Diseño Completamente Aleatorizado, cuestión que simplifica el análisis.

El estudio también permitió descubrir que la velocidad media de circulación en la Zona monitoreada es de 18 Km/h y que, el tiempo durante el cual el vehículo permanece en marcha sin desplazarse en un recorrido, es de 18 %. Estos valores ponen de manifiesto la dificultad para transitar en una ciudad con un parque vehicular superior a los 3,000,000 de unidades.

Se realizaron 54 recorridos, de los cuales se lograron obtener 441 trayectorias consistentes con la velocidad del vehículo, las rpm del motor y el grado de apertura de la mariposa. También se encontró estadísticamente que la mayoría de los vehículos hacen paradas con un tiempo mínimo de 16 segundos.

La definición de trayectorias y la selección de las más representativas, a través de la velocidad media, fue una manera de analizar la información para configurar tres ciclos de manejo y finalmente una primera propuesta o la propuesta preliminar del *Ciclo de Manejo Representativo de la ZMCM para Vehículos Ligeros*.

La metodología planteada en el análisis de información en este desarrollo experimental deberá ser automatizado a través de un programa que permita un procesamiento más rápido de los datos y el análisis gráfico de los resultados.

El ciclo de manejo propuesto representa las condiciones típicas de conducción en la zona monitoreada, por lo que resulta una oportunidad para

desarrollar pruebas dinámicas más reales a las condiciones climáticas y geográficas de toda la ZMCM.

Es necesario que el ciclo propuesto se evalúe sobre un dinamómetro de chasis a fin de complementar la información requerida por las normas internacionales vigentes de homologación de vehículos, y finalmente llevar a cabo la evaluación de emisiones.

El desarrollo y adecuación del ciclo en el dinamómetro de chasis también permitirá hacer evaluaciones de los niveles de emisión del parque vehicular y proponer un procedimiento de prueba específico para la verificación de los vehículos en circulación, en los Centros de Verificación.

## ANEXO A

Tabla A1. EFECTOS Y RECOMENDACIONES, SEGÚN NIVELES IMECA.			
Criterios de calidad del aire.	Nivel para la salud.	Efectos en la salud.	Medidas de precaución.
Daño significativo (500 IMECAS)	Muy peligroso	Muerte prematura de enfermos y ancianos. Personas sanas experimentan síntomas adversos que afectarán sus actividades normales.	Todas las personas deben quedarse en sus casa cerrando puertas y ventanas. Deben minimizar las actividades físicas y evitar tráfico.
Emergencia (400 IMECAS)	Peligro	Aparición prematura de algunas enfermedades en adición al agravamiento de síntomas y tolerancia decreciente al ejercicio en personas sanas.	Ancianos y personas con enfermedades deben quedarse en sus casas y evitar actividades físicas. La población en general debe evitar actividades en el exterior.
Advertencia (300 IMECAS)	Muy insalubre	Agravamiento significativo de síntomas y decreciente tolerancia al ejercicio en personas con enfermedades cardíacas y respiratorias. Amplia sintomatología en la población sana.	Ancianos y personas con enfermedades cardíacas y respiratorias deben quedarse en sus casas y reducir las actividades físicas.
Alerta (200 IMECAS)	Insalubre	Agravamiento leve de síntomas en personas susceptibles. Síntomas de irritación en la población sana.	Personas con problemas cardíacos y respiratorios deben reducir los ejercicios físicos y las actividades en el exterior.
Norma (100 IMECAS)	Moderado		
50 % de la norma	Bueno		

FUENTE: Reyes, 1990.

Tabla AII. Clasificación de los hidrocarburos por su estructura molecular.		
Hidrocarburos de Cadena Abierta	<p><b>PARAFINAS.</b> ( alcanos <math>C_n H_{2n+2}</math> ).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Enlace simple.</li> <li>- Son los de mayor proporción en el petróleo.</li> <li>- Sus propiedades varían con la longitud de la cadena y la estructura de las moléculas.</li> </ul>	<p><b>Parafinas Normales.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cadena no ramificada.</li> <li>- Mayor autoinflamación cuanto más larga la cadena.</li> <li>- Ejemplos: metano <math>CH_4</math> y n-heptano <math>C_7H_{16}</math>.</li> </ul> <p><b>Isoparafinas.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cadena ramificada.</li> <li>- Bastante menos autoinflamables que las parafinas normales.</li> <li>- Adecuados para MEP.</li> <li>- Ejemplo: iso-octano ( 2,2,4 - trimetilpentano ) <math>C_8H_{18}</math>.</li> </ul>
	<p><b>OLEOFINAS.</b> ( alquenos <math>C_n H_{2n}</math> ).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cadenas con uno o más enlaces dobles entre el carbono.</li> <li>- Puede ser no ramificada (n-) o puede ser ramificada (iso-).</li> <li>- Las n-oleofinas son menos autoinflamables que las n-parafinas.</li> <li>- A mayor número de carbonos, mayor autoinflamabilidad.</li> <li>- Ejemplo: n-hexeno <math>C_6H_{12}</math>.</li> </ul>	
Hidrocarburos de Cadena Cerrada	<p><b>NAFTENOS.</b> ( Cicloalcanos <math>C_n H_{2n}</math> ).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cadenas simples de carbono, cada uno de ellos unido a los adyacentes.</li> <li>- Estructura de anillo.</li> <li>- Menor tendencia a la autoinflamación que las n-parafinas, y mayor que las isoparafinas con igual número de carbonos.</li> <li>- Ejemplos: ciclohexano <math>C_6H_{12}</math> y metilciclopentano <math>C_6H_{12}</math>.</li> </ul>	
	<p><b>AROMATICOS.</b> ( <math>C_n H_{2n-6}</math> ).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Contienen un anillo bencénico al que se unen H o radicales CH.</li> <li>- Presentan menor tendencia a la autoinflamación que otros compuestos.</li> <li>- Tienen alto número de octano.</li> <li>- Son parte fundamental de las gasolinas.</li> <li>- Representan cerca del 20 % de los hidrocarburos sin quemar en el escape de motores a gasolina.</li> <li>- Ejemplos: benceno <math>C_6H_6</math> y tolueno (metilbenceno <math>C_7H_8</math> ).</li> </ul>	
Otras Estructuras ( Alcoholes )	<p><b>Alcohol.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Se utiliza como combustible el etílico ( <math>C_2H_5OH</math> ).</li> <li>- Se llama etanol si es anhídrido.</li> <li>- El alcohol etílico comercial contiene 5 % de agua.</li> <li>- En mezcla con otros combustibles se utiliza el metanol ( <math>CH_3OH</math> ).</li> </ul>	
	<p><b>Eter dietílico.</b> ( <math>C_2H_5 - O - C_2H_5</math> ).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Es muy volátil.</li> <li>- Se utiliza para aumentar la volatilidad de la mezcla.</li> </ul>	

Tabla AIII. Procesos de obtención de combustibles líquidos derivados del petróleo.			
Nombre del Proceso	Desarrollo del proceso	Temp. del proceso (°C)	Combustibles obtenidos.
Destilación.	Separación de distintos componentes del petróleo con base al punto de ebullición o vaporación (p.v.) propio de algunos HC's (destilación fraccionada).	350	Para p.v. > 350 de los HC's de base parafínica, por separación y refinamiento, se obtienen aceites lubricantes, vaselinas y parafinas, y de los de base asfáltica se emplean como alquitrán.
		220 a 350	Gasóleo (C <sub>16</sub> a C <sub>34</sub> ) <sup>*</sup> .
		180 a 315	Queroseno (C <sub>12</sub> a C <sub>16</sub> ) <sup>*</sup> .
		20-30 a 200	Gasolina (C <sub>4</sub> a C <sub>12</sub> ) <sup>*</sup> .
		-5 a 20	GLP (butano, etano, propano) (C <sub>1</sub> a C <sub>4</sub> ) <sup>*</sup> .
Craqueo.	Fraccionamiento de moléculas largas en moléculas cortas con puntos de ebullición dentro de la gama de las gasolinas.	500	A través de un proceso térmico, a 25 - 30 bar de presión, se obtiene gasolinas.
		Baja temp.	A través del proceso catalítico se obtiene un 40 % de la gasolina corriente.
Polimerización.	Combinación de dos o más moléculas oleofinicas para dar lugar a una mayor.	200	En presencia de un catalizador a una presión de 30 a 80 bar, se obtiene alquenos (oleofinas) más autoinflamables.
Reformado.	Conversión catalítica de parafinas o naftenos en aromáticos, por reacciones de deshidrogenación.	500	A presión de 15 a 50 bar se obtienen aromáticos y moléculas de hidrógeno.
Hidrogenación.	Adición de H a los hidrocarburos saturados.	-	Compuestos con menor tendencia a la formación de resinas.
Isomerización.	Transformación de n-parafinas en iso-parafinas. Proceso realizado en forma gaseosa con catalizadores de metales nobles.	13	A una presión de 20 bar, se obtienen compuestos de menor tendencia al autoencendido (iso-parafinas).
Alquilación.	Combinación de una iso-parafina con una oleofina en estado gaseoso en un proceso catalítico.	0 - 40	Se obtienen moléculas iso-parafinicas líquidas de mayor tamaño con tendencia menor a autoinflamarse.
Hidrodesulfuración.	Reducción del contenido de azufre de los gasóleos (diesel) por adición de hidrógeno al azufre y posterior separación de la combinación.	-	Se obtiene una disminución del SO <sub>2</sub> en los gases de escape. El SO <sub>2</sub> es muy corrosivo y venenoso.

\* Composición aproximada (número de carbonos).

<b>Tabla AIV. Exigencias mínimas de los combustibles líquidos para MEP.</b> (Extracto de DIN 51600, Junio de 1985).					
Especificaciones	Super		Normal		Ensayo según
	Verano	Invierno	Verano	Invierno	
Densidad a 15°	0.730 a 0.780		0.715 a 0.765		DIN 51757
Resist. a detonación min. RON	98.0		91.0		DIN 51756
min. MON	88.0		82.7		
Contenido de plomo (alquilos de plomo) máx. g/l	0.15		0.15		DIN 51769 DIN EN 13
Evolución a la ebullición: Cantidades evaporadas en total					DIN 51751
hasta 70 °C Vol-%	15 a 40	20 a 45	15 a 40	20 a 45	
hasta 100 °C Vol-%	42 a 65	45 a 70	42 a 65	45 a 70	
hasta 180 °C Vol-%	90	90	90	90	
Punto final de ebul. máx. 215 °C	100	100	100	100	
Residuos de destilación Vol.-% máx	2		2		DIN 51751
Presión de vapor S. Reid. bar	0.45 ... 0.7	0.6 ... 0.9	0.45 ... 0.7	0.6 ... 0.9	DIN 51754
Residuo en el vapor máx. mg/100 ml	5		5		DIN EN 5
Contenido de azufre máx. % peso	0.10		0.10		DIN EN 41 DIN 51400

FUENTE: Referencia 17, pg. 212.

<b>Tabla AV. Especificaciones mínimas de los combustibles para motor Diesel.</b> (Extracto de DIN 51601, febrero de 1986).			
Especificaciones			Ensayo según
Densidad a 15 °C	g/ml	0.820 ... 0.860	DIN 51757
Evolución de la ebullición: cant. evaporada hasta 250 °C	máximo vol. en %	65	DIN 51751
cant. evaporada hasta 350 °C	mínimo vol. en %	85	
Viscosidad cinemática a 20 °C	mm <sup>2</sup> /s (cSt)	2 ... 8	DIN 51561 DIN 51562
Punto de inflamación	superior a °C	55	DIN 51755
Fluidez: Valor límite de filtrabilidad en verano. en invierno.	máximo vol. °C mínimo vol. °C	0 -15	DIN 51428
Contenido de azufre.	máx. % en peso	0.3	DIN 51400
Residuos de coque.	máx. % en peso	0.1	DIN 51551
Facilidad de encendido (Índice de cetano).	mínimo en CZ	45	DIN 51773

FUENTE: Referencia 17, pg. 215.



Tabla AVI. Especificaciones de la gasolina (Extracto de ASTM D 439).						
Prueba	Clase de volatilidad					Método ASTM
	A	B	C	D	E	
Temperatura de destilación, °F con respecto al porcentaje de evaporación:						D 86
10, máxima	158	149	140	131	122	
50, mínima	170	170	170	170	170	
50, máxima	250	245	240	235	230	
90, máxima	374	374	365	365	365	
Punto final, máximo	437	437	437	437	437	
Residuo máximo.	2	2	2	2	2	
Temperatura de prueba para relación vapor/líquido de 20, °F, máxima.	140	133	124	116	105	D 2533
Presión de vapor, máxima, lb/pulg <sup>2</sup> .	9.0	10.0	11.5	13.5	14.5	D 323
Contenido de plomo, g/galón, máximo:						
Sin plomo	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	D 2547
Bajo contenido en plomo	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	D 2547
Tradicional.	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	D 526
Corrosión, máxima.	No. 1	No. 1	No. 1	No. 1	No. 1	D 130
Goma, máximo, mg/100 ml.	5	5	5	5	5	D 381
Azufre, máximo, % en peso.	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	D 1266

FUENTE: Referencia 16, pg. 7-17.

Tabla AVII. Requerimientos antidetonantes de las gasolinas.		
Designación de la gasolina antidetonante	Índice antidetonante (octano), mínimo, (RON + MON)/2.	Aplicación
1	Menos de 87	Para automóviles con necesidades antidetonantes pequeñas.
2	87*	Satisface las necesidades antidetonantes para la mayoría de los automóviles modelos 1971 y posteriores.
3	89	Para la mayor parte de los modelos 1970 y anteriores, diseñados para operar con gasolina "regular" y para los modelos 1971 y posteriores, que requieren un comportamiento más antidetonante que el previsto en la designación 2.
4	91.5	Designación "intermedia" (mid-premium), que satisface las necesidades más altas de los diseños para operar con "regular".
5	95	Para la mayoría de los modelos 1970 y anteriores con motores de elevada relación de compresión, diseñados para utilizar gasolina "premium" y para modelos posteriores con motores de relación de compresión elevada.
6	97.5	Para automóviles con motores de compresión elevada, diseñados para emplear gasolina "premium", pero con requerimientos de comportamiento antidetonante más riguroso que los de la designación 5.

\* Además el número de octano mínimo para motores Otto debe ser 82.

FUENTE: Referencia 16, pg. 7-17.

<b>Tabla AVIII. Especificaciones para combustibles diesel. (Extracto de ASTM D 975)</b>					
Prueba	Método ASTM	Grado ASTM del combustible diesel			Especificaciones militares U.S.A. MIL-F-16884G
		1-D	2-D	4-D	
		Límite			
Punto de inflamación. °F. mínimo.	D 93	100 o legal	125 o legal	130 o legal	140
Agua y sedimento, % en volumen. máximo.	D 1796	Trazas	0.10	0.50	
Viscosidad cinemática, centistokes, a 100 °F.					
Mínima	D 445	1.4	2.0	5.8	1.8
Máxima		2.5	4.3	26.4	4.5
Residuos de carbón el 10 % de residuo, % máx.	D 524	0.15	0.35	-	0.20
Ceniza, % en peso, máximo.	D 482	0.01	0.01	0.10	0.005
Azufre, % en peso, máximo.	D 129	0.50	0.50	2.0	1.00
Calidad de ignición, número de cetano, mínimo.	D 613	40	40	30	45
Temperatura de destilación, °F, 90 % de evapor.:					
Mínima	D 86	-	540	-	-
Máxima		550	640	-	675

FUENTE: Referencia 16, pg. 7-19.

**Tabla AIX. Especificación de la Gasolina Magna Sin ZMVM.  
(Especificación 017/95)**

Pruebas	Unidades	Método	Especificaciones
Peso específico 20.4 °C	-	D-287-87 ó D-1298	Reportar
Color	-	Visual	Verde claro
Prueba doctor	-	D-235/87	Negativa
Acetato	-	-	Negativa
Destilación @ 760 mm Hg TIE.	°C	D-86/90	Reportar
10 % destila a	°C	D-86/90	65 máx.
50 % destila a	°C	D-86/90	77/118
90 % destila a	°C	D-86/90	190 máx.
Temp. final de ebullición TFE.	°C	D-86/90	221 máx.
Residuo de la destilación.	° vol.	D-86/90	2 máx.
Presión de vapor Reid.	lb pulg <sup>2</sup>	D-323/90	6.5 máx.
Azufre mercaptánico.	° peso	D-3227/89	0.002 máx.
Azufre total.	° peso	D-1266/91 ó D-2622/87	0.1 máx.
Corrosión al Cu 3 hrs @ 50 °C	-	D-130/88	Std. 1 máx.
Goma preformada.	mg/100 ml	D-381/86	4.0 máx.
Periodo de inducción.	minutos	D-525/88	300 mín.
Contenido de plomo.	g gal.	D-3237/90 ó D-3116/89	0.01 máx.
Número de octano RON.	-	D-2699/88	Reportar
Número de octano MON.	-	D-2700/88	82 mín.
Índice octano (RON+MON)/2	-	IMP-RP-QA-613	86.5 - 87
Fósforo.	g gal.	D-3231/89	0.004 máx.
Aditivo detergente dispersante.	ppm	IMP-RP-QA-613	280 mín.
Aromáticos.	% vol.	FIA D-1319/89	30 máx.
Oleofinas.	% vol.	FIA D-1319/89	12 máx.
Benceno.	% vol.	D-3606/87	1.5 máx.
Oxigenados MTBE	% peso	D-4815/89 ó Infrarrojo	Reportar
Oxígeno.	% peso	D-4815/89 ó Infrarrojo	1 mín. - 2 máx.
Corrosión ferrosa.	-	D-665	B++ máx.
MTBE	% peso	-	-
TAME	% peso	-	-

FUENTE: PEMEX-REFINACIÓN, Refinería "Miguel Hidalgo". Marzo de 1996.

Tabla AX. Especificación de la Gasolina Magna Sin ZFN.  
(Especificación 108/94)

Pruebas	Unidades	Método	Especificaciones
Peso específico 20/4 °C	-	D-287-87 ó D-1298/85	Reportar
Color	-	Visual	Verde claro
Prueba doctor	-	D-235/87	Negativa
Acetato	-		Negativa
Destilación @ 760 mm Hg TIE.	°C	D-86/90	Reportar
10 % destila a	°C	D-86/90	65 máx.
50 % destila a	°C	D-86/90	77/118
90 % destila a	°C	D-86/90	190 máx.
Temp. final de ebullición TFE.	°C	D-86/90	221 máx.
Residuo de la destilación.	% vol.	D-86/90	2 máx.
Presión de vapor Reid.	lb pulg <sup>2</sup>	D-323/90	6.5 máx.
Azufre mercaptánico.	% peso	D-3227/89	0.002 máx.
Azufre total.	% peso	D-1266/87 ó D-2622/87	0.1 máx.
Corrosión al Cu 3 hrs @ 50 °C	-	D-130/88	Std. 1 máx.
Goma preformada.	mg 100 ml	D-381/86	5.0 máx.
Período de inducción.	minutos	D-525/88	240 mín.
Contenido de plomo.	g/gal.	D-3237/84 ó D-3116/89	0.01 máx.
Número de octano RON.	-	D-2699/88	Reportar
Número de octano MON.	-	D-2700/88	82 mín.
Índice octano (RON+MON)/2	-	D-2699/88 y D-2700-88	87 mín.
Fósforo.	g/gal.	D-3231/89	0.04 máx.
Aditivo detergente dispersante.	ppm	IMP-RP-QA-613	280 mín.
Aromáticos.	% vol.	FIA D-1319/89	Reportar.
Oleofinas.	% vol.	FIA D-1319/89	Reportar.
Benceno.	% vol.	D-3606/87	1.5 máx.*
Oxigenados MTBE	% peso	D-4815/89 ó Infrarrojo	Reportar*
Oxígeno.	% peso	D-4815/89 ó Infrarrojo	1 mín. - 2 máx.*
Corrosión ferrosa.	-	D-665	B++ máx.*
MTBE	% peso	-	-
TAME	% peso	-	-

\* La especificación se supone igual a la Magna Sin ZMVM por no aparecer en la especificación 108/94 consultada.

FUENTE: Instituto Mexicano del Petróleo. Mayo de 1994.

Tabla AXI. Especificación de la Gasolina Nova Plus ZMVM.  
(Especificación 016/92)

Pruebas	Unidades	Método	Especificaciones
Color	-	Visual	Rojo
Destilación @ 760 mm Hg TIE.	°C	D-86/90	Reportar
10 % destila a	°C	D-86/90	70 máx.
50 % destila a	°C	D-86/90	77/121
90 % destila a	°C	D-86/90	190 máx.
Temp. final de ebullición TFE.	°C	D-86/90	225 máx.
Residuo de la destilación.	% vol.	D-86/90	2 máx.
Presión de vapor Reid.	lb pulg <sup>2</sup>	D-323/90	6.5/8.5
Azufre total.	% peso	D-1266/87 ó D-2622/87	0.15 máx.
Corrosión al Cu 3 hrs @ 50 °C	-	D-130/88	Std. I máx.
Goma preformada.	mg/100 ml	D-381/86	5.0 máx.
Período de inducción.	minutos	D-525/88	300 mín.
Tetraetilo de plomo.	ml gal.	D-3237/84 ó D-2599/87	0.2/0.3.
Número de octano RON.	-	D-2699/88	81 mín.
Número de octano MON.	-	D-2700/88	Reportar
Índice octano (RON+MON)/2	-	-	Reportar
Aditivo detergente dispersante.	ppm	IMP-RP-QA-613	280 mín.
Aromáticos.	% vol.	FIA D-1319/89	30 máx.
Oleofinas.	% vol.	FIA D-1319/89	15 máx.
Benceno.	% vol.	Cromatográfico	2 máx.
Oxigenados MTBE	% peso	Cromatog. de infrarojos	Reportar
Oxígeno.	% peso	Cromatog. de infrarrojo	2 máx.
MTBE	% peso	-	-
TAME	% peso	-	-

FUENTE: Instituto Mexicano del Petróleo. Noviembre de 1992.

Tabla ANII. Especificación de Diesel de 0.05 % en peso de Azufre.  
(Especificación 413-DS/93)

Pruebas	Unidades	Método	Especificaciones
Peso específico 20/4 °C	-	D-1298/85(90)	Reportar.
Color ASTM	-	D1500/91	2.5 máx.
Destilación @ 760 mm Hg TIE.	°C	D-86/90	Reportar
10 % destila a	°C	D-86/90	275 máx.
50 % destila a	°C	D-86/90	Reportar
90 % destila a	°C	D-86/90	345 máx.
Temp. final de ebullición TFE.	°C	D-86/90	Reportar
Temperatura de inflamación.	°C	D-93/90	45 mín.
Temperatura de escurrimiento.	°C	D-97/87	*
Temperatura de nublamiento	°C	D-2500/86	Reportar.
Carbón Ramsbottom (en 10 % de residuo).	% peso	D-524/88	0.25 máx.
Corrosión al Cu 3 hrs @ 50 °C	-	D-130/88	Std. 1 máx.
Agua y Sedimento	% vol.	D-1796/83	0.05 máx.
Viscosidad S.U. a 40 °C	seg	D-445/88	32.3 - 39.5
Viscosidad cinemática a 40 °C	cSt.	D-445/88	1.9 - 4.1
Número de cetano ó	-	D-613/86	48 mín.
Índice de cetano.	-	D-976/80	48 mín.
Ceniza	% peso	D-482-87	0.01 máx.
Aromáticos	% vol.	D-1319/89	30 máx.
Azufre total.	% peso	UOP357-80 ó D-4294-90	0.05 máx.
Observaciones:			

\* De marzo a octubre 0 °C. y de noviembre a febrero -5 °C.

FUENTE: Instituto Mexicano del Petróleo Julio de 1993.

**Tabla AXIII. Principales Especificación de Gasolina Premium.  
( Datos de Pruebas )**

Pruebas	Unidades	Método	Especificaciones
Peso específico 20/4 °C	-	D-287-87 ó D-1298	.7382
Color	-	Visual	-
Prueba doctor	-	D-235/87	-
Acetato	-	-	-
Destilación @ 760 mm Hg TIE.	°C	D-86/90	Reportar
10 % destila a	°C	D-86/90	63.3.
50 % destila a	°C	D-86/90	77/118
90 % destila a	°C	D-86/90	108.5
Temp. final de ebullición TFE.	°C	D-86/90	172.8
Residuo de la destilación.	% vol.	D-86/90	-.
Presión de vapor Reid.	lb pulg <sup>2</sup>	D-323/90	7.05
Azufre.	ppm	-	382
Corrosión al Cu 3 hrs @ 50 °C	-	D-130/88	-
Goma preformada.	mg/100 ml	D-381/86	-
Período de inducción.	minutos	D-525/88	-
Contenido de plomo.	g/gal.	D-3237/90 ó D-3116/89	0.001 máx.
Número de octano RON.	-	D-2699/88	95.8
Número de octano MON.	-	D-2700/88	88.6
Índice octano (RON+MON)/2	-	IMP-RP-QA-613	92.2
Fósforo.	g/gal.	D-3231/89	-
Aditivo detergente dispersante.	ppm	IMP-RP-QA-613	-
Aromáticos.	% vol.	FIA D-1319/89	24.85
Oleofinas.	% vol.	FIA D-1319/89	4.9
Benceno.	% vol.	D-3606/87	0.5
Oxigenados MTBE	% peso	D-4815/89 ó Infrarrojo	4.72
Oxígeno.	% vol.	-	0.86

FUENTE: Instituto Mexicano del Petróleo, 1996.

Tabla XIV. Automóviles más vendidos en la ZMCM (AMIA, 1993)					
MARCA	MODELO (AÑO)	MARCA	MODELO (AÑO)	MARCA	MODELO (AÑO)
<b>SUBCOMPACTOS</b>		<b>TIPO "B"</b>		Samuray	1985
<b>TIPO "A"</b>		Le Baron 2 ptas.	1985	Sakura	1985
VW Sedan	1993	Le Baron 4 ptas.	1992	Tsuru GSR 2000	1993
<b>TIPO "B"</b>		Le Baron SW	1985	Golf GTI	1994
Chevy *	1994	Guia 4 ptas.	1992	<b>TIPO "B"</b>	
Datsun SW	1986	Mystique	1994	Phantom 2 ptas.	1987
Tsubame	1993	Cutlass 2 ptas.	1989	Intrepid *	1994
Tsuru 2 ptas.	1990	Cutlass 4 ptas.	1992	Thunderbird	1985
Tsuru 4 ptas.	1994	Corsar 4 ptas.	1985	Mustang *	1994
Renault *	1985	Corsar Variant	1986	Eurosport 2 ptas.	1990
Caribe 2 ptas.	1985			Eurosport 4 ptas.	1989
Caribe 4 ptas.	1985	<b>LUJO</b>		F. Trans AM*	1994
Atlantic 2 ptas.	1985	<b>TIPO "A"</b>		240 SX *	1992
Atlantic 4 ptas.	1985	New Yorker 4 ptas.	1985	<b>TIPO "C"</b>	
Golf 2 ptas.	1991	Cougar 2 ptas.	1985	Viper *	1993
Golf 4 ptas.	1992	Sable *	1994	Corvette	1991
Derby *	1994	Citation X-11	1985	300 ZX	1992
		Century SS	1985		
<b>COMPACTOS</b>		Century 2 ptas.	1985		
<b>TIPO "A"</b>		Century 4 ptas.	1992		
Dart K 2 ptas.	1987	Passat 4 ptas. *	1990		
Dart K 4 ptas.	1988	Passat SW.	1990		
Dart K SW	1985	<b>TIPO "B"</b>			
Volare K	1985	Concord	1994		
Volare K 4 ptas.	1988	New Yorker LH *	1994		
Shadow Convert.	1992	G. Marquis 4 ptas.	1992		
Shadow GTS	1989	Taurus 4 ptas.	1989		
Shadow 2 ptas.	1989	Taurus S.W.	1989		
Shadow 4 ptas.	1992	Caprice 4 ptas.	1985		
Spirit	1992	Olds 88 *	1992		
Neon	1994	Regal	1994		
Topaz 2 ptas.	1985	Maxima *	1992		
Topaz 4 ptas.	1990	<b>TIPO "C"</b>			
Escort *	1994	L Town Car *	1990		
Celebrity 2 ptas.	1986	Mark VIII *	1994		
Celebrity 4 ptas.	1985	Cadillac de Ville *	1994		
Celebrity Euro 2 ptas.	1986				
Celebrity Euro 4 ptas.	1986	<b>DEPORTIVOS</b>			
Citation 2 ptas.	1985	<b>TIPO "A"</b>			
Citation 4 ptas.	1985	Magnum	1985		
Cavalier 2 ptas.	1994	Magnum K	1988		
Cavalier 4 ptas.	1993	Spirit R/T	1992		
Jetta	1994	Z-24	1993		

\* Autos Importados



## ANEXO B

### REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE ALGUNOS RECORRIDOS

**1. GRÁFICA GVI.1**

Recorrido No. 19, realizado en la ruta 3, por el conductor 1, en el vehículo 1.

**2. GRÁFICA GVI.2**

Recorrido No. 28, realizado en la ruta 3, por el conductor 1 en el vehículo 1.

**3. GRÁFICA GVI.3**

Recorrido No. 46, realizado en la ruta 2, por el conductor 1, en el vehículo 1.

**4. GRÁFICA GVI.4**

Recorrido No. 10, realizado en la ruta 2, por el conductor 1, en el vehículo 1.

**5. GRÁFICA GVI.5**

Recorrido No. 03, realizado en la ruta 1, por el conductor 3, en el vehículo 1.

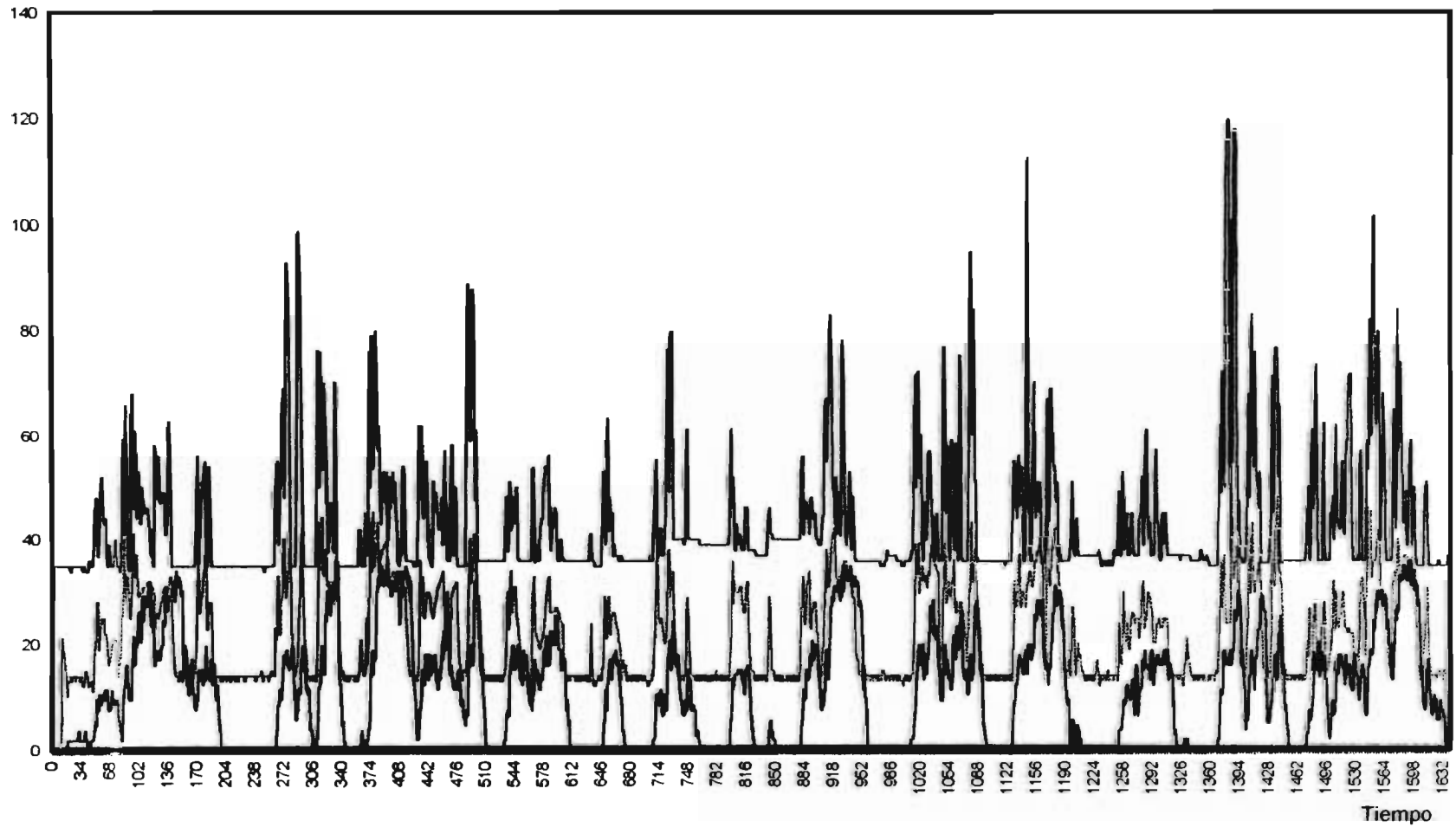
**6. GRÁFICA GVI.6**

Recorrido No. 37, realizado en la ruta 1, por el conductor 1, en el vehículo 1.

Valores sobre el eje:  
- Velocidad en Km/h.  
- RPM x 60  
- Apertura x 10 en mV

GRAFICA GVI.1

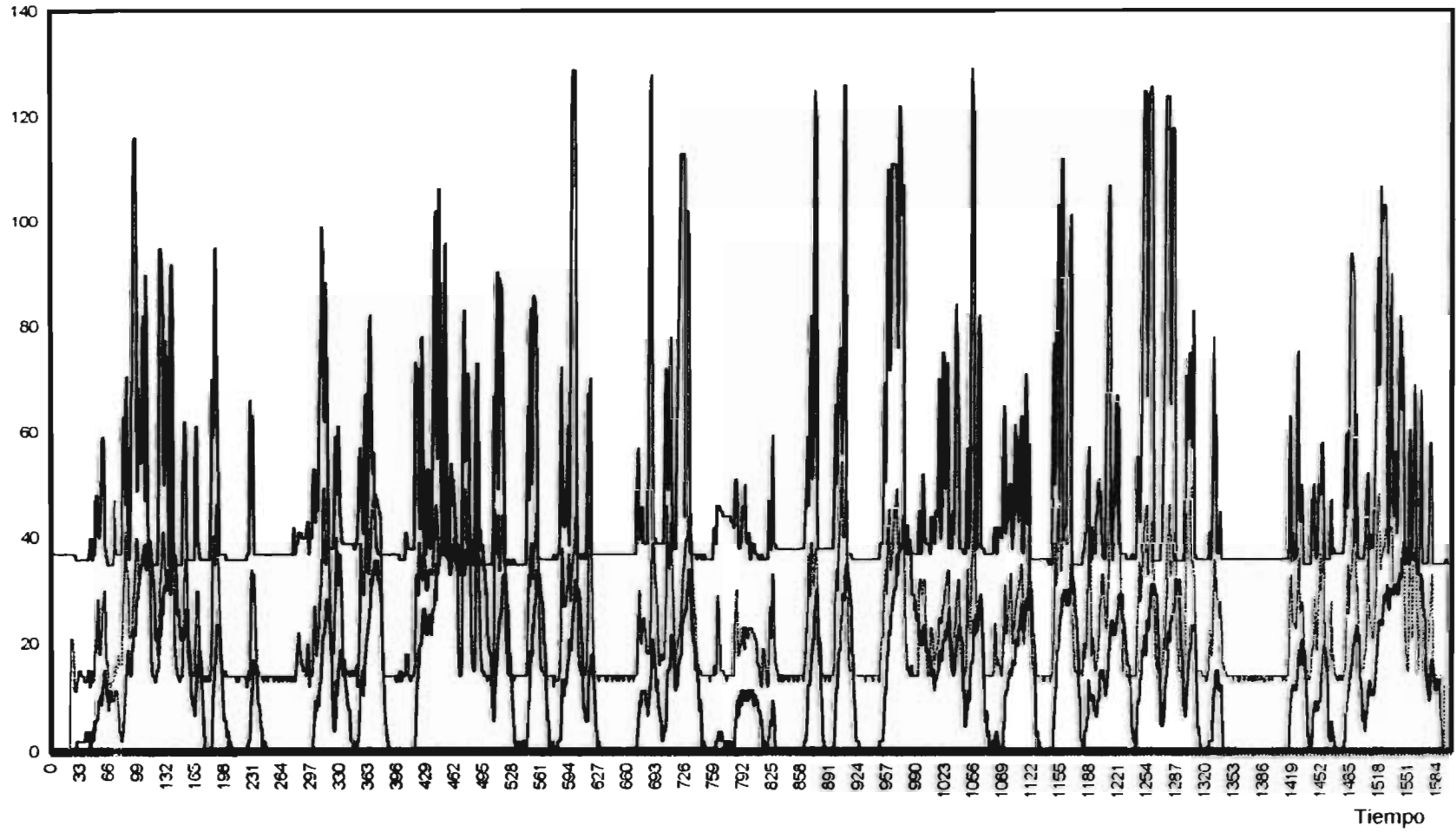
— Velocidad  
— RPM's  
— Apertura de mariposa



Valores sobre el eje:  
- Velocidad en Km/h.  
- RPM x 60  
- Apertura x 10 en mV

GRAFICA GVI.2

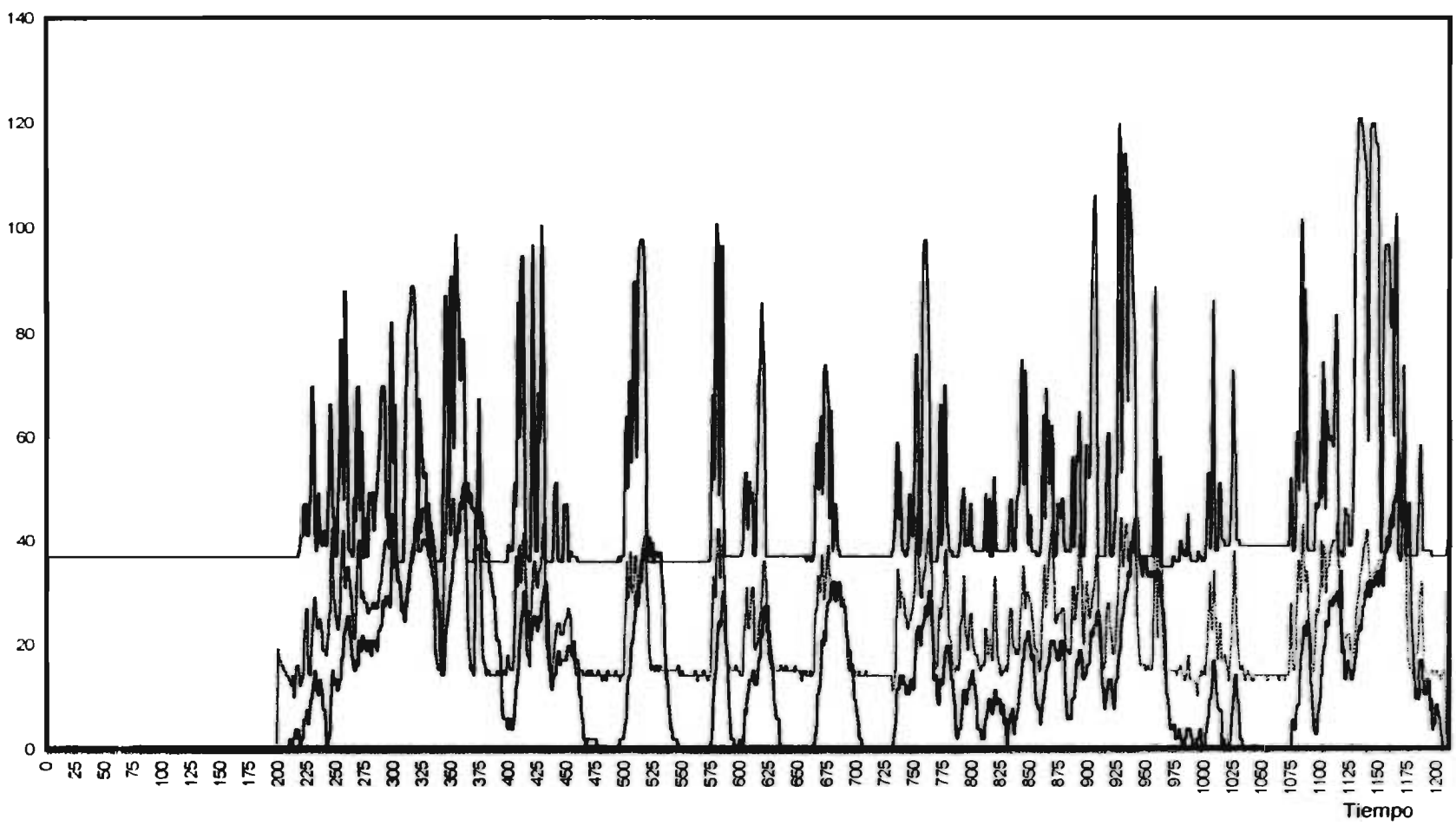
— Velocidad  
— RPM's  
— Apertura de mariposa



Valores sobre el eje:  
- Velocidad en Km/h.  
- RPM x 60  
- Apertura x 10 en mV

GRAFICA GVI.3

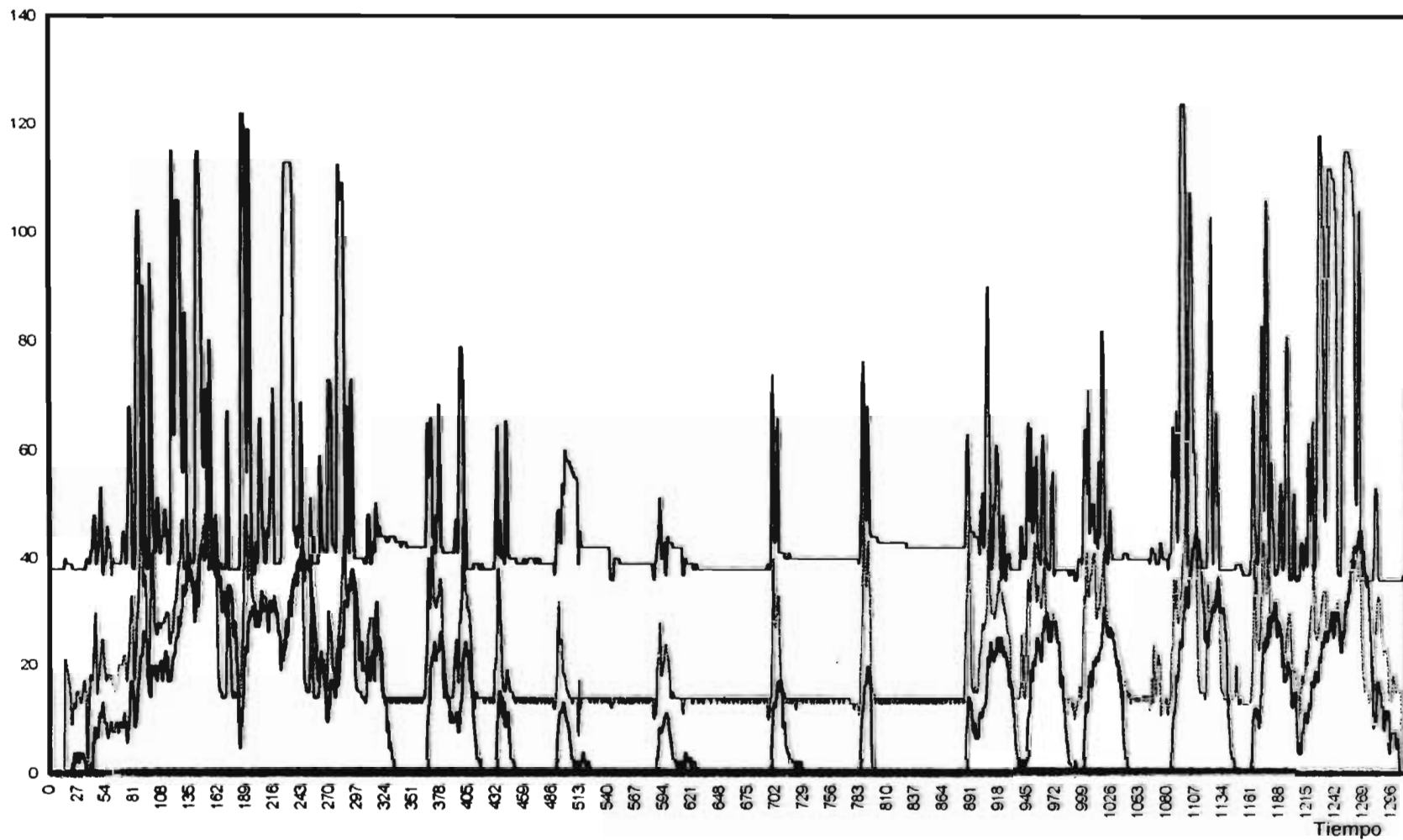
Velocidad  
RPM's  
Apertura de mariposa



Valores sobre el eje:  
- Velocidad en Km/h.  
- RPM x 60  
- Apertura x 10 en mV

GRAFICA GVI.4

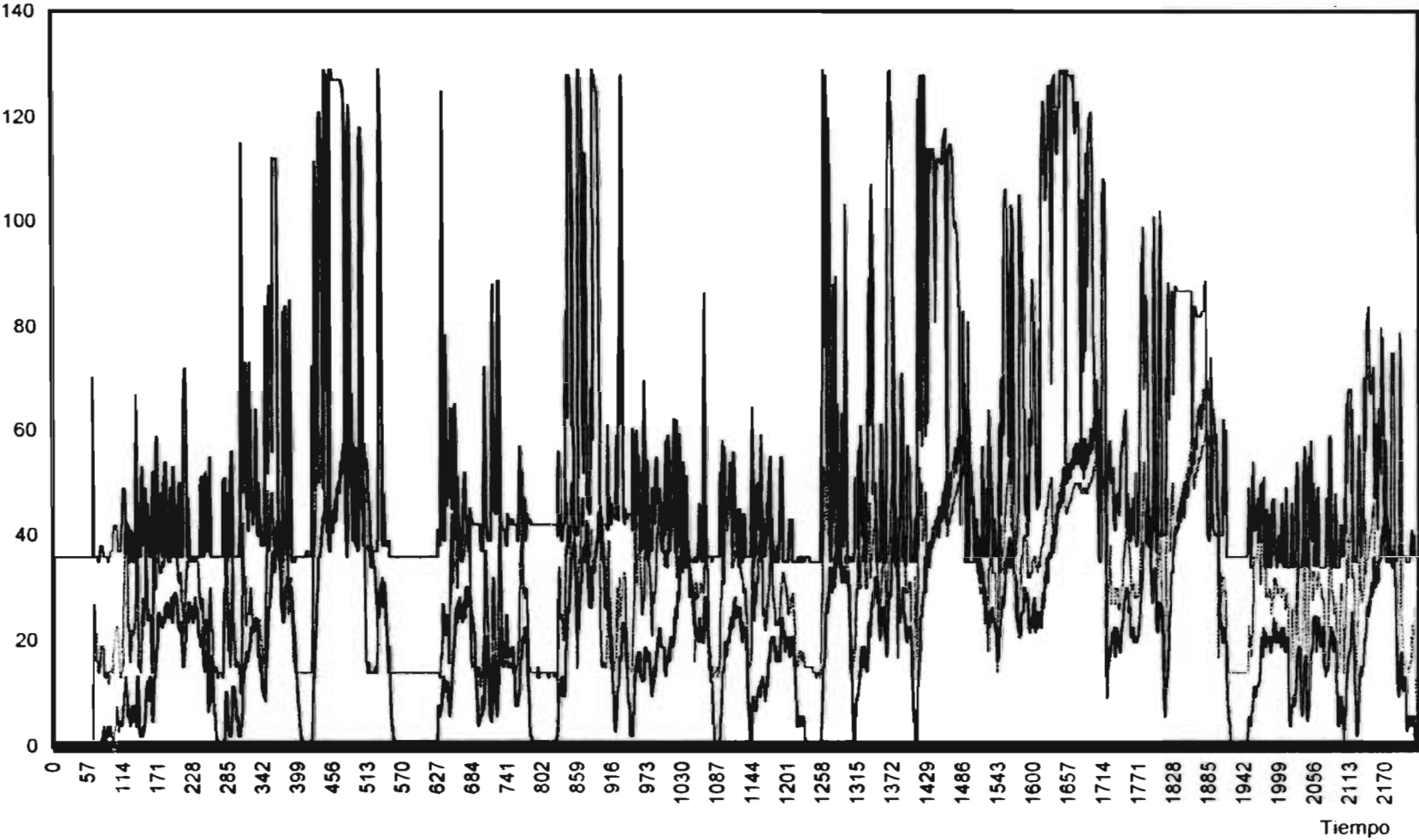
Velocidad  
RPM's  
Apertura de mariposa



Valores sobre el eje:  
- Velocidad en Km/h  
- RPM x 60  
- Apertura x 10 en mV

GRAFICA GVI.5

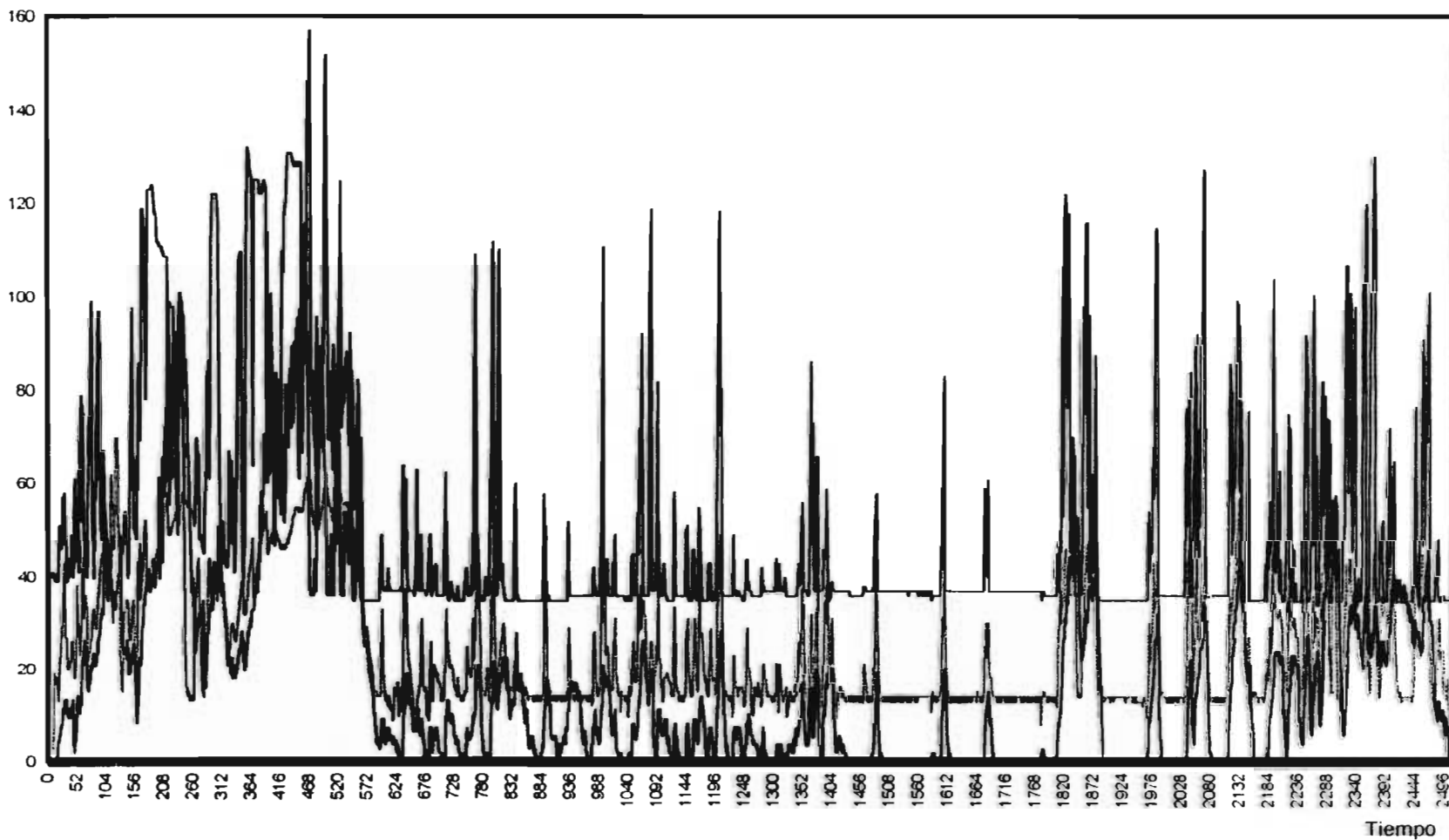
— Velocidad  
— RPM's  
— Apertura de mariposa



GRAFICA GVL6

Valores sobre el eje:  
- Velocidad en Km/h.  
- RPM x 60  
- Apertura x 10 en mV

— Velocidad  
— RPM's  
— Apertura de mariposa



## ANEXO C

### VALORES TABULADOS DE LOS PRINCIPALES CICLOS DE MANEJO.

Tabla 1. Programa U.S. 1972.

Tabla 2. Programa Highway Fuel Economy Test Schedule.

Tabla 3A. Programa E.C.E. R14.04. Para transmisión manual.

Tabla 3B. Programa E.C.E. R15.05. Para transmisión automática.

Tabla 4. Programa Japanese 10 mode test.

Tabla 5. Programa Japanese 11 mode test.



TABLE 1—U.S. 1972 SCHEDULE

Time (s)	Speed (mph)	Speed (km/h)	Time (s)	Speed (mph)	Speed (km/h)	Time (s)	Speed (mph)	Speed (km/h)	Time (s)	Speed (mph)	Speed (km/h)	Time (s)	Speed (mph)	Speed (km/h)	Time (s)	Speed (mph)	Speed (km/h)
0	0.0	0.0	98	29.5	47.5	196	36.2	58.2	294	30.1	80.6	392	14.5	23.3	490	34.6	55.7
1	0.0	0.0	99	29.8	47.9	197	37.3	60.0	295	30.0	80.4	393	12.0	19.3	491	34.5	55.5
2	0.0	0.0	100	30.3	48.8	198	39.3	63.2	296	49.6	79.8	394	8.7	14.0	492	33.5	53.9
3	0.0	0.0	101	30.7	49.4	199	40.5	65.2	297	49.5	79.6	395	5.4	8.7	493	32.0	51.4
4	0.0	0.0	102	30.9	49.7	200	42.1	67.7	298	49.5	79.6	396	2.1	3.4	494	30.1	48.4
5	0.0	0.0	103	31.0	49.9	201	43.5	70.0	299	49.5	79.6	397	0.0	0.0	495	28.0	45.1
6	0.0	0.0	104	30.9	49.7	202	45.1	72.6	300	49.1	79.0	398	0.0	0.0	496	25.5	41.0
7	0.0	0.0	105	30.4	48.9	203	46.0	74.0	301	48.6	78.2	399	0.0	0.0	497	22.5	36.2
8	0.0	0.0	106	29.8	47.9	204	46.8	75.3	302	48.1	77.4	400	0.0	0.0	498	19.8	31.9
9	0.0	0.0	107	29.9	48.1	205	47.5	76.4	303	47.2	75.9	401	0.0	0.0	499	16.5	26.5
10	0.0	0.0	108	30.2	48.6	206	47.5	76.4	304	46.1	74.2	402	0.0	0.0	500	13.2	21.2
11	0.0	0.0	109	30.7	49.4	207	47.3	76.1	305	45.0	72.4	403	2.6	4.2	501	10.3	16.6
12	0.0	0.0	110	31.2	50.2	208	47.2	75.9	306	43.8	70.5	404	5.9	9.5	502	7.2	11.6
13	0.0	0.0	111	31.8	51.2	209	47.0	75.6	307	42.6	68.5	405	9.2	14.8	503	4.0	6.4
14	0.0	0.0	112	32.2	51.8	210	47.0	75.6	308	41.5	66.8	406	12.5	20.1	504	1.0	1.6
15	0.0	0.0	113	32.4	52.1	211	47.0	75.6	309	40.3	64.8	407	15.8	25.4	505	0.0	0.0
16	0.0	0.0	114	32.2	51.8	212	47.0	75.6	310	38.5	61.9	408	19.1	30.7	506	0.0	0.0
17	0.0	0.0	115	31.7	51.0	213	47.0	75.6	311	37.0	59.5	409	22.4	36.0	507	0.0	0.0
18	0.0	0.0	116	28.6	46.0	214	47.2	75.9	312	35.2	56.6	410	25.0	40.2	508	0.0	0.0
19	0.0	0.0	117	25.3	40.7	215	47.4	76.3	313	33.8	54.4	411	25.6	41.2	509	0.0	0.0
20	0.0	0.0	118	22.0	35.4	216	47.9	77.1	314	32.5	52.3	412	27.5	44.2	510	0.0	0.0
21	3.0	4.8	119	18.7	30.1	217	48.5	78.0	315	31.5	50.7	413	29.0	46.7	511	1.2	1.9
22	5.9	9.5	120	15.4	24.8	218	49.1	79.0	316	30.6	49.2	414	30.0	48.3	512	3.5	5.6
23	8.6	13.8	121	12.1	19.5	219	49.5	79.6	317	30.5	49.1	415	30.1	48.4	513	5.5	8.8
24	11.5	18.5	122	8.8	14.2	220	50.0	80.4	318	30.0	48.3	416	30.0	48.3	514	6.5	10.5
25	14.3	23.0	123	5.5	8.8	221	50.6	81.4	319	29.0	46.7	417	29.7	47.8	515	8.5	13.7
26	16.9	27.2	124	2.2	3.5	222	51.0	82.1	320	27.5	44.2	418	29.3	47.1	516	9.6	15.4
27	17.3	27.8	125	0.0	0.0	223	51.5	82.9	321	24.8	39.9	419	28.8	46.3	517	10.5	16.9
28	18.1	29.1	126	0.0	0.0	224	52.2	84.0	322	21.5	34.6	420	28.0	45.1	518	11.9	19.1
29	20.7	33.3	127	0.0	0.0	225	53.2	85.6	323	20.1	32.3	421	25.0	40.2	519	14.0	22.5
30	21.7	34.9	128	0.0	0.0	226	54.1	87.0	324	19.1	30.7	422	21.7	34.9	520	16.0	25.7
31	22.4	36.0	129	0.0	0.0	227	54.6	87.9	325	18.5	29.8	423	18.4	29.6	521	17.7	28.5
32	22.5	36.2	130	0.0	0.0	228	54.9	88.3	326	17.0	27.4	424	15.1	24.3	522	19.0	30.6
33	22.1	35.6	131	0.0	0.0	229	55.0	88.5	327	15.5	24.9	425	11.8	19.0	523	20.1	32.3
34	21.5	34.6	132	0.0	0.0	230	54.9	88.3	328	12.5	20.1	426	8.5	13.7	524	21.0	33.8
35	20.9	33.6	133	0.0	0.0	231	54.6	87.9	329	10.8	17.4	427	5.2	8.4	525	22.0	35.4
36	20.4	32.8	134	0.0	0.0	232	54.6	87.9	330	8.0	12.9	428	1.9	3.1	526	23.0	37.0
37	19.8	31.9	135	0.0	0.0	233	54.8	88.2	331	4.7	7.6	429	0.0	0.0	527	23.8	38.3
38	17.0	27.4	136	0.0	0.0	234	55.1	88.7	332	1.4	2.3	430	0.0	0.0	528	24.5	39.4
39	14.9	24.0	137	0.0	0.0	235	55.5	89.3	333	0.0	0.0	431	0.0	0.0	529	24.9	40.1
40	14.9	24.0	138	0.0	0.0	236	55.7	89.6	334	0.0	0.0	432	0.0	0.0	530	25.0	40.2
41	15.2	24.5	139	0.0	0.0	237	56.1	90.3	335	0.0	0.0	433	0.0	0.0	531	25.0	40.2
42	15.5	24.9	140	0.0	0.0	238	56.3	90.6	336	0.0	0.0	434	0.0	0.0	532	25.0	40.2
43	16.0	25.7	141	0.0	0.0	239	56.6	91.1	337	0.0	0.0	435	0.0	0.0	533	25.0	40.2
44	17.1	27.5	142	0.0	0.0	240	56.7	91.2	338	0.0	0.0	436	0.0	0.0	534	25.0	40.2
45	19.1	30.7	143	0.0	0.0	241	56.7	91.2	339	0.0	0.0	437	0.0	0.0	535	25.0	40.2
46	21.1	33.9	144	0.0	0.0	242	56.5	90.9	340	0.0	0.0	438	0.0	0.0	536	25.6	41.2
47	22.7	36.5	145	0.0	0.0	243	56.5	90.9	341	0.0	0.0	439	0.0	0.0	537	25.8	41.5
48	22.9	36.8	146	0.0	0.0	244	56.5	90.9	342	0.0	0.0	440	0.0	0.0	538	26.0	41.8
49	22.7	36.5	147	0.0	0.0	245	56.5	90.9	343	0.0	0.0	441	0.0	0.0	539	25.6	41.7
50	22.6	36.4	148	0.0	0.0	246	56.5	90.9	344	0.0	0.0	442	0.0	0.0	540	25.2	40.5
51	21.3	34.3	149	0.0	0.0	247	56.5	90.9	345	0.0	0.0	443	0.0	0.0	541	25.0	40.2
52	19.0	30.6	150	0.0	0.0	248	56.4	90.7	346	0.0	0.0	444	0.0	0.0	542	25.0	40.2
53	17.1	27.5	151	0.0	0.0	249	56.1	90.3	347	1.0	1.6	445	0.0	0.0	543	25.0	40.2
54	15.8	25.4	152	0.0	0.0	250	55.8	89.8	348	4.3	6.9	446	0.0	0.0	544	24.4	39.3
55	15.8	25.4	153	0.0	0.0	251	55.1	88.7	349	7.6	12.2	447	0.0	0.0	545	23.1	37.2
56	17.7	28.5	154	0.0	0.0	252	54.6	87.9	350	10.9	17.5	448	3.3	5.3	546	19.8	31.9
57	19.8	31.9	155	0.0	0.0	253	54.2	87.2	351	14.2	22.8	449	6.6	10.6	547	16.5	26.5
58	21.6	34.8	156	0.0	0.0	254	54.0	86.9	352	17.3	27.8	450	9.9	15.9	548	13.2	21.2
59	23.2	37.3	157	0.0	0.0	255	53.7	86.4	353	20.5	32.2	451	12.7	11.2	549	9.9	15.9
60	24.2	38.9	158	0.0	0.0	256	53.6	86.2	354	22.1	36.2	452	16.5	26.3	550	6.6	10.6
61	24.6	39.6	159	0.0	0.0	257	53.9	86.7	355	23.7	38.1	453	19.8	31.9	551	3.3	5.3
62	24.9	40.1	160	0.0	0.0	258	54.0	86.9	356	25.2	40.5	454	23.1	37.2	552	0.0	0.0
63	25.0	40.2	161	0.0	0.0	259	54.1	87.0	357	26.6	42.8	455	26.4	42.5	553	0.0	0.0
64	24.6	39.6	162	0.0	0.0	260	54.1	87.0	358	28.1	45.2	456	27.8	44.7	554	0.0	0.0
65	24.5	39.4	163	0.0	0.0	261	53.8	86.6	359	30.0	48.3	457	29.1	46.8	555	0.0	0.0
66	24.7	39.7	164	3.3	5.3	262	53.4	85.9	360	30.8	49.6	458	31.5	50.7	556	0.0	0.0
67	24.8	39.9	165	6.6	10.6	263	53.0	85.3	361	31.6	50.8	459	33.0	53.1	557	0.0	0.0
68	24.7	39.7	166	9.9	15.9	264	52.6	84.6	362	32.1	51.6	460	33.6	54.1	558	0.0	0.0
69	24.6	39.6	167	13.2	21.2	265	52.1	83.8	363	32.8	52.8	461	34.8	56.0	559	0.0	0.0
70	24.6	39.6	168	16.5	26.5	266	52.4	84.3	364	33.6	54.1	462	35.1	56.5	560	0.0	0.0
71	25.1	40.4	169	19.8	31.9	267	52.0	83.7	365	34.5	55.5	463	35.6	57.3	561	0.0	0.0
72	25.6	41.2	170	22.2	35.7	268	51.9	83.5	366	34.6	55.7	464	36.1	58.1	562	0.0	0.0
73	25.7	41.4	171	24.3	39.1	269	51.7	83.2	367	34.9	56.2	465	36.0	57.9	563	0.0	0.0
74	25.4	40.9	172	25.8	41.5	270	51.5	82.9	368	34.8	56.0	466	36.1	58.1	564	0.0	0.0
75	24.9	40.1	173	26.4	42.5	271	51.6	83.0	369	34.5	55.5	467	36.2	58.2	565	0.0	0.0
76	25.0	40.2	174	25.7	41.4	272	51.8	83.3	370	34.7	55.8	468	36.0	57.9	566	0.0	0.0
77	25.4	40.9	175	25.1	40.4	273	52.										

TABLE 1—U. S. 1972 SCHEDULE (continued)

Time (s)	Speed (mph)	Speed (km/h)	Time (s)	Speed (mph)	Speed (km/h)	Time (s)	Speed (mph)	Speed (km/h)	Time (s)	Speed (mph)	Speed (km/h)	Time (s)	Speed (mph)	Speed (km/h)	Time (s)	Speed (mph)	Speed (km/h)	Time (s)	Speed (mph)	Speed (km/h)
686	0.0	0.0	784	28.9	46.5	882	28.9	46.5	980	27.5	44.2	1078	21.5	34.6	1176	23.0	37.0	1274	21.8	35.1
687	0.0	0.0	785	28.9	46.5	883	28.5	45.9	981	27.2	43.8	1079	20.6	33.1	1177	23.5	37.8	1275	22.2	35.7
688	0.0	0.0	786	28.8	46.3	884	28.1	45.2	982	26.8	43.1	1080	18.0	29.0	1178	23.0	37.0	1276	23.0	37.0
689	0.0	0.0	787	28.5	45.9	885	28.0	45.1	983	26.5	42.6	1081	15.0	24.1	1179	22.5	36.2	1277	23.6	38.0
690	0.0	0.0	788	28.3	45.5	886	28.0	45.1	984	26.0	41.8	1082	12.3	19.8	1180	20.0	32.2	1278	24.1	38.8
691	0.0	0.0	789	28.3	45.5	887	27.6	44.4	985	25.7	41.4	1083	11.1	17.9	1181	16.7	26.9	1279	24.5	39.4
692	0.0	0.0	790	28.3	45.5	888	27.2	43.8	986	25.2	40.5	1084	10.6	17.1	1182	13.4	21.6	1280	24.5	39.4
693	0.0	0.0	791	28.2	45.4	889	26.6	42.8	987	24.0	38.6	1085	10.0	16.1	1183	10.1	16.3	1281	24.0	38.6
694	1.4	2.3	792	27.6	44.4	890	27.0	43.4	988	22.0	35.4	1086	9.5	15.3	1184	6.8	10.9	1282	23.5	37.8
695	3.3	5.3	793	27.5	44.2	891	27.5	44.2	989	21.5	34.6	1087	9.1	14.6	1185	3.5	5.6	1283	23.5	37.8
696	4.4	7.1	794	27.5	44.2	892	27.8	44.7	990	21.5	34.6	1088	8.7	14.0	1186	0.2	0.3	1284	23.5	37.8
697	6.5	10.5	795	27.5	44.2	893	28.0	45.1	991	21.8	35.1	1089	8.6	13.8	1187	0.0	0.0	1285	23.5	37.8
698	9.2	14.8	796	27.5	44.2	894	27.8	44.7	992	22.5	36.2	1090	8.8	14.2	1188	0.0	0.0	1286	23.5	37.8
699	11.3	18.2	797	27.5	44.2	895	28.0	45.1	993	23.0	37.0	1091	9.0	14.5	1189	0.0	0.0	1287	23.5	37.8
700	13.5	21.7	798	27.5	44.2	896	28.0	45.1	994	22.8	36.7	1092	8.7	14.0	1190	0.0	0.0	1288	24.0	38.6
701	14.6	23.5	799	27.6	44.4	897	28.0	45.1	995	22.8	36.7	1093	8.6	13.8	1191	0.0	0.0	1289	24.1	38.8
702	16.4	26.4	800	28.0	45.1	898	27.7	44.6	996	23.0	37.0	1094	8.0	12.9	1192	0.0	0.0	1290	24.5	39.4
703	16.7	26.9	801	28.5	45.9	899	27.4	44.1	997	22.7	36.5	1095	7.0	11.3	1193	0.0	0.0	1291	24.7	39.7
704	16.5	26.5	802	30.0	48.3	900	26.9	43.3	998	22.7	36.5	1096	5.0	8.0	1194	0.0	0.0	1292	25.0	40.2
705	16.5	26.5	803	31.0	49.9	901	26.6	42.8	999	22.7	36.5	1097	4.2	6.8	1195	0.0	0.0	1293	25.4	40.9
706	18.2	29.3	804	32.0	51.5	902	26.5	42.6	1000	23.5	37.8	1098	2.6	4.2	1196	0.0	0.0	1294	25.6	41.2
707	19.2	30.9	805	33.0	53.1	903	26.5	42.6	1001	24.0	38.6	1099	1.0	1.6	1197	0.2	0.3	1295	25.7	41.4
708	20.1	32.3	806	33.0	53.1	904	26.5	42.6	1002	24.6	39.6	1100	0.0	0.0	1198	1.5	2.4	1296	26.0	41.8
709	21.5	34.6	807	33.6	54.1	905	26.3	42.3	1003	24.8	39.9	1101	0.1	0.2	1199	3.5	5.6	1297	26.2	42.2
710	22.5	36.2	808	34.0	54.7	906	26.2	42.2	1004	25.1	40.4	1102	0.6	1.0	1200	6.5	10.5	1298	26.7	43.0
711	22.5	36.2	809	34.0	54.7	907	26.2	42.2	1005	25.5	41.0	1103	1.6	2.6	1201	9.8	15.8	1299	27.0	43.4
712	22.1	35.6	810	34.2	55.0	908	25.9	41.7	1006	25.6	41.2	1104	3.6	5.8	1202	12.0	19.3	1300	28.3	45.7
713	22.7	36.5	811	34.0	54.7	909	25.6	41.2	1007	25.5	41.0	1105	6.9	11.1	1203	12.9	20.8	1301	29.0	46.7
714	23.3	37.3	812	34.0	54.7	910	25.6	41.2	1008	25.0	40.2	1106	10.0	16.1	1204	13.0	20.9	1302	29.1	46.8
715	23.5	37.8	813	33.9	54.5	911	25.9	41.7	1009	24.1	38.8	1107	12.8	20.6	1205	12.6	20.3	1303	29.0	46.7
716	22.5	36.2	814	33.6	54.1	912	25.8	41.5	1010	23.7	38.1	1108	14.0	22.5	1206	12.8	20.6	1304	28.0	45.1
717	21.6	34.8	815	33.1	53.3	913	25.5	41.0	1011	23.2	37.3	1109	14.5	23.3	1207	13.1	21.1	1305	24.7	39.7
718	20.5	33.0	816	33.0	53.1	914	24.6	39.6	1012	22.9	36.8	1110	16.0	25.7	1208	13.1	21.1	1306	21.4	34.4
719	18.0	29.0	817	32.5	52.3	915	23.5	37.8	1013	22.5	36.2	1111	18.1	29.1	1209	14.0	22.5	1307	18.1	29.1
720	15.0	24.1	818	32.0	51.5	916	22.2	35.7	1014	22.0	35.4	1112	20.0	32.2	1210	15.5	24.9	1308	14.8	23.8
721	12.0	19.3	819	31.9	51.3	917	21.6	34.8	1015	21.6	34.8	1113	21.0	33.8	1211	17.0	27.4	1309	11.5	18.5
722	9.0	14.5	820	31.6	50.8	918	21.6	34.8	1016	20.5	33.0	1114	21.2	34.1	1212	18.6	29.9	1310	8.2	13.2
723	6.2	10.0	821	31.5	50.7	919	21.7	34.9	1017	17.5	28.2	1115	21.3	34.3	1213	19.7	31.7	1311	4.9	7.9
724	4.5	7.2	822	30.6	49.2	920	22.6	36.4	1018	14.2	22.8	1116	21.4	34.4	1214	21.0	33.8	1312	1.6	2.6
725	3.0	4.8	823	30.0	48.3	921	23.4	37.7	1019	10.9	17.5	1117	21.7	34.9	1215	21.5	34.6	1313	0.0	0.0
726	2.1	3.4	824	29.9	48.1	922	24.0	38.6	1020	7.6	12.2	1118	22.5	36.2	1216	21.8	35.1	1314	0.0	0.0
727	0.5	0.8	825	29.9	48.1	923	24.2	38.9	1021	4.3	6.9	1119	23.0	37.0	1217	21.8	35.1	1315	0.0	0.0
728	0.5	0.8	826	29.9	48.1	924	24.4	39.3	1022	1.0	1.6	1120	23.8	38.3	1218	21.5	34.6	1316	0.0	0.0
729	3.2	5.1	827	29.9	48.1	925	24.9	40.1	1023	0.0	0.0	1121	24.5	39.4	1219	21.2	34.1	1317	0.0	0.0
730	6.5	10.5	828	29.6	47.6	926	25.1	40.4	1024	0.0	0.0	1122	25.0	40.2	1220	21.5	34.6	1318	0.0	0.0
731	9.6	15.4	829	29.5	47.5	927	25.2	40.5	1025	0.0	0.0	1123	24.9	40.1	1221	21.8	35.1	1319	0.0	0.0
732	12.5	20.1	830	29.3	47.5	928	25.3	40.7	1026	0.0	0.0	1124	24.8	39.9	1222	22.0	35.4	1320	0.0	0.0
733	14.0	22.5	831	29.3	47.1	929	25.5	41.0	1027	0.0	0.0	1125	25.0	40.2	1223	21.9	35.2	1321	0.0	0.0
734	16.0	25.7	832	28.9	46.5	930	25.2	40.5	1028	0.0	0.0	1126	25.4	40.9	1224	21.7	34.9	1322	0.0	0.0
735	18.0	29.0	833	28.2	45.4	931	25.0	40.2	1029	0.0	0.0	1127	25.8	41.5	1225	21.5	34.6	1323	0.0	0.0
736	19.6	31.3	834	27.7	44.6	932	25.0	40.2	1030	0.0	0.0	1128	26.0	41.8	1226	21.5	34.6	1324	0.0	0.0
737	21.5	34.6	835	27.0	43.4	933	25.0	40.2	1031	0.0	0.0	1129	26.4	42.5	1227	21.4	34.4	1325	0.0	0.0
738	23.1	37.2	836	25.5	41.0	934	24.7	39.7	1032	0.0	0.0	1130	26.6	42.8	1228	20.1	32.3	1326	0.0	0.0
739	24.5	39.4	837	23.7	38.1	935	24.5	39.4	1033	0.0	0.0	1131	26.9	43.3	1229	19.5	31.4	1327	0.0	0.0
740	25.5	41.0	838	22.0	35.4	936	24.3	39.1	1034	0.0	0.0	1132	27.0	43.4	1230	19.2	30.9	1328	0.0	0.0
741	26.5	42.6	839	20.5	33.0	937	24.3	39.1	1035	0.0	0.0	1133	27.0	43.4	1231	19.6	31.5	1329	0.0	0.0
742	27.1	43.6	840	19.2	30.9	938	24.5	39.4	1036	0.0	0.0	1134	27.0	43.4	1232	19.8	31.9	1330	0.0	0.0
743	27.6	44.4	841	19.2	30.9	939	25.0	40.2	1037	0.0	0.0	1135	26.9	43.3	1233	20.0	32.2	1331	0.0	0.0
744	27.9	44.9	842	20.1	32.3	940	25.0	40.2	1038	0.0	0.0	1136	26.8	43.1	1234	19.5	31.4	1332	0.0	0.0
745	28.3	45.5	843	20.9	33.6	941	24.6	39.6	1039	0.0	0.0	1137	26.8	43.1	1235	17.5	28.2	1333	0.0	0.0
746	28.6	46.0	844	21.4	34.4	942	24.6	39.6	1040	0.0	0.0	1138	26.5	42.6	1236	15.5	24.9	1334	0.0	0.0
747	28.6	46.0	845	22.0	35.4	943	24.1	38.8	1041	0.0	0.0	1139	26.4	42.5	1237	13.0	20.9	1335	0.0	0.0
748	28.3	45.5	846	22.6	36.4	944	24.5	39.4	1042	0.0	0.0	1140	26.0	41.8	1238	10.0	16.1	1336	0.0	0.0
749	28.2	45.4	847	23.2	37.3	945	25.1	40.4	1043	0.0	0.0	1141	25.5	41.0	1239	8.0	12.9	1337	0.0	0.0
750	28.0	45.1	848	24.																

TABLE 2—HIGHWAY FUEL ECONOMY TEST SCHEDULE

Time (s)	Speed (mph)	Speed (km/h)	Time (s)	Speed (mph)	Speed (km/h)	Time (s)	Speed (mph)	Speed (km/h)	Time (s)	Speed (mph)	Speed (km/h)	Time (s)	Speed (mph)	Speed (km/h)	Time (s)	Speed (mph)	Speed (km/h)
0	0.0	0.0	90	46.3	74.5	180	43.1	69.4	270	46.7	75.2	360	57.4	92.4	450	58.2	93.7
1	0.0	0.0	91	46.2	74.4	181	42.2	67.9	271	46.2	74.4	361	57.2	92.1	451	58.1	93.5
2	0.0	0.0	92	46.3	74.5	182	41.5	66.8	272	46.0	74.0	362	57.1	91.9	452	58.0	93.3
3	2.0	3.2	93	46.5	74.8	183	41.5	66.8	273	45.8	73.7	363	57.0	91.7	453	58.0	93.3
4	4.9	7.9	94	46.9	75.5	184	42.1	67.8	274	45.6	73.4	364	57.0	91.7	454	58.0	93.3
5	8.1	13.0	95	47.1	75.8	185	42.9	69.0	275	45.4	73.1	365	56.9	91.6	455	58.0	93.3
6	11.3	18.2	96	47.4	76.3	186	43.5	70.0	276	45.2	72.7	366	56.9	91.6	456	58.0	93.3
7	14.5	23.3	97	47.7	76.8	187	43.9	70.7	277	45.0	72.4	367	56.9	91.6	457	58.0	93.3
8	17.3	27.8	98	48.0	77.2	188	43.6	70.2	278	44.7	71.9	368	57.0	91.7	458	57.9	93.2
9	19.6	31.5	99	48.2	77.6	189	43.3	69.7	279	44.5	71.6	369	57.0	91.7	459	57.9	93.2
10	21.8	35.1	100	48.5	78.1	190	43.0	69.2	280	44.2	71.1	370	57.0	91.7	460	58.0	93.3
11	24.0	38.6	101	48.8	78.5	191	43.1	69.4	281	43.5	70.0	371	57.0	91.7	461	58.1	93.5
12	25.8	41.5	102	49.1	79.0	192	43.4	69.8	282	42.8	68.9	372	57.0	91.7	462	58.1	93.5
13	27.1	43.6	103	49.2	79.2	193	43.9	70.7	283	42.0	67.6	373	57.0	91.7	463	58.2	93.7
14	28.8	45.1	104	49.1	79.0	194	44.3	71.3	284	40.1	64.5	374	57.0	91.7	464	58.3	93.8
15	29.9	46.7	105	49.1	79.0	195	44.6	71.8	285	38.6	62.1	375	57.0	91.7	465	58.3	93.8
16	30.0	48.3	106	49.0	78.9	196	44.9	72.3	286	37.5	60.4	376	57.0	91.7	466	58.3	93.8
17	30.7	49.4	107	49.0	78.9	197	44.8	72.1	287	35.8	57.6	377	56.9	91.6	467	58.2	93.7
18	31.5	50.7	108	49.1	79.0	198	44.4	71.5	288	34.7	55.8	378	56.8	91.4	468	58.1	93.5
19	32.2	51.8	109	49.2	79.2	199	43.9	70.7	289	34.0	54.7	379	56.5	90.9	469	58.0	93.3
20	32.9	52.9	110	49.3	79.3	200	43.4	69.8	290	33.3	53.6	380	56.2	90.4	470	57.8	93.0
21	33.5	53.9	111	49.4	79.5	201	43.2	69.5	291	32.5	52.3	381	56.0	90.1	471	57.5	92.5
22	34.1	54.9	112	49.5	79.7	202	43.2	69.5	292	31.7	51.0	382	56.0	90.1	472	57.1	91.9
23	34.6	55.7	113	49.5	79.7	203	43.1	69.4	293	30.6	49.2	383	56.0	90.1	473	57.0	91.7
24	34.9	56.2	114	49.5	79.7	204	43.0	69.2	294	29.6	47.6	384	56.1	90.3	474	56.6	91.1
25	35.1	56.5	115	49.4	79.5	205	43.0	69.2	295	28.8	46.3	385	56.4	90.8	475	56.1	90.3
26	35.7	57.5	116	49.1	79.0	206	43.1	69.4	296	28.4	45.7	386	56.7	91.2	476	56.0	90.1
27	35.9	57.8	117	48.9	78.7	207	43.4	69.8	297	28.6	46.0	387	56.9	91.6	477	55.8	89.8
28	35.8	57.6	118	48.6	78.2	208	43.9	70.7	298	29.5	47.5	388	57.1	91.6	478	55.5	89.3
29	35.3	56.8	119	48.4	77.9	209	44.0	70.8	299	31.4	50.5	389	57.3	92.2	479	55.2	88.8
30	34.9	56.2	120	48.1	77.4	210	43.5	70.0	300	33.4	53.8	390	57.4	92.4	480	55.1	88.7
31	34.9	56.2	121	47.7	76.8	211	42.6	68.6	301	35.6	57.3	391	57.4	92.4	481	55.0	88.5
32	34.6	55.7	122	47.4	76.3	212	41.5	66.8	302	37.5	60.4	392	57.2	92.1	482	54.9	88.4
33	34.8	56.0	123	47.3	76.1	213	40.7	65.5	303	39.1	62.9	393	57.0	91.7	483	54.9	88.4
34	35.1	56.5	124	47.5	76.4	214	40.0	64.4	304	40.2	64.7	394	56.9	91.6	484	54.9	88.4
35	35.7	57.5	125	47.8	76.9	215	40.0	64.4	305	41.1	66.1	395	56.6	91.1	485	54.9	88.4
36	36.6	58.1	126	47.9	77.1	216	40.3	64.9	306	41.8	67.3	396	56.3	90.6	486	54.9	88.4
37	36.2	58.3	127	48.0	77.2	217	41.0	66.0	307	42.4	68.2	397	56.1	90.3	487	54.9	88.4
38	36.5	58.7	128	47.9	77.1	218	42.0	67.6	308	42.8	68.9	398	56.4	90.8	488	55.0	88.5
39	36.7	59.1	129	47.9	77.1	219	42.7	68.7	309	43.3	69.7	399	56.7	91.2	489	55.0	88.5
40	36.9	59.4	130	47.9	77.1	220	43.1	69.4	310	43.8	70.3	400	57.1	91.9	490	55.0	88.5
41	37.0	59.5	131	48.0	77.2	221	43.2	69.5	311	44.3	71.3	401	57.5	92.5	491	55.0	88.5
42	37.0	59.5	132	48.0	77.2	222	43.4	69.8	312	44.7	71.9	402	57.8	93.0	492	55.0	88.5
43	37.0	59.5	133	48.0	77.2	223	43.9	70.7	313	45.0	72.4	403	58.0	93.3	493	55.0	88.5
44	37.0	59.5	134	47.9	77.1	224	44.3	71.3	314	45.2	72.7	404	58.0	93.9	494	55.1	88.7
45	37.0	59.5	135	47.3	76.1	225	44.7	71.9	315	45.4	73.1	405	58.0	93.3	495	55.1	88.7
46	37.0	59.5	136	46.0	74.0	226	45.1	72.6	316	45.5	73.2	406	58.0	93.3	496	55.0	88.5
47	37.1	59.7	137	43.3	69.7	227	45.4	73.1	317	45.8	73.7	407	58.0	93.3	497	54.9	88.4
48	37.3	60.0	138	41.2	66.3	228	45.8	73.7	318	46.0	74.0	408	58.0	93.3	498	54.9	88.4
49	37.8	60.8	139	39.5	63.6	229	46.5	74.8	319	46.1	74.2	409	57.9	93.2	499	54.8	88.2
50	38.6	62.1	140	39.2	63.1	230	46.9	75.3	320	46.5	74.8	410	57.8	93.0	500	54.7	88.0
51	39.3	63.2	141	39.0	62.8	231	47.2	76.0	321	46.8	75.3	411	57.7	92.9	501	54.6	87.9
52	40.0	64.4	142	39.0	62.8	232	47.4	76.3	322	47.1	75.8	412	57.7	92.9	502	54.4	87.5
53	40.7	65.5	143	39.1	62.9	233	47.3	76.1	323	47.7	76.8	413	57.8	93.0	503	54.3	87.4
54	41.4	66.6	144	39.5	63.6	234	47.3	76.1	324	48.3	77.7	414	57.9	93.2	504	54.3	87.4
55	42.2	67.9	145	41.0	66.5	235	47.2	76.0	325	49.7	78.9	415	58.0	93.3	505	54.2	87.2
56	42.9	69.0	146	41.0	66.0	236	47.2	76.0	326	49.7	78.9	416	58.1	93.5	506	54.1	87.1
57	43.5	70.0	147	42.0	67.6	237	47.2	76.0	327	50.3	81.0	417	58.4	94.0	507	54.1	87.1
58	44.0	70.8	148	43.1	69.4	238	47.1	75.8	328	51.0	82.1	418	58.9	94.8	508	54.1	87.1
59	44.3	71.3	149	43.7	70.3	239	47.0	75.6	329	51.7	83.2	419	59.1	95.1	509	54.0	86.9
60	44.5	71.6	150	44.1	71.0	240	47.0	75.6	330	52.4	84.3	420	59.4	95.6	510	54.0	86.9
61	44.8	72.1	151	44.3	71.3	241	46.9	75.3	331	53.1	85.3	421	59.8	96.2	511	54.0	86.9
62	44.9	72.3	152	44.4	71.5	242	46.8	75.1	332	53.8	86.6	422	59.9	96.4	512	54.0	86.9
63	45.0	72.4	153	44.6	71.8	243	46.9	75.3	333	54.5	87.7	423	59.9	96.4	513	54.0	86.9
64	45.1	72.6	154	44.7	71.9	244	47.0	75.6	334	55.2	88.8	424	59.8	96.2	514	54.0	86.9
65	45.4	73.1	155	44.9	72.3	245	47.2	76.0	335	55.8	89.8	425	59.6	95.9	515	54.0	86.9
66	45.7	73.5	156	45.2	72.7	246	47.5	76.4	336	56.4	90.8	426	59.4	95.6	516	54.0	86.9
67	46.0	74.0	157	45.7	73.5	247	47.9	77.1	337	56.9	91.6	427	59.2	95.3	517	54.1	87.1
68	46.3	74.5	158	45.9	73.9	248	48.0	77.2	338	57.0	91.7	428	59.1	95.1	518	54.2	87.2
69	46.5	74.8	159	46.3	74.5	249	48.0	77.2	339	57.1	91.9	429	59.0	95.0	519	54.5	87.7
70	46.8	75.3	160	46.8	75.3	250	48.0	77.2	340	57.3	92.2	430	58.8	94.8	520	54.8	88.3
71	46.9	75.3	161	46.9	75.5	251	48.0	77.2	341	57.6	92.7	431	58.7	94.5	521	54.9	88.4
72	47.0	75.6	162	47.0	75.6	252	48.0	77.2	342	57.8	93.0	432	58.6	94.3	522	55.0	88.5
73	47.1	75.8	163	47.1	75.8	253	48.1	77.4	343	58.0	93.3	433	58.5	94.1	523	55.1	88.7
74	47.2	76.0	164	47.6	76.6	254	48.2	77.6	344	58.1	93.5	434	58.4	94.0	524	55.2	88.8
75	47.3	76.1	165	47.9	77.1	255	48.2	77.6	345	58.4	94.0						

TABLE 2—HIGHWAY FUEL ECONOMY TEST SCHEDULE (continued)

Time (s)	Speed (mph)	Speed (km/h)	Time (s)	Speed (mph)	Speed (km/h)	Time (s)	Speed (mph)	Speed (km/h)	Time (s)	Speed (mph)	Speed (km/h)	Time (s)	Speed (mph)	Speed (km/h)	Time (s)	Speed (mph)	Speed (km/h)
540	56.0	90.1	580	51.1	82.2	620	49.7	80.0	660	51.0	82.1	700	54.2	87.2	740	48.5	78.1
541	56.0	90.1	581	50.7	81.6	621	50.6	81.4	661	51.1	82.2	701	54.5	87.7	741	47.6	76.6
542	56.0	90.1	582	50.3	81.0	622	51.5	82.9	662	51.4	82.7	702	54.8	88.2	742	46.8	75.3
543	56.0	90.1	583	49.8	80.1	623	52.2	84.0	663	51.7	83.2	703	55.0	88.5	743	45.6	73.4
544	56.0	90.1	584	49.3	79.3	624	52.7	84.8	664	52.0	83.7	704	55.5	89.3	744	44.2	71.1
545	56.0	90.1	585	48.7	78.4	625	53.0	85.3	665	52.2	84.0	705	55.9	90.0	745	42.5	68.4
546	56.0	90.1	586	48.2	77.6	626	53.6	86.3	666	52.5	84.5	706	56.1	90.3	746	39.2	63.1
547	55.9	90.0	587	48.1	77.4	627	54.0	86.9	667	52.8	85.0	707	56.3	90.6	747	35.9	57.8
548	55.9	90.0	588	48.0	77.2	628	54.1	87.1	668	52.7	84.8	708	56.4	90.8	748	32.6	52.5
549	55.9	90.0	589	48.0	77.2	629	54.4	87.5	669	52.6	84.7	709	56.5	90.9	749	29.3	47.2
550	55.8	89.8	590	48.1	77.4	630	54.7	88.0	670	52.3	84.2	710	56.7	91.2	750	26.8	43.1
551	55.6	89.5	591	48.4	77.9	631	55.1	88.7	671	52.3	84.2	711	56.9	91.6	751	24.5	39.4
552	55.4	89.2	592	48.9	78.7	632	55.4	89.2	672	52.4	84.3	712	57.0	91.7	752	21.5	34.6
553	55.2	88.8	593	49.0	78.9	633	55.4	89.2	673	52.5	84.5	713	57.3	92.2	753	19.5	31.4
554	55.1	88.7	594	49.1	79.0	634	55.0	88.5	674	52.7	84.8	714	57.7	92.9	754	17.4	28.0
555	55.0	88.5	595	49.1	79.0	635	54.5	87.7	675	52.7	84.8	715	58.2	93.7	755	15.1	24.3
556	54.9	88.4	596	49.0	78.9	636	53.6	86.3	676	52.4	84.3	716	58.8	94.6	756	12.4	20.0
557	54.6	87.9	597	49.0	78.9	637	52.5	84.5	677	52.1	83.8	717	59.1	95.1	757	9.7	15.6
558	54.4	87.5	598	48.9	78.7	638	50.2	80.8	678	51.7	83.2	718	59.2	95.3	758	7.0	11.3
559	54.2	87.2	599	48.6	78.2	639	48.2	77.6	679	51.1	82.2	719	59.1	95.1	759	5.0	8.0
560	54.1	87.1	600	48.3	77.7	640	46.5	74.8	680	50.5	81.3	720	58.8	94.6	760	3.3	5.3
561	53.8	86.6	601	48.0	77.2	641	46.2	74.4	681	50.1	80.6	721	58.5	94.1	761	2.0	3.2
562	53.4	85.9	602	47.9	77.1	642	46.0	74.0	682	49.8	80.1	722	58.1	93.5	762	0.7	1.1
563	53.3	85.8	603	47.8	76.9	643	46.0	74.0	683	49.7	80.0	723	57.7	92.9	763	0.0	0.0
564	53.1	85.5	604	47.7	76.8	644	46.3	74.5	684	49.6	79.8	724	57.3	92.2	764	0.0	0.0
565	52.9	85.1	605	47.9	77.1	645	46.8	75.3	685	49.5	79.7	725	57.1	91.9	765	0.0	0.0
566	52.6	84.7	606	48.3	77.7	646	47.5	76.4	686	49.5	79.7	726	56.8	91.4			
567	52.4	84.3	607	49.0	78.9	647	48.2	77.6	687	49.7	80.0	727	56.5	90.9			
568	52.2	84.0	608	49.1	79.0	648	48.8	78.5	688	50.0	80.5	728	56.2	90.4			
569	52.1	83.8	609	49.0	78.9	649	49.5	79.7	689	50.2	80.8	729	55.5	89.3			
570	52.0	83.7	610	48.9	78.7	650	50.2	80.8	690	50.6	81.4	730	54.6	87.9			
571	52.0	83.7	611	48.0	77.2	651	50.7	81.6	691	51.1	82.2	731	54.1	87.1			
572	52.0	83.7	612	47.1	75.8	652	51.1	82.2	692	51.6	83.0	732	53.7	86.4			
573	52.0	83.7	613	46.2	74.4	653	51.7	83.2	693	51.9	83.5	733	53.2	85.6			
574	52.1	83.8	614	46.1	74.2	654	52.2	84.0	694	52.0	83.7	734	52.9	85.1			
575	52.0	83.7	615	46.1	74.2	655	52.5	84.5	695	52.1	83.8	735	52.5	84.5			
576	52.0	83.7	616	46.2	74.4	656	52.1	83.8	696	52.4	84.3	736	52.0	83.7			
577	51.9	83.5	617	46.9	75.5	657	51.6	83.0	697	52.9	85.1	737	51.3	82.6			
578	51.6	83.0	618	47.8	76.9	658	51.1	82.2	698	53.3	85.8	738	50.5	81.3			
579	51.4	82.7	619	49.0	78.9	659	51.0	82.1	699	53.7	86.4	739	49.5	79.7			

TABLE 3A—ECE R15.04 SCHEDULE—MANUAL TRANSMISSION

Time (s)	Speed (mph)	Speed (km/h)	Time (s)	Speed (mph)	Speed (km/h)	Time (s)	Speed (mph)	Speed (km/h)	Time (s)	Speed (mph)	Speed (km/h)
0	0.0	0.0	49	0.0	0.0	98	0.0	0.0	147	31.1	5.0
1	0.0	0.0	50	1.9	3.0	99	0.0	0.0	148	31.1	5.0
2	0.0	0.0	51	3.7	6.0	100	0.0	0.0	149	31.1	5.0
3	0.0	0.0	52	5.6	9.0	101	0.0	0.0	150	31.1	5.0
4	0.0	0.0	53	7.5	12.0	102	0.0	0.0	151	31.1	5.0
5	0.0	0.0	54	9.3	15.0	103	0.0	0.0	152	31.1	5.0
6	0.0	0.0	55	11.2	18.0	104	0.0	0.0	153	31.1	5.0
7	0.0	0.0	56	13.1	21.0	105	0.0	0.0	154	31.1	5.0
8	0.0	0.0	57	15.0	24.0	106	0.0	0.0	155	31.1	5.0
9	0.0	0.0	58	16.9	27.0	107	0.0	0.0	156	29.9	48.1
10	0.0	0.0	59	18.8	30.0	108	0.0	0.0	157	28.7	46.3
11	0.0	0.0	60	17.8	28.6	109	0.0	0.0	158	27.6	44.4
12	2.3	3.8	61	19.9	32.0	110	0.0	0.0	159	26.4	42.5
13	4.7	7.5	62	19.9	32.0	111	0.0	0.0	160	25.2	40.6
14	7.0	11.3	63	19.9	32.0	112	0.0	0.0	161	24.1	38.8
15	9.3	15.0	64	19.9	32.0	113	0.0	0.0	162	22.9	36.9
16	9.3	15.0	65	19.9	32.0	114	0.0	0.0	163	21.7	35.0
17	9.3	15.0	66	19.9	32.0	115	0.0	0.0	164	21.7	35.0
18	9.3	15.0	67	19.9	32.0	116	0.0	0.0	165	21.7	35.0
19	9.3	15.0	68	19.9	32.0	117	0.0	0.0	166	21.7	35.0
20	9.3	15.0	69	19.9	32.0	118	1.9	3.0	167	21.7	35.0
21	9.3	15.0	70	19.9	32.0	119	3.7	6.0	168	21.7	35.0
22	9.3	15.0	71	19.9	32.0	120	5.6	9.0	169	21.7	35.0
23	9.3	15.0	72	19.9	32.0	121	7.5	12.0	170	21.7	35.0
24	7.8	12.5	73	19.9	32.0	122	9.3	15.0	171	21.7	35.0
25	6.2	10.0	74	19.9	32.0	123	9.3	15.0	172	21.7	35.0
26	4.1	6.7	75	19.9	32.0	124	9.3	15.0	173	21.7	35.0
27	2.1	3.3	76	19.9	32.0	125	10.7	17.2	174	21.7	35.0
28	0.0	0.0	77	19.9	32.0	126	12.1	19.4	175	21.7	35.0
29	0.0	0.0	78	19.9	32.0	127	13.5	21.7	176	21.7	35.0
30	0.0	0.0	79	19.9	32.0	128	14.8	23.9	177	20.8	33.5
31	0.0	0.0	80	19.9	32.0	129	16.2	26.1	178	19.9	32.0
32	0.0	0.0	81	19.9	32.0	130	17.6	28.3	179	17.9	28.9
33	0.0	0.0	82	19.9	32.0	131	19.0	30.6	180	16.0	25.7
34	0.0	0.0	83	19.9	32.0	132	20.4	32.8	181	14.0	22.6
35	0.0	0.0	84	19.9	32.0	133	21.7	35.0	182	12.1	19.4
36	0.0	0.0	85	19.9	32.0	134	21.7	35.0	183	10.1	16.3
37	0.0	0.0	86	18.2	29.3	135	21.7	35.0	184	8.2	13.1
38	0.0	0.0	87	16.5	26.5	136	22.9	36.9	185	6.2	10.0
39	0.0	0.0	88	14.8	23.8	137	24.1	38.8	186	4.1	6.7
40	0.0	0.0	89	13.0	21.0	138	25.2	40.6	187	2.1	3.3
41	0.0	0.0	90	11.3	18.3	139	26.4	42.5	188	0.0	0.0
42	0.0	0.0	91	9.6	15.5	140	27.6	44.4	189	0.0	0.0
43	0.0	0.0	92	7.9	12.8	141	28.7	46.3	190	0.0	0.0
44	0.0	0.0	93	6.2	10.0	142	29.9	48.1	191	0.0	0.0
45	0.0	0.0	94	4.1	6.7	143	31.1	50.0	192	0.0	0.0
46	0.0	0.0	95	2.1	3.3	144	31.1	50.0	193	0.0	0.0
47	0.0	0.0	96	0.0	0.0	145	31.1	50.0	194	0.0	0.0
48	0.0	0.0	97	0.0	0.0	146	31.1	50.0	195	0.0	0.0

TABLE 28—ECE R15.04 SCHEDULE—AUTOMATIC TRANSMISSION

Time (s)	Speed (mph)	Speed (km/h)	Time (s)	Speed (mph)	Speed (km/h)	Time (s)	Speed (mph)	Speed (km/h)	Time (s)	Speed (mph)	Speed (km/h)
0	0.0	0.0	49	0.0	0.0	98	0.0	0.0	147	31.1	50.0
1	0.0	0.0	50	1.7	2.7	99	0.0	0.0	148	31.1	50.0
2	0.0	0.0	51	3.3	5.3	100	0.0	0.0	149	31.1	50.0
3	0.0	0.0	52	5.0	8.0	101	0.0	0.0	150	31.1	50.0
4	0.0	0.0	53	6.6	10.7	102	0.0	0.0	151	31.1	50.0
5	0.0	0.0	54	8.3	13.3	103	0.0	0.0	152	31.1	50.0
6	0.0	0.0	55	9.9	16.0	104	0.0	0.0	153	31.1	50.0
7	0.0	0.0	56	11.6	18.7	105	0.0	0.0	154	31.1	50.0
8	0.0	0.0	57	13.3	21.3	106	0.0	0.0	155	31.1	50.0
9	0.0	0.0	58	14.9	24.0	107	0.0	0.0	156	29.9	48.1
10	0.0	0.0	59	16.6	26.7	108	0.0	0.0	157	28.7	46.3
11	0.0	0.0	60	18.2	29.3	109	0.0	0.0	158	27.6	44.4
12	2.3	3.8	61	19.9	32.0	110	0.0	0.0	159	26.4	42.5
13	4.7	7.5	62	19.9	32.0	111	0.0	0.0	160	25.2	40.6
14	7.0	11.3	63	19.9	32.0	112	0.0	0.0	161	24.1	38.8
15	9.3	15.0	64	19.9	32.0	113	0.0	0.0	162	22.9	36.9
16	9.3	15.0	65	19.9	32.0	114	0.0	0.0	163	21.7	35.0
17	9.3	15.0	66	19.9	32.0	115	0.0	0.0	164	21.7	35.0
18	9.3	15.0	67	19.9	32.0	116	0.0	0.0	165	21.7	35.0
19	9.3	15.0	68	19.9	32.0	117	0.0	0.0	166	21.7	35.0
20	9.3	15.0	69	19.9	32.0	118	1.2	1.9	167	21.7	35.0
21	9.3	15.0	70	19.9	32.0	119	2.4	3.8	168	21.7	35.0
22	9.3	15.0	71	19.9	32.0	120	3.6	5.8	169	21.7	35.0
23	9.3	15.0	72	19.9	32.0	121	4.8	7.7	170	21.7	35.0
24	7.5	12.0	73	19.9	32.0	122	6.0	9.6	171	21.7	35.0
25	5.6	9.0	74	19.9	32.0	123	7.2	11.5	172	21.7	35.0
26	5.7	6.0	75	19.9	32.0	124	8.4	13.3	173	21.7	35.0
27	1.9	3.0	76	19.9	32.0	125	9.6	15.4	174	21.7	35.0
28	0.0	0.0	77	19.9	32.0	126	10.8	17.3	175	21.7	35.0
29	0.0	0.0	78	19.9	32.0	127	11.9	19.2	176	21.7	35.0
30	0.0	0.0	79	19.9	32.0	128	13.1	21.2	177	19.9	32.1
31	0.0	0.0	80	19.9	32.0	129	14.3	23.1	178	18.1	29.2
32	0.0	0.0	81	19.9	32.0	130	15.5	25.0	179	16.3	26.3
33	0.0	0.0	82	19.9	32.0	131	16.7	26.9	180	14.5	23.3
34	0.0	0.0	83	19.9	32.0	132	17.9	28.8	181	12.7	20.4
35	0.0	0.0	84	19.9	32.0	133	19.1	30.8	182	10.9	17.5
36	0.0	0.0	85	19.9	32.0	134	20.3	32.7	183	9.1	14.6
37	0.0	0.0	86	18.1	29.1	135	21.5	34.6	184	7.2	11.7
38	0.0	0.0	87	16.3	26.2	136	22.7	36.5	185	5.4	8.8
39	0.0	0.0	88	14.5	23.3	137	23.9	38.5	186	3.6	5.8
40	0.0	0.0	89	12.7	20.4	138	25.1	40.4	187	1.8	2.9
41	0.0	0.0	90	10.8	17.5	139	26.3	42.3	188	0.0	0.0
42	0.0	0.0	91	9.0	14.5	140	27.5	44.2	189	0.0	0.0
43	0.0	0.0	92	7.2	11.6	141	28.7	46.2	190	0.0	0.0
44	0.0	0.0	93	5.4	8.7	142	29.9	48.1	191	0.0	0.0
45	0.0	0.0	94	3.6	5.8	143	31.1	50.0	192	0.0	0.0
46	0.0	0.0	95	1.8	2.9	144	31.1	50.0	193	0.0	0.0
47	0.0	0.0	96	0.0	0.0	145	31.1	50.0	194	0.0	0.0
48	0.0	0.0	97	0.0	0.0	146	31.1	50.0	195	0.0	0.0

TABLE 4—JAPANESE 10-MODE TEST SCHEDULE

Time (s)	Speed (mph)	Speed (km/h)	Time (s)	Speed (mph)	Speed (km/h)	Time (s)	Speed (mph)	Speed (km/h)
1	0.0	0.0	46	5.3	8.6	92	24.9	40.0
2	0.0	0.0	47	3.6	5.7	93	24.9	40.0
3	0.0	0.0	48	1.8	2.9	94	24.9	40.0
4	0.0	0.0	49	0.0	0.0	95	23.6	38.0
5	0.0	0.0	50	0.0	0.0	96	22.4	36.0
6	0.0	0.0	51	0.0	0.0	97	21.1	34.0
7	0.0	0.0	52	0.0	0.0	98	19.9	32.0
8	0.0	0.0	53	0.0	0.0	99	18.6	30.0
9	0.0	0.0	54	0.0	0.0	100	17.4	28.0
10	0.0	0.0	55	0.0	0.0	101	16.2	26.0
11	0.0	0.0	56	0.0	0.0	102	14.9	24.0
12	0.0	0.0	57	0.0	0.0	103	13.7	22.0
13	0.0	0.0	58	0.0	0.0	104	12.4	20.0
14	0.0	0.0	59	0.0	0.0	105	12.4	20.0
15	0.0	0.0	60	0.0	0.0	106	12.4	20.0
16	0.0	0.0	61	0.0	0.0	107	13.5	21.7
17	0.0	0.0	62	0.0	0.0	108	14.5	23.3
18	0.0	0.0	63	0.0	0.0	109	15.5	25.0
19	0.0	0.0	64	0.0	0.0	110	16.6	26.7
20	0.0	0.0	65	0.0	0.0	111	17.6	28.3
21	1.8	2.9	66	1.8	2.9	112	18.6	30.0
22	3.6	5.7	67	3.6	5.7	113	19.7	31.7
23	5.3	8.6	68	5.3	8.6	114	20.7	33.3
24	7.1	11.4	69	7.1	11.4	115	21.7	35.0
25	8.9	14.3	70	8.9	14.3	116	22.8	36.7
26	10.7	17.1	71	10.7	17.1	117	23.8	38.3
27	12.4	20.0	72	12.4	20.0	118	24.9	40.0
28	12.4	20.0	73	14.2	22.9	119	23.6	38.0
29	12.4	20.0	74	16.0	25.7	120	22.4	36.0
30	12.4	20.0	75	17.8	28.6	121	21.1	34.0
31	12.4	20.0	76	19.5	31.4	122	19.9	32.0
32	12.4	20.0	77	21.3	34.3	123	18.6	30.0
33	12.4	20.0	78	23.1	37.1	124	17.4	28.0
34	12.4	20.0	79	24.9	40.0	125	16.2	26.0
35	12.4	20.0	80	24.9	40.0	126	14.9	24.0
36	12.4	20.0	81	24.9	40.0	127	13.7	22.0
37	12.4	20.0	82	24.9	40.0	128	12.4	20.0
38	12.4	20.0	83	24.9	40.0	129	10.7	17.1
39	12.4	20.0	84	24.9	40.0	130	8.9	14.3
40	12.4	20.0	85	24.9	40.0	131	7.1	11.4
41	12.4	20.0	86	24.9	40.0	132	5.3	8.6
42	12.4	20.0	87	24.9	40.0	133	3.6	5.7
43	10.7	17.1	88	24.9	40.0	134	1.8	2.9
44	8.9	14.3	89	24.9	40.0	135	0.0	0.0
45	7.1	11.4	90	24.9	40.0			
			91	24.9	40.0			

TABLE 8—JAPANESE 11-MODE TEST SCHEDULE

Time (s)	Speed (mph)	Speed (km/h)	Time (s)	Speed (mph)	Speed (km/h)	Time (s)	Speed (mph)	Speed (km/h)
1	0.0	0.0	46	31.1	50.0	92	24.9	40.0
2	0.0	0.0	47	31.1	50.0	93	25.9	41.7
3	0.0	0.0	48	31.1	50.0	94	26.9	43.3
4	0.0	0.0	49	31.1	50.0	95	28.0	45.0
5	0.0	0.0	50	31.1	50.0	96	29.0	46.7
6	0.0	0.0	51	31.8	51.1	97	30.0	48.3
7	0.0	0.0	52	32.4	52.2	98	31.1	50.0
8	0.0	0.0	53	33.1	53.3	99	29.8	48.0
9	0.0	0.0	54	33.8	54.4	100	28.6	46.0
10	0.0	0.0	55	34.5	55.6	101	27.3	44.0
11	0.0	0.0	56	35.2	56.7	102	26.1	42.0
12	0.0	0.0	57	35.9	57.8	103	24.9	40.0
13	0.0	0.0	58	36.6	58.9	104	23.6	38.0
14	0.0	0.0	59	37.3	60.0	105	22.4	36.0
15	0.0	0.0	60	37.3	60.0	106	21.1	34.0
16	0.0	0.0	61	37.3	60.0	107	19.9	32.0
17	0.0	0.0	62	37.3	60.0	108	18.6	30.0
18	0.0	0.0	63	37.3	60.0	109	17.4	28.0
19	0.0	0.0	64	37.3	60.0	110	16.2	26.0
20	0.0	0.0	65	37.3	60.0	111	14.9	24.0
21	0.0	0.0	66	37.3	60.0	112	13.7	22.0
22	0.0	0.0	67	36.0	58.0	113	12.4	20.0
23	0.0	0.0	68	34.8	56.0	114	10.7	17.1
24	0.0	0.0	69	33.6	54.0	115	8.9	14.3
25	0.0	0.0	70	32.3	52.0	116	7.1	11.4
26	0.0	0.0	71	31.1	50.0	117	5.3	8.6
27	1.6	2.5	72	29.8	48.0	118	3.6	5.7
28	3.1	5.0	73	28.6	46.0	119	1.8	2.9
29	4.7	7.5	74	27.3	44.0	120	0.0	0.0
30	6.2	10.0	75	26.1	42.0			
31	7.8	12.5	76	24.9	40.0			
32	9.3	15.0	77	24.9	40.0			
33	10.9	17.5	78	24.9	40.0			
34	12.4	20.0	79	25.9	41.7			
35	14.0	22.5	80	26.9	43.3			
36	15.5	25.0	81	28.0	45.0			
37	17.1	27.5	82	29.0	46.7			
38	18.6	30.0	83	30.0	48.3			
39	20.2	32.5	84	31.1	50.0			
40	21.7	35.0	85	29.8	48.0			
41	23.3	37.5	86	28.6	46.0			
42	24.9	40.0	87	27.3	44.0			
43	26.4	42.5	88	26.1	42.0			
44	28.0	45.0	89	24.9	40.0			
45	29.5	47.5	90	24.9	40.0			
			91	24.9	40.0			

## REFERENCIAS

- 1.- Rivero Serrano, Octavio; Ponciano Rodríguez, Guadalupe; y Fortoul Van del Goes, Teresa; **CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA Y ENFERMEDAD RESPIRATORIA** ; Biblioteca de la Salud ; Fondo de cultura Económica ; 1993.
- 2.- Autores varios, coordinador: Restrepo, Iván ; **CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN MÉXICO. Sus causas y efectos en la salud.** ; Comisión Nacional de Derechos Humanos ; 1992.
- 3.- Quadri de la Torre, Gabriel y Sánchez Castaño, Luis Rubén; **LA CIUDAD DE MÉXICO Y LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA** ; Limusa ; 1992.
- 4.- Strauss, W. y Mainwaring, S.J. ; **CONTAMINACIÓN DEL AIRE. Causas, efectos y soluciones** ; Trillas ; 1990.
- 5.- Payri González, Francisco y Desantes Fernández, José María ; **SOLUCIONES A LA CONTAMINACIÓN DE LOS MOTORES TÉRMICOS ALTERNATIVOS DE AUTOMOCIÓN** ; Mapu - Cima.
- 6.- Benajes, J. y Lapuerta, M. ; **TÓPICOS AVANZADOS EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVOS** ; Programa UNITWIN, Cátedra UNESCO en Ingeniería Avanzada, Curso Fac. de Ingeniería, UNAM; UPV, España ; 1994.
- 7.- Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental A.C. ; **INGENIERÍA AMBIENTAL** ; Información Tecnológica; Publicación periódica ; Año 7 ; No. 24 ; 1994.
- 8.- Bazán Navarrete, G.; **ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE. El Caso de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.** ; Artículo Técnico; DINAMIS, Publicación Periódica ; UNAM ; Año 4 ; Número de la 6; Pags. 72-87; Enero-Diciembre de 1992.



- 9.- Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación en el Valle de México ; Programa Integral Contra la Contaminación atmosférica en la ZMCM. MODERNIZACIÓN DEL PROGRAMA DE VERIFICACIÓN VEHICULAR EN LA ZMCM ; CMPCCVM ; 10 de enero de 1994.
- 10.- Wark, Kenneth y Warner, Cecil F.; CONTAMINACIÓN DEL AIRE. Origen y Control ; Limusa, Noriega ; 1990.
- 11.- Lucas Diesel ; MOTORIZACIÓN DEL AUTOMOVIL. Posibles Soluciones para Ahorro de Energía y Protección del Medio Ambiente ; Lucas Diesel ; Octubre ; 1990.
- 12.- Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación en el Valle de México ; LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN EL VALLE DE MÉXICO. Acciones para su control 1988 - 1994 ; CMPCCVM ; 1994.
- 13.- Muños F. y Payri A. ; MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVOS ; Sección de Publicaciones de la E.T.S. de Ingenieros Industriales. Fundación General-U.P.M. ; España; 1989.
- 14.- SAE International ; 1990 SAE HANBOOK. Engines, Fuels, Lubricants, Emisions and Noise ; SAE, Cooperative Engineering Program ; Volumen 3 ; 1990.
- 15.- Office of the Federal Register National Archives and Records, Administration ; CODE FEDERAL REGULATIONS 40. Protection of Environment. ; U.S. Government Printing Office Washington ; Parts 86 to 99 ; Revise as of July 1, 1990.
- 16.- Baumeister, Theodore; Avallone, Eugene A.; Baumeister III, Theodore; MARKS. Manual del Ingeniero Mecánico; Mc Graw Hill; 8ª Edición; Vol. II ; 1984.
- 17.- Bosch; MANUAL DE LA TÉCNICA DEL AUTOMÓVIL ; Reverte; 2ª Edición en Español; 1992.

- 18.- Riveros, H. G.; Ortíz A., L.; y López, V.; EMISIONES CONTAMINANTES EN MOTORES DE GASOLINA ; Artículo Técnico ; DINAMIS, Publicación Periódica ; UNAM ; Año 4 ; Número de la 6; Pags. 61-67; Enero-Diciembre de 1992.
- 19.- Patterson, D. J. and Henein, N.A.; EMISSIONS FROM COMBUSTION ENGINES AND THEIR CONTROL ; Ann Arbor Science Publishers Inc. ; Michigan ; 1972.
- 20.- Obert, Edward F.; INTERNAL COMBUSTION ENGINES ; International Textbook Company ; Seranton, Pennsylvania ; Third printing ; February ; 1972.
- 21.- Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación en el Valle de México ; AVANCES SOBRE LA EVALUACIÓN Y MODERNIZACIÓN DEL PROGRAMA HOY NO CIRCULA; CMPCCVM ; Octubre ; 1994.
- 22.- Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación; PROGRAMA DE VERIFICACIÓN VEHICULAR 1996. DDF. Informe preliminar enero-mayo ; Secretaría del Medio Ambiente, DDF ; Junio ; 1996.
- 23.- Organó Informativo de la Asociación Mexicana de la Industria Automotriz A.C.; AMIA, Boletín 385; Octubre; 1995.
- 24.- S.A. ; MECAMÉTRICA DE 80 CIUDADES MEXICANAS ; Mecamétrica Ediciones S.A.; Vol. 1 ; 19ª Edición ; 1995.
- 25.- Montgomery, Douglas C.; DISEÑO Y ANÁLISIS DE EXPERIMENTOS; Grupo Editorial Iberoamérica; México; 1995.
- 26.- Spiegel, Murray R.; ESTADÍSTICA; Mc Graw Hill; Segunda Edición; México; 1992.
- 27.- Villareal, Augusto; APUNTES DE DISEÑO ESTADÍSTICO DE EXPERIMENTOS; UNAM; México; 1995.

28. Holman, Jack P.; MÉTODOS EXPERIMENTALES PARA INGENIEROS; Mc Graw Hill / Interamericana de México S.A. de C.V.; 2° edición en español; 1993.
29. Boch, Grady; OBJECT ORIENTED ANALISYS AND DESIG WITH APPLICATIONS; The Benjamin Cummings Publishing Company, Inc.; 2° edición, 1994.
30. Eggebrecht, Lewis C.; INTERFACING TO THE IBM PERSONAL COMPUTER; SAMS, Macmillan Computer Publishing; 2° edición, 1993.
31. Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación en el Valle de México ; LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN EL VALLE DE MÉXICO. Acciones para su control 1988 - 1994 ; CMPCCVM ; 1994.
32. AMIA: Asociación Mexicana de la Industria Automotriz; Boletín Informativo AMIA no. 356; Agosto de 1995; México.
33. Andre, Michel; Usos y condiciones de funcionamiento de los vehículos, y ciclos de manejo representativos; Coloquio Franco-Mexicano "Contaminación del Aire por el Transporte"; México; 25 - 27 de noviembre de 1992.
34. Andre M., Joumard R., Hickman J., y Hansel D.; Realistic driving cycles for passenger cars; report INRETS-LEN 9105; Septiembre; 1991.
35. Andre Michel; In Actual Use Car Testing: 70,000 Kilometers and 10,000 Trips by 55 French Cars under Real Conditions; International Congress and Exposition Detroit, Michigan; SAE technical paper no. 910039; February 25 - March 1, 1991.