



01127
15

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARACTERIZACIÓN DE UN
TIPO DE TRANSPORTE
PUBLICO CONCESIONADO DE
PASAJEROS CON ITINERARIO
FIJO EN LA ZMVM

T E S I S PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

P R E S E N T A N:

ALEJANDRO IBÁÑEZ ARREOLA
HÉCTOR ERIC RAMÍREZ OLARTE
ULISES XARTUNI TREJO

DIRECTOR DE TESIS: DR. ROGELIO GONZÁLES OROPEZA



CIUDAD UNIVERSITARIA

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2003

A



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

AGRADECIMIENTOS:

A Teresa y Alejandro por ser los principales ingenieros de este existo, aportando todo de si en una forma desinteresada, además de ser mis padres. Con respeto y amor.

A Bety de la cual de la cual siempre he recibido cariño y un apoyo incondicional. Con mucho amor.

A José que donde quiera que este todos mis logros serán también de el. Mis recuerdos.

A Sofi, Monse y Chela por llegar a mi vida en el momento más importante y por ser mi nueva fuente de energía y superación.

A las familias Arreola Moreno, Ibáñez Fuentes y García García por ser por ser parte importante en mi educación y formación profesional . Gracias.

A la UNAM por darme la oportunidad de ser parte de ella, formándome científica, social, cultural y deportivamente. Gracias.

Al Dr. Rogelio González Oropeza por sus atinados consejos y comentarios en la dirección de este trabajo de tesis, además de ser un gran amigo. Gracias.

A Ulises y Héctor, mi reconocimiento.

ALEJANDRO IBÁÑEZ ARREOLA

AGRADECIMIENTOS:

**A mis padres Donato y Margarita
que con su amor y aliento lograron
darme las bases para emprender
esta aventura.**

**A mis hermanos por su apoyo
en todo momento, además
de su comprensión.**

**A los que creyeron en mí
y nunca dudaron en dar una
palabra de aliento en los momentos
difíciles.**

**A mi abuelo Zeferino Olarte, el
cual es motivo de inspiración,
gracias a la energía y su
ejemplo de vida.**

**No olviden que el futuro se
forma y no se espera.**

**Este trabajo es dedicado a
ustedes, gracias ... siempre
gracias**

Héctor Eric Ramírez Olarte

AGRADECIMIENTOS:

Dedico este trabajo a mis padres, Eva y Elías, cuyo ejemplo y dedicación rebasa cualquier intento mío de retribuirles todo lo que me han dado y enseñado, y con quienes ha sido tan bello convivir. Ruego a Dios me dé la luz para brindarles tranquilidad y satisfacciones en el futuro.

Lo dedico también a mis hermanos, Saúl y Lizeth, con quienes tenía una deuda, la cual ahora he cumplido.

A Bernardo quien es como mi hermano, una de las personas más generosas y afectuosas que he conocido.

Agradezco a la UNAM, a MI FACULTAD DE INGENIERÍA, que ha alimentado mi espíritu y mi alma, es el lugar que nos protege y nos fortalece y donde el mal no existe. LA MEJOR UNIVERSIDAD DEL MUNDO, porque le otorga a sus hijos universitarios la posibilidad de ayudar pidiendo muy poco a cambio, el regalo ha sido para mí AMAR A MI PAÍS Y HONRARLO.

Reconozco a la gente más valiosa de la Facultad, su profesorado, cuya influencia ha sido lo más importante durante mis estudios, la humildad, la grandeza, la generosidad y la dureza de estas personas matizan las virtudes más representativas de la Facultad.

Al Dr. Rogelio González, que tuvo la paciencia de dirigir y trabajar con nosotros.

Al Ing. Armando Maldonado, por su apoyo y guía para la realización de este trabajo.

Muy en especial a Miguel, sin el cual este tesis no se hubiese logrado, este trabajo también es tuyo.

A mis compañeros de trabajo del Laboratorio de Control de Emisiones: Pedro y Rodrigo Rincón, Paco González, Israel, Santos, por su compañerismo y apoyo mutuo.

A mis amigos de la Facultad. Elegidos por una fuerza que nos guía y que es común entre todos, y que saben que la dificultad de nuestros caminos fue más ligera en compañía unos de otros. En particular a Héctor, que juntos hemos logrado alcanzar todas metas.

Un agradecimiento especial al Ing. Edmundo Sandoval, por brindarme la oportunidad de ser un verdadero ingeniero, ayudar y servir a mi país, pero sobre todo ofrecerme la cultura de la honradez y el trabajo honesto.

Para Ghorety quien es alguien muy especial en mi vida y corazón. Tú eres la razón de muchas cosas: soledad, felicidad, amor y fé.

ULISES XARTUNI TREJO

PAGINACIÓN DISCONTINUA

CARACTERIZACIÓN DE UN TIPO DE TRASPORTE PÚBLICO
CONCESIONADO DE PASAJEROS CON ITINERARIO FIJO EN
LA ZMVM
INDICE

INTRODUCCIÓN

CAPITULO 1 PARQUE VEHICULAR EN ZMVM Y SUS CARACTERÍSTICAS

1.1 Importancia de los medios de transporte en ZMVM

- 3.4.2 Crecimiento Urbano y Demanda de Transporte.
- 3.4.2 Transporte de pasajeros y distribución modal en la ZMVM.
- 3.4.2 Viajes de carga.

1.2 Vialidad y vehículos.

1.3 Distribución del transporte en ZMVM.

- 1.3.1 Vehículos.
- 1.3.2 Automóviles Privados.
- 1.3.3 Taxis.
- 1.3.4 Autobuses.
- 1.3.5 Colectivos.
- 1.3.6 Vehículos de Carga y Reparto.
- 1.3.7 Transporte sobre rieles.
 - 1.3.7.1 Metro.
 - 1.3.7.2 Tren Ligero.

1.4 Actividad Vehicular.

1.5 Envejecimiento y renovación de la flota.

1.6 Emisiones contaminantes y distribución vehicular por modelo.

1.7 Políticas Propuestas.

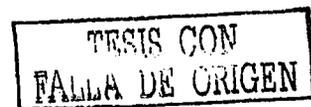
1.8 Mejoras en el Transporte público.

1.9 Infraestructura / tecnología.

1.10 Estrategias regionales de uso del suelo.

1.11 Instituciones y planeación del transporte.

1.12 Pasos a Seguir en la investigación.



CAPITULO 2. COMBUSTIBLES Y COMBUSTIÓN

2.1 Origen Y Formación Del Petróleo.

- 2.1.1 Breve Reseña Histórica.
- 2.1.2 Petróleo, Su Composición.
- 2.1.3 Hidrocarburos: Carbono Más Hidrogeno.

2.2 Combustión.

2.3 Clasificación Y Características De Los Combustibles Para Los MCIA.

- 2.3.1 Estructura molecular de los HC's.
- 2.3.2 Procesos de obtención de combustibles líquidos.

2.4 Combustibles Alternativos.

- 2.4.1 Importancia de los combustibles alternativos.

2.5 La Demanda Y Calidad De Los Combustibles En La ZMVM.

- 2.5.1 Beneficios del uso de un mejor combustible.

2.6 Consumo De Combustibles En ZMVM.

2.7 Factores Y Formulación De Combustibles

- 2.7.1 Gasolinas Y Diesel (PEMEX)

2.8 Uso De Combustibles Alternativos En MCIA

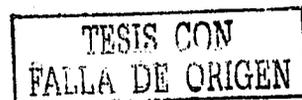
- 3.4.2 El Proceso De Combustión En MEP Y Requerimientos De Funcionamiento.

2.10 Unidad De Medida

CAPITULO 3. INSTRUMENTACIÓN E INSTALACIÓN DE LOS DE LOS VEHÍCULOS.

3.1 Vehículos Instrumentados

3.2 Velocidad Lineal Del Vehículo.



- 3.2.1 Transductor De Efecto Hall
- 3.2.2 Instalación De Imanes Y Sensor De Efecto Hall

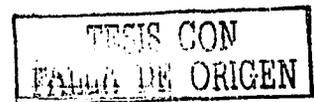
- 3.3 Importancia De La Medición De Temperaturas.
 - 3.3.1 Transductores De Temperatura
 - 3.3.2 Temperatura Del Lubricante (Aceite Del Motor) Y Del Combustible (Gas L.P)

- 3.4 Medición Del Flujo De Combustible
 - 3.4.1 Medidor De Flujo Instalado En El Vehículo A Gasolina.
 - 3.4.2 Calibración Del Medidor De Flujo De Combustible (Gasolina) "Romess Electronic" Del Vehículo.
 - 3.4.3 Instalación De Medidor De Flujo Para Gasolina
 - 3.4.4 Medidor De Flujo Instalado En El Vehículo A G.L.P.
 - 3.4.5 Caracterización Del Medidor De Flujo De G.L.P.
 - 3.4.6 Instalación De Medidor De Flujo Para G.L.P.
 - 3.4.7 1ª. Propuesta De Acoplamiento Al Medidor De G.L.P.
 - 3.4.8 2ª. Propuesta De Acoplamiento Al Medidor De G.L.P

- 3.5 Sistema De Adquisición De Datos (SAD)
 - 3.5.1 Partes Que Conforman El (SAD).
 - 3.5.2 Capacidad De Adquisición De Datos.
 - 3.5.3 Módulo Acondicionador De Señales.
 - 3.5.4 Módulo De Adquisición De Datos.

CAPITULO 4 CARACTERIZACIÓN DE LOS VEHÍCULOS

- 4.1 Diseño experimental para el monitoreo de los vehículos.
- 4.2 Variable A Medir.
- 4.3 Análisis Estadístico Y Resultados Del Modelo Experimental
 - 4.3.1 Modelo de Análisis de Varianza de DBAC
 - 4.3.2 Análisis Estadístico de los Resultados
- 4.4 Graficas Y Tablas Representativas
- 4.5 Calculo Del Gasto Másico
- 4.6 Nomenclatura Para Identificar Los Recorridos



CAPITULO 5 CONCLUSIONES

ANEXOS

REFERENCIAS

INTRODUCCIÓN

Podemos percatarnos fácilmente de que las condiciones de tráfico cambian constantemente en cada una de nuestras comunidades, y se debe a varios factores como, crecimiento de la población, tecnología de los vehículos, modificaciones del transporte público, modificaciones en la red de carreteras, nuevas legislaciones para mantener el equilibrio ecológico, etc. Esto hace que las formas de conducir sean dinámicas, o dicho en otras palabras, que vayan cambiando conforme exista una mayor demanda del transporte en el contexto descrito anteriormente

En lo que respecta a México, se puede hacer una breve recapitulación de cómo ha crecido el parque vehicular. En 1898 entró a México el primer automóvil. El auto era francés, marca Delaunay Belleville, hecho a mano en las fabricas de Couvier. En 1930 habían 88 443 vehículos en la República Mexicana que contaba entonces con 16'588,522 habitantes, esto es, 187.6 habitantes por vehículo; en 1938 la relación era de 150 y en 1946 de, 114. Posteriormente, entre las décadas de los 70's y 90's ésta relación ha oscilado entre 16 y 12, lo que representa un aumento desmesurado del parque vehicular, en comparación con el poco tiempo de su aparición de manera comercial.

Precisamente por estas circunstancias de la creciente demanda de vehículos, las legislaciones se obligan a ser más estrictas en términos de emisiones contaminantes, y parece que ahora también en el consumo de combustible. Esta situación a su vez, obliga a mantener instrumentos de evaluación dinámicos, es decir, formas de evaluación de emisiones contaminantes que contemplen los avances tecnológicos de los vehículos, así como los cambios que van sufriendo las condiciones de equilibrio ecológico de una determinada población, o el desarrollo de centros urbanos, de acuerdo a su propio crecimiento, y en forma paralela, a sus necesidades, dígase suministro de servicios y de transporte.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

OBJETIVOS

1. Estudio y análisis de las condiciones de funcionamiento real, de dos vehículos de transporte público que circulan en la Zona Metropolitana del Valle de México, a partir del desarrollo de muestreos de temperaturas, velocidad y gasto de combustible.
2. Comparar gastos de combustibles distintos, usados en un mismo tipo de motor de combustión interna, en vehículos de transporte público concesionado de pasajeros con itinerario fijo en la ZMVM.
3. La presente investigación podrá ser utilizada como el desarrollo de Ciclos de Manejo en vehículos dedicados al transporte público.

CAPITULO I. PARQUE VEHICULAR EN ZMVM Y SUS CARACTERÍSTICAS.

1.1. Importancia de los medios de transporte en ZMVM.

El sector transporte es una de las fuentes más importantes de contaminación en la Ciudad de México, contribuyendo con el 100% del monóxido de carbono (CO) que se encuentra en la atmósfera, además de más del 75 % de los óxidos de nitrógeno (No_x), 35 % de los compuestos orgánicos volátiles (COV), 24 % del dióxido de azufre (SO₂), y 41 % de las partículas suspendidas PM₁₀ (Partículas menores a diez micras). Sin embargo el transporte es un sector extremadamente importante en el desarrollo de las actividades económicas, y en general para el desarrollo de las ciudades y países.¹

Las interacciones del transporte con otras actividades que se realizan en la ciudad, y los efectos que ocasionan, se ilustran en la Figura 1.1. El transporte puede facilitar innumerables actividades, y con ello impulsar el crecimiento económico; al lograrse este último, a su vez, es posible provocar de nueva cuenta impactos en el transporte, que muy frecuentemente se manifiestan en un mayor número de viajes, incrementos en el grado de motorización, cambios hacia modalidades de transporte más rápidas, y mayores distancias recorridas. Estos efectos en el transporte pueden de nueva cuenta producir impactos económicos, y algunos efectos "externos" negativos, tales como la congestión vehicular, accidentes de tráfico, y contaminación del aire.

¹ ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DEL INVENTARIO DE EMISIONES DE LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO

M.J. Molina, L.T. Molina, G. Sosa, J. Gasca y J. West Instituto Tecnológico de Massachusetts
Programa Integral sobre Contaminación Urbana, Regional y Global: Estudio de Caso de la Ciudad de México

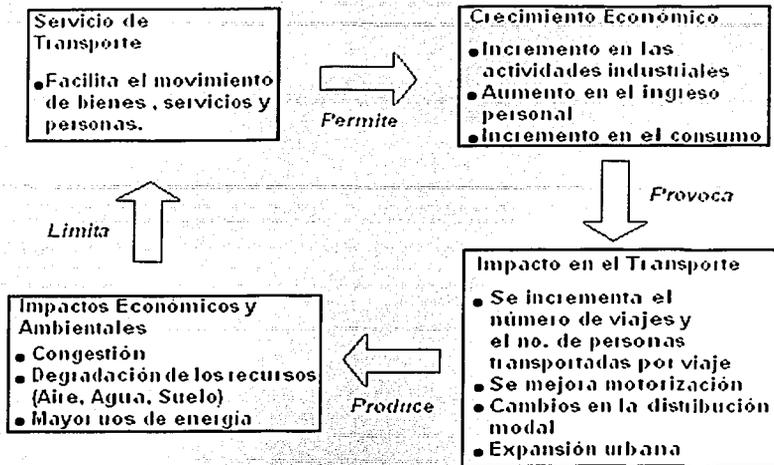


Fig. 1.1. Interacciones (círculo) del transporte con otras actividades.

Estos efectos negativos no solamente impiden la provisión efectiva de los servicios de transporte, también inhibe el crecimiento económico, y representan pérdidas de recursos en diferentes formas, por ejemplo por la pérdida de tiempo y los daños a la salud. En esta etapa del "ciclo" el transporte urbano es en el que más frecuentemente emergen conflictos. Por un lado, se requieren algunas formas de inversión o intervención para reducir los impactos negativos del transporte y continuar permitiendo el desarrollo económico, aunque por otra parte, muchas intervenciones se vuelven difíciles, si no imposibles, dadas las restricciones que se enfrentan, tales como la resistencia de los grupos de interés que se verían afectados por cierta medida, o simplemente la carencia de recursos financieros. Surge el dilema de cómo mitigar o eliminar los efectos negativos del transporte, permitiendo a la vez que cumpla sus propósitos como espina dorsal de la economía urbana.

1.1.1. Crecimiento Urbano y Demanda de Transporte

El dilema mencionado se complica bajo condiciones de rápido crecimiento urbano. Entre 1970 y 1995, el número de habitantes en la zona central de la ciudad se redujo entre un 1.7 y un 2 % anual, mientras que los "anillos" sucesivos alrededor de la ciudad absorbieron una parte relativamente mayor de la población de la ciudad. El área inmediata alrededor del centro de la Ciudad de México, está todavía en crecimiento, aunque no tan

acelerado como hace algunos años, ya que pasó del 3.6 % anual que experimentó en los años 70, a solamente un poco más de 0.5 % en 1995. Aunque el primer anillo todavía concentra la mayor proporción de habitantes de la ZMVM, las áreas más distantes están experimentando un crecimiento mucho mayor.

De continuar las tendencias actuales, el número de habitantes en la ZMVM aumentará alrededor del 2 % anual entre 1995 y 2020, lo que implica un crecimiento mayor al promedio del país, que se calcula en alrededor del 1.7 % al año. Para 2020, la población de la Cd. De México alcanzará los 26 millones de habitantes, que representarán la quinta parte del país. Si se incluye la "corona" de ciudades alrededor del Valle de México, se tendrá una Megalópolis que contendrá el 27 % de la población del país, con alrededor de 36 millones de habitantes. De acuerdo a la trayectoria actual, los municipios en proceso de urbanización en el Estado de México experimentarán las mayores tasas de crecimiento (aproximadamente 4 % al año), con ello, el Estado de México aumentará de forma importante la proporción de la población de la zona conturbada que habita ahí, pasando de ser igual a la del D.F. en 1995, a ser el doble de ésta para 2020; lo mencionado anteriormente indica la necesidad inherente de un crecimiento en el transporte público y como consecuencia de éste, un mayor control de sus emisiones contaminantes por parte de las autoridades, de tal manera que esta Tesis puede colaborar a dicho control a través del estudio de un tipo de transporte público que actualmente es utilizado de manera importante en la ZMVM.

El gobierno ha desarrollado proyecciones de crecimiento alternativas para la región, con base en los objetivos generales de propiciar el desarrollo regional, tomando ventaja de la infraestructura urbana existente, reduciendo las tendencias de crecimiento actuales en el Estado de México, y protegiendo las áreas ecológicamente sensitivas de cualquier intento de desarrollo. Bajo este escenario (el del llamado "crecimiento programado"), el gobierno sería capaz de alterar los patrones de crecimiento actuales que se muestran en la Figura 1.2. Falta poner en práctica los mecanismos regulatorios específicos, las inversiones públicas, y los incentivos para el desarrollo privado que serían necesarios para lograr este efecto.

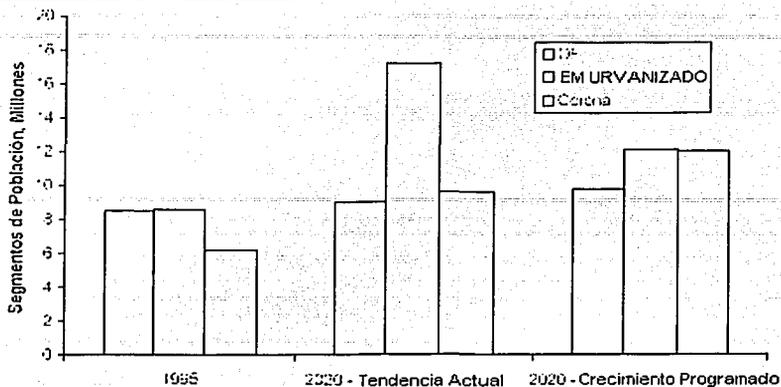


Fig. 1.2. Crecimiento Poblacional

1.1.2 Transporte de pasajeros y distribución modal en la ZMVM

De acuerdo a la documentación disponible, en 1994, se realizaron aproximadamente 29.1 millones de tramos de viajes vehiculares en la ZMVM. En lo que respecta a la distribución espacial de viajes, 54 % de ellos se realizaron dentro del D.F., 26 % entre el D.F. y el Estado de México, y el restante 20 % exclusivamente dentro del Estado de México. En términos de los puntos de atracción de viajes, el centro de la ciudad es el más importante (con 23 %, de los cuales alrededor de la mitad se generó internamente). Los puntos de atracción de viajes que le siguen incluyen una zona en el norte del D.F., y dos grandes porciones urbanas en el Estado de México, una en el oeste/noroeste, y otra directamente al norte del centro de la ciudad. Estas áreas concentran entre el 11 y 14 % de los viajes realizados.

En la Figura 1.3. se ilustra la distribución de viajes. ²

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

² Referencia 11 ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DEL INVENTARIO DE EMISIONES DE LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO

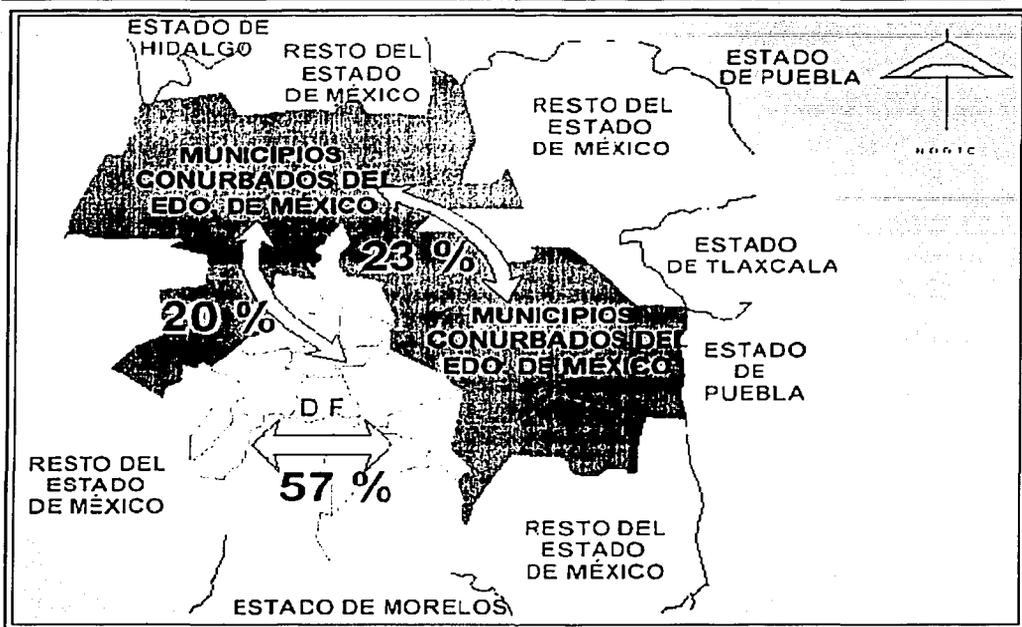


Fig. 1.3. Viajes entre el D.F. y el Estado de México

(ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DEL INVENTARIO DE EMISIONES
DE LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO)

Al examinar los modos de transporte, se observa que la mayoría de los viajes en el transporte público se dieron desde o hacia el centro de la ciudad, mientras que los viajes en automóvil tuvieron destinos mucho más dispersos. De los viajes en automóvil, poco menos de la mitad fueron por razones de trabajo, 27% para hacer alguna compra, y 25% para realizar alguna actividad social. La Figura 1.4. muestra cómo cambiaron los patrones de viaje durante los diez años que van de 1988 a 1998. En términos de la distribución modal total, usando los datos de COMETRAVI² sobre segmentos de viaje para 1994, se tiene que los modos de "ocupación menor" concentraron la mayor proporción del mercado. Los colectivos tienen más del 50 % de los segmentos de viaje, y los autos y taxis otro 20 %. Entre los "modos de alta ocupación", el Metro contribuye con únicamente 13% de todos los viajes y los autobuses urbanos y suburbanos con el 10%.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El crecimiento futuro de la demanda de viajes de pasajeros depende enormemente de las condiciones económicas, que tienen gran influencia en general en los viajes realizados (es decir en las tasas de crecimiento de viajes) y en la elección de los medios de transporte utilizados. De acuerdo a las proyecciones oficiales, los tramos totales de viaje aumentarán, de 29 millones en 1994, a cerca de 37 millones en 2020. Prácticamente todo este crecimiento se espera en el Estado de México, que pasaría de 9.6 millones a 16.4 millones, en concordancia con el crecimiento poblacional que experimentará esta zona, y que quedó ilustrado en la Figura 1.2. En el caso del D.F., el incremento será muy pequeño, pasando de 19.5 a 20.5 millones de viajes. La Tabla 1.1. muestra estas proyecciones, asumiendo una distribución modal constante.

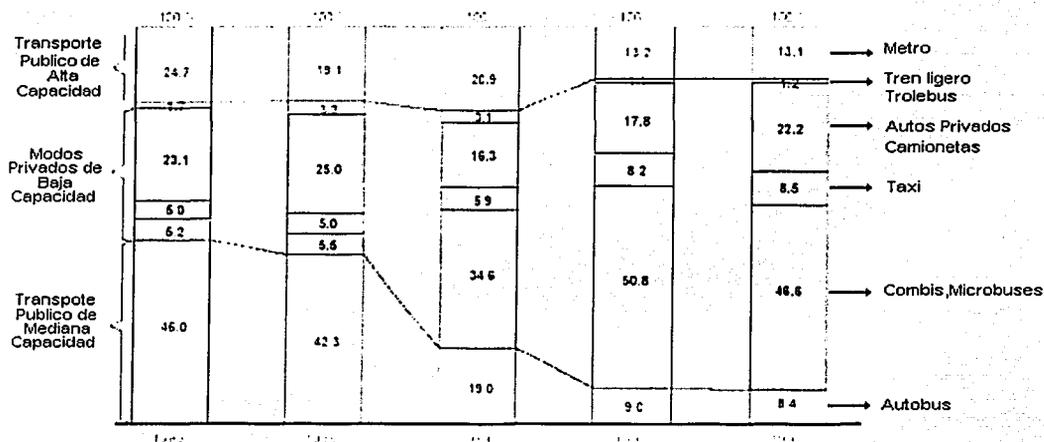


Fig. 1.4. Total de Viajes Diarios Promedio en el Distrito Federal
(Fuente: COMETRAVI², V1, 1999, p.184)

Hoy en día el transporte de la ZMVM está desarticulado como se muestra en la tabla anterior. Los medios de transporte masivo como el Metro están perdiendo pasajeros a pesar de la costosa expansión de su infraestructura. El número de autobuses se ha reducido dramáticamente en el Distrito Federal y el servicio que se presta en el estado de México tiene grandes deficiencias. La oferta de transporte de pasajeros está dominada por microbuses, cuya propiedad atomizada en miles de individuos dificulta su control y determina su caótica operación. Los vehículos de transporte público tienden a hacerse cada vez más viejos a falta de una aplicación efectiva de los lineamientos vigentes, los que pueden modificarse en forma discrecional. La verificación vehicular, de los vehículos de transporte

público es especialmente ineficiente debido a que frecuentemente los transportistas buscan por todos los medios posibles evadir sus responsabilidades ambientales y de seguridad.

Desde la perspectiva de la calidad ambiental y la eficiencia del transporte, las proyecciones sobre el dominio continuo que tendrá el transporte público y los relativamente bajos niveles de viajes realizados son bienvenidos. Sin embargo, es posible que tales proyecciones sean irreales si no se cuenta antes con una fuerte y decidida intervención por parte del gobierno.

	1994		2020			
	Tramos de Viaje	% por Modo	Tramos de Viaje Per cápita	Tramos de Viaje	% por Modo	Tramos de Viaje Per cápita
ZMVM	29.1		1.7	37.0		1.41
Público	24.0	82 %		30.6	83 %	
Privado	5.1	18 %		6.5	17 %	
DF	19.5		2.29	20.5		2.28
Público	15.9	82 %		16.7	82 %	
Privado	3.6	19 %	1.11	3.8	19 %	
Edo.México	9.6			16.4		0.95
Público	8.1	84 %		13.8	84 %	
Privado	1.5	16 %		2.6	16 %	

Fuente: COMETRAVI, v6. p. 26; estimaciones per cápita basadas en proyecciones de "tendencias" de crecimiento poblacional para la Ciudad de México

Tabla 1.1. Tramos de Viaje Diarios para Vehículos Automotores en la ZMVM

1.1.3 Viajes de carga

Igual que la localización de los lugares de residencia, empleo y recreación, influye sobre los viajes de pasajeros, la de las instalaciones comerciales e industriales, que obedece a las áreas demandadas y determina los patrones de los viajes de carga. El dominio de la Ciudad de México en la actividad económica nacional, con más de un tercio del PIB, refuerza la importancia de los viajes de carga dentro de su zona metropolitana. Los viajes de carga pueden ser divididos, en intra-urbanos e inter-urbanos. Dentro de los últimos, una parte importante son viajes "a través", que no tienen a la Ciudad de México ni como destino ni como origen. La participación de mercado de los viajes de camiones intra-urbanos incrementa conforme disminuye la distancia de los viajes. Las leyes aplicables en la región metropolitana prohíben que los camiones muy grandes (definidos por peso) den servicio

durante el día. En total, cerca del 29 % de la carga se origina en delegaciones del D.F., 12 % en municipios del Estado de México, y 59 % fuera de la ZMVM.

1.2 Vialidad y vehículos.

Durante los últimos veinte años, el desarrollo de infraestructura de transporte ha tratado de estar acorde con la masiva expansión de la población. Durante principios y mediados de los 70, los logros más importantes incluyeron la creación del Circuito Interior, así como la creación de muchas vías secundarias con dirección al oeste. Un desarrollo primordial fue la creación de los ejes viales en 1979-80. Con ellos se logró una gran capacidad de conducción de trafico hacia el centro. A principios de los 90, se completó el Anillo Periférico, y se logró la modernización de otros proyectos, muchos de los cuales se centraron en la introducción de cambios en la vialidad para mejorar los flujos de tránsito en las arterias principales.

Recientemente, dentro de los trabajos de construcción de vías más importantes, se ha incluido el desarrollo de una nueva autopista de cuota en el oeste/noroeste de la ciudad (La Venta-Lechería), la expansión de una vía rápida en el norte (Cuautitlán-Tlalnepantla), y la expansión y construcción de nuevas vías en el este. Para 1995, se había completado la mitad norte del tercer anillo (aunque como carretera de cuota), y la parte sur estaba en construcción. Se cree que cualquier desarrollo futuro tendrá mayores limitaciones en la parte norte de la ciudad, dada su topología. Esto podría afectar el desarrollo del transporte en los municipios del Estado de México localizados en esa zona, mientras que las limitaciones en el noroeste afectarían mayormente al transporte entre el D.F. y el Estado de México. En general, las conexiones entre las vías del D.F. y las del Estado de México continúan teniendo algunos problemas, debido a las fluctuaciones en la capacidad y discontinuidad en el diseño de las calles.

Como se observa en la Tabla 1.2., existen disparidades significativas entre el D.F. y el Estado de México. Mientras que el 28 % de la superficie del D.F. está cubierta por algún tipo de calzada, en los municipios metropolitanos del Estado de México no se llega al 12 %. La inequidad en el desarrollo de infraestructura, particularmente al compararse con la distribución de la población y de los viajes, hace resaltar una causa básica de los problemas

de congestión que contribuyen a las emisiones generadas por fuentes móviles en el Estado de México.

Resumen de la Infraestructura de Transporte Existente en la ZMVM

Tipo	D.F.	Estado de México
Caminos Primarios	198.4 km. (67% con acceso controlado)	352 km. de autopista
Ejes Viales	310 km.	47 km. (Vías Rápidas Urbanas)
Vías Principal	552.5 km.	616 km.
Vías Secundarias	8.000 km. (8150)	250 km.
Metro	178 km.	-
Trolebús	377 km.	-
Tren Ligero	26 km. (13 en cada dirección)	-
Espacios de Estacionamiento	126.257 espacios (10.000 estacionamientos)	
Señales de Tránsito	1.973 electrónicas 870 computarizadas. 58 mecánicas	298
Paradas de Autobuses	2.347	290
Carriles a Contraflujo	13 carriles	
Parquímetros	186 km. 1.535	

Fuente: COMETRAVI, v6, 1999: pp. 15-16. Molinero, 1991: 131.

Tabla 1.2.

1.3 Distribución del transporte en ZMVM.

1.3.1. Vehículos.

Flota Vehicular.

Existen inconsistencias en los datos referentes al tamaño y la composición de la flota vehicular, debido a que no existe un sistema metropolitano de registro. En un intento por hacer concordar los registros de la flota vehicular con la encuesta de demanda de transporte de 1994, los consultores de COMETRAVI³ generaron estimaciones sobre el tamaño de la flota en el D.F. y el Estado de México. De acuerdo con estas estimaciones, que se muestran en la Tabla 1.3., existen alrededor de 3.5 millones de vehículos en la ZMVM. La mayor parte de casi todas las categorías de vehículos (75 – 80 %) se encuentra en el Distrito Federal, exceptuando los camiones que tienen una distribución aproximada del 50 % en el D.F. y 50 % en el Estado de México.

Estimaciones del Tamaño de la Flota en la ZMVM (1994)

Tipo de Vehículo	DF*	Edo. Mex.	Total
Autobuses	6,180	2,000	8,180
• Urbanos	2.800		2.800
• Suburbanos		2.000	2.000
• Otros Privados	3.380		3.380
Colectivos	88,500	26,100	114,600
• Microbuses		10.500	10.500
• Combis	88.500	15.600	104.100
Taxis	21.500	5.000	26.500
Autos Privados	2.262.000	577.000	2.839.000
Camiones de Carga	195.500	184.000	379.500
Motocicletas	29.000	10.000	39.000
Vehículos en Circulación			165.000
Total de Vehículos	2,602,680	804,100	3,571,780

Fuente. COMETRAVI. v1, 1999. p. 185.

- * De acuerdo a la comunicación personal de A. Villegas, las Combis y Microbuses en el D.F. suman 27.000 y los Taxis 85.000, por lo que los datos reportados por COMETRAVI para estos vehículos pudieran estar equivocados

TABLA 1.3.

Más allá de la gran incertidumbre sobre el tamaño, composición y edad de la flota vehicular, es importante y evidente su bajo nivel de renovación, especialmente al comparar los datos de la verificación vehicular de 1999 con los de algunas ciudades de los Estados Unidos (Figura 1.5).

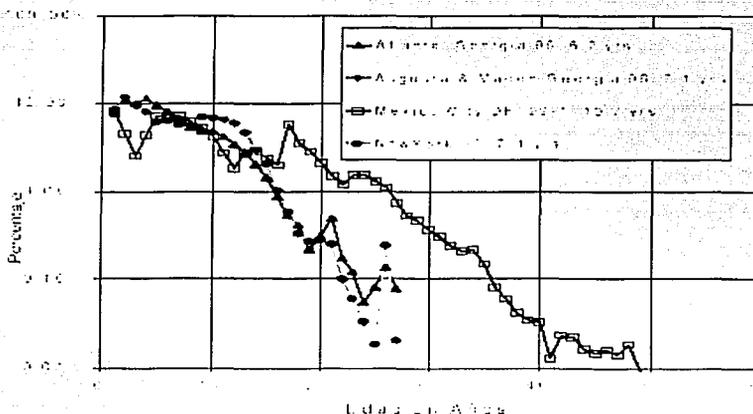


Fig. 1.5. Edad Promedio y Distribución por Edad de los Vehículos Ligeros a Gasolina

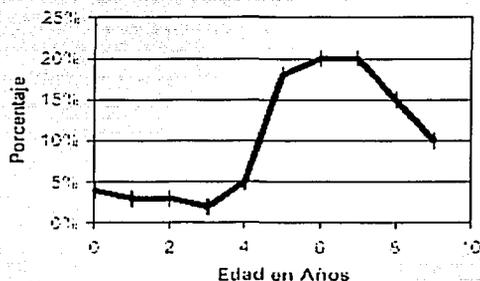
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1.3.2. Automóviles Privados.

La mayoría de las fuentes consultadas sugieren que la flota vehicular en la ciudad de México ha estado creciendo a una tasa de 6 % al año. Sin embargo, de acuerdo con otros datos, ésta incrementó en promedio alrededor de 10 % anual entre 1976 y 1996. Esta estimación más alta implica un estimado adicional del incremento de la tasa de motorización (vehículos/cápita) de más de 5 % al año: pasando de 78 autos por cada 1000 habitantes en 1976, a 91 para 1986, y a 166 en 1996.³

1.3.3. Taxis.

En lo que respecta al número de taxis, COMETRAVI³ estima que existen 26,500 taxis registrados en la región, 20,000 de los cuales se encuentran en el D.F. Aproximadamente 8,000 de estos se encuentran en sitios fijos, operando normalmente desde una base. Sin embargo, otras estimaciones calculan el total de taxis en la ZMVM en alrededor de 81,000, de los cuales 10,000 serían taxis de base. Esta confusión puede ser resultado de como se clasifique a los colectivos. Las estimaciones más altas, resultantes de las bases de datos del registro vehicular y de la verificación, no incluyen una categoría separada para los colectivos, que la autoridades (COMETRAVI³) llaman "taxis de ruta fija" (ver Figura 1.6).



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Distribución de Taxis por Edad en el D.F. en 1999, de acuerdo a los Datos de la Verificación Vehicular

Fig. 1.6 (Fuente: COMETRAVI³)

³ REFERENCIA 11. ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DEL INVENTARIO DE EMISIONES DE LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO

1.3.4. Autobuses.

El sistema de autobuses de la ZMVM ha pasado por muchos cambios significativos desde fines de los 70. Las compañías de autobuses, que históricamente eran propiedad privada, estuvieron a punto del colapso en esos años, y el gobierno del D.F. tomó bajo su control 19 compañías en 1981. Se creó entonces la Ruta-100, que era propiedad del estado y estaba operada por este, con la intención de proporcionar un servicio limpio y eficiente, operando con paradas establecidas, con buenas prácticas de mantenimiento, una política de precios integrada, y rutas y jerarquías bien definidas. La Ruta-100, sin embargo, cayó víctima de las presiones, por un lado, de las demandas de su sindicato de trabajadores, y por otro de la apertura del mercado de transporte público para los colectivos/minibuses. Finalmente, en 1995, esta compañía fue declarada en bancarrota.

Desde la desaparición de la Ruta-100, el gobierno ha realizado diversos esfuerzos para dar en concesión nuevos servicios de autobús al sector privado. Sin embargo, la Ciudad de México ha tenido relativamente poco éxito en esta tarea. Los concesionarios particulares de servicios de autobús ó microbús mejoran el servicio y la calidad en mayor medida derivado de la competencia que les representa los propios colectivos y no por indicación explícita de las autoridades, aunado a la inhabilidad del gobierno para garantizar un mercado transparente para los inversionistas potenciales de las nuevas compañías de autobuses. La flota de autobuses ha sufrido una caída notable en los últimos 20 años, pasando de alrededor de 15,000 unidades (divididas casi por igual entre el Estado de México y el D.F.) en 1976, a un poco más de 2,500 en 1996, y en el D.F. a 825 en 1998.

Fuera del D.F. (en el Estado de México), los llamados autobuses suburbanos han sido operados exclusivamente por el sector privado. En general, a estos autobuses no se les permite la entrada al D.F. (igual que a los servicios de transporte público del D.F. se les prohíbe entrar al Estado de México), aunque existen algunas iniciativas de COMETRAVI ³ que buscan desarrollar y aprobar la operación de "Rutas Metropolitanas", que permitan a las compañías ofrecer servicios de autobús entre jurisdicciones. Los autobuses suburbanos proporcionan, entre otros, servicios importantes como alimentadores del Metro.

1.3.5. Colectivos.

La convergencia de las políticas de liberalización, las políticas de empleo, el pobre manejo de las alternativas (p.ej. Ruta-100), y la cada vez menor capacidad institucional para manejar la demanda de transporte en el D.F., llevó a una explosión del "sector informal" dentro del sistema de transporte público (representado por los colectivos, también llamados "taxis colectivos de ruta fija"). Originalmente, los colectivos eran taxis "sedán" compartidos operando en rutas fijas; con el tiempo, la flota evolucionó hacia vans (de 12 asientos), y más recientemente a minibuses (de hasta 25 asientos). Para el años 2000, el 84% de los colectivos que operan en el D.F. son minibuses, con una edad promedio de seis años.

A mediados y finales de los 80, la expansión de la red de colectivos generó una fuente masiva de empleo y una expansión muy amplia de la red de servicios de transporte. En una metrópoli en rápido crecimiento, los colectivos (muchos de los cuales transportaban media docena de pasajeros o menos) proporcionaban un servicio casi ubicuo y de respuesta rápida. En algunos casos, las redes de autobuses no podían responder suficientemente rápido, y en otros no era conveniente enviar autobuses hacia caminos no planeados y sin pavimentar, localizados generalmente en áreas de desarrollo irregular. Por consiguiente, los colectivos dieron acceso a segmentos enteros de la población.

La estructura de operación típica del servicio de colectivos es la del hombre – camión. El dueño del vehículo toma decisiones a micro-nivel respecto al mantenimiento, conductores, etc. de su vehículo; sin embargo, las decisiones sobre la operación de las rutas se toman en las asociaciones que las manejan. Los propietarios de los vehículos no son necesariamente los dueños de una concesión. Las concesiones son frecuentemente propiedad de personas en un nivel diferente dentro de la jerarquía de las asociaciones de ruta. En el D.F., existen 103 rutas registradas, operadas por unos 27,000 vehículos. En el Estado de México, hay 94 compañías de colectivos registradas y 172 asociaciones de rutas. En total, se estima que existen alrededor de 22,000 kilómetros de cobertura total de las rutas de colectivos en la ZMVM, divididos casi a la mitad entre el Estado de México y el D.F. En 1991, aproximadamente el 60% de los colectivos pasaban por una estación del Metro, lo que sugiere que los colectivos representan una fuente alimentadora importante para este el servicio de transporte.

En términos de las operaciones, la estructura del sistema de colectivos tiene implicaciones importantes. Debido a la propiedad individual y atomizada, existe un nivel de competencia significativo en el mercado, lo que provoca conductas de manejo peligrosas y altas tasas de accidentes. En muchas ocasiones, hay también una pobre coordinación de los horarios y frecuencia de los vehículos. Más aún, la falta de empresas formales, de gran escala y técnicamente capaces, dificulta que los propietarios tomen ventaja de algunas economías de escala en sus operaciones (p.ej. en el mantenimiento, reparación, reemplazo, o financiamiento). Las ineficiencias las pagan, en última instancia, los usuarios de este sistema, mediante tarifas más altas. Entre los problemas crónicos del servicio se incluyen: la incapacidad para obedecer las reglas de operación, exceso de oferta en horas de menos movimiento, tiempos de espera altos (para asegurar que los vehículos se llenen) en las terminales, y competencia entre operadores. Típicamente, los conductores de los vehículos no trabajan bajo contrato, cumplen horarios de 10 horas diarias, seis días a la semana, y no cuentan con ningún beneficio ni seguro en caso de accidentes.

1.3.6. Vehículos de Carga y Reparto.

Como se muestra en la Figura 1.7, la flota de camiones que opera en México es vieja, y su tasa de renovación muy lenta. Cualquier medida que busque reducir las emisiones de la flota de camiones mediante la introducción de mejores tecnologías en los camiones nuevos tomará mucho tiempo en ser efectiva.

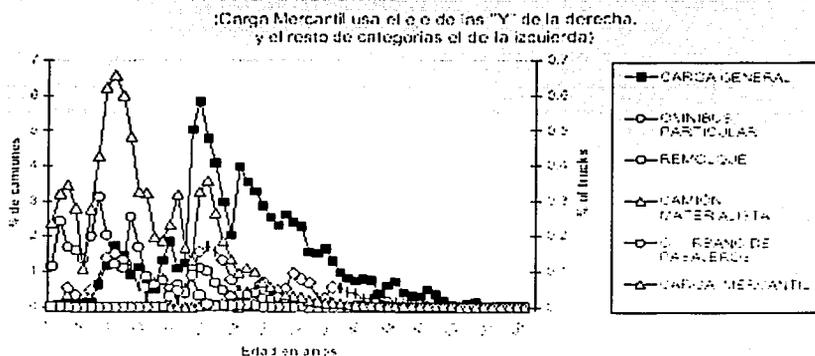


Fig. 1.7 (ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DEL INVENTARIO DE EMISIONES DE LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO) REFERENCIA 11.

1.3.7. Transporte sobre rieles.

1.3.7.1 Metro

Desde la construcción original de tres líneas a finales de los años 60, la red del Metro ha crecido hasta lograr una extensión de casi 200 kilómetros en la actualidad. A fines de los 70, el Presidente José López Portillo impulsó una expansión prolongada de la red, a un ritmo de 15 km por año, de tal manera que se llegara a un sistema de 400 km para el 2010. Aunque hubo oposición por parte de los operadores del transporte público en los 70, una crisis financiera a mediados de los 80, y otra a mediados de los 90, que afectaron la construcción de nuevas líneas, se ha logrado desarrollar una red de 12 líneas, ocupando un área de aproximadamente 300 km². Una característica clave de este sistema es el hecho de que las tres líneas originales (que conforman apenas un tercio de la longitud de la red) satisfacen la mayor parte (65%) de los viajes realizados. Estas líneas tienen por mucho la mayor tasa de ocupación en horarios pico (y en el resto del día), y en general trenes pasando con mayor frecuencia. A pesar de la expansión de la red, la adición de nuevos trenes (compuestos por nueve vagones), y el incremento de 20% del uso de energía, el número de viajes realizados en el Metro ha permanecido estancado, llegando incluso a decrecer en los años más recientes. Más aún, como se mencionó anteriormente, la participación relativa de este medio de transporte ha caído desde su máximo de 25%, logrado en 1983, a menos del 15% en 1995 (ver Figura 1.4). Una razón importante que podría explicar esta caída en el número de viajes, es el hecho de que mientras la población de la ciudad se encuentra en constante movimiento, y se ha expandido a zonas cada vez más lejanas del centro, resulta muy difícil que el Metro crezca. Algunos datos de COMETRAVI³ indican que las tarifas del Metro cubrieron apenas aproximadamente el 50% de sus costos de operación durante 1992–1993, y que el Metro requirió un subsidio de 37% para cubrir sus costos de operación en 1995.

El desarrollo más reciente en el Metro ha sido la creación de dos nuevas líneas que cruzan al Estado de México. La importancia de este desarrollo resalta una característica crítica en una inversión de capital tan importante como la expansión del Metro, que consiste en su capacidad como opción para reducir emisiones contaminantes. A diferencia de los modos de transporte de superficie tales como los autobuses, y especialmente los colectivos, toma mucho tiempo planear, desarrollar y poner en uso una nueva ruta de Metro. Dado que

los colectivos pueden responder casi de forma inmediata a nuevos patrones de crecimiento, desarrollan más fácilmente un lazo con algunos sectores nuevos del mercado. Además de las barreras institucionales tan fuertes, esta condición del mercado ha dificultado que el Metro llegue a zonas residenciales en crecimiento fuera del D.F. sin coordinarse con algún otro modo de transporte. Se ha visto con las experiencias de las líneas construidas después de las tres primeras, que la localización del servicio de Metro es fundamental en el desempeño futuro de este modo de transporte.

El Metro es administrado por una dependencia relativamente independiente, el Sistema de Transporte Colectivo (STC), bajo la responsabilidad de la Secretaría de Transporte y Vialidad (SETRAVI) del Gobierno del D.F. Aparentemente, el STC tiene bastante autonomía en la planeación y evaluación de la red, y ha desarrollado sus propios ejercicios de pronóstico de la demanda para propósitos de planeación. Algunos críticos del Metro sugieren que el sistema mismo ha contribuido a la expansión urbana, en cuyo caso el desarrollo del sistema está poniendo en peligro su propia viabilidad. Otros sugieren que se ha fallado en incorporar de forma efectiva el desarrollo urbano al desarrollo del Metro. Hay argumentos que sostienen que la función de planeación del Metro debería caer en una autoridad de planeación independiente, que se encargue de vigilar la planeación estratégica del transporte para toda la región (p.ej. COMETRAVI³).

1.3.7.2 Tren Ligero

El Sistema de tren ligero de la ZMVM es un sistema de una sola línea con una extensión de 13 km y 18 estaciones. Un tren individual está formado por dos vagones. La línea va de la estación terminal al sur de la línea 2 del Metro, hacia el sur/sureste, hasta la Delegación Xochimilco. El sistema de tren ligero ha experimentado muy poca expansión desde 1992, con la adición desde entonces de únicamente 1 km. y cuatro vagones. Como resultado, el kilometraje recorrido anualmente por cada tren ha incrementado 40%, llegando a 1,649 km en 1998. El número de usuarios de este servicio también ha incrementado desde 1992, pasando de 6.9 millones de viajes en ese año, a 15.7 millones en 1998, lo que representa un incremento de 127%. A pesar de este crecimiento en el largo plazo, se ha visto mucha fluctuación en las cifras (el número de viajes aparentemente llegó a 32.3 millones en 1996), lo que sugiere inconsistencias en las fuentes de información. De acuerdo

a COMETRAVI ³, las operaciones del tren ligero requieren un subsidio del 60% para cubrir sus costos de operación.

1.4 Actividad Vehicular

La extrapolación de las tendencias actuales en la actividad vehicular nos llevaría a una congestión inaceptable y costos económicos muy altos. Los costos por las externalidades anuales del tráfico han sido estimados por COMETRAVI ³ en 7,000 millones de dólares, siendo las congestiones de tráfico y los accidentes responsables por el 85 % del total. Sin embargo, no existe un sistema de reporte de accidentes a nivel metropolitano que permita cuantificar adecuadamente los accidentes relacionados con el transporte.

Las fallas en el sistema de autobuses públicos en la ZMVM, el poco o nulo crecimiento en el número de viajes que atiende el Metro, y la expansión de la ciudad, han motivado la explosión del "sector informal" del transporte público, que se manifiesta en la expansión de los colectivos.

Bajo esta condiciones, se ha incrementado el tráfico de los sistemas de transporte público de baja densidad. La propiedad privada de un automóvil también ha aumentado enormemente, lo que ha provocado un gran crecimiento en el tráfico en general, con la presencia creciente de modos de baja densidad, y las consecuencias previsibles en la congestión del tráfico.

“ Los colectivos son un medio de transporte popular y necesario, sin embargo, los estos son más caros, más peligrosos, y menos cómodos que otros medios de transporte público. Las paradas continuas y las formas de conducir de sus operarios contribuyen a la congestión en la Ciudad de México. Para los taxis, buena parte de sus viajes se consume buscando pasajeros. En general, los equipos de control de emisiones de los colectivos y taxis no tienen mantenimiento adecuado ”.

La circulación de camiones en la Ciudad de México contribuye a la congestión por la actividad misma de estos vehículos, y porque con frecuencia se estacionan en "doble fila" cuando descargan mercancías. Actualmente, no existen pasos en circunferencia alrededor de la Ciudad de México, por lo que los camiones pesados que quieren ir de un punto a otro

entre los que ésta les quede de camino, tienen que atravesarla. Las ubicaciones de las terminales de carga no son las óptimas para la minimización del tráfico y las emisiones. Una mejor ubicación de estas terminales podría permitir que los camiones pesados transfirieran sus cargas a camiones más pequeños y con mejores sistemas de control de emisiones.

1.5 Envejecimiento y renovación de la flota

Existe una estrecha correlación entre la edad de los vehículos y sus emisiones, por dos razones: los vehículos más viejos tienen sistemas de control de emisiones menos sofisticados (los más viejos incluso no tienen sistema alguno), y las condiciones de los equipos de control de emisiones se deterioran con el tiempo y uso. Los límites de emisión se determinan de acuerdo a las emisiones por distancia recorrida. Entre más viaje un vehículo, mayores son sus emisiones.

Los controles de emisión para los vehículos de uso intensivo, taxis y colectivos, son por consiguiente especialmente importantes. Aunque se supone que los taxis y colectivos no deben tener una edad mayor a los ocho años, las regulaciones al respecto no son observadas de forma estricta. Alrededor del 15 % de los taxis y colectivos que se inspeccionaron en el D.F. en 1999 tenían 9 o más años de edad. De acuerdo a los registros de la verificación vehicular de la segunda inspección de 1999, se han adquirido pocos taxis desde 1993. Para cumplir con los límites de edad establecidos para los taxis y colectivos, se requiere un rejuvenecimiento considerable de la flota a partir del año próximo. Un programa como el que se precisa no es posible sin algún tipo de subsidio, ya que los propietarios de los taxis y colectivos son considerados como sujetos de crédito de alto riesgo para los bancos.

1.6 Emisiones contaminantes y distribución vehicular por modelo

De los 1.5 millones de vehículos inspeccionados en el D.F. en la segunda mitad de 1999:

- 43% eran de modelos anteriores a 1991, que fue cuando se requirió la instalación de convertidores catalíticos;
- 30% eran de modelos 1991-1993, equipados con convertidores catalíticos;

- 23% eran de modelos 1994-1998, con controles computarizados; y
- 4% eran de modelos 1999 y posteriores, equivalentes a Tier 1 de los Estados Unidos, aunque sin garantía.

En los Estados Unidos, los vehículos más recientes no son fabricados para cumplir con niveles bajos de emisión únicamente cuando nuevos, ya que sus tasas de deterioro de emisiones son relativamente bajas. En México, las normas de emisión vehicular de 1999 son equivalentes a las de los vehículos de modelo 1994 en los Estados Unidos, y las de los vehículos modelo 1994 de México equivalen a las del modelo 1991 en los Estados Unidos. Allá han existido garantías y requerimientos de durabilidad para los equipos automotores que afectan los sistemas de control de emisiones por muchos años, y los límites de edad se han incrementado para los componentes relacionados con el control de emisiones. En México, no se obliga a que el productor de vehículos otorgue garantías.

La introducción de nuevos vehículos a la Ciudad de México se detuvo por la crisis del Peso de fines de 1994. A principios de los 90, sin embargo, se habían adquirido tantos vehículos privados que, para 1994, ellos contribuían en 84 % al total de la flota de la ZMVM, dejando un 11% a los camiones de carga, y 3% a los colectivos. La Figura 1.8 muestra el índice de emisiones por viaje de pasajeros.

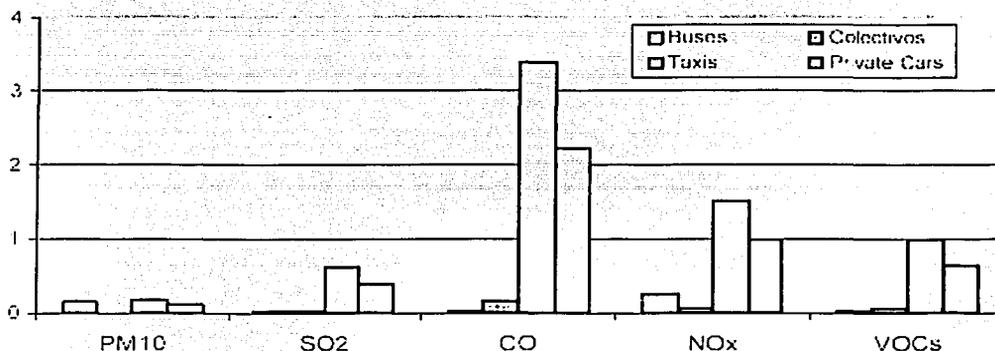


Fig. 1.8. Índice de Emisiones por Viaje de Pasajeros

“ Las tecnologías de los vehículos nuevos y las mejoras en los estándares de los combustibles que se dieron en los 90, han reducido las emisiones de los vehículos en circulación ”. Al comparar un estudio de percepción remota de 1991 con uno del 2000, se ve

que en el segundo, las emisiones de CO de la flota son equivalentes a 1/3, y las de HC derivados de la combustión (kg de HC por kg de combustible) a 1/9 de las que se observaban en 1991 (ver Tabla 1.4). Al comparar el estudio de la Ciudad de México, del 2000, con tres del mismo tipo realizados en 1999 en tres ciudades de los Estados Unidos, se observa que la flota de la ZMVM emite tres veces la cantidad de CO observada en los Estados Unidos, y 30 % más HC. Estas mediciones no son inesperadas, dados la diferencia de edad de la flota de vehículos particulares, de **transporte colectivo** y el retraso relativo de México en la introducción de tecnologías de control de emisiones.

Una de las fuentes de incertidumbre en los inventarios de emisiones para fuentes móviles es la proporción de las emisiones evaporativas en comparación con las emisiones en el tubo de escape (derivadas de la combustión). Aproximadamente la mitad de la flota vehicular de la ZMVM no cuenta con controles para sus emisiones evaporativas.⁴

	MCMA	MCMA	Riverside. California	Denver, Colorado
Año del estudio	1991	2000	1999	1999
Promedio				
CO%	4.3	1.67	0.55	0.45
HC (ppm)	2100	247	200	130
NO (ppm)	No medido	1,330	370	600

Tabla 1.4. Mediciones mediante Percepción Remota en la ZMVM y los EUA

(Artículo : ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DEL INVENTARIO DE

EMISIONES DE LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO) REFERENCIA II.

La información sobre los camiones que circulan en la ZMVM es incierta. Se estima que la flota de camiones en la ZMVM constituye ¼ de la flota vehicular existente en todo México. La flota de camiones es vieja y no se renueva con frecuencia. Aproximadamente 28% de la flota es de modelos de 15 o más años de antigüedad. La **Figura 1.9** muestra la distribución de emisiones por modo de transporte.

⁴ REFERENCIA II. Artículo : ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DEL INVENTARIO DE EMISIONES DE LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO

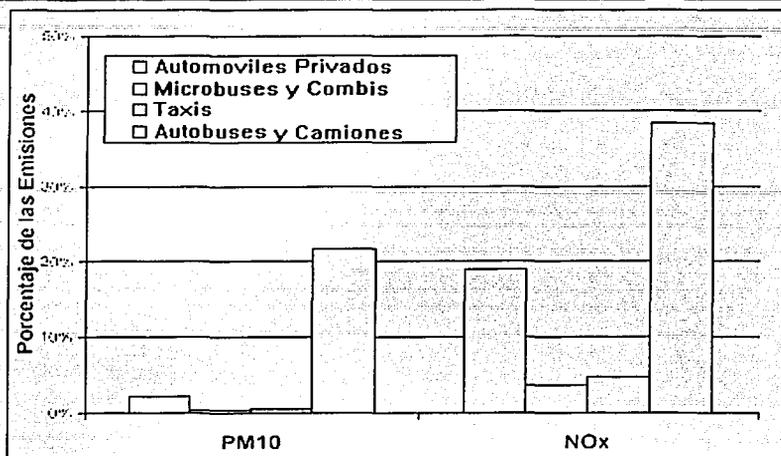


Fig. 1.9. Distribución de las Emisiones por Modo de Trasporte

1.7 Políticas Propuestas

Al desarrollar opciones de política para el transporte, la movilidad y el medio ambiente en la Ciudad de México, puede ser útil considerar el siguiente esquema:

Los patrones de uso del suelo son determinantes en la demanda de transporte, tanto de personas como de carga. Mientras que el transporte y la movilidad son primordiales para las actividades económicas y el crecimiento, este mismo transporte también es una causa fundamental de la contaminación del aire. De hecho, el sector transporte es la principal fuente "antropogénica" de generación de contaminantes atmosféricos en la ZMVM. La cuestión fundamental es cómo equilibrar las necesidades de movilidad de la población de la ZMVM con los impactos ambientales que esta actividad provoca. Esto visto en una situación en la que los patrones de uso del suelo de la ZMVM la han hecho expandirse, con la generación de nuevos centros de población en la periferia, que son a su vez causa de una creciente demanda de transporte. La Figura 1.10 muestra la interrelación de estos aspectos.

Para abordar esta relación crítica para las cuestiones ambientales que enfrenta la Ciudad de México, es importante considerar múltiples estrategias políticas. Dado que se

espera un crecimiento económico sostenido en la ZMVM, que provocará una demanda de transporte aún mayor, la creación de un sistema de transporte que sea armonioso con el medio ambiente es una tarea que se antoja muy difícil y compleja, imposible de lograr con la aplicación de medidas individuales " Desde el punto de vista de los riesgos a la salud pública, la prioridad es aplicar políticas capaces de reducir en primera instancia los NOx y las partículas (PM), que son considerados los contaminantes más importantes."

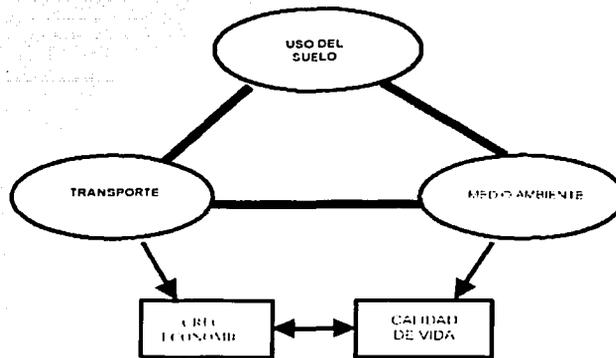


Fig. 1.10. Esquema de la Interrelación entre el Transporte y el Medio Ambiente

1.8 Mejoras en el *Transporte público*.

Las mejoras al transporte público son de importancia fundamental. En este punto se incluye buscar hacer más efectivo al sistema de colectivos, que es un sistema cuya calidad de servicio es con frecuencia deficiente, y con efectos colaterales negativos. Los habitantes de la Ciudad de México valoran el servicio que les proporcionan los colectivos, con base en determinadas cualidades; una estrategia utilizada es realizar frecuencia en viajes y poca capacidad por unidad, aunque con impactos negativos en el tráfico. Valdría la pena diseñar estrategias que permitan tomar ventaja de los puntos fuertes del sistema de colectivos, mientras se busca mejorar sus puntos débiles.

También es esencial desarrollar una estrategia efectiva para mejorar las características de desempeño del Metro y los servicios que ofrece. Las dos estrategias

anteriores son ejemplos de iniciativas para usar de mejor manera lo que ya existe en el sector transporte en la Ciudad de México.

1.9 Infraestructura / tecnología

El desarrollo de infraestructura nueva puede tener un efecto positivo tanto en el medio ambiente como en el "transporte / movilidad". De nuevo, al relacionar los impactos de los camiones de carga con la calidad del aire de la Ciudad de México, se ve la necesidad de vías que permitan circular alrededor de las zonas congestionadas de la ciudad sin necesidad de entrar en ellas, con lo que se lograrían tanto un impacto en la reducción de la congestión, como mejoras en la calidad del aire.

En lo que respecta a la tecnología, los Sistemas de Transporte Inteligentes (STI), están mostrando algunas cualidades importantes para el manejo del tráfico y la reducción de congestión en las ciudades alrededor del mundo en las que se usan. Estos sistemas, que son menos costosos y menos molestos en su etapa de desarrollo que las obras de infraestructura tradicionales, pueden ser útiles para lidiar con los problemas ambientales y de transporte de la ZMVM.

Una aplicación particular de los STI es la fijación de precios como una medida para hacer explícita a los conductores la contaminación y congestión que causa su automóvil (es decir, las externalidades). Al diseñar e instrumentar mecanismos de precio efectivos, es posible reducir la demanda de viajes motorizados, mitigar la necesidad de infraestructura nueva, y (en principio) compactar el área urbana. Aunque es una estrategia de difícil arranque, la ZMVM ofrece una plataforma ideal para promover entre el público y los tomadores de decisiones la aplicación de algunos mecanismos de precio como los mencionados.

1.10 Estrategias regionales de uso del suelo

Como se mencionó anteriormente, la dispersión continua y el crecimiento absoluto en el tamaño de la ZMVM hace que crezca la necesidad de viajar, y esto se haga a distancias mayores. El desarrollo, en muchos casos irregular y desordenado, de nuevas comunidades en la periferia de la ciudad crea problemas tanto ambientales como de movilidad. La creación de una comisión de planeación a escala regional, con una capacidad de vigilancia fuerte, es fundamental para generar un sistema transporte / ambiente sostenible en la ZMVM. Esto se

menciona reconociendo ampliamente las dificultades que implica, desde la perspectiva política, social y económica, un desarrollo institucional de esta índole. Sin embargo, hay que ser realistas y reconocer que muchas de las estrategias de política mencionadas podrían no ser efectivas sin un cambio fundamental en los patrones de uso del suelo de la ZMVM.

1.11 Instituciones y planeación del transporte

La planeación del transporte y la del medio ambiente son desarrolladas por instituciones diferentes. Es crucial hacer los arreglos institucionales necesarios para que las organizaciones relevantes puedan trabajar juntas para crear y poner en práctica opciones de política viables.

Algunos de los asuntos críticos en el desarrollo institucional son:

- a) Transporte y medio ambiente: Es importante lograr una conexión más fuerte y efectiva entre la planeación ambiental y la planeación del transporte. Debería desarrollarse una estructura de planeación regional que entrelace de manera más efectiva estos segmentos.
- b) Cooperación entre el D.F. y el Estado de México: Es particularmente importante desarrollar conexiones institucionales efectivas entre el D.F. y el Estado de México, entre quienes existen grandes disparidades en el desarrollo de infraestructura y capacidad institucional, y con frecuencia una falta literal de continuidad o conexión en los servicios de transporte.
- c) Regulaciones: Es necesario desarrollar instituciones reguladoras que monitoreen adecuadamente los diferentes aspectos de los sistemas de transporte de la ZMVM, incluyendo los políticamente poderosos colectivos, llevando a cabo una aplicación correcta y la vigilancia de la verificación.
- d) Perspectiva regional: Como se mencionó en el punto 1.12, es fundamental contar con instituciones capaces de poner en práctica planes de uso del suelo a escala regional.
- e) El desarrollo de una base de datos regional para el registro de vehículos es considerado como condición y herramienta esencial para una gestión apropiada e integrada del transporte y la calidad del aire.

El conjunto de opciones debe considerar los efectos tanto de corto como de largo plazo en los sistemas transporte/ambiente, y también, desde luego, la evaluación costo - efectividad de las diferentes estrategias, así como sus impactos diferenciales en los distintos grupos relevantes en la ZMVM.

1.12 Pasos a Seguir en la investigación.

Es esencial un siguiente paso en la investigación. El desarrollo de modelos de alto nivel puede ayudar a los investigadores y tomadores de decisiones a identificar y analizar las estrategias para mejorar el medio ambiente en la Ciudad de México, sin afectar la movilidad del transporte.

Podrían emplearse modelos con hojas de cálculo simples, que permitirían desarrollar análisis de sensibilidad que generen estimaciones de primer orden sobre los impactos en el transporte y el medio ambiente que provocarían, tanto en el corto como en el largo plazo, las diferentes estrategias que se analicen.

Para terminar, hay que recalcar la importancia de ciertas áreas que requieren atención especial:

- **Automóviles:** La continua "motorización" de la ZMVM es un tema fundamental. Son vitales todos los esfuerzos que puedan realizarse para mejorar la composición de la flota, desde la perspectiva de sus emisiones (nuevas normas para vehículos, verificación y mantenimiento, vigilancia), al igual que es importante generar opciones diferentes al uso del vehículo privado.
- **Transporte público:** El fortalecimiento de los servicios de transporte público (colectivos, autobuses, Metro) como un mecanismo para atraer una demanda mayor de viajes y limitar el uso de los automóviles privados, es una estrategia básica y útil. Hacer que los sistemas que ya están funcionando se vuelvan más efectivos es una estrategia razonable. Mejorar la seguridad y confiabilidad de los sistemas de transporte público y de los estacionamientos en los puntos de transferencia intramodal es esencial para atraer a los propietarios de vehículos privados hacia los

medios de mayor capacidad. Es necesario realizar encuestas entre los usuarios actuales y potenciales del transporte público para buscar la manera de hacerlo más agradable para el público y con ello incrementar su uso.

- Estrategias regionales para la planeación del uso del suelo: Tanto la movilidad como las cuestiones ambientales son afectadas por la expansión constante de la ZMVM.

Conforme crece la población en términos absolutos, especialmente en las zonas de la periferia, toma mayor preeminencia una estrategia de largo plazo para controlar los usos del suelo desordenados.

- Verificación y Mantenimiento: Para poder mejorar la eficiencia en la detección y el control de los vehículos contaminantes, es necesario introducir nuevas tecnologías en los procedimientos de prueba, para la detección de estos vehículos en los VerifiCentros, así como para analizar en las calles los vehículos ostensiblemente más contaminantes.

Deberían considerarse las siguientes acciones: a) uso regular de sensores remotos para auditar el Programa de Verificación; b) introducción de pruebas dinámicas con carga para vehículos a diesel; y c) la aplicación de pruebas para monitorear los sistemas de control de emisiones evaporativas y detectar fugas de combustible.

Para que el Programa de Verificación Vehicular alcance mejores niveles de eficiencia, debería integrarse en términos de las regulaciones aplicables y adaptarse a las condiciones y necesidades de las tres entidades responsables de su aplicación en la ZMVM: los gobiernos del D.F. y el Estado de México, y la SCT. Es recomendable que los estados adyacentes a la ZMVM, incluyendo Hidalgo, Puebla y Morelos, adopten este mismo sistema.

Considerando lo complicado que puede resultar lograr la integración deseada, se presentan las siguientes recomendaciones, que son las más relevantes para el mediano plazo:

- a) Homogeneización total de la gestión de los VerifiCentros del D.F., el Estado de México, y la SCT, o separación de la inspección de las emisiones conforme el lugar de expedición y tipo de placas;

-
- b) Aplicación en los VerifiCentros de pruebas de emisiones dinámicas para vehículos a diesel, especialmente para aquellos con placas federales;
 - c) Integración a los VerifiCentros de la revisión técnica del transporte público y los vehículos de carga, para mejorar su cumplimiento tanto con las normas ambientales como con los requerimientos de seguridad;
 - d) Aplicación de auditorías periódicas, independientes y públicas;
 - e) Integración de un sistema en línea entre el Programa de Verificación y el sistema de registro de vehículos automotores, para mejorar el nivel de cumplimiento y de seguridad (por los casos de robo de automóviles o de calcomanías de verificación); y
 - f) Centralización de la recolección de información y procesamiento de datos de inspección de emisiones. Los gobiernos estatales del D.F. y el Estado de México deberían unir y compartir sus respectivas bases de datos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO II. COMBUSTIBLES Y COMBUSTIÓN

2.1 Origen y formación del petróleo

Las teorías del origen y formación del petróleo se siguen discutiendo hasta la fecha. Las primeras defendieron su origen como mineral, otros investigadores se inclinaron por el origen orgánico, sosteniendo que provienen de la descomposición de residuos animales y vegetales que se transformaron en aceite a través de los años. Los análisis hechos de rocas petrolíferas de campos productores, confirman el origen orgánico, ya que se han encontrado en ellas, ciertas propiedades ópticas, que solo se localizan en las sustancias orgánicas, así como el propio contenido de nitrógeno.

2.1.1 Breve reseña histórica

En 1860 nació la industria de la refinación para extraer otros productos de este filón lodoso que progresó y sigue progresando a grandes pasos a tal grado que no hay productos desperdiciados, ya que todas las riquezas contenidas en el petróleo bruto son utilizadas, elementos extraños que conviene eliminar del petróleo son los sulfuros, por sus propiedades corrosivas o de olor desagradable sin embargo el azufre es riqueza envidiable en la economía mundial.

En el campo de la investigación científica, una de las materias de importancia primordial, es el origen y las aplicaciones del petróleo, ocupando el primer lugar como base para el desarrollo económico y social de un país, así mismo es el energético de mayor demanda mundial.

Son innumerables los derivados de tan preciado elemento y puede decirse que se encuentra en todos los objetos que actualmente usamos, gasolinas, diesel, gas licuado de petróleo y al gas natural, estos últimos se han convertido en los combustibles más ventajosos y de mayor utilización en el ramo doméstico, comercial, transporte y de operación industrial.

2.1.2 Petróleo, su composición

El petróleo se encuentra en el subsuelo, impregnado en formaciones geológicas a las que los profesionales llaman trampas, constituidas por una capa de margas arcilla u otro terreno impermeable de la cual no pueda escapar el petróleo hacia la superficie. La capa de petróleo no suele medir más de 30 metros de espesor pero puede extenderse en un óvalo de decenas de kilómetros y a profundidades teóricas hasta de 15,000 metros. El petróleo asume los tres estados físicos de la materia: sólido, líquido y gaseoso, según su composición y la temperatura y presión a que se encuentra, su color varía entre el ámbar y el negro, su densidad es menor que la del agua. En estado gaseoso es inodoro, incoloro e insípido.

El petróleo crudo es un compuesto de hidrocarburos, es decir una combinación de carbono e hidrógeno exclusivamente y que comprende desde el asfalto hasta el gas natural. Su separación en columnas de destilación se logra aprovechando las diferencias de volatilidad que tienen unos y otros, El procedimiento utilizado, consiste en calentar el petróleo crudo a una temperatura en que los componentes ligeros se evaporen y a continuación se condensan los hidrocarburos evaporados.

La condensación se efectúa a diferentes temperaturas: Los hidrocarburos más volátiles se condensan a menor temperatura que los menos volátiles.

De esta manera, se obtienen distintos condensados cuyas propiedades corresponden a los productos comerciales que conocemos como son el gas licuado de petróleo, gasolina, queroseno, diesel, aceite, lubricantes etc.

De los yacimientos constituidos por gases, éstos se extraen por los mismos métodos convencionales empleados en la extracción del petróleo crudo y son tratados en plantas de absorción, donde se separan los hidrocarburos que forman el gas natural, el gas licuado de petróleo y algunos otros como gasolina ligera.

2.1.3 Hidrocarburos: carbono más hidrógeno

Los hidrocarburos son estructuras compuestas de carbono e hidrógeno exclusivamente. El hidrógeno es un gas incoloro, inodoro e insípido, muy difícilmente de

licuar. Es la sustancia más ligera que se conoce. Lo expulsan algunos volcanes y pozos petroleros, si bien mezclados con otros gases. Abunda combinado; forma parte del agua, de los ácidos e hidróxidos, de los organismos vegetales animales y del petróleo.

El carbono es un elemento no metálico, que se encuentra en la naturaleza en combinación con todas las sustancias vegetales y animales (materia orgánica) y con muchos minerales.

Los porcentajes de carbono e hidrógeno que forman cada compuesto tienen importancia decisiva en el comportamiento de cada hidrocarburo, sus propiedades varían a medida que cada compuesto tiene mayor número de carbonos.

El átomo de carbono se representa por un núcleo central, rodeado de cuatro antenas llamadas valencias, susceptibles de retener cuatro átomos de hidrógeno, por lo que se dice carbono tetravalente. Por la combinación entre sí de los átomos, de carbono y por la fijación de los átomos de hidrógeno sobre las antenas o valencias, se forman un gran número de hidrocarburos.

El primero, es el formado por un átomo de carbono y cuatro de hidrógeno CH_4 recibe el nombre de **Metano**.

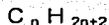
El segundo, está formado por la combinación de dos de carbono y seis de hidrógeno C_2H_6 se le conoce como **Etano**.

El tercero, se obtiene por la combinación de tres de carbono y ocho de hidrógeno C_3H_8 se llama **Propano**.

El cuarto, se obtiene con cuatro átomos de carbono y 10 de hidrógeno C_4H_{10} conocido como **Butano**.

Después el **Pentano** con cinco carbonos y 12 hidrógenos, el **Hexano** con 6 carbonos y 14 hidrógenos, el **Heptano** con 7 y 16 y el **Octano** con 8 y 18.

De manera general corresponde a la fórmula de los hidrocarburos saturados.



Los cuatro primeros hidrocarburos se encuentran a la temperatura ordinaria y a presión atmosférica, en estado gaseoso. Los dos primeros; metano y etano forman lo que se conoce como gas natural, el propano y el butano los dos segundos, reciben el nombre de gas licuado de petróleo, gas L. P. Cuando el número de átomos de carbono son más de cuatro, se encuentran en estado líquido a las condiciones ordinarias de presión y temperatura, formando los compuestos que conocemos con el nombre de gasolina, petróleo diáfano, diesel, etc.

Vienen después los que son más viscosos que los anteriores, los aceites lubricantes hasta llegar a ser casi sólidos como las parafinas, grasas y finalmente los asfaltos.

2.2 Combustión

Cuando en forma controlada, se mezcla gas con oxígeno del aire en presencia de una fuente de ignición, el resultado será una combustión y solamente puede existir cuando se juntan estos tres elementos, si aislamos cualquiera de ellos jamás podremos efectuar una combustión.

Por lo tanto la combustión es el proceso por el cual el combustible se combina en forma rápida con el oxígeno (también llamado carburante) con desprendimiento de luz y calor, se dice que se efectúa en forma rápida para diferenciarlo de otros procesos; el lento, comúnmente llamado oxidación y el ultra rápido ó instantáneo llamado explosión.

Generalmente, cuando se realiza una combustión es con el objeto de aprovechar su calor, por eso es importante medir la cantidad de calor que producen los combustibles.

2.3 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 contaminación atmosférica. El combustible durante la

combustión se somete a un proceso de oxidación con el 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 2.1**, así como algunas de sus características generales. Los motores de combustión interna alternativos (MCIA) en el pasado utilizaban combustibles líquidos principalmente, pero en la actualidad se ha experimentado un gran desarrollo en la utilización

Clasificación de Combustibles por su estado de agregación¹			
	Estado	Producto	Características
Combustibles	Gaseosos	Gas natural, GLP, Etc,	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Útiles en motores estacionarios. ✓ Se obtiene buena formación de mezcla ✓ Se pueden quemar mezclas más pobres ✓ Sus gases de escape no son tan contaminantes.
	Líquidos	Gasolina, Diesel, Etanol, Etc.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Útiles en MCIA. ✓ Generar mayor cantidad de energía por unidad de volumen. ✓ Fácil y seguro manejo, almacenamiento y transporte. ✓ Proceden en un 99% de la destilación del petróleo. ✓ Son una mezcla de diversos HC's
	Sólidos	Carbón pulverizado, Carbón hulla, Leña	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Útiles principalmente en caldera y hornos. ✓ Se ensayan actualmente mezclas de combustibles líquidos con carbón pulverizado en motores diesel.

Tabla 2.1

de combustibles alternativos, como son el gas natural (GN) y el gas licuado de petróleo (GLP), para la automoción de vehículos de transporte y otros servicios que circulan en las grandes ciudades, como una medida para disminuir la contaminación atmosférica.

2.3.1 Estructura molecular de los HC's.

Los combustibles para MCIA 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

¹ Referencia 1, pg.231

y de cadena cerrada, y a partir de esto se definen diversos compuestos de acuerdo al tipo de enlace y ramificaciones (Tabla A.I, Anexo).

2.3.2 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 A.II del Anexo.

Los productos obtenidos por cualesquiera 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 a 200 °C. Las gasolinas comerciales son, en general, mezcla de gasolinas de destilación directa, de desintegración, reformadas y naturales ², 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.

En las Tablas A.III a A.VI del Anexo, se especifican las exigencias mínimas de las gasolinas y del diesel, de acuerdo a las normas DIN y ASTM ³.

² Referencia 2,pg. 7-15

³ DIN - Dirección Internacional de Normas, ASTM - American Society for Testing Materials.

⁴ Referencia 3,pg. 294-301

Al tiempo que se busca la obtención del combustible más adecuado para un determinado motor, considerando las características anteriores, es posible añadir otras sustancias que mejoren aun 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 polímeros 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 2.2** se muestran algunas propiedades de los principales combustibles utilizados en los MCIA.

PROPIEDADES DE LOS COMBUSTIBLES USUALES ⁴							
Combustible	Masa molecular kg/kmol	Densidad líq. 15°C kg/dm ³	Temperatura vaporización a 1 bar °C	Poder Calorífico KJ/kg	Fraciones másicas principales	Límite de inflamabilidad F _R	Dosado estequiométrico
Gasolina (super)	≈ 98	0.72 - 0.77	30 - 210	43700	86C, 14H	0.7 - 2.5	1/14.9
Gasolina (normal)	≈ 98	0.71 - 0.75	30 - 210	43700	86C, 14H	0.7 - 2.5	1/14.9
Diesel auto	≈ 170	0.81 - 0.84	170 - 370	43200	86C, 13H, 0.5S	0.74 - 2.1	1/14.5
Diesel pesado	≈ 198	0.95	175 - 450	41000	85C, 14H, 1S	0.74 - 2.1	1/14.6
GLP	≈ 51	0.54	-30	45900	82.2C, 17.7H	0.6 - 2.5	1/15.5
Metanol	≈ 32	0.79	65	19700	38C, 12H, 50O	0.5 - 2.9	1/6.4
Etanol	≈ 46	0.79	78	26800	52C, 13H, 35O	0.5 - 2.9	1/9

Tabla 2.2

2.4 Combustibles alternativos

Los combustibles que la mayor parte de los automóviles utilizan son no renovables: el diesel y la gasolina, se les define así ya que tardaron millones de años en formarse. Estos combustibles tienen una gran desventaja, al quemarse en los motores de combustión interna de los automóviles generan contaminantes.

Hoy en día existe una búsqueda continua por combustibles alternativos, es decir, combustibles renovables que contaminen menos y sean más baratos.

Los Vehículos con Combustibles Alternativos (VCA) son vehículos que utilizan combustibles distintos a los que provienen del petróleo. Han existido por más de 100 años, pero últimamente han cautivado la atención de gobiernos, productores de automóviles y consumidores.

Entre los combustibles alternativos destacan:

- Alcoholes, como el metanol (alcohol metílico), etanol (alcohol etílico) y otros alcoholes; en su forma pura, o bien en mezclas de 85 por ciento en volumen de alcohol con 15 por ciento de gasolina regular (M85 y E85).
- Electricidad
- Hidrógeno
- Derivados líquidos del carbón
- Combustibles (no alcoholes) derivados de materiales biológicos como soya o aceites vegetales.

2.4.1 Importancia de los combustibles alternativos

Cuando queremos obtener la energía contenida en un combustible debemos quemarlo, al quemarlo los átomos de carbono se van desprendiendo y liberando; entre más larga sea la cadena más tipos de emisiones se generan. En casos específicos, se le puede llamar a estos una combustión incompleta, mientras que las pequeñas moléculas, formadas por uno, dos o tres carbonos se queman en una combustión más limpia.

2.5. La demanda y calidad de los combustibles en la ZMVM

La calidad de la gasolina en México ha mejorado considerablemente durante la última década, particularmente en lo que respecta al plomo (la gasolina sin plomo salió al mercado en México vez en octubre e 1990, y la gasolina con plomo se dejó de vender por completo en septiembre de 1997). La calidad del diesel también mejoró, especialmente al bajársele el contenido de azufre. En las Tablas 2.3 y 2.4, se muestra una comparación de la gasolina y el diesel que se tenían en la Ciudad de México en 1998, con los combustibles europeos y estadounidenses.

Tanto Europa como Estados Unidos mantienen actualmente sus combustibles con niveles de azufre considerablemente menores que en nuestro país y aún lo reducirán más en los próximos años. Esta situación se ha presentado por los requerimientos de los nuevos motores, para permitir el uso de equipos de control de emisiones más sofisticados en camiones y automóviles. Lograr esos niveles de azufre en México requerirá gran inversión de capital en los procesos de refinación sin embargo, las últimas noticias que se conocen de PM es que tendremos, en los próximos años, la calidad de los combustibles que requerirán los nuevos motores.

Por otra parte, se debe tomar en cuenta también que, la proporción de la contaminación que proviene de vehículos viejos es mucho más alta en México que en los Estados Unidos o Europa. Existen algunos comentarios en el medio, que se refieren a que los recursos políticos y financieros para mejorar el medio ambiente pueden emplearse de mejor forma, si se dedicasen a reemplazar los vehículos más viejos por nuevos.

Debería evaluarse la posibilidad de reformular la gasolina para reducir emisiones, y en específico la introducción de combustibles oxigenados para reducir las emisiones de monóxido de carbono. Los combustibles oxigenados fueron introducidos en los Estados Unidos a principios de los 90, para cumplir con las enmiendas del Acta de Aire Limpio de 1990, que especificaba que en aquellas áreas en las que se excedieran las normas para CO deberían usarse combustibles oxigenados, con un contenido por peso de al menos 2.7 % de oxígeno.

Esto se logró agregando, en la generalidad de los casos, un 15 % (por volumen) de metil - terbutil- éter (MTBE) o 7.8 % (por volumen) de etanol. Recientemente, se ha encontrado MTBE en algunos depósitos subterráneos de agua, y se cree que este compuesto podría provocar algún tipo de efectos en la salud humana si se ingiere o se tiene contacto cutáneo con él. Como resultado de la preocupación sobre los riesgos potenciales a la salud, los estados de California y Nueva York anunciaron la eliminación del MTBE de las gasolinas.

Actualmente, se está usando el MTBE como aditivo en las gasolinas que se comercializan en la ZMVM, por lo que es recomendable analizar las aguas subterráneas de la región para detectar la posible presencia de MTBE, y tratar de estudiar con mayor detalle sus efectos potenciales en la salud.

Comparación de los Combustibles: Gasolina Reformulada/Oxigenada

	Pemex Magna Ciudad de México	EUA Reformulada	EUA California	Europa
Aromáticos, %vol.	23	20	19	30
Olefinas, %vol.	9	7	3	13
Benceno, %vol.	0.9	0.7	0.6	2.2
Azufre, ppm	380	160	30	250
Oxígeno, %peso	1.6	2.0	2.2	0.6

Fuente: NIPER, Motor Gasoline, febrero 1997-98, agosto 1998. CONCAWE, A Survey of European Gasoline Qualities, Verano 1998. Pemex Refinación, 1998.

TABLA 2.3

Comparación de los Combustibles: Diesel Reformulado/Oxigenado

	Pemex Diesel Ciudad de México	EUA Costa Este	EUA Costa Oeste	Europa
Índice de Cetano	55	45	49	51
Aromáticos, %vol.	26	38	23	40
Azufre, ppm	400	320	210	388
Temperatura 90% DFF, C	339	317	310	340

Fuente: Worldwide 1998, Winter Diesel Fuel Quality Survey, Parámetros 1998. Pemex Refinación, 1998.

TABLA 2.4

Desde la década de los ochentas, PEMEX inició una serie de acciones dirigidas a aumentar el volumen y mejorar la calidad de los combustibles que se abastecen en México. Con respecto a la gasolina, la demanda creció de 88 MBD⁵ en 1986 a 111 MBD en 1998. En 1990 se introdujo al mercado la gasolina sin plomo y a fines de 1997 la gasolina con plomo fue completamente eliminada. En 1992 se inició la adición de compuestos oxigenados para mejorar la combustión especificando el contenido de oxígeno de 1 a 2%v (en volumen). Además, la composición de la gasolina fue limitada a 25%v de aromáticos, 10%v de olefinas, 1%v de benceno y 500 ppm de azufre.

En relación con el diesel, el crecimiento de la demanda ha sido menor que para la gasolina: de 22.4 MBD en 1986 se pasó a 23 MBD en 1998. Las especificaciones del diesel de bajo contenido de azufre introducido en 1993 establecen un límite de 500 ppm de azufre y un número de cetano de 48 como mínimo.

Con respecto a los combustibles industriales y servicios, han ocurrido cambios significativos en la oferta de combustibles. Primero, las termoeléctricas de la ZMVM cambiaron totalmente al uso de gas natural en lugar de combustóleo en 1992, a través de un proceso gradual iniciado en 1986. Por otro lado, en 1991 se cerró definitivamente la refinería 18 de Marzo. En 1991 se prohibió el uso de combustóleo (con un alto contenido de azufre) en la ZMVM y en su lugar se introdujo el gasóleo industrial (primero con un límite de azufre del 2%, el cual fue reducido posteriormente a 1.0% como máximo). Hoy en día, ningún combustible tiene un contenido de azufre mayor al 1% y en el futuro cercano éste nivel disminuirá a 0.05%. Las industrias que no usan gas natural y los servicios utilizan principalmente gasóleo (1% de azufre como máximo) y diesel (500 ppm de azufre). Por otra parte, está en construcción la ampliación de la capacidad de la infraestructura de gas natural. Mientras que la demanda de gasóleo industrial y diesel industrial disminuyeron de 34 MBD a 10 MBD, el gas natural creció de 469 MMCFD a 526 MMCFD⁶ entre 1986 y 1998.

Para hacer posibles estos cambios, se han invertido una cantidad significativa de recursos en la infraestructura de refinación, extracción y producción de gas y distribución. Algunos proyectos nuevos han sido iniciados y están en desarrollo. En México se ha alcanzado una importante reducción de emisiones en la ZMVM (y en otras zonas metropolitanas) debidos a los programas de control instrumentados, la aplicación de normas más estrictas, la modernización de la flota y el mejoramiento de la calidad de los combustibles.

La demanda de combustibles continuará en aumento y posiblemente a un ritmo más acelerado debido a las expectativas de crecimiento del país (ver Figura 2.1). Como se ha mencionado, se espera que el PIB aumente muy probablemente al 5% anual promedio o en un escenario de crecimiento moderado en alrededor del 3% promedio anual durante la primera década del siglo XXI. Este ritmo de crecimiento se traducirá en un incremento de al menos 4.2% en la gasolina, 4.8% en el diesel, 7.5% en la turbosina y 4.8% en los principales combustibles industriales (gas natural y combustóleo).

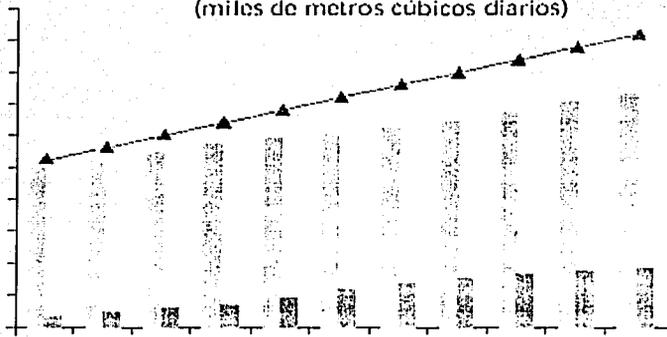
5 MBD – Millones de Barriles Diarios

6 MMCFD – Millones de pies cúbicos por día.

Gasolinas							808	Pemex Premium (Sin plomo / 93)
Extra / Pemex Magna (Sin plomo / 87) Nova (Con plomo / 78)	403 10 %	480 54%	512 8%	570 11 %	649 13 %	808 15 %	85%	Tasa de crecimiento anual compuesto 1989 / 1999 / 2010
	1989	1995	1999	2002	2005	2010		2.4% 4.2%
Diesel							460	Pemex Diesel (0.05% azufre)
Diesel desulfurado (0.5% azufre) Diesel nacional (1% azufre)	194 14 %	228 67%	275 100 %	316 100 %	368 100 %	460 100 %	100%	Tasa de crecimiento anual compuesto 1989 / 1999 / 2010
	1989	1995	1999	2002	2005	2010		3.6% 4.8%

Fig. 2.1 DEMANDA DE COMBUSTIBLES

Estimación del consumo de gas LP y gas natural, 1999-2009
(miles de metros cúbicos diarios)

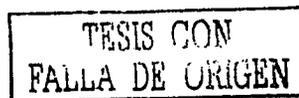


Fuente: Secretaría de Energía con información de Pemex Gas y Petroquímica Básica e Instituto Mexicano del Petróleo

Fig. 2.2

2.5.1 Beneficios del uso de un mejor combustible

Los impactos en la calidad del aire que provocan algunos vehículos están estrechamente ligados con los combustibles que usan. Las mejoras a los combustibles para reducir su contenido de azufre y hacerlos "más limpios" pueden tener un efecto importante en la calidad del aire, aunque no se reduzca el número de kilómetros viajados.



Pemex está realizando inversiones por un monto de aproximadamente 5,800 millones de dólares para modernizar sus refinerías y elevar su producción. Este programa tiene grandes beneficios ambientales potenciales, así como una derrama de beneficios económicos para el país. Los objetivos más importantes del programa de reconversión de las refinerías incluye:

- Producir combustibles de mejor calidad y combustión más limpia
- Reducir las importaciones de gasolina
- Satisfacer la demanda doméstica de gas-avión, diesel, gasolina, y otros combustibles
- E incrementar los rendimientos financieros de sus refinerías.

Además de las estrategias anteriores, valdría la pena analizar la conveniencia de crear condiciones para utilizar el gas natural como combustible alternativo para el sector transporte.

Emisión de Partículas Relativas a:	Gas L.P.	Gas Natural	Gasolina Reformulada	Metanol	Etanol
Diesel	Mucho menor	Mucho menor	Menor	Menor	Menor
Gasolina	Menor	Menor	Similar	Menor	Menor

TABLA 2.5

2.6 Consumo de combustibles en ZMVM

Dado el impacto que tiene el uso de los combustibles fósiles en las emisiones, es importante conocer a detalle la cantidad de energéticos consumidos en la ZMVM. Aún para este factor tan importante existen incertidumbres. En la **tabla 2.6** se muestra una comparación entre los consumos reportados en una base de datos histórica de la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal.

Para el periodo 1996-1998 puede observarse un aumento en el consumo de todos los combustibles en contraste con el periodo 1994 -1996 en el que se observó la disminución en el consumo de gasolinas y gas licuado. También puede observarse la desaparición del

consumo de la gasolina NOVA y una fuerte tendencia a la desaparición del consumo del Diesel Especial.

Consumo de combustibles en la ZMVM (millones de m³/año)

Combustible	TOTAL BASE DE DATOS DE GDF			TOTAL BASE DE DATOS DE GDF		
	1994	1996	% Var.	1996	1998	% Var.
Gas natural	3 050.93	3 525.40	16	3 525.40	ND	ND
Gas LP	3.61	3.35	-7	3.35	3.82	14
Gasolina Nova	4.38	3.04	-26	3.04	0.00	-100
Gasolina Magna	2.61	3.18	22	3.18	6.03	90
Gasolina Premium	0	0.005	NA	0.005	0.40	8 100
Total de gasolina	6.69	6.22	-7	6.22	6.43	3
Diesel de carburación	1.18	1.21	2	1.21	1.32	9
Diesel especial	0.35	0.28	-18	0.28	0.17	-39
Gasóleo	0.26	0.31	18	0.31	0.38	23
Total de destilados intermedios	1.79	1.79	0	1.79	1.86	4

La incertidumbre se estimó en el reporte anterior para el consumo de combustibles en la ZMVM fue de 4.4% para 1994 y del 3.8% para 1996. El equivalente energético del consumo total de combustibles fue de 509 414 61 TJ en 1994 y de 494 404 02 TJ en 1996.

TABLA 2.6

La distribución del consumo por tipo de combustible se muestra en la tabla 2.7 Esta tabla fue elaborada con la información disponible hasta el momento.

Distribución porcentual del consumo de combustibles en la ZMVM

Combustible	Año	
	1994 (%)	1996 (%)
Gas L.P.	13.65	17.66
Gas Natural	24.87	28.34
Gasóleo	1.86	2.23
Diesel especial	2.47	2.05
Diesel Sin	5.46	8.06
Gasolina Nova	25.58	20.34
Gasolina Magna	17.11	21.29
Gasolina Premium	0.00	0.00
	100.00	100.00

TABLA 2.7

En la ZMVM 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 ZMVM se muestra en la Figura 2.3.

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

Es claro que el uso de combustibles representa un consumo energético que, entre otras cosas, repercute fuertemente en la economía nacional. Con relación a esto en la Tabla 2.8 se muestran los consumos energéticos por tipo de combustible, en la ZMVM durante 1990, donde se puede apreciar que las gasolinas presentan el mayor valor.

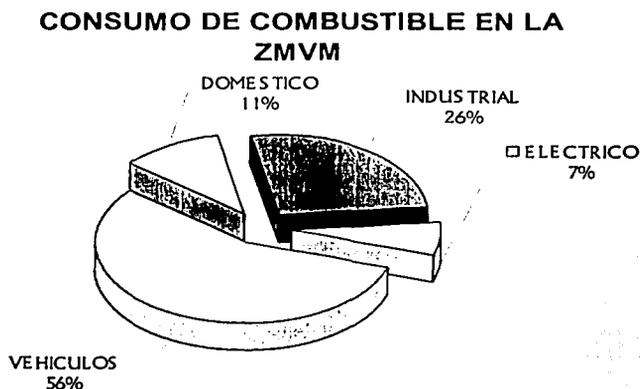


Fig. 2.3. Consumo de combustible en la ZMVM

Fuente: CMPCCAVM

Actualmente en la ZMVM, los vehículos usan como combustible, gasolina Premium, gasolina Magna Sin, diesel Sin, gas licuado de petróleo y en menor medida el gas natural. De acuerdo a datos publicados, el consumo de estos combustibles continua en aumento, con un incremento en el consumo promedio anual del 5.3%.

Consumo de energía por tipo de combustible	
Combustible	10 ¹² 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

TABLA 2.8

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.

2.7 Factores y formulación de combustibles

2.7.1 Gasolinas y Diesel (PEMEX)

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 se da en los procesos de combustión interna.

Los combustibles de la ZMVM, elaborados por Petróleos Mexicanos (PEMEX), contienen características de combustión propias que incluso llegan a ser función de las condiciones geográficas de la ciudad, de acuerdo a sus especificaciones. En las Tablas A.V a A.X del Anexo se muestran las especificaciones más recientes de los principales combustibles para vehículos. Es importante señalar que algunas características de los combustibles, principalmente de las gasolinas, 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.⁷

⁷ ZFN- Zona Fronteriza Norte.

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 ZMVM y otras ciudades con problemas serios de calidad del aire, sin 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 AVIII; Anexo).

La gasolina Nova Plus, representaba el mayor consumo por ser usada en una gran cantidad de vehículos anteriores a 1989 que circulaban en la ciudad, y ésta ha sido sustituida por la gasolina Magna Sin.

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 2.9** muestra la comparación en cuanto a algunos compuestos de las gasolinas de México y EE.UU.

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. Estas especificaciones han reducido las emisiones de SO_2 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 en el ámbito internacional, ya que contiene 10 veces menos azufre que el diesel especial que se utilizaba anteriormente.

Comparación de las gasolinas de México y EE.UU.*					
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 periodo invernal 1993-1994, excepto Premium.

FUENTE: PEMEX.

TABLA 2.9

En general, las gasolinas están formuladas de acuerdo a la capacidad de producción de las refinerías 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 ZMVM 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 del GLP (Gas Licuado de Petróleo) y el Gas Natural Comprimido GNC (Gas Natural Comprimido).

2.8 Uso de combustibles alternativos en MCIA

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 respecto a ciertos 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.⁸

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 México y en el concesionado dentro de la ZMVM y algunas otras ciudades de la República Mexicana. Esta conversión implicó también el uso del convertidor catalítico.

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 NOx respectivamente, así como la eliminación total de emisiones de plomo y emisiones evaporativas.⁹

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. Las baterías suministran energía 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 en las plantas de generación.

En la ZMVM 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 este tipo de vehículos en el Sistema de Transporte Colectivo - **microbuses** -, de los cuales existe

8 Referencia 5, pg.160, 9 Referencia 6, pg. 1-14.

uno desarrollado en el Instituto de Ingeniería de la UNAM. Con dicho prototipo se espera resolver algunos de los problemas que presenta este servicio, principalmente el de la contaminación.

2.9 El proceso de combustión en MEP (Motores de Encendido Provocado) y requerimientos de funcionamiento

Como ya se mencionó anteriormente, 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 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 MCIA 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, considérese 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 causado por diferentes fenómenos.

a) El dosado, dosado absoluto o relación combustible aire (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 o relación estequiométrica (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 ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$) se forman cuando el nitrógeno del aire se combina con él oxígeno excedente a temperaturas altas durante la explosión en el cilindro. El principal gas formado es NO y durante el proceso 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^+ , 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 progresa, deteniéndose a cierta distancia de la superficie ocasionando que la mezcla no se quemara 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.¹⁰

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 auto inflamación del combustible cuando se somete a alta compresión y temperatura.

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.¹¹

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

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.

¹⁰ Referencia 7; pg. 522.

¹¹ Referencia 1

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 2.4**. Fuera de este rango la combustión es anormal, y como consecuencia se incrementan los niveles de emisiones contaminantes.

En la **Figura 2.5** se puede observar como varia la potencia y el consumo específico de combustible al optimizar 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 regimenes estacionarios deben mantener el dosado lo más cercano a la relación estequiométrica, así mismo, en los regimenes transitorios una regulación efectiva a través de los sistemas de carburación o sistemas de inyección permitirán controlar el tiempo de dosificación y las variaciones de la mezcla para que la combustión sea lo más completa posible¹², y se corrijan los dosados lo más rápido posible al valor estequiométrico, sobre todos los factores que lo afectan.

En la **Tabla 2.10** se muestran los dosados estequiométrico de algunos de los principales combustibles utilizados en los MCIAs, como una medida de comparación de los límites de funcionalidad durante el proceso de combustión.

¹² Referencia 1, pg. 357-372

Propiedades de los Combustibles Usuales. ¹³						
Combustible	Poder Calorífico kJ/kg	Límite de inflamabilidad F_R	Dosado Estequiométrico	RON	MON	No. Cetano
Gasolina (super).	43700	0.7 - 2.5	1/14.9	97	85	-
Gasolina (normal)	43700	0.7 - 2.5	1/14.9	92	80	-
Gasóleo - auto.	43200	0.74 - 2.1	1/14.5	-	-	50
Diesel pesado	41000	0.74 - 2.1	1/14.6	-	-	40
GLP	45900	0.6 - 2.5	1/15.5	100	95	-
Metanol	19700	0.5 - 2.9	1/6.4	110	92	3
Etanol	26800	0.5 - 2.9	1/9	110	89	6

TABLA 2.10

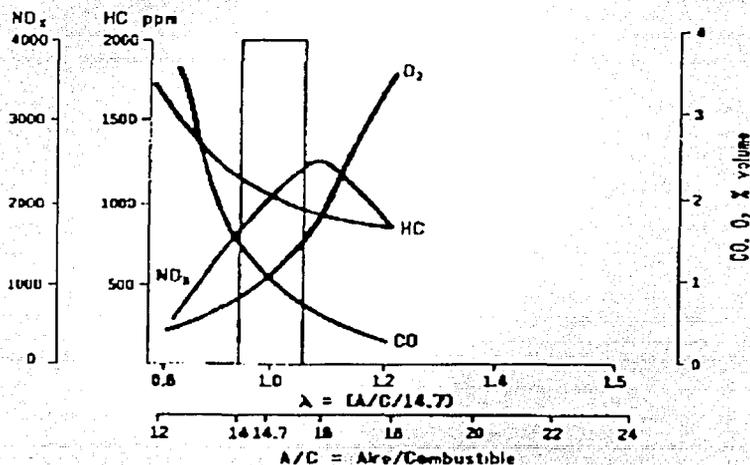


Fig. 2.4. Emisiones contaminantes generadas por un motor a gasolina para diferentes valores de la razón aire / combustible introducida por el carburador.¹⁴

¹³ Referencia 1, pg. 253

¹⁴ Referencia 8, pg. 62

¹⁵ Referencia 8, pg. 63

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

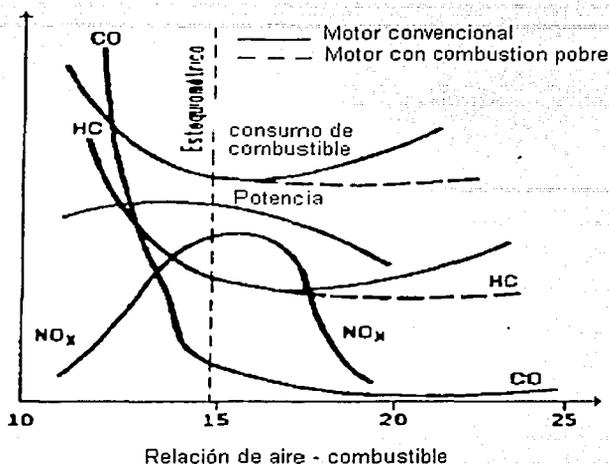


Fig. 2.5. Potencia, rendimiento y emisiones en motores de gasolina como función de la razón aire / combustible introducida por el carburador. ¹⁵

2.10 Unidad de medida

La diversidad de unidades en las que se miden los energéticos (toneladas, barriles, watts, etcétera) impide la comparación directa, por lo que es necesario adoptar una unidad común para las distintas fuentes de energía.

En el Balance Nacional de Energía se utiliza el joule (J) como unidad común, de acuerdo con la Ley Federal sobre Metrología y Normalización. En ella se establece que en los Estados Unidos Mexicanos, el Sistema General de Unidades de Medida es el único legal de uso obligatorio y determina que la cantidad de calor y de energía deben medirse en joules (Es la cantidad de energía que se utiliza para mover un kilogramo masa un metro de distancia, aplicando una aceleración de un metro por segundo cada segundo).

Balance del Consumo Final de Energía en la ZMVM en 1996

	SECTOR INDUSTRIAL	SECTOR TRANSPORTE	SECTOR COM. Y PÚBLICO	SECTOR AGRO-PECUARIO	CONSUMO FINAL	CONSUMO FINAL (Porcentaje)
Gas Natural	88.1		3.0		91.0	18.1%
Hidrocarburos	0.0		3.0	0.0	3.1	0.6%
Combustibles Sólidos			19.4		19.4	3.9%
Total Energía Primaria	88.1		23.0	0.0	111.1	19.5%
Gas Licuado	4.5	10.6	87.1	0.3	102.5	18.0%
Gasolina Magna		106.1			106.1	18.6%
Gasolina Premium		0.2			0.2	0.0%
Gasolina Nova		100.9			100.9	17.7%
Diésel Sir		42.5			42.5	7.5%
Otros Intermedios		12.5			12.5	2.2%
Combustibles Industriales	23.0			0.7	23.7	4.2%
Electricidad	30.8	3.1	30.1	0.0	70.1	12.3%
Total Energía Secundaria	64.3	276.0	117.2	1.0	458.5	80.5%
Total Energía	152.4	276.0	140.2	1.0	569.6	100.0%
Porcentaje	26.8%	48.4%	24.6%	0.2%	100.0%	

Fuente: Banzan et al (2000).

TABLA 2.11

CAPITULO III. INSTRUMENTACIÓN E INSTALACIÓN EN LOS VEHÍCULOS.

El motor térmico permite obtener energía mecánica a partir de la energía térmica normalmente almacenada en un fluido, mediante un proceso de combustión, si el estado térmico se genera en el "propio motor", se habla de un motor de combustión interna (M.C.I.), si la transmisión de trabajo se efectúa mediante el desplazamiento lineal de un émbolo, el motor se llamará alternativo, es decir, motor de combustión interna alternativo (M.C.I.A.).

Los M.C.I.A. han experimentado un gran desarrollo, principalmente en el transporte, tanto terrestre como marítimo. En la actualidad los M.C.I.A. tiene casi por completo el monopolio del transporte. En este sentido es fácil imaginar que reviste una gran importancia el poder reproducir en un laboratorio la forma típica de conducir en una región o ciudad en particular.

El desarrollo de un ciclo de manejo representativo de un país o de una ciudad, tiene como base un estudio estadístico de diversos parámetros de funcionamiento vehicular, obtenidos a través de muestreos en condiciones reales de circulación.

Por ello la importancia de conocer los parámetros más representativos que intervienen en el funcionamiento de vehículos en circulación a través de la instrumentación, dado que el buen funcionamiento del vehículo esta regido por parámetros que influyen en la comodidad de manejo, la economía de combustible y la emisión de contaminantes.

En el caso particular de este trabajo, sé monitoreó, mediante vehículos instrumentados, parámetros tales como: velocidad lineal, consumo de combustible, temperatura del aceite lubricante del motor, así como el tiempo de cada uno de los recorridos. Es pues el propósito de este capítulo abordar el tema de la instrumentación que se uso en este estudio.

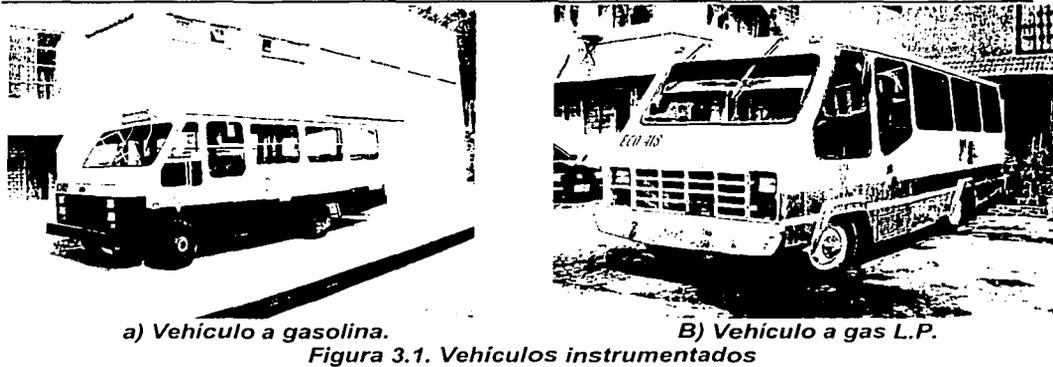
3.1.- VEHÍCULOS INSTRUMENTADOS.

Dados los alcances del presente proyecto, se pensó en elaborar dos ciclos de manejo representativos del transporte público de pasajeros con itinerario fijo: el primero para vehículos a gasolina y el segundo para vehículos a gas licuado del petróleo. La tabla 3.1 muestra las características de los vehículos instrumentados.

	A GASOLINA	A GAS LICUADO DEL PETROLEO
MARCA	CHEVROLET	CHEVROLET
DENOMINACION	MICROBUS 350	MICROBUS 350
MODELO	1991	1992
CARROCERIA	SERCASE	ALFA
No. DE PASAJEROS	25	27
MOTOR		
TIPO	V8	V8
DESPLAZAMIENTO	350 P.C.D. (5.7 LTS.)	350 P.C.D. (5.7 LTS.)
POTENCIA	270 H.P. @ 4800 RPM	270 H.P. @ 4800 RPM
FUERZA DE TORSION	360 LB/FT @ 3200 RPM	360 LB/FT @ 3200 RPM
DIÁMETRO DEL PISTÓN	4.00"	4.00"
CARRERA DEL PISTON	3.48"	3.48"
RELACION DE COMPRESION	8.5:1	8.5:1
ORDEN DE ENCENDIDO	1-8-4-3-6-5-7-2	1-8-4-3-6-5-7-2
INYECCION DE COMBUSTIBLE	MEDIANTE BOMBA ELECTRICA QUE SE ENCUENTRA DENTRO DEL TANQUE, HACIA EL SISTEMA TBI	MEDIANTE LA PRESION DEL GAS ALMACENADO EN TANQUE, PASANDO POR UN EVAPORADOR HACIA EL MEZCLADOR.

Tabla 3.1. Características de los vehículos instrumentados

(*) Fuente: Manual de Datos Técnicos para motores a gasolina TF Victor, 12ª Edición P.C.D. (Pulgadas Cubicas de Desplazamiento)



3.2.- VELOCIDAD LINEAL DEL VEHICULO.

Conocer la velocidad en el vehículo ofrece una referencia muy clara de la condición de manejo y si combinamos esta información con la velocidad de giro del motor (régimen), el conductor tendrá un conocimiento casi completo del funcionamiento del motor.

3.2.1.- TRANSDUCTOR DE EFECTO HALL

El efecto Hall fue observado por primera vez en 1879 por el físico H.F. Hall, el principio del efecto Hall se indica en la Figura 3.2. Al colocar un conductor dentro de una placa semiconductora de espesor t se hace circular una corriente por dicho conductor, al aplicar un campo magnético en la placa en dirección perpendicular a la superficie de la misma, se genera un potencial E_H como lo ilustra la Figura 3.2, a este potencial se le conoce como voltaje Hall y es descrito por la ecuación (3.1).

$$E_H = K_H \frac{IB}{t} \quad (3.1)$$

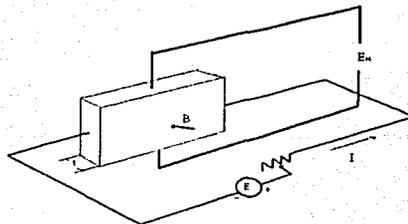


Figura 3.2. Efecto Hall

Se puede aprovechar el principio de operación del sensor de efecto Hall, para determinar velocidad lineal a partir de una velocidad angular, ya que funciona como un interruptor, en ausencia de campo magnético encontramos un nivel de voltaje alto (estado lógico 1), en presencia de campo magnético encontramos un nivel de voltaje bajo (estado lógico 0). Si se colocan una serie de imanes en un elemento que tenga una cierta velocidad angular y si se coloca un sensor Hall cerca de dicho elemento, cada vez que pase un imán cerca del sensor este cambiará de estado, por lo que el sensor Hall nos entregará como señal de salida una serie de pulsos, con dos niveles de voltaje: 5 V sin presencia de campo magnético y 0 V en presencia de campo magnético, dichos pulsos tendrán una cierta frecuencia la cual nos permitirá determinar la velocidad angular del elemento que soporta a los imanes, a partir de la velocidad angular podemos determinar la velocidad lineal con la ecuación (3.2).

$$V = \omega r \quad (3.2)$$

Donde V es la velocidad lineal, ω la velocidad angular y r el radio del elemento que soporta a los imanes.

Sabemos que $\omega = 2\pi f$, donde f es la frecuencia y la representa la ecuación (3.3).

$$f = f_0 / n \quad (3.3)$$

f_0 es la frecuencia que nos entrega el sensor y n es el número de imanes colocados en el tambor del vehículo.

Finalmente la ecuación (3.2) puede ser escrita de la siguiente forma.

$$V = 2 \pi f r \quad (3.4)$$

Con la ecuación (3.4) se puede determinar la velocidad lineal a partir de la velocidad angular, ésta a su vez involucra a la frecuencia y al número de imanes que se coloquen en el tambor del vehículo y del radio de la llanta del mismo. Es importante resaltar que el error que se comete al determinar la velocidad del vehículo se reduce si se aumenta el número de imanes.

3.2.2.- INSTALACIÓN DE IMANES Y SENSOR DE EFECTO HALL

El sensor efecto Hall se colocó sobre un soporte metálico, que a su vez fue colocado sobre el calliper de la rueda delantera derecha del vehículo, y dado que la medición de la velocidad lineal se basa en un principio magnético, fue necesario la instalación de imanes en la

masa del disco, esto se hizo dividiendo exactamente el perímetro de esta masa en 8 puntos, en los cuales se colocaron dichos imanes, utilizando para ello una resina epóxica.

Los sensores de efecto Hall empleados en la medición de este parámetro fueron de la marca *Panasonic* (DN6848-ND).

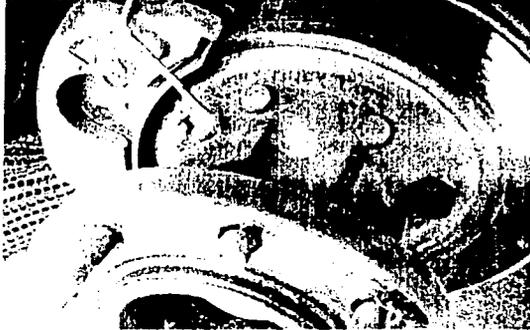


Figura 3.3. Sensor de efecto Hall e imanes instalados en el vehículo

3.3.- IMPORTANCIA MEDICION DE TEMPERATURAS

Con instrumentación de relativa sencillez es posible la medición de temperaturas en distinto sistemas del motor, como el del aceite de lubricación, del combustible, del agua de refrigeración, etc.

La temperatura del aceite de lubricación del motor es de gran importancia por la influencia que tiene el aceite sobre las pérdidas mecánicas en el motor y por tanto sobre el rendimiento efectivo del mismo, además de evitar el desgaste y de que contribuye a la refrigeración de dicho motor.

Respecto a la temperatura del combustible, se puede decir que su control es necesario para facilitar la estabilidad del sistema de alimentación. Si la temperatura de la gasolina cambia, también cambia su densidad o incluso puede evaporarse (al menos una parte) y generar problemas en el sistema de suministro a los cilindros del motor, e incluso proporcionar una mezcla pobre, por lo tanto es importante su medición permitiendo enriquecer la mezcla cuando el combustible llega a una temperatura predeterminada.

3.3.1.- TRANSDUCTORES DE TEMPERATURA

Existe una gran variedad de transductores para medir temperatura. Algunos de ellos convierten directamente la temperatura en una señal eléctrica, mientras que en otros deben emplearse en combinación con un transductor eléctrico para convertir la indicación de temperatura en alguna forma eléctrica. Los transductores más comunes son:

- Bandas bimetálicas.
- Termopares.
- Detectores de temperatura resistivos (RTD).
- Termistores.
- Sensores de *semiconductor*.
- Pirómetros de radiación.

Hay muchos tipos de transductores sensores de temperatura que aprovechan las propiedades físicas de los materiales semiconductores. Los más comunes son: las resistencias semiconductoras volumétricas, los diodos semiconductores y los circuitos integrados.

- Los transductores de temperatura semiconductores más sencillos son sólo fragmentos de silicio. Son baratos, razonablemente lineales de -65 hasta $+200$ °C. Físicamente tiene el aspecto de resistencias de $\frac{1}{4}$ W y su resistencia nominal va desde 10Ω hasta $10K\Omega$. Al igual que los detectores de resistencia para temperatura, las resistencias de silicio se pueden emplear en circuitos en puente.
- Los diodos semiconductores se emplean para medir la temperatura ya que su potencial de juntura es proporcional a la temperatura del diodo. En los diodos de silicio, se manifiesta un cambio en el potencial de juntura. Los sensores de temperatura de diodos son baratos, tienen respuesta rápida y son muy útiles en temperatura desde -40 hasta 150 °C.
- Los circuitos integrados para medición de temperatura también se consiguen comercialmente. Un ejemplo muy común de esos dispositivos, es el AD590 de *Analog Devices*. Este sensor es un dispositivo de dos terminales en el cual la corriente que pasa a través del dispositivo es numéricamente igual a la temperatura absoluta. Esto es, si la temperatura del dispositivo es 218 Kelvin, una corriente de $218 \mu A$ pasa a través del AD590. La fuente de excitación que necesita el AD590 es sólo una fuente de voltaje que

suministra de +4 hasta +30 volts. El AD590 tiene muchas aplicaciones porque posee las ventajas de fácil uso, alta linealidad y bajo voltaje de excitación. Por último como la salida esta en forma de corriente, se pueden emplear conductores largos sin introducir errores debidos a caídas de voltaje o voltaje inducido de ruido.

3.3.2.- TEMPERATURA DEL LUBRICANTE (ACEITE DEL MOTOR) Y DEL COMBUSTIBLE (GAS L.P)

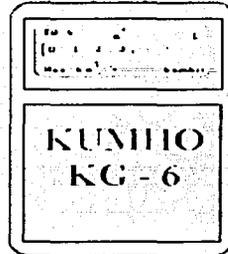
Para medir la temperatura del aceite del motor, así como la del combustible y ambiente se utilizo un sensor de temperatura circuito integrado LM 135A, este sensor entrega un nivel de voltaje de corriente directa para una temperatura fija, el sensor que se utilizó para medir la temperatura entrega 10 mV/°K. Este tipo de sensor tiene la ventaja de que presentan un comportamiento lineal, por lo que podemos inferir el nivel de voltaje que corresponde a cada valor de temperatura, el cual puede cuantificar un rango de $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, éste se instalo en el conducto de la varilla (bayoneta) con que se mide el nivel de aceite del vehículo.



Figura 3.4. Sensor de Temperatura instalado en el vehículo

La temperatura del Gas L.P fue medida utilizando un semiconductor de encapsulado metálico cuya denominación es LM135A, su calibración es realizada directamente en K, tiene resolución de 1°C , puede cuantificar un rango de $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta 150°C y otorga hasta un sobrerango de 200°C , éste se instaló a la entrada del mezclador en el conducto de combustible.

TERMOPOZO
(T°C DEL G.L.P.)



MEDIDOR DE FLUJO

Figura 3.5. Instalación del sensor de temperatura en el medidor de combustible de Gas L.P.

3.4.- MEDICIÓN DEL FLUJO DE COMBUSTIBLE.

Con la instrumentación adecuada es posible conocer el consumo de combustible para diferentes condiciones de manejo, logrando obtener lecturas de gasto puntual o total, dependiendo de las necesidades de análisis que se tengan.

Se sabe que el medidor de flujo ideal debe ser no intrusivo, barato, tener exactitud absoluta, repetibilidad infinita y funcionar por siempre sin requerir mantenimiento". Desafortunadamente este dispositivo todavía no existe aunque algunos fabricantes se han acercado bastante a este ideal.

Una medición de flujo precisa, presenta muchos y variados problemas. Se puede medir como una cantidad volumétrica o como una velocidad instantánea (que se convierte en una razón de flujo).

Al examinar la figura 3.6 se puede establecer la interdependencia entre estos aspectos.

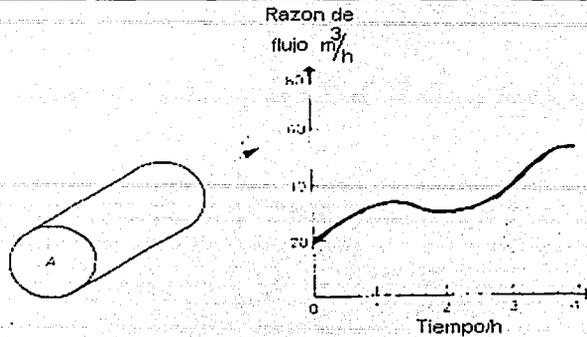


Figura. 3.6 Gráfica tiempo-gasto

$$\text{Gasto volumétrico} = \text{velocidad} \times \text{área} = \frac{m}{s} \cdot m^2 = \frac{m^3}{s}$$

$$\text{Volumen total medido} = \text{razón de flujo} \times \text{tiempo} = \frac{m^3}{s} \cdot s = m^3$$

Si se registra el gasto volumétrico por un periodo de tiempo, la cantidad es igual al área bajo la curva. Esto se puede establecer automáticamente por muchos instrumentos y al proceso se le llama integración.

En cuanto a la selección de medidores de flujo, es necesario un proceso de selección para hallar cuál es el medidor que brinda la mejor solución para un problema de medición específico. Algunos de los principales criterios que son necesarios tomar en cuenta para elegir los medidores de flujo son:

➤ **Principio de Operación.**

Partiendo del principio de operación, los medidores se clasifican de forma general en medidores gravimétricos y volumétricos.

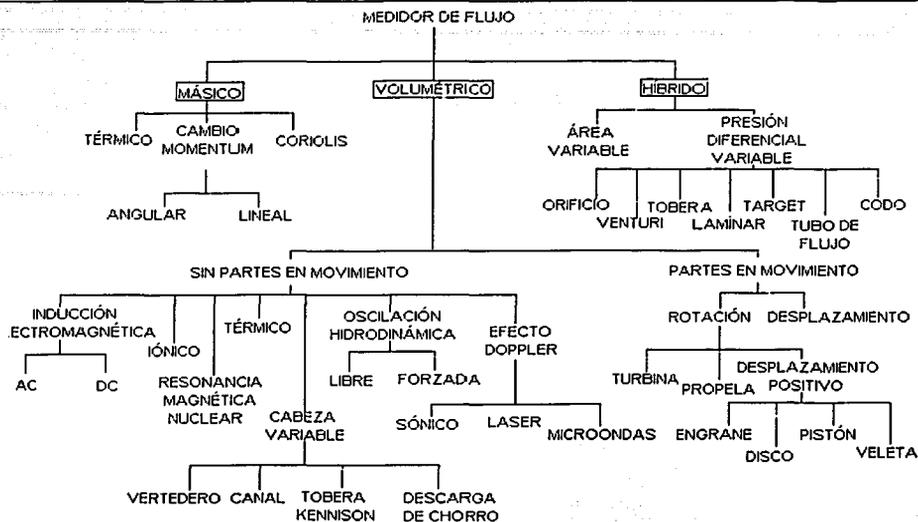


Figura 3.7. Familia de medidores de flujo.

➤ **Compatibilidad de los fluidos.**

Otra área de consideración importante es la compatibilidad del fluido con los materiales de construcción del medidor. En muchas aplicaciones la selección del material correcto es vital. Algunos medidores están disponibles en materiales de construcción resistentes a la corrosión y esto puede ser un factor determinante para darle la prioridad en determinadas aplicaciones.

➤ **Tipo de fluido.**

En lo que se requiere al estado del fluido los medidores de flujo también pueden ser clasificados por su facilidad para manejar algún tipo de fluido en particular. Una guía para marcar una selección sobre esto es mostrada en la tabla 3.2, donde se observan diferentes medidores clasificados por su capacidad para medir el flujo según el estado físico en el que este se encuentre.

LÍQUIDO	GAS	VAPOR	LECHADAS
ÁREA VARIABLE	ÁREA VARIABLE	ÁREA VARIABLE	MAGNÉTICO
PRESIÓN DIFERENCIAL VARIABLE	PRESIÓN DIFERENCIAL VARIABLE	PRESIÓN DIFERENCIAL VARIABLE	ULTRASÓNICO DOPPLER
DESPLAZAMIENTO POSITIVO	DESPLAZAMIENTO POSITIVO		PRESIÓN DIFERENCIAL VARIABLE
MAGNÉTICO			
TURBINA	TURBINA	TURBINA	
ULTRASÓNICO	OSCILADOR		
TÉRMICO	TÉRMICO		
OSCILADOR		OSCILADOR	
CORIOLIS			

Tabla 3.2. Categorización de los medidores de flujo por aplicación.

➤ **Limpieza del fluido.**

La limpieza o suciedad de los fluidos es un criterio más que debe tomarse en cuenta, tiene un efecto sobre la selección óptima del medidor de flujo según su aplicación. Como una regla general los medidores con partes en movimiento tienen tolerancias muy bajas de sólidos, particularmente partículas abrasivas y fibras. La tabla 3.3 muestra una lista de medidores y algunas características que deben tener según el tipo de fluido que se requiere medir.

➤ **Propiedades de los fluidos.**

Otras propiedades de fluidos pueden ser importantes para ciertos tipos de medidores. Esas propiedades están más allá de algunas que son consideradas inevitables, tales como temperatura, presión, densidad y viscosidad. Un ejemplo de este tipo de propiedades especiales, son los cambios físicos y/o químicos que pueda presentar el fluido con el paso del tiempo y/o los cambios de temperatura.

	APLICACIONES							CARACTERISTICAS											
	LÍQUIDO LIMPIO	LÍQUIDO SUCIO	LÍQUIDO VISCOSO	CORROSIVO	LÓLIDOS	GAS LIMPIO	GAS SUCIO	VAPOR	TAMAÑO DISPONIBLE	EXACTITUD	REACCIBILIDAD	RANGE	LEÍDO VISCOSO	ERRORES DE PRECISIÓN	COSTO RELATIVO	TUBERÍA REQUERIDA	CORRIENTE ALTERNIA	INSTALACION	MANTENIMIENTO
PLACA DE ORIFICIO	●					●		●	> 1'	3/4 %	3/1	> 30.000	H	H	L	10-30D	M-H	M-H	✓
ORIFICIO INTEGRAL	●					●		●	1', 1.5'	2%	3/1	> 10.000	H	H	L	10-30D	L	M-H	✓
CURA			○	○	○	●	●	●	> .5'	1/2 %	3/1	> 500.	H	M	H	10-30D	L	L	✓
TOBERA DE FLUJO	●	○	○	○	○	●	○	○	> 2'	1-1/2%	3/1	> 75.000	H	M	M	10-30D	M	L	✓
TUBO VENTURI	●	○	○	○	○	●	○	○	> 2'	1 %	3/1	> 75.000	H	L	H	5-10D	M	L	✓
CODO	●	○	○	○	○	●	○	○	> 2'	5 %	3/1	> 10.000	H	L	L	N	M	L	✓
PITOT VENTURI	○					●			> 6'	3 %	3/1	> 100.000	H	L	L	20-30D	M	L	✓
PITOT	●		○	○		●			> 3'	3 %	3/1	> 100.000	H	L	L	20-30D	M	L	✓
FLOBAR	●	○	○	○	○	●	○	●	> .5'	1 %	3/1	> 40.000	H	L	L	10-20D	L	L	✓
MAGNETICO	●	●	●	●	●				> .1'	1/2 %	10/1	N	N	L	H	5D	H	M	LINEAR
ROTAMETRO	●		○			●	○	○	≤ 3'	2 %	10/1	N	M	M	L	N	L	L	LINEAR
TURBINA	●		○			●			> .25'	1/2 %	10/1 TO 50/1	< 2-15 cSt	H	H	M	10-20D	L	M-H	LINEAR
DESPLAZAMIENTO POSITIVO	●	○	○	○	○	●			< 12'	1 %	20/1	< 8000 cSt	N	M	H	N	H	H	LINEAR
VORTEX SHEDDING	●	○	○	○	○	●	○	○	> 1'	1 %	20/1	> 10.000	N	M	M	15-25D	M	M	LINEAR
DOPPLER	○	○	○	○	○				> .5'	2-5 %	10/1	N	N	L	M	5-20D	L	L	LINEAR
TIEMPO TRANSIENTE	●	○	○	○	○				> .5'	2-5 %	10/1	N	N	L	M	5-20D	L	L	LINEAR
MASICO	●	●	○	○	○	●	○		< 6'	1/4 %	25/1	N	N	H	H	N	H	L-M	LINEAR
TARGET	●	●	○	○	○	●	●		> .5'-4'	1-1/2-3%	10/1	> 100	M	H	M	10-20D	L	M	✓

● RECOMENDADO
○ LIMITADO A LA APLICACION
□ NO RECOMENDADO

N-NINGUNO
L-BAJO
M-MEDIO
H-ALTO

Tabla 3.3. Guía de selección para un medidor de flujo.

3.4.1.- MEDIDOR DE FLUJO INSTALADO EN EL VEHÍCULO A GASOLINA.

Un tipo de medidores de pistón oscilante usado para agua doméstica tiene capacidad para manejar fluidos limpios, viscosos y corrosivos. Este medidor tiene exactitud de + 0.2%.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

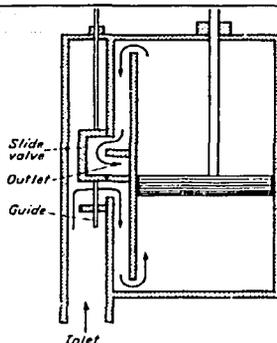


Figura 3.8. Medidor de pistón oscilante o recíprocante

3.4.2.- CARACTERIZACIÓN DEL MEDIDOR DE FLUJO DE COMBUSTIBLE (GASOLINA) "ROMESS ELECTRONIC" DEL VEHÍCULO.

La calibración de este medidor de flujo se realizó mediante dos procedimientos: el primero fue homologando con un medidor de flujo (AAB K FLOW INC.) instalado en el Laboratorio de Control de Emisiones (L.C.E).

Para esta calibración se creó un circuito de combustible cerrado, utilizando para ello un depósito de combustible, el combustible se hizo pasar por este circuito mediante la instalación de una bomba de combustible; aunado a esto se instalaron en serie ambos medidores de combustible (el del LCE y el que se utilizaría en la instrumentación del vehículo), además, se instaló una válvula para regular el gasto de combustible que pasaría por este circuito.

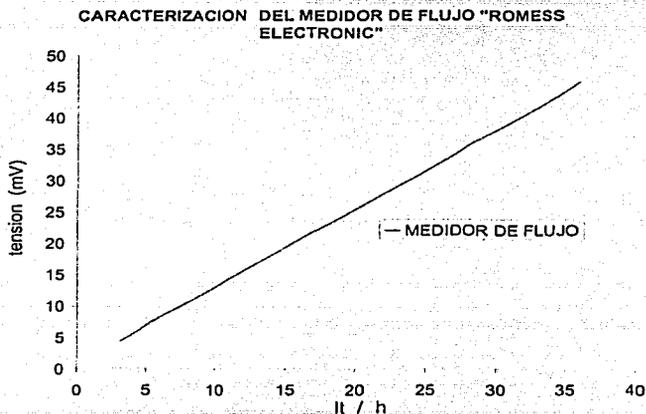
Durante la calibración se tomaron lecturas en ambos medidores de flujo para diferentes gastos de combustible para finalmente obtener la curva de calibración de este medidor de flujo, de la cual se encontró una linealidad para un rango de entre 5 y 30 (l/hr), y fuera de este rango las lecturas no son confiables.

Dado lo anterior se realizó un **segundo procedimiento** de calibración de este medidor de flujo, el cual consistió en crear un circuito de combustible abierto; en este se tuvo el depósito de combustible con la bomba para impulsar el combustible y en el punto final un vaso de precipitados.

El objeto de esto fue medir el tiempo en el que pasaba un volumen previamente establecido y medido en el vaso de precipitados y tomar la lectura de este medidor. Para este procedimiento se tomaron lecturas para diferentes gastos de combustible y para diferentes volúmenes establecidos.

De esta información se realizó una segunda curva de calibración, de la cual se observó, de igual manera, que este medidor es confiable para un rango de 5 a 30 l/hr.

Posteriormente, se procedió a instalar este medidor de flujo en el vehículo a monitorear para conocer el rango real de operación al que estará sometido este medidor de flujo y saber así si este medidor de flujo nos servirá para la medición del consumo de combustible.



Gráfica No. 1 Calibración del medidor de gasolina.

De estas pruebas se observó que el rango real de operación del vehículo está entre los 3 y 30 l/hr; la lectura de 3 l/hr se da en marcha mínima del motor y extraordinariamente, se tienen picos de 35 l/hr.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

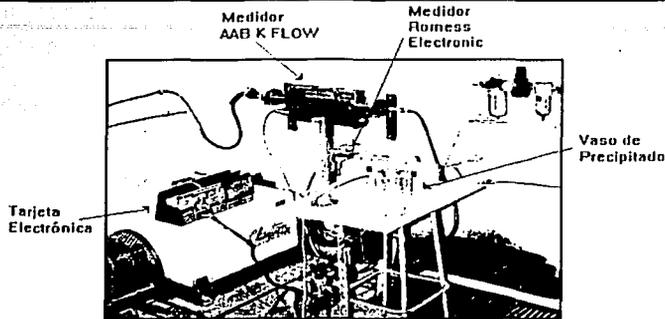


Figura 3.9. Caracterización de medidor de gasolina

Con lo anterior se determinó que el medidor de flujo es factible de ser utilizado en la medición del consumo de combustible del vehículo a monitorear.

3.4.3.- INSTALACIÓN DE MEDIDOR DE FLUJO PARA GASOLINA

El consumo de combustible de gasolina, es medido a través de un medidor de flujo analógico, con el cual se tiene la posibilidad de medir el consumo de combustible instantáneo (lt/hr) y el consumo de combustible total (lt). Este medidor de flujo se encuentra instalado en serie en la línea de combustible del vehículo.

El medidor de flujo consta de dos elementos principales, el sistema electrónico y un sistema de medición mecánico de desplazamiento positivo.



Figura 3.10. Esquema del medidor de gasolina "Romess Electronic"

Se debió desmontar el medidor de flujo de todo el sistema, por facilidad en la instalación al motor, y a su vez la tarjeta electrónica se coloca junto al sistema adquirente de datos; una vez analizadas las posibilidades de instalación del medidor de flujo y sin percibir posibles

consecuencias éste se colocó junto a la batería del vehículo aproximadamente 30 cm por encima del carburador.

Un problema que se presentó, fue el gasto excesivo de combustible en el vehículo, se logró determinar que se debía a la incorrecta colocación del medidor de flujo que exigía una carga fuera de diseño a la bomba de combustible, por lo cual la bomba se dañó y la razón del excesivo gasto de combustible era la presión hidrostática que significaban 30 cm de combustible desde el medidor hasta el carburador, el cual recibía una mayor cantidad de combustible del que por diseño se requería, así que sólo hubo necesidad de modificar la posición de dicho medidor para que se normalizara el consumo.

3.4.4.- MEDIDOR DE FLUJO INSTALADO EN EL VEHÍCULO A GAS L.P.

Los medidores de desplazamiento positivo dividen el flujo de líquido en volúmenes conocidos, basado sobre el dimensionamiento del medidor, y que son contados o totalizados.

Estos son medidores mecánicos con partes en movimiento localizados en la corriente de flujo. La energía para accionarlos es extraída de la corriente de flujo por lo que hay pérdidas de presión en este tipo de medidor.

La exactitud depende de la minimización de claros entre las partes en movimiento y la carcasa, maximizando además los senderos de fugas. Por tal motivo la exactitud es mayor al aumentar el tamaño del medidor.

Los medidores de desplazamiento para servicio de gas son ampliamente usados en las compañías gaseras, en servicios de gas natural.

En general todos los medidores de desplazamiento de gas pueden ser usados para medir cualquier gas seco y limpio. El polvo y la humedad son factores en contra de la funcionalidad de estos medidores, por lo que generalmente se tiene un filtro a la entrada del medidor.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

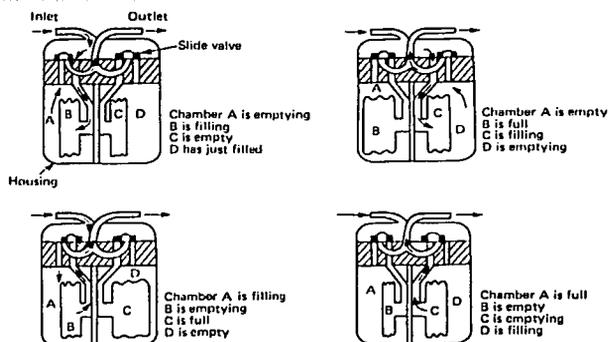


Figura 3.11. Medidor tipo de diafragma

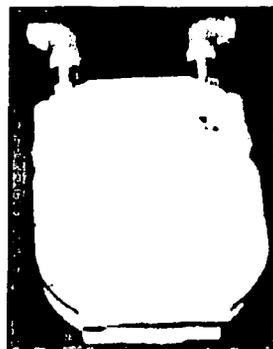


Figura 3.12. Medidor Kumho

Todos los gases cambian de volumen con la presión y la temperatura. Estas fuentes de error pueden ser corregidas por un compensador de temperatura.

Los tipos de medidores usados son el de diafragma para fluidos de poco volumen ($0.03 \text{ m}^3/\text{h}$)

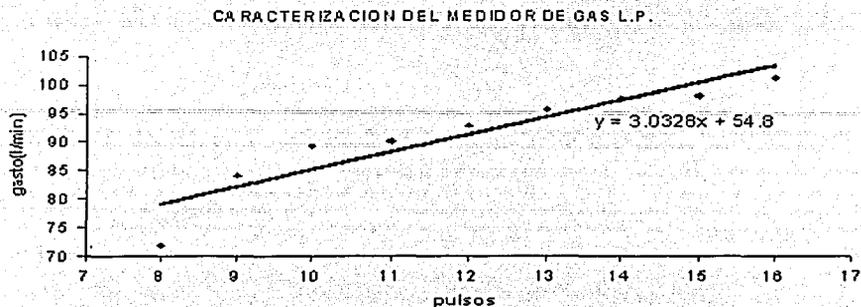
3.4.5.- CARACTERIZACIÓN DEL MEDIDOR DE FLUJO DE GAS L.P

La calibración de este medidor de flujo se realizó comparándolo con un medidor de flujo (PROBAR FLOWMETER) instalado en el Laboratorio de Control de Emisiones (L.C.E).

Para esta calibración se instaló en el circuito de combustible del Banco de Motor el "Medidor Kumho" que se utilizó en la instrumentación del vehículo; en serie con el medidor de combustible "ProBar".

Durante la calibración se tomaron lecturas en ambos medidores de flujo, para diferentes gastos de combustible, del medidor Kumho a través de la instrumentación electrónica con el SAD (SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS) se obtiene un tren de pulsos, los cuales se comparan con las lecturas tomadas del medidor de gasto ProBar en $\left[\frac{l}{min} \right]$ de Gas L.P vapor, así se obtiene el gasto de manera puntual.

De esta información se realizó una curva de calibración la cual se muestra a continuación:



Gráfica No. 2 Calibración del medidor de Gas L.P.

Posteriormente, se procedió a instalar este medidor de flujo en el vehículo a monitorear para conocer el rango real de operación al que estará sometido este medidor de flujo y saber así si este medidor de flujo nos servirá para la medición del consumo de combustible.

De estas pruebas se observó que el rango real de operación del vehículo esta entre lo 1 y 180.

Con lo anterior se determino que el medidor de flujo es factible de ser utilizado en la medición del consumo de combustible del vehículo a monitorear.

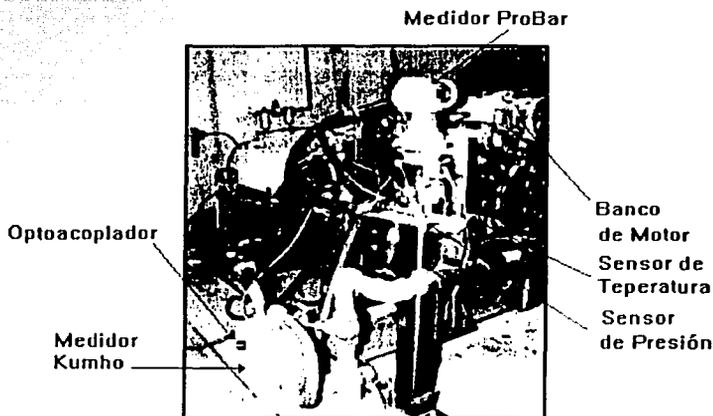


Figura 3.13. Calibración del medidor de Gas L.P (Kumho)

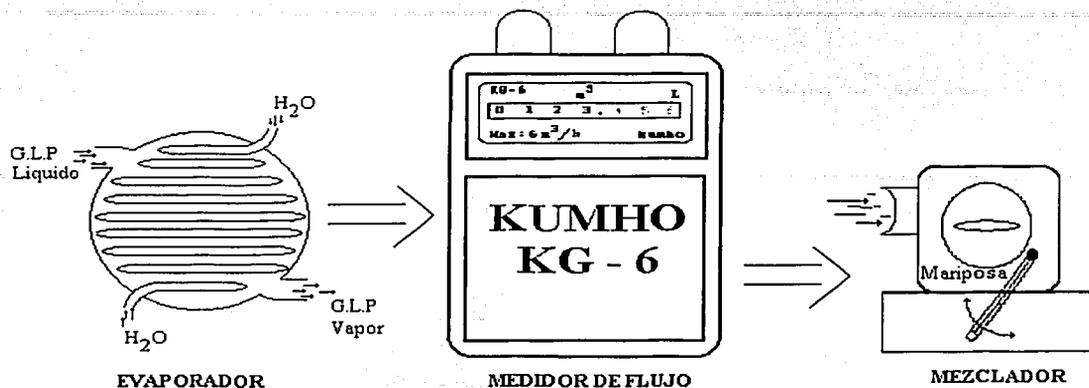


Figura 3.14. Esquema de instalación del medidor de flujo en vehículo de G.L.P

3.4.6.- INSTALACIÓN DE MEDIDOR DE FLUJO PARA GAS L.P

Para medir el gasto de combustible del microbús es imposible utilizar el medidor "ProBar Flowmeter" instalado en LCE (Laboratorio De Control De Emisiones), debido a que éste no se encuentra capacitado para trabajar bajo altas vibraciones y requiere de corriente alterna.

Debido a esto, hubo la necesidad de conseguir otro medidor de flujo de gas en el mercado nacional, dado que los ya existentes para este fin son extranjeros y de costo muy alto. Se encontró que en México se utilizan por lo general un tipo medidores de volumen de desplazamiento positivo con principio de funcionamiento de diafragma y su lectura es totalitaria con base en un reloj mecánico, son de marca **KUMHO KG-6**, de tres capacidades, el doméstico que admite un flujo de hasta 2.4 m³/h, el comercial 3.3 m³/h, y el industrial de 6 m³/h, su costo es razonablemente más bajo que el de los medidores extranjeros, se calculó si el más grande soportaba el gasto de combustible en carga y si podría medir en ralentí, se adquirió tal medidor y se instaló en un banco de motor del LCE, se ensayo con el fin de conocer su comportamiento bajo distintas condiciones ya que el medidor no esta diseñado para este fin; con base en dichos ensayos se determinó que era factible su uso en esta investigación.

La instrumentación electrónica de éste se desarrolló en el Laboratorio de Control de Emisiones (LCE); se decidió implantar un sensor óptico por fuera del medidor, pegado al vidrio

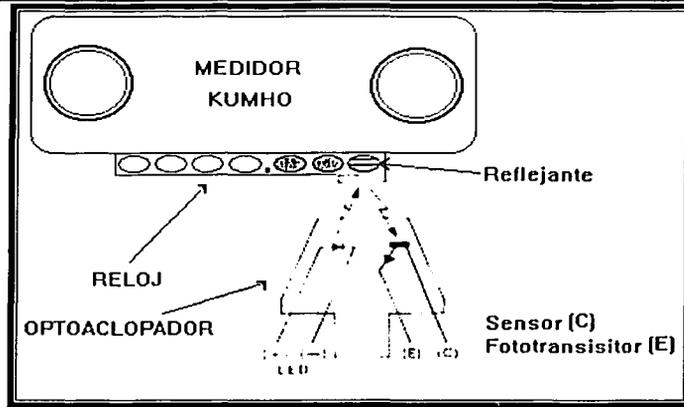


Figura 3.16. 1^{er} Acoplamiento al medidor de Gas L.P.
(Vista superior)

3.4.8.- 2^a PROPUESTA DE ACOPLAMIENTO AL MEDIDOR DE G.L.P.

OPTOACOPLADORES (FUNCIONAMIENTO BÁSICO)

Un optoacoplador es un dispositivo electrónico formado por un emisor y un receptor. El emisor transformará una señal eléctrica en óptica, transmitiéndosela al receptor, el cual la recogerá y la volverá a transformar a señal eléctrica.

Los optoacopladores más usuales están formados por un emisor que podrá ser un diodo LED o un diodo LASER, y un receptor que será un fotodiodo o un fototransistor, generalmente; dependiendo de la aplicación, se escogerá el tipo de optoacoplador.

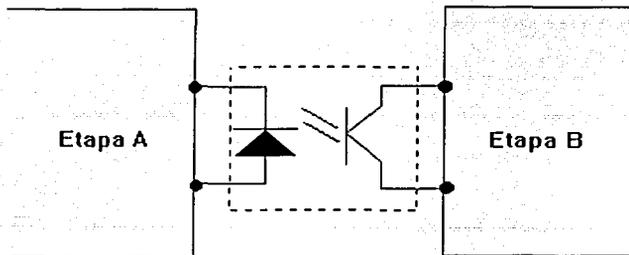


Figura 3.17. Representación de un optoacoplador

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Las señales del circuito de control son transmitidas ópticamente al circuito de carga. En muchos casos, dicha transmisión óptica se realiza mediante rayos luminosos cuyas longitudes de ondas se extienden en el rango desde el espectro del rojo hasta el infrarrojo. El ancho de banda de las señales que van a ser transmitidas varían desde señales de tensión continua hasta frecuencias en la banda de los MHz.

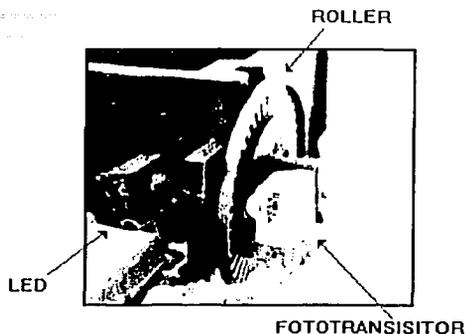


Figura 3.18. Acoplamiento de fototransistor y roller empleados en la instrumentación.

Por todo lo comentado en el apartado de la primer propuesta de acoplamiento al medidor de gas L.P. se decidió la utilizar un optoacoplador con el mismo principio reflectivo, pero con un arreglo geométrico distinto, el cual entregó resultados confiables y tiene la ventaja de no usar reflejantes, además de tener una alta resolución, gracias al dispositivo utilizado que permite aproximadamente 60 pulsos por giro del engrane sensado, en cambio de los 10 pulsos que entregaba el diseño anterior.

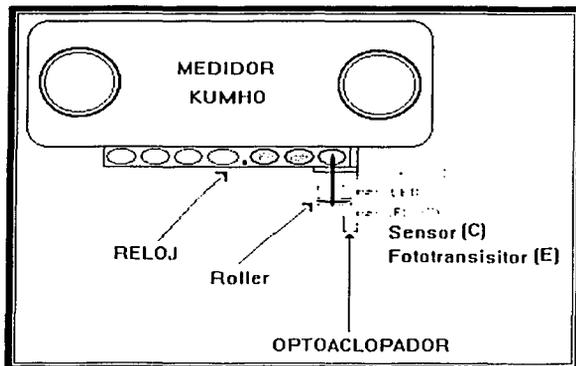


Figura 3.19. 2º Acoplamiento al medidor de Gas L.P. (Vista superior)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.5 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS (SAD)

En la actualidad encontramos diversas aplicaciones en la que datos analógicos deben ser convertidos en información digital para que de esta forma puedan ser almacenados en unidades de memoria, al proceso mediante el cual se adquieren datos analógicos para ser digitalizados y que son almacenados en unidades de memoria se conoce como Sistema de Adquisición de Datos (SAD).

Para realizar un SAD requerimos de un elemento *sensor* para adquirir la *información* de la *variable* a medir, un módulo que acondicione la señal proveniente del sensor para que de esta forma pueda ser interpretada por el convertidor analógico/digital y por último se requiere de una unidad de *memoria* que almacene la información que ha sido digitalizada.

3.5.1 PARTES QUE CONFORMAN EL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS "SAD"

La forma de medir los parámetros mencionados anteriormente, es mediante la instrumentación de un sistema de adquisición de datos (SAD) que esta en todo momento, a bordo de los vehículos; este sistema de adquisición de datos cuenta con una serie de equipos auxiliares, los cuales permiten, cada uno individualmente, medir y registrar el parámetro en cuestión.

Todos estos instrumentos, en cada momento del recorrido establecido, están midiendo su parámetro correspondiente y él (SAD) registra en memoria estas mediciones. Al final de cada recorrido se salva la información correspondiente.

El sistema de adquisición de datos está formado por los siguientes elementos:

- Grupo de sensores.
- Módulo acondicionador de señales.
- Módulo de adquisición de datos (tarjeta de memoria programable y almacenamiento de información, convertidor analógico digital y comunicación serial RS232).
- Estación de análisis de datos.

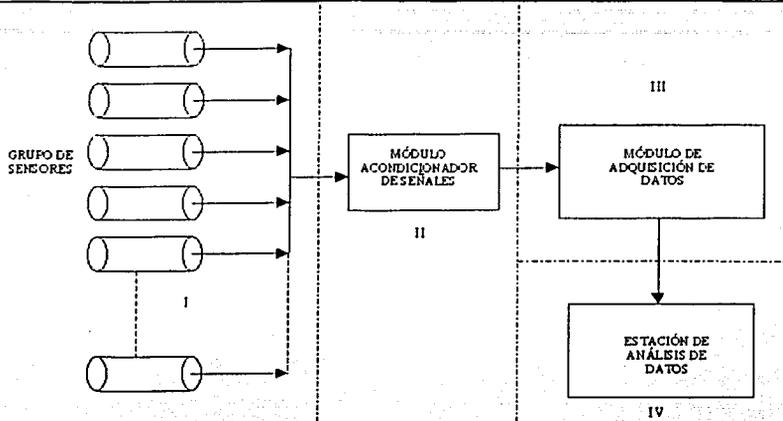


Figura 3.20. Esquema del Sistema de Adquisición de Datos (SAD)

3.5.2 CAPACIDAD DE ADQUISICIÓN DE DATOS.

Con el sistema de adquisición de datos se pueden medir cuatro variables, las cuales son: velocidad lineal del vehículo (km/h), gasto de combustible del vehículo (L/h) o (L/min), temperatura del aceite del motor (°C), temperatura ambiente (°C), temperatura del combustible (Gas L.P) (°C), se cuenta con tres canales disponibles, estos se dejan disponibles en caso de que el usuario desee medir temperaturas en algún otro punto del motor.

3.5.3 MÓDULO ACONDICIONADOR DE SEÑALES

El módulo acondicionador de señales tiene la función de amplificar, linealizar, saturar, y eliminar el posible ruido eléctrico de todas las señales provenientes del grupo de sensores que monitorean los parámetros antes descritos, todo esto con el fin de tener señales que puedan ser interpretadas por el módulo de adquisición de datos.

3.5.4 MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS

El módulo de adquisición de datos está comprendido de una tarjeta electrónica Little-G cuyo microprocesador es el Z80, ésta se encarga de la operación de toma de datos, maneja una capacidad de memoria RAM de 512 Kbytes con batería de respaldo (Litium 3V), esta

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

memoria permite almacenar información hasta por 11 horas de uso continuo, dicha tarjeta se comunica una computadora personal (LAPTOP Pentium I RAM 32Mbytes) a través de un programa autoejecutable, para el procesamiento de la información, vía puerto serial.

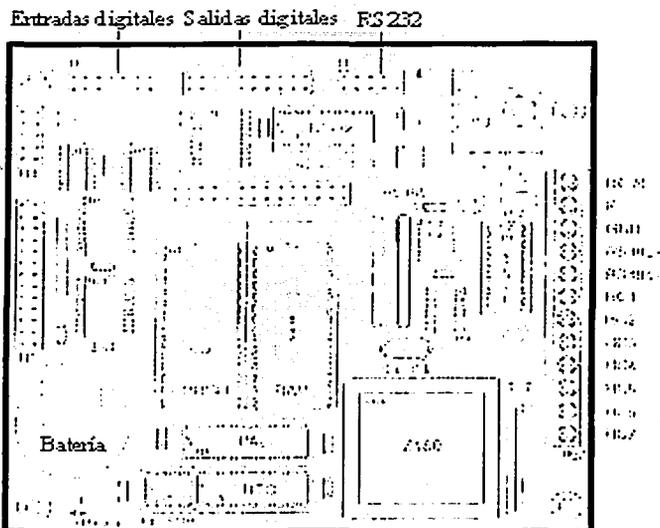


Figura 3.21. Tarjeta Little-G. (SAD)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO IV. DESARROLLO EXPERIMENTAL E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

4.1 Diseño Experimental Para El Monitoreo De Los Vehiculos

Todas las investigaciones que involucran algún desarrollo experimental, generalmente llevan consigo una buena porción de dificultades que se presentan durante dicho desarrollo. También es bien sabido que un diseño experimental es una prueba o serie de pruebas en las cuales se pretende controlar cuidadosamente las variables que están involucradas, de manera que sea posible observar e identificar las causas de los cambios en el resultado del experimento.

Al desarrollar esta investigación, se ha tenido en mente conocer la operación típica de manejo del parque vehicular colectivo y a partir de éste, obtener un ciclo de manejo representativo que, entre otros aspectos, proporcione información de los principales compuestos químicos arrojados a la atmósfera y factores de emisión unitarios para calcular un inventario de emisiones más real, en lo que se refiere a este tipo de vehículos.

Al diseñar los muestreos mantuvimos el control requerido en las variables involucradas, pero al interpretar los resultados, elegimos erróneamente, en un principio, la variable central, cuestión que por supuesto ya hemos corregido pero que, sin embargo, nos ha parecido conveniente mostrar en este trabajo para establecer conclusiones más claras y con más elementos de juicio, y que a su vez, permitirá al lector seguir la descripción de lo que los autores queremos transmitir.

Como se sabe, al diseñar un experimento se busca principalmente:

1. Definir las variables de respuesta.
2. Determinar que variables alteran de manera importante el resultado del experimento.
3. Ubicar cuáles de estas variables pueden ser controladas y cuales simplemente observables.
4. Definir los rangos de las variables controladas, que permiten obtener resultados lógicos en las variables de respuesta.

4.2 Variable a medir

Bien, en primera instancia estimamos que la variable de repuesta y la más importante para nuestro experimento, era la **velocidad promedio** (km/h) y utilizamos un "diseño de experimento por bloques aleatorizados completo (DBAC)¹", empleando dos vehículos instrumentados: un microbús a gasolina y otro a gas L.P, con dos conductores diferentes que realizan un recorrido fijo, y una replica por evento.

Ante este planteamiento consideramos como bloques los 3 **horarios** y como tratamientos, la relación vehículo-conductor, que son 4 como se puede apreciar en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Diseño experimental para la toma de muestras.

Horario	8:00		14:00		20:00	
V1	C1.1	C2.2	C1.3	C2.4	C1.5	C2.6
(replica)	C1.7	C2.8	C1.9	C2.10	C1.11	C2.12
V2	C1.13	C2.14	C1.15	C2.16	C1.17	C2.18
(replica)	C1.19	C2.20	C1.21	C2.22	C1.23	C2.24

Donde:

V1= microbús de gasolina.

V2= microbús de G.L.P

Conductor 1 = Alejandro.

Conductor 2 = Pedro.

Esta matriz de experimentos se diseñó, considerando horarios críticos de operación (afluencia de pasaje y tráfico vehicular), que se conoce por la experiencia de manejo de conductores y por otra parte, este diseño de experimentos se selecciono debido a que:

1. Permite flexibilidad completa. Puede usarse cualquier número de tratamientos y de repeticiones.
2. El análisis estadístico es fácil. El número de repeticiones es el mismo para cada tratamiento. Los errores experimentales difieren de un tratamiento a otro.
3. La pérdida de los datos faltantes, si los hubiera, es de menos importancia que en cualquier otro diseño de experimentos por la obtención de replicas.

¹ REFERENCIA 9, PG. 119

Para no perder de vista nuestra variable de interés, diremos que el objetivo era conocer la influencia del horario, así como de los conductores en la velocidad media, y para ello, se obtuvieron segundo a segundo las lecturas de: **velocidad del vehículo, gasto de combustible, temperatura de aceite para el microbús de gasolina, temperatura de combustible para el microbús de G.L.P.**

4.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y RESULTADOS DEL MODELO EXPERIMENTAL.

4.3.1 Modelo de Análisis de Varianza de DBAC.

El análisis se realizó a través de hipótesis para probar la igualdad de medias de los tratamientos ($H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_i$, 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 coeficiente de varianzas.

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

$$Y_{ij} = \mu + \gamma_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad \text{ec (4.1)}$$

donde :

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

μ es el valor medio global (valor medio esperado).

γ_i es el efecto de los tratamientos (factor horario-conductores) en los niveles i

β_j es el efecto de los bloques (factor vehículo) en los niveles j .

ε_{ij} es el error aleatorio²

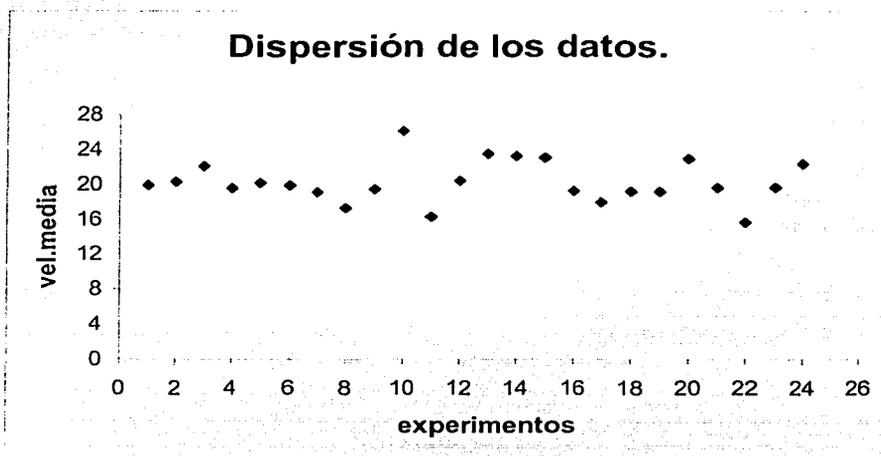
Las condiciones que deben cumplir los datos que se evalúan bajo este modelo son: independencia de las observaciones, homocedasticidad (igualdad de varianzas) entre tratamientos y distribución de probabilidad normal. Cuando no se cumple esta última los datos deben ser analizados bajo pruebas no paramétricas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

4.3.2 Análisis Estadístico de los Resultados.

Las primeras pruebas que se realizaron fueron para comprobar las condiciones del análisis por bloques aleatorizados, en cada una de las réplicas.

La INDEPENDENCIA DE LOS DATOS se aceptó después de obtener la gráfica de dispersión de la información, que no depende ni influye en los resultados de las otras.

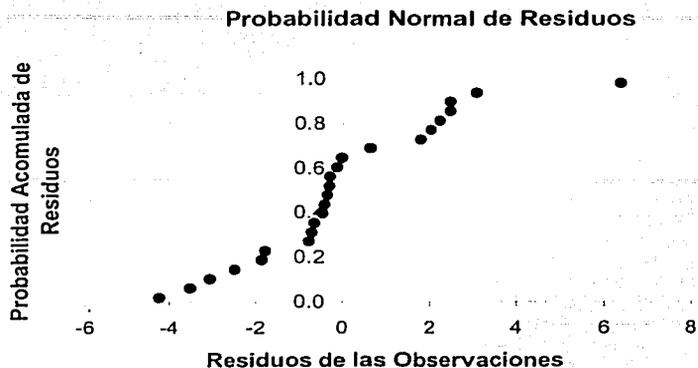
La HOMOCEASTICIDAD se comprobó a través de la prueba de $SS_{W_{\max}}/SS_{W_{\min}}^3$ de la cual se aceptó la hipótesis de igualdad de varianzas, es decir la variancia dentro de cada experimento está situada entre los limites aceptables de variabilidad de esta prueba. Además, a través de una prueba de estadístico T se pudo comprobar la igualdad de medias entre réplicas.



Grafica. 4.1

La NORMALIDAD se comprobó primeramente, a través de un "Análisis de Residuos⁴" donde la gráfica de probabilidad normal de residuos mostró una tendencia lineal recta, por lo que se aceptó que la información tiene una distribución normal.

⁴ REFERENCIA 9, PAG. 86



Grafica. 4.2

Los resultados anteriores permitieron utilizar el diseño de bloques aleatorizados completos (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 pruebas fue del 5% ($\alpha=0.05$) y por separado se analizaron cada uno de los tratamientos.

A) Modelo por bloques aleatorizados Completos: Se consideró a los vehículos como tratamientos y la combinación horario-conductor como bloque. La tabla (4.2) nos muestra la concentración de datos de la replica No. 1, los datos representan la velocidad media en km/h.

Tabla 4.2 Replicación 1, para el análisis de vehículos						
Tratamientos	08:00		14:00		20:00	
	c1	c2	c1	c2	C1	c2
Vehiculo1	19.94	20.33	22.12	19.57	20.22	19.89
Vehiculo2	23.51	23.26	23.06	19.25	17.97	19.18

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

Tratamientos

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

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

Bloques

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_n. (\beta_j = 0)$$

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

Las hipótesis H_0 para los tratamientos plantea que no existen efectos entre ellos o bien, que las medias μ 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 se considera que la media μ de los tratamientos son diferentes debido a los efectos que intervienen en cada uno de ellos.

Los resultados de los cálculos de análisis de varianza se muestran en la Tabla(4.3), así como el valor teórico del estadístico F^5 , obtenido de las tablas, para un nivel de significancia del 5% y con los respectivos grados de libertad de las varianzas.

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F de prueba	F teórico
Tratamiento	1	1.443	1.443	0.579	6.61
Bloque	5	22.782	4.556	1.828	5.05
Error	5	12.462	2.492		
Total	11	36.686			

En el caso del tratamiento, como $F_0 = 0.579 < F_{1,5} = 6.61$, se aceptó la hipótesis nula H_0 . Por lo que se concluye que no existen efectos entre los vehículos, es decir, que el promedio de la V_m (μ), desarrollada en los vehículos en todos los horarios es igual entre ellos.

Para los bloques, se encontró que $F_1 = 1.828 < F_{5,5} = 5.05$, por lo tanto se aceptó la hipótesis nula H_0 . Concluyendo que no es necesario bloquear el factor horario-conductor, es decir, no existen diferencias entre estas combinaciones dentro de un mismo vehículo, y se podría aplicar un **B) Modelo Completamente Aleatorizado**.

Estas conclusiones se corroboraron en la replica 2, tal y como se muestra en la Tablas siguientes, los datos representan la velocidad media en km/h.

Tratamientos	08:00		14:00		20:00	
	c1	c2	c1	c2	c1	c2
Vehiculo1	19.14	17.31	19.45	26.15	16.28	20.43
Vehiculo2	19.20	22.97	19.64	15.68	19.61	22.38

**Tabla 4.5 Análisis de Varianza de la replica 2 para el DBAC.
(vehículos)**

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F de prueba	F teórico
Tratamiento	1	0.042	0.042	0.003	6.61
Bloque	5	15.626	3.125	0.199	5.05
Error	5	78.335	15.667		
Total	11	94.003			

Tomando ahora a los conductores como tratamientos y a la combinación horario-vehículos como bloque. La Tabla 4.6 muestra la concentración de datos de la replica 1.

Tabla 4.6 Replica 1, para el análisis de conductores, velocidad media (km/h).

Tratamientos	08:00		14:00		20:00	
	v1	v2	v1	v2	v1	v2
Conductor 1	19.94	23.51	22.12	23.06	20.22	17.97
Conductor 2	20.33	23.26	19.57	19.25	19.89	19.18

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 muestra en la Tabla 4.7, 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 4.7 Análisis de Varianza de la replica 1 para el DBAC.
(conductores)**

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F de prueba	F teórico
Tratamiento	1	2.359	2.359	1.312	6.61
Bloque	5	25.332	5.066	2.816	5.05
Error	5	8.995	1.799		
Total	11	36.686			

En los tratamientos, como $F_0=1.312 < F_{1,5}=6.61$, se acepta la hipótesis nula H_0 por lo que, **se concluye que no existen efectos entre los conductores**, esto quiere decir que la V_m promedio, que desarrollaron los conductores en todos los recorridos es igual entre ellos.

Para los bloques, se encontró que $F_1=2.816 < F_{5,5}=5.05$, y se aceptó la hipótesis nula H_0 , concluyendo que no existen efectos entre los bloques.

Estas mismas conclusiones se obtuvieron de la replica 2, como se puede apreciar en las siguientes tablas, los datos representan la velocidad media en km/h.

Tratamientos	08:00		14:00		20:00	
	v1	v2	v1	v2	v1	v2
Conductor 1	19.14	19.20	19.45	19.64	16.28	19.61
Conductor 2	17.31	22.97	26.15	15.68	20.43	22.38

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F de prueba	F teórico
Tratamiento	1	11.203	11.203	1.390	6.61
Bloque	5	42.505	8.501	1.055	5.05
Error	5	40.296	8.059		
Total	11	94.003			

Así mismo, para el caso de considerar el horario como tratamientos, se obtuvieron conclusiones idénticas a esta última. Las tablas que a continuación aparecen muestran las concentraciones de datos para el análisis.

Tratamiento	V1		V2	
	C1	c2	c1	c2
08:00	19.94	20.33	23.51	23.26
14:00	22.12	19.57	23.06	19.25
20:00	20.22	19.89	17.97	19.18

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F de prueba	F teórico
Tratamiento	2	12.523	6.261	1.846	5.14
Bloque	3	3.813	1.271	0.375	4.76
Error	6	20.351	3.392		
Total	11	94.003			

Estos mismos resultados se obtuvieron con la replica 2.

Tabla 4.12 replica 2, para análisis de horarios, velocidad media (Km/h).

Tratamiento	V1		v3	
	c1	c2	c1	c2
08:00	19.14	17.31	19.20	22.97
14:00	19.45	26.15	19.64	15.68
20:00	16.28	20.43	19.61	22.38

**Tabla 4.13 Análisis de Varianza de la replica 1 para el DBAC.
(horarios)**

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F de prueba	F teórico
Tratamiento	2	0.844	0.422	0.032	5.14
Bloque	3	14.695	4.898	0.375	4.76
Error	6	78.465	13.077		
Total	11	94.003			

La **conclusión** definitiva que se obtuvo del DBAC es 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.

Esto implica que por mucha destreza que tenga el conductor para manejar y por muy potente que sea el vehículo que conduce, la **velocidad promedio** durante el recorrido, estará limitada por otros factores y no por el vehículo o por el propio conductor o por el horario.

Como puede apreciarse, las conclusiones son correctas si la variable central, o de interés, es la velocidad media del vehículo, pero **en los ciclos típicos de conducción la velocidad media es una variable que carece de interés**, porque no es con la velocidad media que se van a conocer los niveles más elevados de las emisiones contaminantes, ni el consumo de combustible crítico.

Al recapitular sobre nuestros resultados y consultar con el director de la tesis, pudimos percatarnos de que el parámetro de mayor interés en los ciclos de conducción, la variable que influye definitivamente en el nivel de las emisiones contaminantes y consumo de combustible (2 nuevas variables de respuesta), es la **tasa de aceleración**. Es decir, en la medida que se tengan tasas de aceleración mayores, se incrementará el consumo y se emitirán más gases

tóxicos al ambiente, y que, el conocimiento de este fenómeno es al final de cuentas, el objetivo primordial de este trabajo.

Al hacer una inspección de la literatura especializada, se ha encontrado que efectivamente existen grandes diferencias entre una forma de conducir, podríamos decir agresiva y pasiva; es decir que el conductor sí influye en alcanzar altas tasas de aceleración y desaceleración; por supuesto también el horario y aquí mismo va implícito, la vialidades y la densidad de tráfico.

En este aspecto, la tecnología de los vehículos actuales ha logrado impresionantes reducciones de emisiones contaminantes, durante una operación normal de vehículo, sin embargo cuando el motor se somete a grandes cargas y aceleraciones, se producen elevadas temperaturas en la cámara de combustión, y por tanto se tienen elevadas tasas de producciones de óxidos de nitrógeno, que el catalizador no es capaz de reducir, incluso que pone en riesgo al mismo catalizador. Además cuando el motor opera con estas cargas tan elevadas demanda mezclas ricas y consecuentemente se tienen emisiones de CH y CO en exceso. Las tasas de emisión son de naturaleza no lineal.

Abundando sobre las características que se deben tomar en cuenta en la generación de un ciclo de manejo típico, se sabe que las temperaturas de operación en el medio ambiente influyen en la emisión de CO (por ejemplo entre el invierno y el verano) porque a medida que la temperatura del ambiente decrece, un arranque en frío demanda un mayor enriquecimiento de la mezcla y a medida que se enriquece dicha mezcla se incrementan las emisiones contaminantes y en estas condiciones ni el catalizador (en caso de que exista) es capaz de oxidar y/o reducir debido a que la temperatura de operación correspondiente es insuficiente para lograr las reacciones químicas correspondientes.

También, dependiendo de la formulación del combustible, existirá una mayor o menor volatilidad del mismo, situación que tiene muchos huecos en la reglamentación de combustibles alternativos, aunque es importante recalcar que el programa "hoy no circula" se encarga de hacer monitoreos permanentes de los automotores, indistintamente del combustible utilizado. Situación que sería perfecta a esta ciudad, de no ser porque la corrupción echa por tierra todos estos propósitos.

La altitud del lugar también es otro factor que tiene una gran influencia en la emisión de los gases contaminantes e incluso en el consumo de combustible, y si un motor no tiene un compensador alimétrico también tiende a demandar mezclas ricas con más frecuencia, y consecuentemente a emitir más HC y CO, en este aspecto actualmente no existe regulación alguna que establezca niveles diferentes en relación con la altitud del lugar donde se midan las emisiones contaminantes.

Así pues, al tomar en cuenta estos factores en los muestreos ya efectuados, se analizarán los datos de acuerdo a esta otra expectativa que se está comentando.

4.4 GRAFICAS Y TABLAS REPRESENTATIVAS.

A continuación se muestran algunas gráficas donde se pueden apreciar las tasas de aceleración, en conjunto con el consumo de combustible, algunas tablas (*reducidas*) de los variables medidas y la comparación entre combustibles que podrá arrojar conclusiones por demás interesantes.

"TABLA PRINCIPAL DEL RECORRIDO R11-08-15-08-01"⁶ que es similar a las de los demás recorridos.

TIEMPO	VELOCIDAD	VELOCIDAD	ACELERACIÓN	GASTO	GASTO	GASTO	TEMPERATURA
[seg]	REAL [Km/h]	REAL [m/s]	m/s ²	[l/h]	[l/s]*10 ⁻³	[kg/h]	ACEITE [° C]
1	0	0.000	0.000	7	1.9444	5.18	87
2	0	0.000	0.000	5	1.3889	3.7	87
3	0	0.000	0.000	6	1.6667	4.44	87
4	1.4	0.389	0.389	6	1.6667	4.44	87
5	5.6	1.556	1.167	7	1.9444	5.18	87
6	8.4	2.333	0.778	10	2.7778	7.4	87
7	8.4	2.333	0.000	14	3.8889	10.36	87
8	11.2	3.111	0.778	12	3.3333	8.88	87
9	12.6	3.500	0.389	14	3.8889	10.36	87
10	15.4	4.278	0.778	12	3.3333	8.88	87
11	18.2	5.056	0.778	15	4.1667	11.1	87
12	21	5.833	0.778	16	4.4444	11.84	87
13	23.8	6.611	0.778	16	4.4444	11.84	87
14	25.2	7.000	0.389	22	6.1111	16.28	87
15	25.2	7.000	0.000	29	8.0556	21.46	86
16	26.6	7.389	0.389	27	7.5000	19.98	87
17	29.4	8.167	0.778	26	7.2222	19.24	86

⁶ VER NOMENCLATURA AL FINAL DE ESTE CAPITULO.

Se observa 8 columnas que componen dicha tabla, en el orden de izquierda a derecha son: el **Tiempo [s]** representa el seguimiento o secuencia que lleva la toma de datos, que es segundo a segundo cada una de las variables, **velocidad [km/h]** es la variable más importante, ya que de ella se desprende el ciclo de manejo representativo, dicha variable no se obtuvo de manera directa sino a través de una relación angular y un cierto número de imanes instalados sobre el tambor de la rueda del vehículo; la **velocidad [m/s]** se obtiene a partir de la columna anterior con la intención subsecuente de obtener aceleraciones en unidades más comunes y fáciles de manejar; **aceleración [m/s²]** ésta se obtiene a partir de la columna anterior y de ella se desprenderá el cálculo de tasas de aceleración, frecuencias de aceleración contra tiempo y otros análisis que serán de gran utilidad para las conclusiones decisivas de esta tesis; **gasto volumétrico [l/h]** la medición de esta variable es una aportación de quienes realizaron este trabajo, puesto que se adaptó un equipo de medición mecánico a electrónico; por otro lado, la medición de este parámetro nos ha permitido observar fenómenos muy importantes; **gasto [lts/s]*10³]**, se obtiene a partir de la columna anterior; **gasto másico [kg/h]** se obtiene con la densidad del combustible, la intención de insertar esta columna es tener valores de la gasolina en masa y compararlos con una columna similar de gasto másico para G.L.P, **temperatura de aceite [°C]** representa la temperatura del aceite lubricante del motor, esto con la intención de hacer comparaciones en circunstancias similares de operación del motor.

De los valores registrados en esta tabla se obtuvieron datos como: velocidades medias, gastos promedios, y litros consumidos por el vehículo en los recorridos. Se puede observar e intuir que los resultados arrojados son valores fidedignos dado que concuerda con el rango de los consumos y velocidades proporcionados por los conductores.

A continuación se muestra los resultados obtenidos del recorrido R11-08-15-08-01, primero se suman la columna de velocidades obtenida durante todo el recorrido, y después se obtiene el promedio de la velocidad. El mismo procedimiento se realiza

$$\sum_{i=0}^n v_i$$

156867.2[Km/h]

Suma de
velocidades

$$\sum_{i=0}^n v_i / n$$

19.93[km/h],

Velocidad media

	[l/h]	(kg/h)
$\sum_{i=0}^n li$	57948	42881.52
$\sum_{i=0}^n li / n$	7.36595907	5.45080971
$\sum_{i=0}^n li / n * tiempo$	16.096 L	11.9115333kg

Densidad de Tablas

Al igual que la tabla que se ha comentado, la condensación de los resultados en las siguientes graficas, muestran fenómenos por demás relevantes e interesantes que, a su vez también serán comentadas.

En la Tabla 4.15 se muestra el tratamiento que se dio a los datos de velocidad del vehículo, con los cuales se obtienen las graficas de frecuencia contra velocidad de éste recorrido y la comparación con los demás vehículos y horarios, estos se analizaran más adelante.

La tabla 4.15 muestra seis columnas, la primera **EVENTO** indica el valor consecutivo de cada velocidad puntual, que la tarjeta de adquisición de datos logro recabar, de esta manera dicha tarjeta logro medir 52 diferentes valores de velocidad en [Km/h], en seguida se observa la columna de **VELOCIDAD REAL [Km/h]** en esta se tienen las 52 diferentes velocidades que adquirieron en un orden ascendente de magnitud [0 – 71.4] [Km/h], la siguiente columna **FRECUENCIA**, muestra para cada valor de velocidad la frecuencia o el número de ocasiones en las que se repitió durante el recorrido de 7867 segundos, esto quiere decir que a lo largo de aproximadamente una hora y media, el vehículo estuvo detenido 1783 segundos y sólo en 5 ocasiones alcanzó una velocidad de 71 [Km/h]. En seguida se calculo el % **RELATIVO** de cada velocidad, esta columna muestra datos interesantes como que el 22% del tiempo este vehículo público estuvo detenido y por otra parte el 0.06% del tiempo total del recorrido alcanzaba velocidades máximas, las últimas dos columnas se observan ciertos rangos de velocidad, algunos más estrechos que otros y el porcentaje de incidencia de cada uno de ellos, más adelante se comentará con más detalle estos datos.

TABLA 4.15 DE FRECUENCIA DE VELOCIDAD R11-08-15-08-01					
EVENTO	VELOCIDAD REAL [Km/h]	FRECUENCIA	% RELATIVO	VELOCIDAD [Km/h]	%
1	0	1783	22.6643	0-20	54.3918
2	1.4	184	2.3389	20-40	29.9987
3	2.8	154	1.9575	40-60	13.6647
4	4.2	102	1.2966	60-80	1.9448
5	5.6	146	1.8559	0 a 5	28.2573
6	7	170	2.1609	5 a 10	8.6818
7	8.4	193	2.4533	10 a 15	7.4488
8	9.8	174	2.2118	15 a 20	10.0038
9	11.2	211	2.6821	20 a 25	7.7158
10	12.6	190	2.4152	25 a 30	9.3301
11	14	185	2.3516	30 a 35	7.4997
12	15.4	207	2.6312	35 a 40	5.4532
13	16.8	206	2.6185	40 a 45	6.2667
14	18.2	181	2.3007	45 a 50	3.5973
15	19.6	193	2.4533	50 a 55	3.1143
16	21	192	2.4406	55 a 60	0.6864
17	22.4	204	2.5931	60 a 65	1.0805
18	23.8	211	2.6821	65 a 70	0.8008
19	25.2	214	2.7202	70 a 75	0.0636
20	26.6	200	2.5423	75 a ----	0
21	28	172	2.1863		
22	29.4	148	1.8813		
23	30.8	146	1.8559		
24	32.2	139	1.7669		
25	33.6	153	1.9448		
26	35	152	1.9321		
27	36.4	145	1.8431		
28	37.8	150	1.9067		
29	39.2	134	1.7033		
30	40.6	146	1.8559		
31	42	134	1.7033		
32	43.4	123	1.5635		
33	44.8	90	1.1440		
34	46.2	84	1.0678		
35	47.6	87	1.1059		
36	49	112	1.4237		
37	50.4	72	0.9152		
38	51.8	92	1.1694		
39	53.2	51	0.6483		
40	54.6	30	0.3813		
41	56	22	0.2796		
42	57.4	20	0.2542		
43	58.8	12	0.1525		
44	60.2	12	0.1525		
45	61.6	32	0.4068		

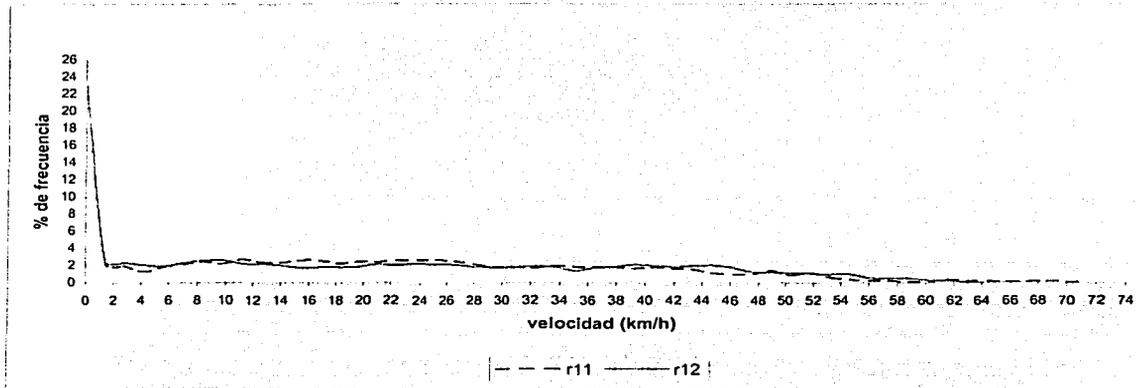
46	63	21	0.2669
47	64.4	20	0.2542
48	65.8	15	0.1907
49	67.2	17	0.2161
50	68.6	16	0.2034
51	70	15	0.1907
52	71.4	5	0.0636
TOTAL		7867	100.00

En la tabla 4.16 se muestran los valores del gasto de combustible del vehículo a gasolina, de manera similar al análisis de tabla 4.14, se obtuvieron 35 datos de gasto en [l/h] para los cuales se observa que en 1992 ocasiones el vehículo consumió la menor cantidad medible por el equipo, implicando el 25.32 % y sólo una vez consumió 35 [lts/h] el 0.01%, vale la pena mencionar que estos datos son similares a otros recorridos, porcentualmente y en forma

GASTO (gasolina) [lts/h]	frecuencia	% de frecuencia
2	1992	25.3210
3	1199	15.2409
4	545	6.9277
5	410	5.2116
6	393	4.9956
7	323	4.1058
8	313	3.9786
9	290	3.6863
10	271	3.4448
11	247	3.1397
12	226	2.8728
13	234	2.9745
14	230	2.9236
15	217	2.7584
16	196	2.4914
17	166	2.1101
18	135	1.7160
19	112	1.4237
20	85	1.0805
21	84	1.0678
22	58	0.7373
23	53	0.6737
24	38	0.4830
25	14	0.1780

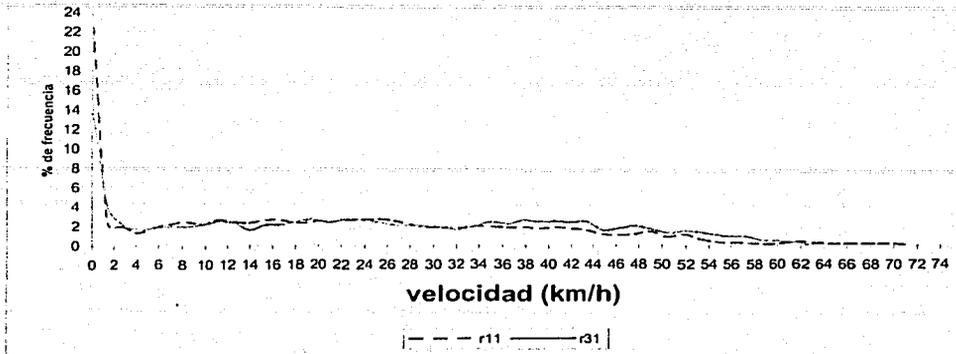
26	12	0.1525
27	9	0.1144
28	2	0.0254
29	5	0.0636
30	0	0.0000
31	2	0.0254
32	3	0.0381
33	1	0.0127
34	1	0.0127
35	1	0.0127
TOTAL	7867	100.00

Las siguientes gráficas de velocidad contra frecuencia muestran el comportamiento de los conductores, en diferentes situaciones como horario y vehículo:



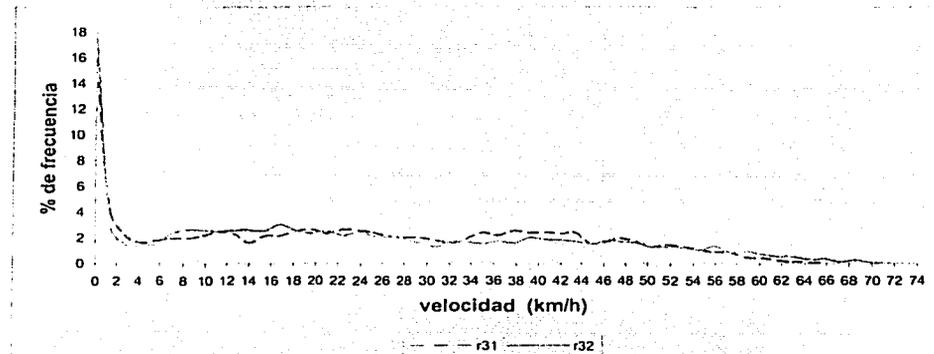
Gráfica 4.3: Vehículo (gasolina), horario (8:00 a.m.) y dos conductores.

El conductor 1 y el conductor 2 tuvieron una frecuencia similar con una velocidad igual a cero (alto total). El comportamiento de frecuencia en velocidades bajas (1 a 14 km/h) es similar entre los dos conductores, pero con velocidades de 14 a 28 km/h, el conductor 1 mantiene con más frecuencia estas velocidades. De 30 km/h en adelante el comportamiento de frecuencia otra vez es similar al de velocidades bajas, aunque el conductor 1 alcanzó una velocidad mayor que el conductor 2.



Gráfica 4.4: Horario(8:00 a.m.), un conductor y vehículos diferentes (gas(3) y gasolina(1)).

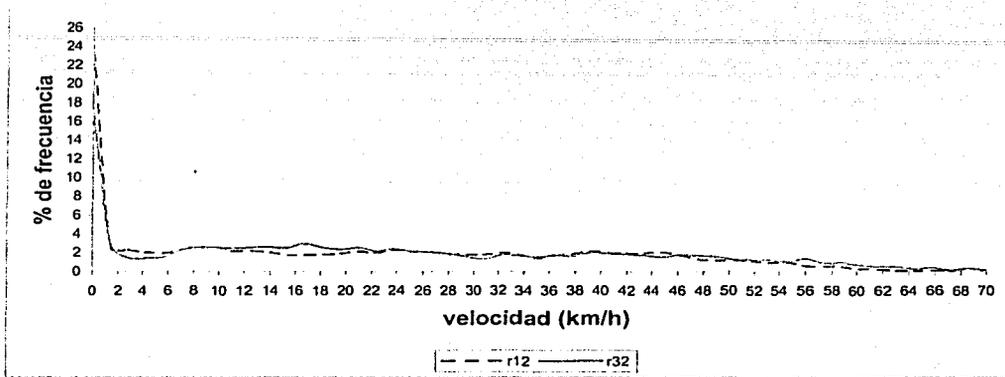
En esta gráfica se observa como el mismo conductor (1), se mantiene con mucho más frecuencia en alto total con el vehículo de gasolina que con el vehículo de gas LP, además, en rangos de velocidades de 1 a 30 km/h, el comportamiento de frecuencia es parecido para los dos vehículos. Las velocidades de 30 km/h en adelante se alcanzan con más frecuencia en el vehículo de gasolina. También el conductor alcanza una mayor velocidad con el vehículo de gasolina que con el vehículo de gas.



Gráfica 4.5: Horario (8:00 a.m.), un vehículo (gas L.P), y dos conductores.

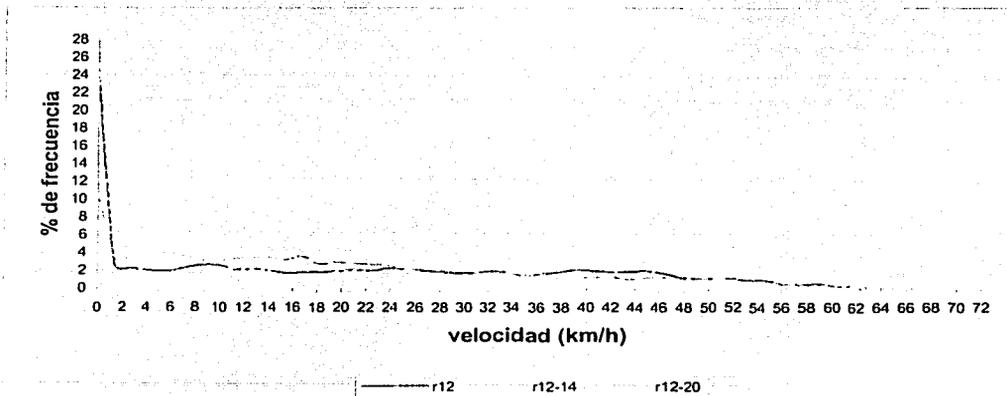
En la gráfica se ve como los dos conductores mantienen un alto total con una similar frecuencia, aunque si observamos la gráfica 4.3 la frecuencia es menor con el vehículo de gas que con el vehículo de gasolina para ambos conductores. Con mayor frecuencia el conductor 2

alcanza velocidades de 5 a 20 km/h , pero el conductor 1 repite con más frecuencia velocidades de 25 a 45 km/h. De 45 km/h en adelante el comportamiento de los conductores con respecto a la frecuencia es muy similar, aunque el conductor 2 desarrolla una velocidad más alta que el conductor 1, todo lo contrario al comportamiento con el vehículo de gasolina.



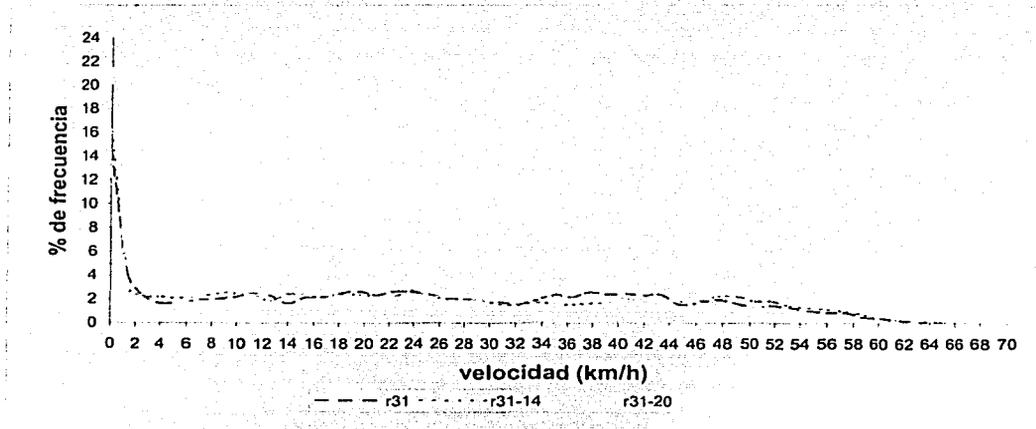
Gráfica 4.6: Horario (8:00 a.m), un conductor (2), y diferentes vehículos

Al comparar la forma de conducir del conductor 2 con los dos vehículos, se observa como la frecuencia de alto total ($v=0$) es mayor con el vehículo de gasolina; en velocidades diferentes de cero el la frecuencia de éstas es similar para ambos vehículos, aunque el conductor con el vehículo de gas alcanzó una mayor velocidad que con el vehículo de gasolina.



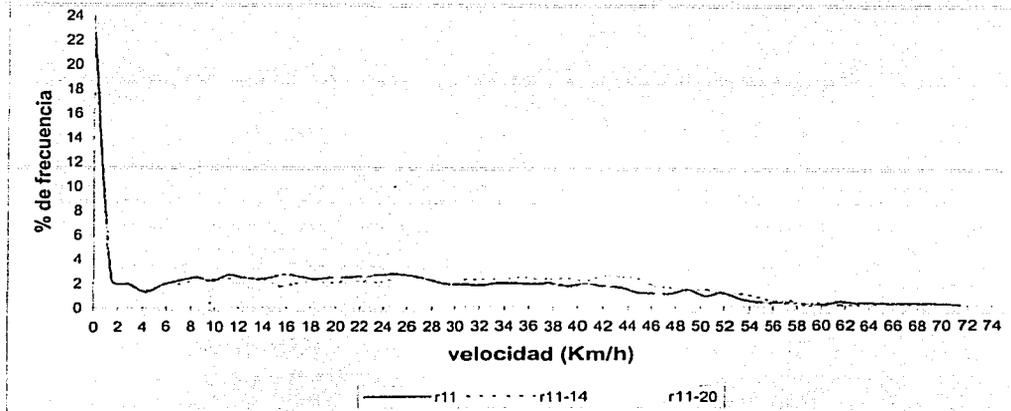
Gráfica 4.7: Un conductor (2), un vehículo (gasolina), y diferentes horarios (8,14,20 horas).

En ésta grafica se observa como aunque es el mismo conductor, el comportamiento de manejo cambia considerablemente con respecto a los horarios, el conductor se mantiene con mayor frecuencia en alto total a las 20 horas y con menor frecuencia a las 14 horas, los rangos de velocidad de 2 a 25 km/h, se repite con mayor frecuencia en el horario vespertino y se comporta de manera similar en los horarios matutino y nocturno. En el rango de velocidades de 35 a 46 km/h, son mas frecuentes el horario matutino y nocturno que con respecto al horario vespertino, los demás rangos de velocidad se comportan de forma similar en frecuencia. La mayor velocidad lineal se alcanzó a las 20 horas y las velocidades menores a las 8 y 14 horas.



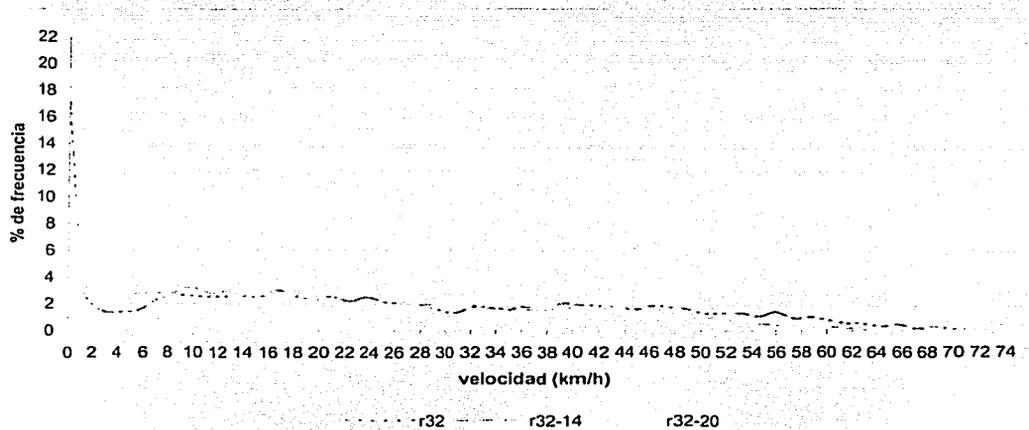
Gráfica 4.8: Un mismo conductor (1), un vehículo (gas L.P), y diferentes horarios (8,14,20 horas).

Esta gráfica muestra como el conductor se mantiene mas veces con velocidad cero en el horario nocturno, y con menor frecuencia en el horario matutino, para los demás intervalos de velocidad se mantiene de forma similar para los tres horarios. La máxima velocidad alcanzada es muy parecida en los tres horarios, ligeramente más alta a las 8 horas y ligeramente menor a las 20 horas.



Gráfica 4.9: Un mismo conductor (1), mismo vehículo (gasolina), y diferentes horarios (8,14,20 horas).

Al comparar la frecuencia de velocidades del conductor 1, se observa que en la mañana es cuando el vehículo permanece más tiempo detenido y por las noches es cuando menos veces esta detenido, las velocidades de 2 a 34 km/h se repiten con mayor frecuencia en el horario nocturno, en el horario vespertino las velocidades de 35 a 50 km/h son más frecuentes. La velocidad máxima se alcanza a las 8 horas y la velocidad más baja en la noche.



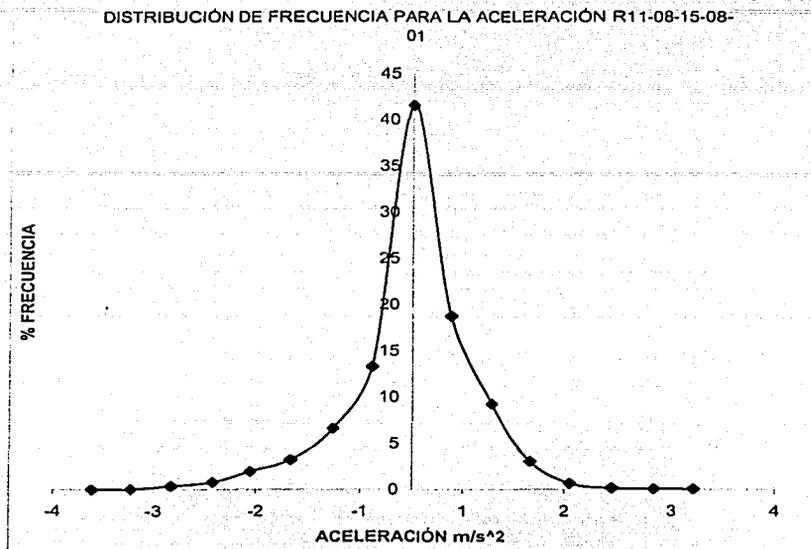
Gráfica 4.10: Un conductor (2), mismo vehículo (gas L.P.), y diferentes horarios (8,14,20 horas).

En esta gráfica última se muestra como el comportamiento de velocidades es similar en los tres casos, la diferencia de frecuencia del vehículo en velocidad cero es mínima siendo un poco mayor en el horario de la noche, la velocidad máxima se alcanza en la mañana y la menor en la noche.

En la tabla 4.17 se tabulan datos calculados a través de análisis de las columnas de tiempo y velocidad de la tabla principal 4.14, y de manera similar a las tablas 4.15 y 4.16 se tiene la columna de **EVENTO** y datos de **ACELERACIÓN Y DESACELERACIÓN**, así como frecuencia de valores y porcentaje de estos.

TABLA 4.17 DE FRECUENCIA DE ACCELERACIÓN R11-08-15-08-01			
EVENTO	ACELERACIÓN m/s ²	FRECUENCIA	% RELATIVO
1	-3.111	2	0.0254
2	-2.722	4	0.0508
3	-2.333	30	0.3813
4	-1.944	61	0.7754
5	-1.556	155	1.9703
6	-1.167	254	3.2287
7	-0.778	524	6.6607
8	-0.389	1046	13.2960
9	0.000	3272	41.5915
10	0.389	1475	18.7492
11	0.778	728	9.2538
12	1.167	238	3.0253
13	1.556	53	0.6737
14	1.944	14	0.1780
15	2.333	7	0.0890
16	2.722	4	0.0508
TOTAL		7867	100.00

A continuación se muestra la gráfica de la distribución de la aceleración antes tabulada, y que es una representación suavizada del fenómeno real.

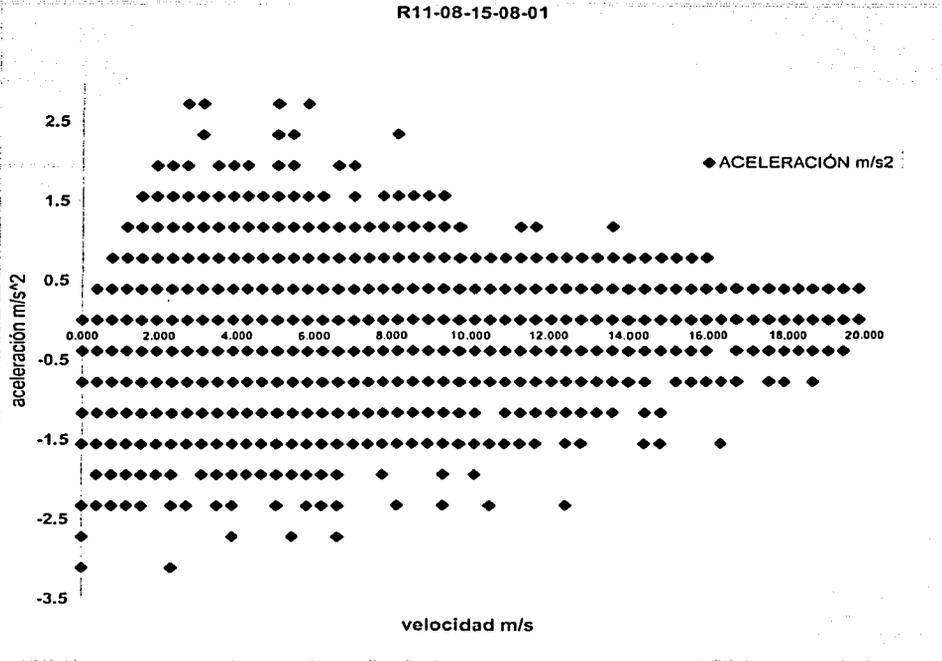


**Grafica. 4.11. Del recorrido 11-08-15-08-01
(Aceleración vs. Frecuencia)**

La distribución de la aceleración por lo general se comporta como una normal con media cero esto se puede comprobar en la gráfica anterior en la cual observamos este comportamiento. Esto es muy útil para el análisis del ciclo, ya que esta gráfica nos proporciona las partes donde el vehículo está acelerando (aumentando de velocidad, la parte positiva de la gráfica) y donde está desacelerando (disminuyendo la velocidad, la parte negativa de la gráfica) y nos da una idea general del movimiento general del recorrido.

También se observa como las aceleraciones son bajas. La aceleración máxima es 2.7 m/s^2 y la aceleración mínima es de 3.1 m/s^2 , además se observa que las aceleraciones de mayor frecuencia son las que se encuentran en los intervalos de -1 a $1 m/s^2$, esto es debido que el vehículo tiene un porcentaje alto de frecuencia en velocidad cero.

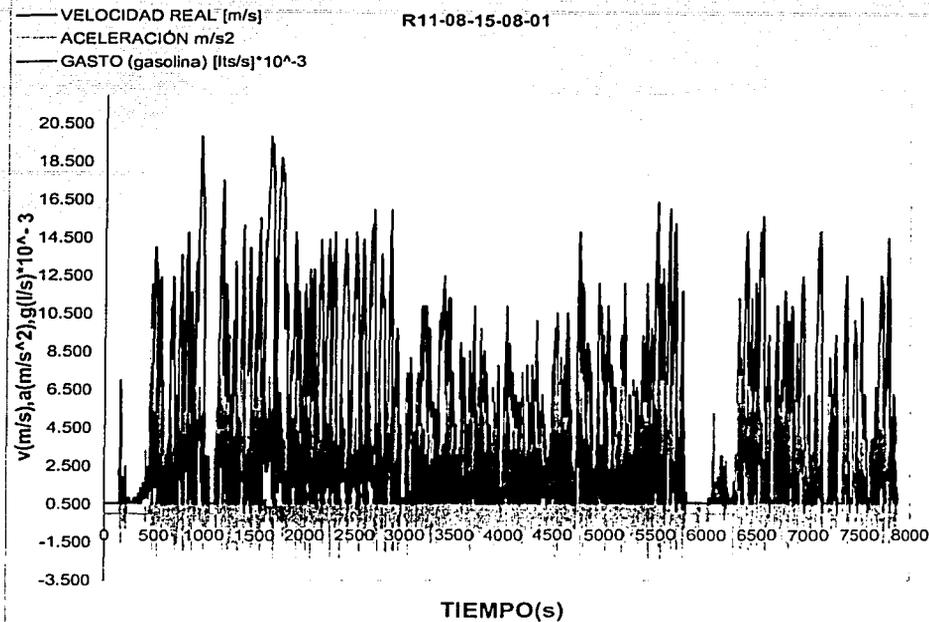
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Grafica. 4.12. Del recorrido 11-08-15-08-01
(velocidad vs. aceleración)

En esta figura se aprecia como las aceleraciones con respecto a la velocidad se concentran en un promedio de -2 a 2 m/s² y las aceleraciones mayores a este intervalo son más esporádicas.

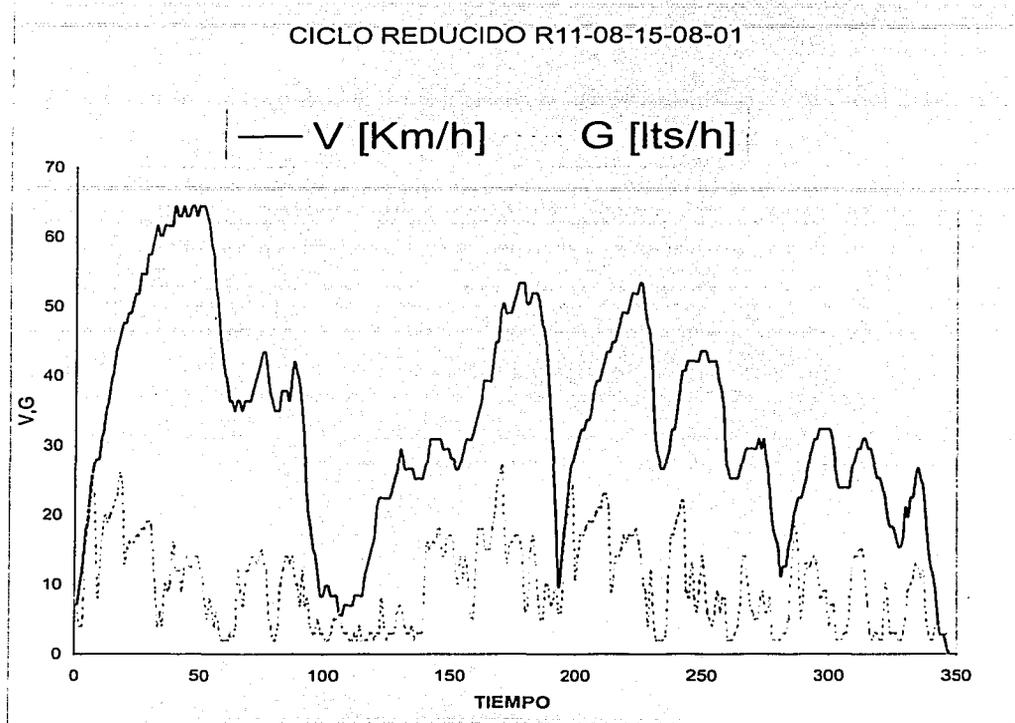




Grafica. 4.13. Del recorrido 11-08-15-08-01 de velocidad, aceleración y gasto de combustible.

En gráfica observamos el comportamiento del vehículo durante el recorrido, se ve como el gasto sigue un comportamiento igual al de la velocidad, es decir, cuando la velocidad aumenta, el gasto también, la aceleración es positiva o negativa dependiendo del incremento o disminución de la velocidad, además se observa un periodo en el cual la velocidad es cero, pero existe variación de gasto de combustible y aceleración.

Gráfica 4.14 muestra el ciclo de manejo reducido a 300 segundos y es el resultado final, engloba toda el trabajo de experimentación e instrumentación, en el se puede encontrar características que estén en el ciclo completo de 8000 segundos, y es representativo para esta ruta y este tipo de vehículo. El ciclo reducido se obtiene a partir de repeticiones cinemáticas, es decir, se analiza el recorrido completo (8000 s) y se toman partes del ciclo completo que se repiten en forma durante todo el ciclo y después se unen estas partes cinemáticas.



Gráfica 4.14: Ciclo Reducido, horario matutino.

Las tablas 4.18 y 4.19 resumen los datos en los cuales se puede visualizar de manera global valores de gasto y volumen de combustible de cada recorrido. Para el caso de G.L.P se calculó el gasto másico utilizando la fórmula de gas ideal y dato de densidad directamente de tablas. Sólo difieren estas tablas en cuanto a forma de resumen, la primera en base a fecha del recorrido y la segunda en cuanto a horario y número de chofer; para la tabla 4.20 en la columna G.L.P se utilizó la densidad de tablas y G.L.P (I) utilizando la fórmula del gas ideal.⁷

⁷ VER DATOS Y DESARROLLO AL FINAL DE CAPITULO.

Tabla 4.18. Resumen de recorridos por fecha

Archivo	Fecha	Horario	Velocidad media	Gasto medio [lts/h]	Volumen medio lts.	Gasto medio [kg/h]	Volumen medio [kg]	Gasto medio [kg/h]	Gasto medio [kg]
r11-08-15-08-01	15/08/01	08:00	19.940	7.366	16.096	5.451	11.911		
r12-08-16-08-01	16/08/01	08:00	20.335	7.384	16.412	5.464	12.145		
r21-08-18-08-01	18/08/01	08:00	19.141	7.748	17.431	5.734	12.899		
r22-08-20-08-01	20/08/01	08:00	17.309	7.070	16.299	5.231	12.061		
r31-08-21-01-02	21/01/02	08:00	23.509	9.517	17.755	5.044	9.410	4.178	7.795
r32-08-22-01-02	22/01/02	08:00	23.257	9.244	17.257	4.899	9.146	4.093	7.641
r41-08-23-01-02	23/01/02	08:00	19.203	8.824	20.297	4.677	10.758	4.008	9.220
r42-08-24-01-02	24/01/02	08:00	22.972	9.869	18.551	5.231	9.832	4.420	8.308
r11-14-20-08-01	20/08/01	14:00	22.115	8.528	19.215	6.311	14.219		
r12-14-22-08-01	22/08/01	14:00	19.572	7.196	15.473	5.325	11.450		
r21-14-21-08-01	21/08/01	14:00	19.454	7.838	16.438	5.800	12.164		
r22-14-23-08-01	23/08/01	14:00	26.152	7.167	16.369	5.304	12.113		
r31-14-25-01-02	25/01/02	14:00	23.055	10.980	21.066	5.819	11.165	5.003	9.599
r32-14-28-01-02	28/01/02	14:00	19.254	8.910	20.505	4.722	10.868	3.992	9.187
r41-14-29-01-02	29/01/02	14:00	19.636	10.597	23.561	5.616	12.487	4.589	10.204
r42-14-30-01-02	30/01/02	14:00	15.676	7.061	19.335	3.742	10.248	3.107	8.507
r11-20-03-08-01	03/08/01	20:00	20.219	7.327	16.033	5.422	11.864		
r12-20-04-08-01	04/08/01	20:00	19.888	6.144	14.078	4.547	10.418		
r21-20-06-08-01	06/08/01	20:00	16.284	7.232	16.271	5.352	12.040		
r22-20-08-08-01	08/08/01	20:00	20.432	7.138	15.660	5.282	11.588		
r31-20-31-01-02	31/01/02	20:00	17.972	8.983	22.103	4.761	11.715	3.911	9.623
r32-20-01-02-02	01/02/02	20:00	19.182	9.629	21.064	5.104	11.164	4.193	9.171
r41-20-04-02-02	04/02/02	20:00	19.613	9.128	22.201	4.838	11.767	4.044	9.835
r42-20-05-02-02	05/02/02	20:00	22.385	9.923	19.097	5.259	10.121	4.376	8.422

Tabla 4.19. Resumen de recorridos por horario

Horario	Replica	Chofer	Velocidad media (km/h)		Gasto medio (lts/h)		Gasto medio (lts)		Gasto medio (kg/h)			Gasto medio (kg)		
			Gasolina	GLP	Gasolina	GLP	Gasolina	GLP	Gasolina	GLP	GLP(l)	Gasolina	GLP	GLP(l)
08:00	1	1	19.94	23.50	7.36	9.51	16.09	17.75	5.45	5.04	4.17	11.91	9.410	7.79
		2	20.33	23.25	7.38	9.24	16.41	17.25	5.46	4.89	4.09	12.14	9.146	7.64
	2	1	19.14	19.20	7.74	8.82	17.43	20.29	5.73	4.67	4.00	12.89	10.75	9.22
		2	17.30	22.97	7.07	9.86	16.29	18.55	5.23	5.23	4.42	12.06	9.832	8.30
14:00	1	1	22.11	23.05	8.52	10.98	19.21	21.06	6.31	5.81	5.00	14.219	11.16	9.59
		2	19.57	19.25	7.19	8.91	15.47	20.50	5.32	4.72	3.99	11.450	10.86	9.18
	2	1	19.45	19.63	7.83	10.59	16.43	23.56	5.80	5.61	4.58	12.164	12.48	10.20
		2	26.15	15.67	7.16	7.06	16.36	19.33	5.30	3.74	3.10	12.113	10.24	8.507
20:00	1	1	20.21	17.97	7.32	8.98	16.03	22.10	5.42	4.76	3.911	11.864	11.71	9.623
		2	19.88	19.18	6.14	9.62	14.07	21.06	4.54	5.10	4.19	10.418	11.16	9.171
	2	1	16.28	19.61	7.23	9.12	16.27	22.20	5.35	4.83	4.04	12.040	11.76	9.835
		2	20.43	22.38	7.13	9.92	15.66	19.09	5.28	5.25	4.37	11.588	10.12	8.422

NOTA : EL DETALLE DE CADA UNO DE LOS RECORRIDOS SE PUEDE ENCONTRAR EN EL CD. ANEXO, EN DONDE LA CARPETA "RESULTADO DE RECORRIDOS CICLOS COMPLETOS" INCLUYE TODOS ESTOS, CON SUS GRAFICAS ANTES EXPLICADAS DE FRECUENCIA Y GASTOS, ASÍ COMO LA CARPETA "RESULTADO DE RECORRIDOS CICLOS REDUCIDOS" EN DONDE SE INCLUYE LOS CICLOS DE 300 SEGUNDOS DE TODOS LOS RECORRIDOS.

4.5 CALCULO DEL GASTO MÁSIKO⁸

DATOS DE TABLAS "DENSIDAD":

DENSIDAD DE LA GASOLINA REGULAR 0.715 0.765 $\left[\frac{kg}{l} \right]$

DENSIDAD DE GAS LICUADO (LIQUIDO) 0.53 0.54 $\left[\frac{kg}{l} \right]$

GAS IDEAL

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$p v = \frac{R u T}{M}$$

$$R u = 0.08314 \left[\frac{bar \cdot m^3}{kg \cdot mol \cdot k} \right]$$

p = presión (bar)

v = volumen específico $\left[\frac{m^3}{kg} \right]$

T = temperatura (k)

M = masa molar $\left[\frac{kg}{kg \cdot mol} \right]$

Ru = constante universal $\left[\frac{bar \cdot m^3}{kg \cdot mol} \right]$

⁸ REFERENCIA 12. PAG.224

4.6 NOMENCLATURA PARA IDENTIFICAR LOS RECORRIDOS

LOS RECORRIDO DE "GASOLINA" SE PUEDEN RECONOCER POR LA ASIGNACIÓN DE LOS NÚMEROS 1 O 2.

R11-08-15-08-01

R	RECORRIDO
1	1er RECORRIDO DE GASOLINA
1	NO. DE CHOFER
08	HORARIO 8:00 A.M
15-08-01	FECHA DE LA TOMA DE DATOS

R12-08-16-08-01

R	RECORRIDO
1	1er RECORRIDO DE GASOLINA
2	NO. DE CHOFER
08	HORARIO 8:00 A.M
16-08-01	FECHA DE LA TOMA DE DATOS

R21-08-18-08-01

R	RECORRIDO
2	2° RECORRIDO DE GASOLINA 1
1	NO. DE CHOFER
08	HORARIO 8:00 A.M
18-08-01	FECHA DE LA TOMA

R22-08-20-08-01

R	RECORRIDO
2	2° RECORRIDO DE GASOLINA
2	NO. DE CHOFER
08	HORARIO 8:00 A.M
20-08-01	FECHA DE LA TOMA DE DATOS

LOS RECORRIDO DE "GAS L.P" SE PUEDEN RECONOCER POR LA ASIGNACIÓN DE LOS NÚMEROS 3 O 4.

R31-08-21-01-02

R	RECORRIDO
3	1er RECORRIDO DE GAS L.P
1	NO. DE CHOFER
08	HORARIO 8:00 A.M
21-01-02	FECHA DE LA TOMA DE DATOS

R32-08-22-01-02

R	RECORRIDO
3	1er RECORRIDO DE GAS L.P
2	NO. DE CHOFER
08	HORARIO 8:00 A.M
22-01-02	FECHA DE LA TOMA DE DATOS

R41-08-23-01-02

R	RECORRIDO
4	2° RECORRIDO DE GAS L.P
1	NO. DE CHOFER
08	HORARIO 8:00 A.M
23-01-02	FECHA DE LA TOMA DE DATOS

R42-08-24-01-02

R	RECORRIDO
4	2° RECORRIDO DE GAS L.P
2	NO. DE CHOFER
08	HORARIO 8:00 A.M
24-01-02	FECHA DE LA TOMA DE DATOS

CONCLUSIONES

La necesidad de establecer una metodología para evaluar emisiones contaminantes provenientes de vehículos de transporte público, bajo las condiciones más reales de simulación, es la prioridad para el desarrollo de un Ciclo de manejo Representativo de la ZMVM. Sabemos que los resultados presentados en este trabajo no pueden ser representativos de toda la Zona de Valle 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 experimental tuvo como base la selección de dos vehículos (uno carburado a G.L.P y otro a gasolina), representativos del parque vehicular de mayor circulación en el transporte público de pasajeros, con dos conductores y en tres horarios distintos (8, 14 y 20 horas), en una ruta fija, los horarios se eligieron con base en el tránsito vehicular y la afluencia de pasaje de dicha ruta, así como las condiciones climáticas de la ciudad son las que prevalecen cotidianamente.

Uno de los objetivos de esta tesis ha sido el desarrollo de la instrumentación a bordo de los vehículos, siendo esta una de las tareas más difíciles de lograr, debido a los altos costos de los sensores, la poca disponibilidad de equipos para medición de gasto de combustible y sistemas adquisición de datos en el mercado, de manera que estos se tuvieron que diseñar, elaborar y acondicionar en el Laboratorio de Control de Emisiones por un grupo interdisciplinario de colaboradores, cumpliendo con las características requeridas para el desarrollo experimental, con el fin de no alterar el funcionamiento normal del vehículo, ni la lectura de los parámetros monitoreados. Finalmente la información captada por el Sistema de Adquisición de Datos fue transferida a una computadora para su procesamiento y análisis.

En un principio, 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 ve limitada por las condiciones de flujo vial, sin importar la marca y modelo del vehículo que conduzcan, Esta información es correcta, si tomamos en cuenta como variable principal la velocidad media del vehículo, pero esta no aporta la información suficiente para el análisis de **índice de emisiones contaminantes** ya que, se sabe que existen formas de manejo agresivas y pasivas que no se pueden inferir ni observar a

PAGINACIÓN DISCONTINUA

través de el análisis de la velocidad media. Las variables que representa este fenómeno son la "tasas de aceleración" que en conjunto con el "gasto de combustible" influye en el índice de emisiones contaminantes y del efecto invernadero.

El estudio también permitió descubrir que la velocidad media de circulación de los vehículos carburados a gasolina es de 20 Km/h y para los carburados a G.L.P es de 20.6 Km/h , los cual nos indica que la velocidad desarrollada en los vehículos es similar y el tipo de combustible no influye en la velocidad desarrollada por este tipo de vehículo, el tiempo durante el cual el vehículo permanece en marcha sin desplazarse para los vehículos carburados a gasolina , es de 25% y para los carburados a G.L.P es de 27%, la variación se puede deber a la diferencia en el tipo de conducción. Estos valores ponen de manifiesto la dificultad para transitar en la ciudad de México y coincide con otros resultados encontrados en la literatura relacionada.

El miniciclo de manejo obtenido, representa las condiciones típicas de conducción en la zona monitoreada, es necesario que el miniciclo propuesto se evalúe sobre un dinamómetro de chasis a fin de aportar la información requerida por las autoridades vigentes 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 transporte público y proponer el procedimiento de prueba específico para la verificación de los vehículos de transporte público (microbuses) en circulación, en los centros de verificación, sin distinción de tipo de combustible.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ANEXOS

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla A.I. Clasificación de los hidrocarburos por su estructura molecular.

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

Tabla A.II. Proceso de obtención de combustibles líquidos derivados del petróleo.			
Nombre del proceso	Desarrollo del proceso	Temp. Del proceso	Combustibles obtenidos
Destilación	Separación de distintos componentes del petrolero 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, parafinas, y de los de base asfáltica se emplea como alquitrán.
		220 a 315	Gasóleo (C ₁₆ a C ₃₄)*
		180 a 315	Queroseno(C ₁₂ a C ₁₆)*
		20 - 30 a 200	Gasolina (C ₄ a C ₁₂)*
		-5 a 20	GLP (botano, etano, propano)
Craqueo	Fraccionamiento de moléculas largas en moléculas más cortas con puntos de ebullición dentro de las gasolinas.	500	A través de un proceso térmico, a 25 - 30 bar de presión se obtienen gasolinas.
		Baja temp.	A través de proceso catalítico se obtiene un 40% de la gasolina corriente.
Polimerización	Combinación de dos o más moléculas olefinicas para dar lugar a una mayor.	200	En presencia de un catalizador a presión de 30 a 80 bar, se obtienen alquenos (OLEFINAS) más autoinflamables.
Reformado	Conversión catalítica de parafinas o naftenos en aromáticos, por reacciones de deshidrogenación.	500	A presión de 15 a 20 bar se obtienen aromáticos y moléculas de hidrogeno.
Hidrogenización	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 auto encendido (iso-parafinas)
Alquilación	Combinación de una iso - parafinas con una olefina en estado gaseoso con catalizadores de metales nobles.	0 - 40	Se obtiene moléculas iso-parafínicas líquidas de mayor tamaño con tendencia menor a autoinflamarse.
Hidrodesulfuración	Reducción del contenido de azufre de los gasóleos (diesel) por adición de hidrogeno al azufre y posterior separación de la combinación.	-	Se obtiene del SO ₂ en los gases de escape. El SO ₂ es muy corrosivo y venenoso.

*Composición aproximada (número de carbonos)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

**Tabla A.III. Exigencias mínimas de los combustibles líquidos para MEP
(Estándar Europea EN228)**

Especificaciones	Premium		Magna		Ensayo según
	Verano	Invierno	Verano	Invierno	
Densidad a 15°	0.725 a 0.780		0.715 a 0.765		DIN 51757
Resis. a detonación mín. ROM min. MOM	98.0	88.0	91.0	82.5	DIN 51756
Azufre, % peso	0.05		0.05		DIN 51400
Benceno, Vol.% máx.	5		5		
Contenido de plomo (alquilos de plomo) máx. mg/l	13		13		DIN 51600
Evolución a la ebullición: Cantidades evaporadas en total hasta 70 °C Vol.% hasta 100 °C Vol.% hasta 180 °C Vol.% Punto final de ebullición máx. 215°C	15 a 45 40 a 65 85/- 215	15 a 47 43 a 70 8/- 215	15 a 45 40 a 65 85/- 215	15 a 47 43 a 70 85/- 215	DIN 51751
Presión de vapor S. Reid. bar	0.35/0.7	0.35/0.7	0.35/0.7	0.35/0.7	DIN 51754
Residuo en el vapor máx. mg/100 ml	5		5		DIN EN 5
Índice de Sello de Vapor ¹ máx.	950	1150	950	1150	DIN EN222

1) VLI = Vapor Lock Index (p.235)

**Tabla A.IV. Especificaciones mínimas de los combustibles para motores Diesel.
(DIN 51601)**

Especificaciones	Ensayo según		
Densidad a 15°	g/ml	0.820 ... 0.860	DIN 51757
Evolución a la ebullición: cant. evaporada hasta 250 °C cant. evaporada hasta 350 °C cant. evaporada hasta 370 °C	máximo vol. en % mínimo vol. en % en %	65 85 95	DIN 51751
Viscosidad cinemática a 40°C	mm ² /s (Cst)	2 ... 4.5	DIN 51561 DIN 51562
Punto de inflamación	Superior a °C	55	DIN 51755
Fluidez: Valor límite de filtrabilidad en verano: en invierno:	máximo vol. en % mínimo vol. en %	0 -15	DIN 51757
Contenido de azufre.	máx. % en peso	0.05	DIN 51400
Residuos de coque.	máx. % en peso	0.1	DIN 51757
Número de cetano	mínimo	49	
Facilidad de encendido (índice de cetano)	mínimo en CZ	46	DIN 51757

FUENTE: Bosch Automotive Handbook

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

**Tabla A.V. 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:						
10, máxima	158	149	140	131	122	D 86
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/in ²	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 de 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, pag. 7-17

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**Tabla A.VI. Especificaciones de la gasolina
(Extracto de ASTM D 439)**

Designación de la gasolina antidetonante	Indice antidetonante (octano), mínimo, (RON + MON)/2	Aplicación
1	Menos de 87	Para automóviles con necesidades 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 debes ser 82

Fuente: Referencia 16, pag. 7.17

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

**Tabla A.VII. Especificaciones para combustibles diesel.
(Extracto de ASTM D 975)**

Prueba	Método ASTM	Grado ASTM del combustible diesel			Especificaciones militares U.S.A MIL-F-16884G
		1-D	2-D	4-D	
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 residuos, % 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 evaporación:					
Mínima	D 86	-	540	-	-
Máxima		550	640	-	675

Fuente: Referencia 16, pag. 7-19

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

**Tabla A.VIII. Especificaciones de la Gasolina Magna ZMVM
(Extracto de ASTM D 975)**

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 destilación.	% vol.	D-86/90	2 máx.
Presión de vapor Reid.	lb/in ²	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-133/88	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	3' máx.
Olefinas	% vol.	FIA D-1319/89	12 máx.
Benceno	% vol.	D-3006/87	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, Marzo 1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**Tabla A.IX. Especificaciones de Diesel SIN
(Extracto 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-2500/91	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.	-	D-613/86	48 mín.
Índice de cetano.	-	D-976/80	48 mín.
Ceniza	% peso	D-482-91	0.01 máx.
Aromáticos	% vol.	D-1319/89 ó 91	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 1995.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**Tabla A.X. Principales Especificaciones de Gasolina Premium.
(Datos de prueba)**

Pruebas	Unidades	Método	Especificaciones
Peso específico 20/4 °C	-	D-287-87 ó D-1298	0.7382
Color ASTM	-	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	172.8ar
Residuo de la destilación.	% vol.	D-86/90	-
Presión de vapor Reid.	lb/in ²	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	-
Periodo 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 cetano MOM.	-	D-2700/88	88.6
Índice octano (RON+MOM)/2	-	IMP-RP-QA-613	92.2
Fósforo.	g/gal	D-3231/89	-
Aditivos detergentes dispersantes	ppm	IMP-RP-QA-613	-
Aromáticos	% vol.	FIA D-1319/89	24.85
Olefinas	% vol.	FIA D-1319/89	4.9
Benceno	% vol.	D-3606/87	0.5
Oxigenados	% peso.	D-4815/89 ó Infrarrojo	4.72
Oxígeno	% vol.	-	0.86

Fuente: Instituto Mexicano del Petróleo, 1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

REFERENCIA

- 1.- 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.
- 2.- Baumeister, Theodore, Avallone, Eugene A.; Baumeister III, Theodore; **MARKS. Manual del Ingeniero Mecánico**; Mc Graw Hill; 8ª Edición; Vol. II; 1984.
- 3.- Lucas Diesel; **Motorización Del Automóvil**. Posibles Soluciones Para Ahorro de Energía y Protección del Medio Ambiente, Octubre 1990.
- 4.- Payri González, Francisco y Desantes Fernández, José María; **Soluciones A La Contaminación De Los Motores Térmicos Alternativos De Automoción**; Mapu - Cima.
- 5.- Strauss, W. Y Mainwaring, S.J; **Contaminación Del Aire**. Causas, efectos y soluciones; Trillas, 1990.
- 6.- 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**.
- 7.- Wark, Kenneth y Warner, Cecil F; **Contaminación Del Aire**. Origen y Control; Limusa, Noriega, 1990.
- 8.- Riveros, H. G; Ortiz A; L; y López, V; **Emisiones Contaminantes En Motores De Gasolina**; Artículo Técnico ; DINAMIS, Publicación Periódica; UNAM; Año 4; Número 6; Pág. 61-67.
- 9.- Montgomery, Douglas C.; **Diseño Y Análisis De Experimentos**; Grupo editorial Iberoamérica; México; 1995
- 10.- Villareal, Augusto; **Apuntes De Diseño Estadístico De Experimentos**; UNAM; México; 1995.

- 11.- M.J. Molina, L.T. Molina, G. Sosa, J. Gasca y J. West Instituto Tecnológico de Massachussets; Programa Integral sobre Contaminación Urbana, Regional y Global: Estudio de Caso de la Ciudad de México; **ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DEL INVENTARIO DE EMISIONES DE LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO**. Ref. COMETRAVI.
- 12.- Bosch; **Manual De La Técnica De Automóvil**; 5° Edición en Ingles; 1999.
- 13.- EPA. **Federal Test Procedure Review Project: Preliminary Technicl Report, Mary 1993**, March 1998, pp. 1-207.
- 14.- González Oropeza R. **The driving cycles, a useful tool if it's dynamics for assessment fuel consumption and pullting emissions of road transportation**, reporte interno Laboratorio de Controlde Emisiones, Facultad de Ingeniería, UNAM. 2002.
- 15.- González Oropeza R. Galván Zacarías A. **Desarrollo de ciclos de manejo, característicos de Cd. De México.**, SOMIM, 2003, en evaluación.
- 16.- M.I. José Luis Ramírez Mellado. **Propuesta de un ciclo de manejo representativo de la ZMCM, para homologar vehículos ligeros**. 1997, UNAM.