



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

## FACULTAD DE INGENIERÍA

Título

ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO DE LOS  
PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN  
EN UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO  
DEBIDO AL USO DE COMBUSTIBLES  
ALTERNATIVOS

TESIS PROFESIONAL  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO  
(AREA TÉRMICA)

P R E S E N T A N  
MARTÍNEZ GALVÁN | ISRAEL OCTAVIO  
MÉNDEZ DÍAZ SANTOS

DIRECTOR: DR. ROGELIO GONZÁLEZ OROPEZA  
CODIRECTOR: ING. ANTONIO GALVÁN ZACARÍAS



CIUDAD UNIVERSITARIA

MÉXICO, D.F., 2002.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



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.

---

**ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO DE LOS PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN  
EN UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO DEBIDO AL USO DE  
COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS**

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

CAPÍTULO 1. COMBUSTIBLES

1.1 Combustibles

1.2 Estructura molecular

- 1.2.1 Hidrocarburos de cadena abierta
- 1.2.2 Hidrocarburos de cadena cerrada
- 1.2.3 Otras estructuras moleculares

1.3 Características generales de los combustibles

- 1.3.1 Gas Natural Comprimido
- 1.3.2 Gas Licuado de Petróleo
- 1.3.3 Gasolinas

1.4 Propiedades generales de los combustibles

- 1.4.1 Poder calorífico
- 1.4.2 Volatilidad
- 1.4.3 Calor latente de vaporización
- 1.4.4 Comportamiento respecto a la combustión

CAPÍTULO 2. EFECTOS DE LA COMBUSTIÓN

2.1. Efectos Ambientales

- 2.1.1. Principales precursores de contaminación
- 2.1.2. Escala IMECA
- 2.1.3. Efectos sobre las prestaciones del motor debido al uso de combustibles alternativos
- 2.1.4. Alcohol
- 2.1.5. Gas Licuado de Petróleo
- 2.1.6. Gas Natural comprimido

2.2. Prestaciones del motor

- 2.2.1. Par
- 2.2.2. Potencia
- 2.2.3. Consumo
- 2.2.4. Velocidad

## CAPÍTULO 3. INSTRUMENTACIÓN Y EQUIPO

- 3.1 Parámetros a medir, equipos e instrumentos
  - 3.1.1. Motor de combustión interna alternativo
  - 3.1.2. Freno hidráulico
  - 3.1.3. Tacómetro
  - 3.1.4. Medidores de gasto de combustible
    - 3.1.4.1. Medidor Pro Bar
    - 3.1.4.2. Medidor ABB K-Flow
  - 3.1.5. Medidor de gasto del aire de combustión
    - 3.1.5.1. Anemómetro de hilo caliente
  - 3.1.6. Analizador de gases
  - 3.1.7. Sistemas de alimentación de combustible
    - 3.1.7.1. Gasolinas convencionales y mezclas con etanol
    - 3.1.7.2. Gas licuado de petróleo
    - 3.1.7.3. Gas natural comprimido
  - 3.1.8. Equipo de dilución de gases
    - 3.1.8.1. Túneles de dilución
    - 3.1.8.2. Cámara de dilución
  - 3.1.9. Banco de flujo
  - 3.1.10. Cromatógrafo de gases
  - 3.1.11. Sala de ensayos

## CAPÍTULO 4. DESARROLLO EXPERIMENTAL

- 4.1 Metodología de los ensayos
- 4.2 Descripción del experimento
  - 4.2.1 Procedimiento de ensayos para determinar las curvas del motor
  - 4.2.2 Procedimiento para determinar la emisión total de contaminantes
    - 4.2.2.1 Medidores de Flujo
- 4.3 Desarrollo de pruebas
  - 4.3.1 Construcción y caracterización de los medidores de flujo
  - 4.3.2 Adquisición de datos
- 4.4 Despliegado de datos y resultados

## CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

- 5.2 Análisis de resultados
- 5.3 Conclusiones generales

## APÉNDICE

## INTRODUCCIÓN

El problema de la contaminación atmosférica de la Ciudad de México es conocido ya de años atrás, y por supuesto, también de años atrás se han buscado soluciones alternativas. A principios de la década de los noventa, en donde se sugiere hacer uso de combustibles sustitutos de la gasolina en flotas vehiculares del transporte de carga, público y de servicios, haciendo gran énfasis en el uso del Gas licuado del Petróleo y Gas Natural Comprimido se empieza a hablar de la conversión de los motores para utilizar estos combustibles.

Una de las características que alentó el uso de estos combustibles, es que no se requiere de hacer grandes modificaciones a los motores, salvo en el caso del GNC en el que se requiere de un depósito mucho más robusto y caro, en comparación con el que se usa para el GLP, aunque el precio del primer combustible es más barato que el segundo.

Así, siguiendo con esta idea, se han planteado un sin número de acciones a seguir con las conversiones de los motores para distintos usos, algunas por parte del gobierno de la Ciudad de México, otros por parte del gobierno federal, otros más por los particulares y también por parte de empresas, en estos últimos casos, tanto aquellos que quieren comercializar los combustibles, como los que pretenden vender los equipos de conversión.

En relación con éste tema, la UNAM ha apoyado un proyecto, que se desarrolla en el Laboratorio de Control de Emisiones de la Facultad de Ingeniería, que plantea establecer ciertas comparaciones entre combustibles, atendiendo a la composición química de los compuestos que se producen durante y después de la combustión (reacciones químicas y fotoquímicas en el ambiente), tomando en cuenta que los combustibles serán utilizados a una altitud de 2240 m.s.n.m. y que un buen porcentaje del parque vehicular usa aun el carburador como medio de dosificación de la mezcla aire-combustible.

El presente trabajo muestra como se han diseñado los ensayos experimentales, y como se ha obtenido la información buscada a partir del análisis cromatográfico de muestras.

Estos datos, complementados con los de las prestaciones del motor usando distintos carburantes, (tomando en cuenta los dispositivos de conversión, rendimiento y seguridad) arrojaron información valiosa que, pensamos, es vital en la toma de decisiones para mejorar la calidad del aire en la Ciudad de México.

La finalidad de este trabajo radica fundamentalmente en conocer las emisiones contaminantes y principales compuestos formados, debido al uso de combustibles alternativos, incluyendo el consumo de combustible, todo ello para tener resultados más tangibles del problema ambiental.

Se han tomado en cuenta algunos antecedentes de estudios previos sobre combustibles alternativos, pues este tema es una línea de investigación que se desarrolla en la Ciudad de México desde hace varios años, por diferentes instituciones. También se han considerado algunas de las experiencias de aquellos países donde se ha intentado sustituir la gasolina y el diesel por otros combustibles que reduzcan el consumo y los niveles de concentración de CO, HC, NO<sub>x</sub> y CO<sub>2</sub> en la atmósfera, los cuales son precursores de ozono y contribuyen al efecto invernadero, principalmente.

Por otra parte, estamos conscientes de que no es posible dar una solución única al problema de la contaminación atmosférica, pero también sabemos que es muy importante tomar decisiones con conocimiento de causa, y sólo se pueden conocer las causas, desarrollando investigaciones con los combustibles que se están suministrando a los usuarios, y por supuesto también con aquellos que se están proponiendo como una alternativa. Dichas investigaciones, pensamos, deben realizarse en el lugar donde se están usando y con los motores representativos del parque vehicular, y no hacer extrapolaciones de otras

investigaciones que se desarrollaron en situaciones totalmente diferentes.

En este sentido, parece prudente comentar que nuestro trabajo se ha limitado a un solo motor y que aunque es representativo de los vehículos ligeros de hace 10 años aproximadamente, es necesario repetir estos ensayos con otros motores para tener un panorama más amplio del consumo y de los compuestos emitidos por el escape de todas las fuentes móviles.

Se utilizó un motor de encendido provocado, y el diseño experimental se realizó tomando en cuenta condiciones específicas del comportamiento del motor. La secuencia de las pruebas se pensó, de manera que pudiésemos calcular las emisiones de los diferentes componentes químicos que emite el motor, por ejemplo el Etileno, Metilbutano, Propileno, 2-Metil-propeno, 1,2,3-Dimetil-propeno, Oxileno, Dimetil-pentano, Formaldeídos, Acetileno, Propileno y sobre todo la contribución de cada uno de ellos, para finalmente, poder concluir con conocimiento de causa cuáles son los productos químicos que se emiten y de cual combustible se obtiene la menor cantidad de éstos, sin descuidar en ningún instante las prestaciones que debe entregar el motor, como lo son el par, la potencia y consumo específico.



## OBJETIVOS

Dentro de los objetivos primarios de esta investigación están:

- Conocer los principales compuestos químicos que se forman al usar distintos combustibles, y cómo la generación de los mismos esta estrechamente vinculada con los combustibles utilizados, a saber: gas natural comprimido (GNC), gas licuado de petróleo (GLP), las gasolinas Magna y Premium y mezclas de gasolina Magna con etanol en distintas concentraciones.
- Comparar mediante el diseño de un procedimiento de pruebas, la contribución de los compuestos contaminantes más importantes de cada combustible ensayado, y expresar los resultados en función del combustible consumido, así como de la potencia entregada por el motor.

Como objetivos secundarios se tienen:

- Comparar las prestaciones de un motor de combustión interna usando distintos combustibles.
- Evaluar algunas tecnologías de conversión de GNC y GLP.
- Establecer mezclas de Etanol con gasolinas que satisfagan niveles de emisiones y consumos preestablecidos.
- Dar a conocer los resultados para tener conocimiento en la toma de decisiones con el uso de combustibles alternativos.

...

...

...

...

...

...

...

...

...

...

...

## CAPÍTULO 1 COMBUSTIBLES

Los combustibles son sustancias que reaccionan de forma exotérmica al combinarse con el oxígeno del aire, en donde dicha reacción denominada combustión, permite transformar la energía asociada a la estructura molecular de los reactantes en energía térmica que contienen los productos.

Los combustibles pueden clasificarse según su estado de agregación en condiciones ambientales, en gaseosos (hidrógeno, gas natural, gases licuados del petróleo, etc.), líquidos (gasolinas, diesel, etanol, etc.) y sólidos (carbón pulverizado, madera, etc.), como se observa en la tabla 1.1.

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

Tabla 1.1. Estados de Agregación de los Combustibles

Debido a los grandes depósitos necesarios para su almacenamiento, los combustibles gaseosos estaban destinados para motores estacionarios, sin embargo en la actualidad existen equipos especialmente diseñados para su utilización en motores de vehículos para transporte, tanto de bienes como de personas, un ejemplo de esto lo forman el gas licuado del petróleo GLP y el gas natural comprimido GNC. Los combustibles gaseosos presentan una buena formación de mezcla, por lo que se pueden quemar mezclas más pobres que con gasolina y sus gases de escape no son tan contaminantes como los producidos por otros combustibles.

Los combustibles líquidos siguen siendo la fuente de energía por excelencia de los motores de combustión interna, presentan varias ventajas entre las que cabe destacar la gran cantidad de energía por unidad de volumen que entregan, su fácil y seguro manejo, almacenamiento y transporte. Durante el proceso de mezcla con el aire en los motores de encendido provocado (M.E.P.), los combustibles líquidos deben vaporizarse.

Los combustibles líquidos proceden en un 99% de la destilación del petróleo y consisten en una mezcla de diversos hidrocarburos. La destilación es el proceso inicial de la refinación del petróleo. Después de la extracción del petróleo se eliminan los sólidos térreos (caliza y cualquier sólido), posteriormente se inicia la refinación del crudo comenzando con una destilación primaria (a presión atmosférica) que consiste en calentar el crudo hasta ebullición y cuyos productos se someten a otros procesos de transformación, los residuos se someten a una segunda destilación (a presión de vacío).

El crudo entra a la torre de destilación primaria a 400 C. Al ascender los vapores se enfrían y se condensan en platos especiales que se encuentran a distintas temperaturas y evitan que los líquidos se mezclen.

En esta primera destilación se obtienen los primeros 20 hidrocarburos (HC's) sin descomponerse. Ya en una segunda destilación al alto vacío se obtienen nuevos productos, el efecto de la baja presión evita que las nuevas fracciones se descompongan, es decir, que se rompan las cadenas de Carbono.

Fracciones del petróleo que abandonan la torre de destilación.			
Nombre	Intervalo de temperatura de ebullición (°C)	Número de carbonos	Uso
Gas incondensable	menor de 20	1 a 4	Combustible
Éter de petróleo	20 - 80	5 a 8	Disolvente
Gasolina	35 - 220	5 a 12	Combustible de autos
Querosina	200 - 315	12 a 16	Combustible aviación
Aceite ligero	250 - 375	15 a 18	Combustible diésel
Aceite lubricante y grasas	mayor de 350	16 a 20	Lubricante
Ceras parafínicas	Sólido, funde entre 50 y 60	20 a 30	Velas
Asfalto	Sólido viscoso	-----	Pavimento
Residuo	sólido	-----	Combustible

Tabla 1.2. Fracciones de Petróleo.

En la tabla 1.2 se muestra un cuadro sinóptico con los destinos principales de las fracciones del petróleo. Cada una de las corrientes que abandonan la torre primaria de destilación recibe tratamientos posteriores en la propia refinería o en plantas externas. Debe señalarse que la destilación no produce la separación de cada hidrocarburo, sino que produce fracciones (conjunto de distintos HC's semejantes en estructura)

El craqueo es un proceso dentro de la refinación (posterior a la destilación) en el cual se rompen cadenas largas de HC's pesados originando estructuras más sencillas, parecidas a las obtenidas en la destilación primaria pero no siendo los mismos compuestos que los obtenidos en la destilación primaria.

## 1.1 ESTRUCTURA MOLECULAR

Los combustibles derivados del petróleo son mezclas de dos o más hidrocarburos, con algo de azufre y otras impurezas. Los hidrocarburos poseen diferentes estructuras de cadena, pudiendo ser abiertas o cerradas, cuya nomenclatura depende del número de átomos de carbono, el número de átomos de hidrógeno y de su arreglo estructural.

Nomenclatura de los Hidrocarburos	
Número de átomos de Carbono	Prefijo
1	Met-
2	Et-
3	Prop-
4	But-
5	Pent-
6	Hex-
7	Hept-
8	Oct-
9	Non-
10	Deca-

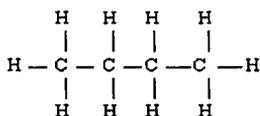
Tabla 1.3. Prefijos de los Principales Hidrocarburos.

### 1.1.1 Hidrocarburos de Cadena Abierta o Alifáticos

#### a) Parafinas (Alcanos $C_n H_{2n+2}$ )

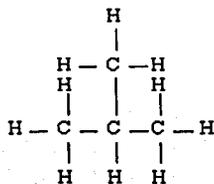
Son hidrocarburos formados por cadenas abiertas con los átomos de Carbono unidos por un enlace simple. Son los hidrocarburos que en mayor proporción se encuentran en el petróleo, son incoloros e insolubles en agua. Sus propiedades varían con la longitud de la cadena y la estructura de las moléculas.

Las parafinas normales poseen cadenas lineales no ramificadas con una tendencia a la inflamación que aumenta junto con el tamaño de la cadena. A estos hidrocarburos se les conoce también como alcanos y contemplan compuestos como el metano(CH<sub>4</sub>), etano (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), propano (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), butano (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>), etc. todos con terminación *-ano*. Generalmente las parafinas lineales no ramificadas se identifican por poseer la letra n (*n-*) antes de su nombre, de ese modo el n-butano posee la fórmula C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> que es la misma que la del butano. Los cuatro primeros miembros de la serie n-parafinas son gases, desde el *n-pentano* hasta el *n-hexadecano* son líquidos, y del *n-heptadecano* en adelante sólidos.



n-butano

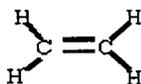
Las isoparafinas poseen cadenas ramificadas, son bastante menos auto inflamables que las parafinas de igual número de carbonos (molécula más compacta), por lo que son adecuadas para los MEP. Las isoparafinas son ejemplos de isómeros (compuestos con el mismo número de Carbonos y distinta configuración estructural), que contienen una cadena principal de carbonos enlazados y que contienen una o más cadenas secundarias de carbonos de longitud menor. De esta manera el isobutano es un isómero del butano, ambos poseen 4 átomos de Carbono y 10 átomos de Hidrógeno.



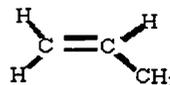
iso-butano o 2-metilpropano

b) Olefinas (Alquenos  $C_n H_{2n}$ )

Son hidrocarburos con estructura de cadena abierta con uno o más enlaces dobles entre los átomos de carbono. Se caracterizan por poseer terminación (-eno) y la nomenclatura es similar a la que se aplica a las parafinas y a las isoparafinas. Su estructura puede ser no ramificada (n-) o ramificada (iso-). Las olefinas son menos auto inflamables que las n-parafinas, además la autoinflamabilidad aumenta con el número de carbonos.



Eteno o etileno

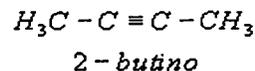
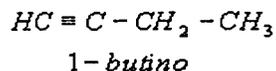
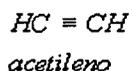


Propeno o propileno

c) Acetilenos (Alquinos  $C_n H_{2n-2}$ )

Son hidrocarburos de cadena abierta con uno o más enlaces triples entre los átomos de Carbono cuya terminación es (-ino).

A su estructura, si es ramificada, se le antepone el prefijo (iso-). Su estructura de triple enlace le permite a esta serie de compuestos tener propiedades como carburantes muy favorables. En este caso se antepone un número entero al nombre para indicar en que carbono se encuentra el triple enlace.



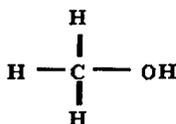


### 1.1.3 Otras Estructuras Moleculares

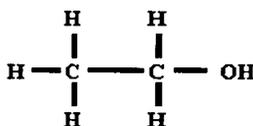
Se han empleado combustibles no derivados del petróleo en sustitución de la gasolina, los principales sustitutos son los alcoholes y mezclas que contienen éter dietílico, además de mezclas con gasolina.

#### a) Alcoholes

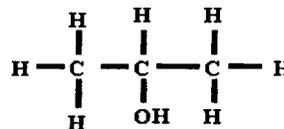
El alcohol es un compuesto orgánico que se obtiene por destilación de otras sustancias o por fermentación de compuestos orgánicos con ayuda de microorganismos. Su fórmula general es del tipo ROH, donde R es un grupo de hidrocarburo y el radical OH se encuentra unido a un átomo de Carbono, es por ello que el nombre de los alcoholes consiste en el nombre del radical con la terminación *-ol*. El alcohol que se usa principalmente como combustible es el etílico ( $C_2H_5OH$ ), que se llama etanol y comercialmente contiene 5% de agua, también se pueden utilizar mezclas con metanol ( $CH_3OH$ ). Los cuatro primeros alcoholes saturados son líquidos, hasta el undécimo son líquidos oleosos, y los demás son sólidos.



Metanol o alcohol metílico



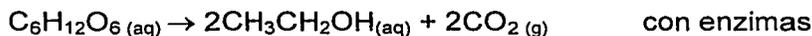
etanol o alcohol etílico



2-propanol o alcohol isopropílico

Según el número de carbonos unidos al que lleva el radical -OH, se clasifican en: alcoholes primarios ( $R-CH_2OH$ ), alcoholes secundarios ( $R-CHOH-R'$ ) y alcoholes terciarios ( $RR'-COH-R''$ ). Los que poseen más de un grupo hidroxilo se llaman alcoholes polihidroxílicos (glicoles o dioles, trioles, etc.).

El alcohol etílico o etanol, se produce biológicamente por la fermentación de azúcar o almidón:



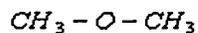
Para su comercialización el etanol se prepara mediante una reacción de adición en que el agua se combina con etileno a unos 280° C y 300 atm.



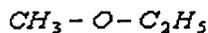
### b) Éter dietílico

El éter es un tipo de compuesto orgánico que contiene el grupo -O-. Los éteres simples tienen la fórmula R-O-R', donde R y R' son grupos alquílicos o arílicos que pueden ser o no los mismos. Son gases o líquidos muy volátiles y muy inflamables.

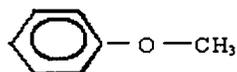
El ejemplo más conocido es el etoxietano (dietiléter, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>O C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>) que es un combustible muy volátil y se usa con otros combustibles para aumentar la volatilidad de la mezcla.



*éter dimetilico*



*metil-etil éter*



*fenil-metil éter*

## 1.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS COMBUSTIBLES

### 1.2.1 Gas Natural Comprimido (GNC)

El gas natural es una mezcla de hidrocarburos simples en fase gaseosa que se extrae del subsuelo en los domos de depósitos de petróleo crudo o en depósitos subterráneos profundos de rocas porosas. Se clasifica de acuerdo a su origen en: Asociado (se extrae con petróleo crudo) y No asociado (se extrae sin combinación alguna).

Se cree que se origina de la descomposición de las moléculas de carbón ó de la separación de moléculas de petróleo mediante calor y presión a lo largo de millones de años.

El gas natural comercial se compone básicamente de nueve compuestos, como se observa en la tabla 1.4, y además posee trazas de agua y ácido sulfhídrico.

Compuesto	Fórmula	Volumen %
Metano	CH <sub>4</sub>	92.00
Etano	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	3.60
Propano	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	1.00
Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.03
Pentano	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0.10
Hexano	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0.10
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	1.00
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	1.60
Total		100

Tabla 1.4 Composición del Gas Natural Comprimido

Para su almacenamiento, el gas natural es sometido a un proceso de compresión, de ahí que su nombre comercial sea Gas Natural Comprimido (GNC). El Gas Natural Licuado (GNL), es el gas natural que ha sido refrigerado hasta su temperatura de saturación, que es de  $-163^{\circ}\text{C}$ , a la cual se vuelve líquido a presión normal reduciendo su volumen 600 veces, es por ello que la densidad de la energía del GNL sea mucho más alta que la del GNC.

Los usos son muy variados tanto en industria como en comercio. Constituye una ventaja importante su facilidad de almacenaje y uso, su venta es por litro, cualquier vehículo a Diesel o Gasolina es susceptible de modificarse, reduce el consumo de gasolina per cápita y con ello el déficit comercial de nuestro país, es un combustible alternativo, seguro, limpio y económico, además se disponen de grandes reservas en México y en el mundo.

Como características particulares el GNC requiere de una mayor temperatura para incendiarse, tiene un grado de flamabilidad menor que el Diesel, la gasolina o el GLP, es más ligero que el aire por lo que las fugas se disipan con facilidad, propicia una mayor duración del convertidor catalítico, cambios de aceite, piezas de motor y afinación menos frecuentes, en la carga del combustible no existe evaporación, produce bajas emisiones de CO, HC y NOx (con GNC se reducen las emisiones en un 90%) y la emisión de partículas al medio ambiente es muy baja, no es corrosivo, tóxico, no contamina la tierra ni al agua. La ventaja económica está reflejada en cuanto a que para un mismo volumen, el costo es menor para el GNC que para cualquier otro combustible. Posee un punto de inflamación menor al del GLP (explota en concentraciones mayores a 3% L.E.L., siendo que el GLP lo hace en concentraciones menores), es más estable en su manejo. No es necesario retirar equipo original, es posible tener un sistema con combustible dual.

Algunos inconvenientes son el rendimiento inferior al motor diesel, lo que tiende a igualar la emisión de CO y CO<sub>2</sub> con el diesel, produce formol, lo cual hace necesario un catalizador para eliminarlo, el gran peso y el tamaño de los depósitos de combustible limita la autonomía de los vehículos: Es necesario un depósito de 300 kg para almacenar 70 kg de GNC, se hace necesario redefinir el peligro de condiciones del vehículo debido al peso suplementario, peligro de explosión en caso de accidente.

### 1.2.2 Gas Licuado del Petróleo

El gas licuado de petróleo o GLP esta compuesto por propano, propileno normal y propileno isobutano y butilenos. El GLP puede ser almacenado en forma líquida bajo presiones moderadas y a temperatura ordinaria, esto se debe a que las mezclas propano-butano se pueden licuar a bajas presiones y así almacenarse en recipientes de varios litros, cuando es liberado a presión atmosférica se convierte en gas.

Compuesto	Fórmula	Volumen %
Propano	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	90
Propileno	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	5
Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	2
Iso – Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	1.5
Metano	CH <sub>4</sub>	1.5
<b>Total</b>		100

Tabla 1.5 Composición del Gas Licuado del Petróleo

Al igual que el gas natural, el gas licuado carece de olor y de color por lo que no puede ser detectado por el olfato humano. Para ser detectado y evitar accidentes se adiciona Mercaptano como olorizante en una relación d 0.45 Kg de Mercaptano por cada 37.9 m<sup>3</sup> que no es corrosivo ni peligroso a la salud.

EL GLP posee algunas de las propiedades de los combustibles, tanto líquidos como gaseosos; arden, se evaporan, no son corrosivos ni venenosos y se disuelven en muchos otros productos. El GLP es más pesado que el aire, es decir, que si se libera lentamente en una atmósfera en calma, tiende a descender, de existir una corriente de aire o una leve brisa ese gas es disipado rápidamente. Otras propiedades del GLP que deben tomarse en cuenta, son que, al igual que casi todos los líquidos se expanden cuando aumenta su temperatura y como el GLP siempre se manipula en instalaciones cerradas, se debe permitir que el líquido se expanda libremente, por lo tanto, un tanque de GLP no debe ser llenado por arriba del 80% de su capacidad.

### 1.2.3 Gasolinas

La gasolina es una mezcla de productos obtenidos mediante diferentes procesos, es la proporción en la mezcla de tales productos las que controlan las propiedades de funcionamiento como combustible. La obtención de la gasolina se esquematiza en la figura 1.1, misma que indica una mezcla de distintos productos de la destilación del petróleo.

Entre los combustibles alternativos empleados en el presente trabajo, se encuentran algunas mezclas de gasolina magna con etanol (gasolina oxigenada o reformulada) en distintas proporciones. La "gasolina Oxigenada " es una mezcla de gasolina convencional y uno o más combustibles líquidos que contienen oxígeno ("oxigenantes").

En la actualidad, el oxigenante más común es el etanol y el MTBE (metil tetra butil éter). Es conveniente oxigenar la gasolina durante el invierno en áreas que tienen problemas de contaminación con monóxido carbono (en tiempos fríos las inversiones atmosféricas empeoran la contaminación por monóxido de carbono). El Oxígeno en la gasolina ayuda a los motores a producir menos monóxido del carbono.



cuando es expuesto a gasolinas reformuladas. Esta reacción podría causar que el sistema de alimentación de combustible gotee en un porcentaje muy pequeño dependiendo del modelo del vehículo, los vehículos nuevos no tiene éste problema.

- ◆ Toda la gasolina, incluso la reformulada, es muy inflamable y siempre debe usarse y guardarse con cuidado extremo. Para reducir la contaminación, la gasolina reformulada durante la primavera y verano se diseña de tal forma que se evapore menos que la gasolina normal.

Hay muchos parámetros que son considerados al escoger un oxigenante para mezclar en la gasolina. Una consideración importante es el costo: El MTBE es generalmente más caro que el etanol. Otra consideración importante es que debe manejarse de una manera especial para evitar contaminación con agua, y no puede enviarse en tuberías de gasolina típicas.

El Metil Tetra Butil Éter, es un compuesto de éter en el mismo rango hirviente que la gasolina. Los éteres tienen el átomo de un oxígeno en cada molécula y un olor característico. MTBE se hace combinando isobutileno (de varios procesos de refinamiento químico) y metano (normalmente del gas natural). El MTBE no tiene una cantidad significativa de metano libre y no tiene las propiedades del metano. Como una comparación, se hace agua del hidrógeno y oxígeno, pero el agua es muy diferente de hidrógeno o oxígeno.

El MTBE se ha usado como una componente mezclando con la gasolina desde 1979. Originalmente, para tener un aumento en el octanaje de la gasolina. Ahora, también se usa para aumentar el volumen del oxígeno de gasolina. Ayuda a los automóviles, particularmente los más viejos, a producir menos monóxido del carbono. La Agencia de Protección Ambiental (EPA) exige que la gasolina debe contener oxígeno extra, sobretodo en el invierno para ayudar reducir la contaminación de monóxido de carbono, y ahora también ha requerido que las gasolinas de verano contengan oxígeno.

La gasolina es nociva a la salud si no es manejada propiamente. La gasolina es sumamente inflamable, si entra al cuerpo humano puede ser fatal, tiene vapores dañinos que pueden causar irritación de ojos y piel, la larga exposición a vapores de gasolina puede causa cáncer. Toda la gasolina debe manejarse con extrema cautela y la exposición al líquido y vapores debe minimizarse.

### **1.3 PROPIEDADES GENERALES DE LOS COMBUSTIBLES**

#### **1.3.1 Poder Calorífico**

El poder calorífico de un combustible es la cantidad de calor desprendido por él mismo en su combustión completa, en condiciones determinadas. La determinación de su magnitud se lleva a cabo experimentalmente, mediante aparatos denominados calorímetros.

El poder calorífico tiene diferentes valores si la combustión se realiza a presión constante (poder calorífico a presión constante), o bien a volumen constante (poder calorífico a volumen constante) o según otro proceso cualquiera. En el caso de los combustibles usuales la diferencia de los valores es mínima, por lo que su distinción no tiene mucha importancia.

Lo que sí es importante es distinguir, en aquellos combustibles cuyos gases de combustión contienen agua o vapor de agua, entre el poder calorífico superior e inferior. La distinción entre ambos procesos se basa en el hecho de que si los productos de la combustión están calientes (por encima de unos 50°C) el agua se encuentra en forma de vapor, mientras que si se enfrían a la presión atmosférica normal hasta 0°C el vapor de agua se condensa, desprendiendo el calor latente de vaporización.

El poder calorífico superior  $H_{sc}$  es el calor desprendido en la combustión de una unidad de combustible medido en un calorímetro con enfriamiento de los productos de combustión hasta  $0^{\circ}\text{C}$ , a fin de que dicha medición incluya el calor latente de vaporización. El poder calorífico de un combustible depende en gran medida de los hidrocarburos más pesados que contenga.

El poder calorífico inferior  $H_{ic}$  es el medido en un calorímetro sin enfriamiento de los productos de combustión, de manera que el vapor de agua contenido en los mismos no se condensa.

Entre ambos poderes caloríficos existe la relación siguiente:

$$H_{ic} = H_{sc} - r g_v = H_{sc} - 2500 g_v \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Donde:

$r$  - entalpía de vaporización a  $0^{\circ}\text{C}$  por kg de agua (cantidad de calor necesaria para vaporizar 1 kg de agua).

$g_v$  - fracción másica de vapor (kg de vapor de agua por kg de combustible).

En los motores térmicos los gases de escape salen a una temperatura muy superior a la temperatura del aire atmosférico, por eso se suele utilizar el poder calorífico inferior, que se denomina  $H_c$ .

El poder calorífico se expresa como energía por unidad de masa (kJ/kg) o a veces, como los combustibles líquidos y gaseosos se tratan volumétricamente, como energía por unidad de volumen (kJ/dm<sup>3</sup> para líquidos, kJ/m<sup>3</sup> para gases, estando el volumen referido al estado normal de  $0^{\circ}\text{C}$  y 760 mm de Hg).

<b>Combustible</b>	<b>Poder Calorífico [MJ/Kg]</b>
<b>Gas Natural</b>	47.7
<b>Gas Licuado de petróleo</b>	46.1
<b>Alcohol</b>	26.8
<b>Gasolina</b>	43.5

**Tabla 1.6 Poder Calorífico de Algunos Combustibles**

### **1.3.2 Volatilidad**

La volatilidad es la tendencia que tiene una determinada sustancia a evaporarse. Cuanto más reducida sea la temperatura de vaporización de un producto, más volátil puede considerársele. Los hidrocarburos no tienen un punto de ebullición fijo, sino que éste varía con el número y la disposición de los átomos de carbono. De esta manera, debido a la diversidad de cadenas que los componen, los combustibles presentan fracciones con una volatilidad más marcada (sobre todo la gasolina) que otras.

En los motores que queman una mezcla homogénea de combustible vaporizado y aire, la relación vapor-aire no debe ser menor de 0.5 veces la estequiométrica para un encendido y propagación de llama satisfactorias. Por lo tanto la volatilidad del combustible debe ser suficiente para dar al menos esta relación vapor-aire en el momento del encendido con todas las condiciones operativas, incluyendo el arranque y calentamiento de un motor frío.

La volatilidad de un combustible se determina por la curva de destilación (vaporización) ASTM, que indica en % el volumen de combustible vaporizado, en función de la temperatura.

Combustible	Temperatura de vaporización [C]
Gas Natural	-162 @ 1.013 bar
Gas Licuado de petróleo	-30 @ 1.103 bar
Alcohol	78
Gasolina	25 – 215

Tabla 1.7 Temperatura de Vaporización de Algunos Combustibles

### 1.3.3 Calor Latente de Vaporización

Toda sustancia para evaporarse precisa absorber una determinada cantidad de calor que eleve su temperatura hasta su punto de vaporización. La forma de obtener éste calor consiste en extraerlo de la materia que rodea la sustancia en cuestión.

A su vez el calor específico de una sustancia es la cantidad de calor que precisa recibir o ceder para aumentar o reducir, respectivamente, un grado la temperatura de la unidad de masa. El calor latente de vaporización elevado conduce a un buen rendimiento volumétrico del motor y con ello a un aumento de la potencia, pero conlleva dificultades en el arranque en frío.

Combustible	Calor Especifico [kJ/Kgk]
Gas Natural	2.3
Gas Licuado de petróleo	1.7
Alcohol	904
Gasolina	380 – 500

Tabla 1.8 Calor Especifico de Algunos Combustibles

### 1.3.4 Comportamiento Respecto a la Combustión

#### a) Inflamabilidad

La inflamabilidad es una característica que afecta a los combustibles indicándole el grado de propensión a inflamarse bajo el efecto de presiones elevadas, temperaturas elevadas o agentes exteriores.

#### b) Límites de inflamabilidad

Existen dos límites de inflamabilidad para cada combustible. Uno correspondiente a una mezcla rica y otro a una mezcla pobre en combustible. El intervalo de los dosados que pueden emplearse en los motores de combustión interna (MCI) depende de los límites de inflamabilidad de la mezcla combustible vaporizado-aire, de la presión y de la temperatura de la mezcla.

En los MEP los límites teóricamente se encuentran entre:

$$0.7 < F_R < 2.5$$

Aunque en la práctica estos valores se transforman en:

$$0.8 < F_R < 1.7$$

Los dispositivos de formación de la mezcla en MEP deberán trabajar de tal forma que la composición de la mezcla combustible-aire esté con seguridad dentro de los límites de inflamabilidad. Este se mide con base en las temperaturas o límites de encendido.

Combustible	Limite de Encendido [% volumen]	
	Inferior	Superior
Gas Natural		
Gas Licuado de petróleo	1.5	15
Alcohol	3.5	15
Gasolina	0.6	8

Tabla 1.9 Temperatura de Encendido de Algunos Combustibles

c) Temperatura de auto inflamación

La temperatura de auto inflamación es la mínima temperatura para la cual el combustible se autoinflama, sin ningún agente exterior, al entrar en contacto con el aire; no es una constante fisicoquímica del combustible sino que depende de las condiciones existentes en cada caso.

d) Punto de inflamabilidad

Punto de inflamabilidad es la mínima temperatura a la que un combustible líquido, en un depósito abierto, a una presión de 760 mm Hg, evapora en su superficie una fracción suficiente para que al acercarle una llama se produzca una inflamación superficial breve. El punto de inflamabilidad no tiene ninguna importancia para el servicio de los motores, pero sí para el almacenaje y transporte.

e) Número de octano

Los combustibles empleados para los MEP deben poseer una baja tendencia a la autoinflamación, que les permita resistir presiones superiores a 60 a

70 bar sin que se manifieste la autoinflamación, que implicaría aumentos bruscos de la presión, pudiendo llegar a la detonación.

La mayor o menor tendencia a la detonación de un combustible para MEP se mide por el número de octano (NO). A mayor NO, mayor es la resistencia del combustible a la detonación. El valor numérico del NO de un combustible para MEP hasta 100 indica el porcentaje en volumen de iso-octano  $C_8H_{18}$  (trimetilpentano) contenido en una mezcla con n-heptano  $C_7H_{16}$  que muestra el mismo comportamiento respecto a la detonación con dicho combustible.

El iso-octano, poco detonante, tiene el  $NO = 100$ , El n-heptano, muy detonante, tiene el  $NO = 0$ .

Para determinar el NO de combustibles de automoción se utilizan internacionalmente dos procedimientos diferentes, el método RESEARCH y el método MOTOR. El NO determinado por el primero de los métodos se suele denominar RON y por el segundo MON.

El método MOTOR se diferencia del RESEARCH en el precalentamiento de la mezcla, el mayor número de revoluciones y el ajuste variable del punto de encendido, por lo que el combustible a analizar se somete a mayor esfuerzo térmico. Los valores MON son algo inferiores a los RON, denominándose sensibilidad del combustible a la diferencia. A medida que las gasolinas se separan más de las estructuras parafínicas, tienen sensibilidades mayores.

Para determinar el NO de un combustible por los dos métodos se procede de la siguiente forma:

Se ajusta la relación de compresión del motor de prueba, en las condiciones operativas normalizadas, hasta obtener una detonación estándar en el medidor de detonación (captador estándar).

Para la relación de compresión obtenida se buscan a continuación dos mezclas de iso-octano y n-heptano que difieran a lo sumo en dos unidades de NO,

y cuyos valores de detonación queden uno por encima y otro por debajo del valor obtenido en el combustible que se ensaya.

Conseguidas estas condiciones, el NO buscado se determina por interpolación.

Los antidetonantes son sustancias sumamente propensas a la oxidación. Su misión radica en absorber y acaparar moléculas de oxígeno de la fase inicial de la combustión, a fin de impedir la formación de peróxidos en la fase final. Resulta muy probable que bajo el influjo de temperaturas y presiones extremas en presencia del oxígeno del aire, algunos de los hidrocarburos que componen la gasolina den lugar a la formación de peróxidos. Moléculas saturadas de oxígeno, que al verse comprimidas más intensamente son susceptibles a reaccionar exotérmicamente.

Para evitar la formación de óxidos de plomo se añade bromuro y cloruro de etileno, que transforman los óxidos de plomo en bromuros y cloruros, que son más volátiles a la temperatura de las cámaras de combustión.

En algunas circunstancias es necesario utilizar gasolinas cuya tendencia a la detonación sea inferior a la del iso-octano puro. El valor numérico del NO superior a 100 se refiere a una mezcla de iso-octano y tetraetilo de plomo y se asigna en función del contenido de éste último.

Combustible	Número de Octano
Gas Natural	140
Gas Licuado de petróleo	130
Alcohol	99
Gasolina	87 – 93

Tabla 1.10 Número de Octano de Algunos Combustibles



## CAPÍTULO 2 EFECTOS DE LA COMBUSTIÓN EN UN MEP

### 2.1 EFECTOS AMBIENTALES

Dentro de las actividades más significativas como fuentes de contaminación se encuentran aquellas ligadas a procesos de combustión. Se entiende por contaminación atmosférica todo aquello que altera el estado de equilibrio del aire atmosférico.

Los contaminantes del aire se clasifican en primarios y secundarios. Los contaminantes primarios son aquellos que permanecen en la atmósfera tal y como fueron emitidos por la fuente contaminante. Los contaminantes secundarios son aquellos que han estado sujetos a cambios químicos o que son el producto de la reacción de dos o más contaminantes primarios en la atmósfera.

#### 2.1.1 Principales Precursores de la Contaminación

Para la evaluación de la contaminación del aire debida al uso de motores de combustión interna son considerados los óxidos de azufre, el monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y partículas.

La concentración de cada uno de estos productos contaminantes depende del dosado (relación entre la masa de aire y la masa del combustible que entran al motor), la dependencia de cada uno de estos contaminantes con respecto del dosado relativo  $F_R$  en un MEP se muestra en la figura 2.1, en donde se puede observar que la concentración de CO es baja en la zona de mezclas pobres y crece considerablemente para mezclas ricas. La concentración de óxidos de nitrógeno (fundamentalmente NO) es baja tanto para mezclas pobres como para mezclas ricas y tiene un punto máximo para un dosado relativo igual a 0.91.

La concentración de HC decrece según se enriquece la mezcla hasta su punto más bajo que se presenta para un  $F_R$  de 0.84 y posteriormente crece para mezclas ricas.

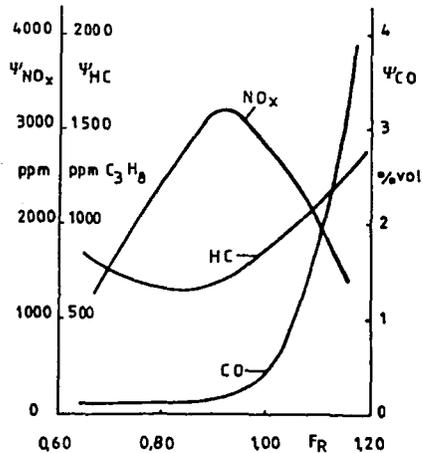


Figura 2.1 Componentes Contaminantes en un MEP

El punto de partida para analizar la formación de los productos de la combustión es el proceso de combustión ideal. La oxidación de un combustible, como en el caso de la gasolina ( $C_8H_{16}$ ), con el aire (79 %  $N_2$  y 21 %  $O_2$ ) en una reacción ideal supone que tanto el combustible como el aire reaccionan totalmente sin producir algún contaminante. Esta reacción se conoce como combustión completa, teórica, ideal, o reacción estequiométrica.



En esta reacción los productos son  $CO_2$ , Agua y Nitrógeno, que permanece inerte durante la combustión. 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 de combustión y c) por el apagado de la llama causado por diferentes fenómenos.

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

Cuando  $F$  es mayor a  $F_e$ , en los productos de la reacción aparecen nuevos compuestos parcialmente oxidados como  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ , aldehídos, peróxidos e hidrocarburos (HC's) sin quemar. Si los  $F$  son menores al  $F_e$  en los productos de la reacción tendríamos  $\text{O}_2$  y  $\text{NO}_x$  como consecuencia del exceso de aire en la mezcla.

Combustible	Dosado Estequiométrico ( $F_e$ )
Gas Natural	17.2
Gas Licuado	16
Gasolina	14.9
Etanol	9

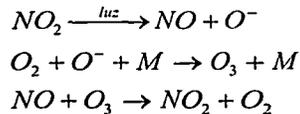
Tabla 2.1 Dosados Estequiométricos de Algunos Combustibles

**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  $O^{\cdot}$ ,  $H^{\cdot}$ ,  $N^{\cdot}C_x$ ,  $H^{\cdot}_y$ , etc; que al reaccionar entre si generan compuestos que no aparecen en el modelo de combustión teórico, y que finalizan en la formación de compuestos contaminantes.

**c)** El **F** suministrado que se encuentra en la superficie del pistón, del cilindro, y de la culata puede evacuar calor fácilmente debido a que las superficies del cilindro y de la culata principalmente están enfriadas por aire o por agua, por lo que se generan gradientes de temperatura que no son suficiente para que la llama, originada por la chispa de encendido progrese, deteniéndose a cierta distancia de la superficie ocasionando que la mezcla no se quemé 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.

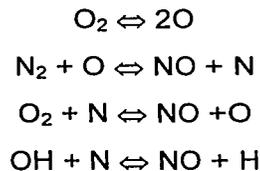
### 2.1.1.1 Óxidos de Nitrógeno

Los óxidos de nitrógeno  $NO_x$  ( $NO_x = NO + NO_2$ ) se forman cuando el nitrógeno del aire se combina con el oxígeno excedente a temperaturas altas durante la explosión en el cilindro. El principal gas formado es NO y durante el conducto de escape se transforma parcialmente en  $NO_2$  por lo que éste contaminante es de carácter secundario. Una vez en la atmósfera el  $NO_2$  reacciona con la luz UV y se transforma a NO, el cual reacciona a su vez con el ozono y da fin a un ciclo.



La característica principal de éstos contaminantes es su color café rojizo de olor picante (se contempla un promedio horario máximo de 0.21 ppm o 395  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  como límite de seguridad). Los principales daños que ocasiona son la disminución de la visibilidad, agudiza enfermedades cardiovasculares y respiratorias, e irrita los pulmones.

El mecanismo más aceptado actualmente para la formación de NO es el conocido como mecanismo generalizado de Zeldovich, que postula las siguientes reacciones:



Las reacciones ocurren tan lentamente, que incluso con temperaturas elevadas de los gases reactantes no se llega a un estado de equilibrio.

### 2.1.1.2 Monóxido de Carbono

El CO es producido por una combustión incompleta como producto parcialmente oxidado. Es un gas inodoro e incoloro que reacciona con la hemoglobina de la sangre formando carboxihemoglobina que puede llegar a concentraciones letales en la sangre afectando al sistema nervioso central provocando cambios funcionales cardiovasculares y pulmonares, dolor de cabeza, fatiga, fallos respiratorios y hasta la muerte. El límite bajo el cual los niveles de éste contaminante se considera aceptable es un promedio de 8 ppm en 8 hrs.

La mezcla más homogénea de los combustibles gaseosos (GNC y GLP) permite tener una combustión más completa y con ello menor emisión de monóxido de Carbono. Los vehículos que operan a temperaturas más frías (en meses del invierno) producen cantidades significantes de este gas mortal que es una de las preocupaciones particulares en áreas urbanas. Aunque los modernos sistemas de control de emisiones han reducido el riesgo de este gas, el monóxido de carbono todavía excede de vez en cuando el nivel máximo aceptable en algunas ciudades importantes, por su parte las ciudades estadounidenses han implementado el uso de las gasolinas "oxigenadas", como mezclas del etanol, para reducir emisiones de monóxido de carbono.

En los M.E.P. con dosados relativos próximos a la unidad, la formación de CO en la combustión se debe fundamentalmente a la disociación del CO<sub>2</sub>.



Cuando la presión y la temperatura dentro de la cámara de combustión son elevadas la ecuación se equilibra de izquierda a derecha, al disminuir la presión y la temperatura en el proceso de expansión y posteriormente en el de escape, el equilibrio se da hacia la izquierda.

Sí el dosado relativo es mayor que la unidad, hay escasez de oxígeno, por lo que no puede llevarse a cabo la recombinación total. Para mezclas pobres siempre hay una pequeña cantidad de CO puesto que el proceso de recombinación tiene una cierta inercia, y no da tiempo a que la totalidad del CO se oxide a CO<sub>2</sub>, dado que los procesos de expansión y escape son rápidos.

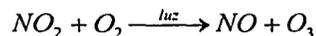
### 2.1.1.3 Ozono

El ozono ( $O_3$ ) es un alótropo (mismo elemento pero bajo otra forma) del oxígeno molecular ( $O_2$ ), ésta variación molecular modifica notablemente las propiedades químicas de estos compuestos. Así, mientras el oxígeno es indispensable para la vida, el ozono es un gas de efectos nocivos para la salud si se presenta en altas concentraciones en las capas bajas de la atmósfera. El Ozono es un compuesto gaseoso incoloro producido en presencia de la luz solar, oxida materiales no inmediatamente oxidables por el oxígeno gaseoso.

En la Estratosfera se genera la mayor parte del ozono atmosférico, detectándose una gran concentración entre los 25 y 30 Km de altitud, en la llamada capa de ozono. La función más importante de la capa de ozono es la de absorber la radiación ultravioleta procedente del espacio exterior, de éste modo la Tierra se halla rodeada, entre quince y cincuenta kilómetros de altura de una capa de ozono estratosférico.

En la capa baja de la atmósfera (Tropósfera), donde su presencia se considera, en determinadas concentraciones, como contaminante. El ozono se forma a partir del oxígeno molecular mediante la absorción de la luz ultravioleta del sol.

Esta reacción es reversible, es decir, debido a la presencia de otros componentes químicos el ozono vuelve a su estado natural. Este oxígeno se convierte de nuevo en ozono, originándose un proceso continuo de formación y destrucción de estos compuestos.



La reacción inversa a esta reacción destruiría el ozono en forma natural pero dado que el NO reacciona con los hidrocarburos del medio ambiente, ésta reacción no se lleva a cabo.

La capa de Ozono estratosférico se ve atacada por compuestos como los CFC, que significan hidrocarburos de cloro y flúor, hidrocarburos que contienen bromo que se usan como agentes refrigerantes, disolventes, espumas aislantes, sustancias contra incendios, etc. Sin embargo, estos compuestos no son lo únicos dañinos para la capa de ozono. Así, otros gases como los óxidos de nitrógeno, los constituyentes del ciclo del carbono y los compuestos hidrogenados, se combinan con los derivados del cloro y del bromo para modificar el frágil equilibrio en la capa de ozono de la Estratosfera. Aunque el ozono posee un proceso natural de regeneración, las medidas que se han tomado para la reducción de las emisiones de CFC a la atmósfera no se notarán hasta dentro de, por lo menos, una década.

El ozono contaminante se forma a partir de tres contaminantes básicos como son los hidrocarburos no quemados de procesos de combustión, los óxidos de nitrógeno por la disociación del oxígeno y nitrógeno atmosférico por las altas temperaturas alcanzadas en el motor, y la luz UV proveniente del sol. Un nivel aceptable de éste contaminante es un promedio por hora máximo de 0.11 ppm.

Varios estudios concluyen que potencialmente el ozono total que forma las mezclas de etanol-gasolina (con su volatilidad más alta) es aproximadamente igual que el de la gasolina.

#### **2.1.1.3.1 Reactividad Específica**

La reactividad específica es un parámetro que se emplea para establecer la contribución que tendrían las emisiones de hidrocarburos no quemados en la formación de ozono y permite cuantificar la cantidad de hidrocarburos reactivos (precursores de ozono) presentes en los gases de escape.

Este parámetro es el que considera la USEPA (Administración para la contaminación ambiental de Estados Unidos) para establecer las mejoras en las gasolinas reformuladas, para ello se define que para un combustible convencional (no reformulado) y uno alternativo, la reactividad específica de referencia es 3.42 gramos de ozono formados por gramo de hidrocarburos emitidos, descontando el metano que es prácticamente inerte.

En la medida que las gasolinas se reformulan, se busca producir menos hidrocarburos precursores de ozono y valores inferiores de reactividad específica.

Además de los hidrocarburos no quemados, emitidos durante una combustión deficiente, existen otros compuestos orgánicos volátiles (COV) capaces de producir oxidantes fotoquímicos mediante reacciones provocadas por la luz solar en presencia de óxidos de nitrógeno. Bajo la influencia de la luz solar los COV y los NOx reaccionan formando una mezcla compleja, la cual es definida como smog fotoquímico.

Dentro de los compuestos orgánicos volátiles se incluyen una amplia variedad de compuestos como por ejemplo: hidrocarburos aromáticos, alifáticos y halogenados, aldehídos y cetonas, alcoholes, éteres, fenoles y otros, que en su mayoría constituyen el grueso de los compuestos peligrosos en el aire.

#### **2.1.1.4 Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>)**

Proviene de la oxidación del azufre que contiene el combustible. La cantidad emitida es, evidentemente, función de la cantidad de azufre que posea el combustible. Mientras que el contenido de azufre de las gasolinas es muy bajo (generalmente menor que 0.1 %) y por tanto las emisiones de SO<sub>2</sub> en los MEP tienen poca importancia, en los combustibles diesel (en automoción hasta 0.5%) estas emisiones si son importantes.

El criterio para cuantificar los niveles de peligrosidad es obtener un promedio móvil de 0.13 ppm en 24 hrs. El  $\text{SO}_2$  es un gas incoloro con olor picante que al oxidarse y combinarse con agua forma ácido sulfúrico, principal componente de la lluvia ácida. Sus efectos sobre la salud son la irritación de los ojos y el tracto respiratorio, reducción de las funciones pulmonares y agrava las enfermedades respiratorias como el asma, la bronquitis crónica y el enfisema; en la vegetación provoca lesiones de hojas y reducción de la fotosíntesis, además corroe los metales, deteriora los contactos eléctricos, papel, textiles, pinturas, materiales de construcción y monumentos históricos.

### 2.1.1.5 Plomo

El tetraetilo de plomo ( $\text{PbC}_8\text{H}_{20}$ ) empezó a utilizarse como aditivo para la gasolina en 1920 en los Estados Unidos, y hasta hace poco tiempo prácticamente todas las gasolinas lo contenían en mayor o menor proporción para aumentar su número de octano.

Durante el proceso de combustión el tetraetilo de plomo reacciona dando, entre otros compuestos, óxidos de plomo que se depositan en válvulas, bujías y paredes de la cámara de combustión, afectando al buen funcionamiento del motor debido fundamentalmente a la aparición de puntos calientes.

Con el fin de evitar la formación de estos depósitos, junto con el plomo tetraetilo se añaden compuestos, entre los que cabe destacar el dibromuro de etilo ( $\text{Br}_2\text{C}_2\text{H}_4$ ) que se combinan durante el proceso de combustión dando productos volátiles (bromuro de plomo), que son los que aparecen en los gases de escape del motor.

Una norma de  $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  durante 3 meses es la que se considera para determinar su concentración en la atmósfera. Su peligrosidad se manifiesta por la acumulación en los órganos del cuerpo, causando anemia, lesiones en los riñones y el sistema nervioso central.

### 2.1.1. 6 Hidrocarburos no Quemados

Las emisiones de hidrocarburos no provienen exclusivamente del múltiple de escape, sino también de la evaporación del combustible almacenado (los sistemas a GNC y GLP no poseen emisiones de éste tipo por tener el depósito del combustible sellado herméticamente), falta de control para los gases que pasan por los anillos de los pistones hacia el cárter y de ahí hacia la atmósfera, por el uso de aerosoles, solventes y pinturas, descomposición orgánica, etc.

El benceno, el tolueno y el formaldehído son algunos hidrocarburos que se encuentran en los gases de escape y son productos de una combustión incompleta. Una vez fuera, éstos compuestos pueden reaccionar con óxidos de nitrógeno y con luz UV para formar smog fotoquímico. Pueden ocasionar trastornos en las vías respiratorias y pueden producir cáncer.

En los gases de escape de los motores existen adicionalmente como consecuencia de una combustión incompleta  $H_2$  (no contaminante) y  $CO$ , así como hidrocarburos sin quemar o parcialmente quemados, entre los que cabe destacar:

Hidrocarburos no quemados:

$C_nH_m$  (parafinas, olefinas, materias aromáticas)

Hidrocarburos parcialmente quemados:

$C_nH_mCHO$  (aldehídos)

Son productos formados como consecuencia de la oxidación parcial de los HC. Las emisiones de aldehídos de las mezclas del etanol son generalmente más altas que las de gasolina. El formaldehído, el mayor constituyente en emisiones de aldehídos, es un carcinógeno sospechoso. Sin embargo, los convertidores catalíticos usados a fines que 1978 en vehículos reducen las emisiones de

aldehídos cerca del nivel producido cuando la gasolina sin mezclar es quemada. La Real Sociedad de Canadá ha concluido que cualquier aumento tiene efectos diminutos y los dañosos son remotos.

La gasolina quemada emite cantidades significantes de una gama amplia de hidrocarburos, mientras que el etanol quemado y sin quemar producen principalmente aldehídos. Los alcoholes tienen muchas más bajas reactividades que los hidrocarburos de la gasolina, considerando que los aldehídos son muy reactivos.

El principal aldehído formado en los gases de escape empleando GNC es el Formaldehído, debido a que el principal componente del combustible es metano y otros HC simples, esto se basa en el hecho de que el 3% o menos del GNC esta compuesto de HC pesados cuya participación en la formación de aldehídos es despreciable. Experimentos realizados en EU demuestran que los motores que emplean GNC arrojan un 20 % más de aldehídos que un motor de gasolina, aunque esa variación esta estrechamente ligada al tipo de convertidor catalítico del sistema de escape.

En máquinas experimentales que emplean GNC se ha comprobado que con la relación de compresión la emisión de aldehídos no cambia, sin embargo con la relación de equivalencia (relación Aire – Combustible) la emisión de aldehídos decrece cuando aumenta ésta.



### 2.1.1.7 Gases de Efecto Invernadero.

En cuanto a los gases productores de este efecto, es importante considerar que el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), producido por la utilización de combustible fósiles como fuente primaria de energía, no es el único culpable del excesivo aumento de la temperatura terrestre por estas causas, aunque sí el principal. Existen otros gases que, en mayor o menor medida, también contribuyen a este efecto. Entre estos, el segundo gas de importancia después del  $\text{CO}_2$  es el metano ( $\text{CH}_4$ ) cuyo efecto en la atmósfera es ya importante. Otra contribución significativa es la proveniente de los CFC's. Los clorofluorocarbonos no solo reaccionan con el ozono estratosférico, convirtiéndolo en oxígeno y contribuyendo por lo tanto a la reducción de la capa de ozono, sino que su efecto es también notorio en las capas bajas de la atmósfera, ya que tienen la propiedad de absorber la radiación infrarroja, aumentando así el efecto de invernadero. Otro gas de efecto invernadero es el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Este compuesto es emitido en grandes cantidades por fertilizante, por la combustión de combustibles fósiles y en la producción de plástico y de tejido como el nylon.

El Dióxido del carbono, un producto normal de la combustión, no es tóxico, pero contribuye al efecto de invernadero (calentamiento global). Todos los combustibles derivados del petróleo (hidrocarburos) causan un aumento de los niveles de dióxido del carbono atmosférico porque ellos representan la combustión de carbono fosilizado. En contraste, usando los combustibles renovables, como etanol, no aumenta niveles de dióxido de carbono atmosféricos. El dióxido del carbono formado durante la combustión es equilibrado por la absorción durante el crecimiento anual de plantas que producen etanol. De hecho, la tecnología de combustibles renovables puede producir una reducción de los niveles de dióxido del carbono atmosférico, transformando dióxido del carbono en materia orgánica que se devuelve a la tierra, incrementando la fertilidad de la tierra y reduciendo la corrosión.

### 2.1.2 Escala IMECA.

El Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA) es un valor de referencia que permite conocer los niveles de contaminación prevalecientes en una zona geográfica. Un índice de calidad del aire también se define como una función que transforma la concentración de un contaminante a un valor simple, representativo de la calidad del aire de la región determinada. En México la generación del IMECA es una de las tareas primordiales de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA).

En la actualidad el IMECA se define para 6 contaminantes: Ozono (O<sub>3</sub>), Bióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>), Monóxido de Carbono (CO), Bióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>), Partículas Suspendidas Totales (PST) y Partículas Suspendidas Totales menores de 10 micras de diámetro (PM<sub>10</sub>).

El valor IMECA se obtiene mediante dos procedimientos: el primero es el establecimiento del IMECA horario, que permite conocer (durante las 24:00 hrs) la calidad del aire a cada hora. El segundo procedimiento indica la forma de combinar los valores IMECA horario para la obtención de un índice final, que se conoce como IMECA diario. Cuando el IMECA de cualquier contaminante rebasa los 100 puntos, sus niveles de concentración son perjudiciales para salud y en la medida en que aumenta el valor del IMECA se agudizan los síntomas

Interpretación del IMECA		
IMECA	Condición	Efectos a la Salud
0 - 100	Condición dentro de la norma	Ninguno
101 - 200	Condición no satisfactoria	Molestias en ojos, nariz y garganta en personas sensibles
201 - 300	Condición mala	Evitar actividades al aire libre. Posibles problemas respiratorios
301 - 500	Condición muy mala	Se agudizan los síntomas anteriores en personas sensibles y quienes fuman o padecen enfermedades crónicas

Tabla 2.2 Interpretación del IMECA

El IMECA diario involucra la utilización de funciones segmentadas basadas en general en dos puntos de inflexión, al primer punto se le asignó arbitrariamente el valor de 100 IMECA y al segundo el de 500 IMECA; el valor de 100 es representativo de la calidad del aire que se considera adecuada para la protección de la salud de la población y corresponde a los valores de los criterios de calidad del aire mexicano; el de 500 corresponde situaciones en las cuales se manifiestan diversos síntomas graves debido a la sensibilidad del cuerpo humano.

La siguiente figura muestra la función lineal del IMECA de ozono, el primer punto de quiebre (o de inflexión) corresponde al valor de la norma mexicana de calidad del aire de 0.11 ppm como promedio horario, homologado con un valor de 100 puntos. El segundo punto en 0.600 ppm corresponde a 500 puntos del IMECA.

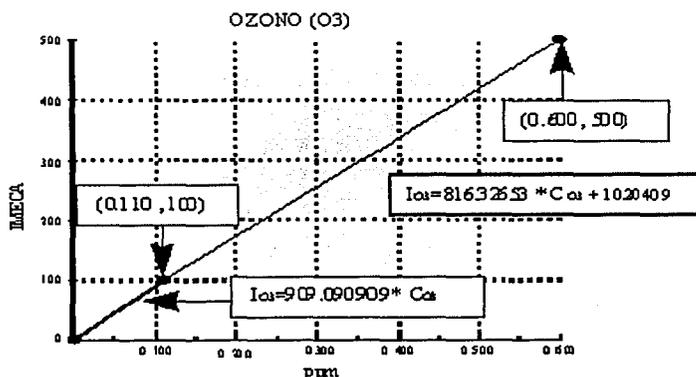


Figura 2.2. Función Segmentada

El punto de partida en la determinación de los valores IMECA son las concentraciones horarias registradas por la red de monitoreo atmosférico para cada contaminante; aunque se sabe que éstos son promedios de las concentraciones medidas a lo largo de toda una hora (valores horarios).

**a) Para el Ozono y Bióxido de Nitrógeno.**

La norma de estos contaminantes es de 0.11 partes por millón para el ozono y 0.21 partes por millón para el bióxido de nitrógeno, como promedios horarios. El procedimiento de cálculo se efectúa de la siguiente manera:

Agrupar por fecha, hora y estación los valores horarios de cada una de las estaciones que estén ubicadas en la zona donde se desea determinar el IMECA horario, encontrar el máximo espacial de la zona a cada hora del día. Se encuentra la máxima concentración espacial de la zona.

Aplicar la función de transformación (concentración a valor IMECA) correspondiente a la cantidad numérica encontrada en el punto anterior. El valor de la norma de calidad del aire está implícita en la función de transformación de cada uno de los contaminantes.

El IMECA horario representativo de la zona es el resultado de la aplicación de la función de transformación anterior.

**b) Para Monóxido de Carbono, Bióxido de Azufre, Partículas Suspendidas Totales y Partículas Fracción Respirable.**

La norma mexicana de estos contaminantes es de 11 partes por millón en promedio de 8 horas para el monóxido de carbono; de 0.13 partes por millón en promedio de 24 horas para el bióxido de azufre; 260 Microgramos por metro cúbico para partículas suspendidas totales y 150 Microgramos por metro cúbico para partículas fracción respirable. Esta característica hace que el cálculo de estos contaminantes sea diferente del cálculo para el índice de ozono y bióxido de nitrógeno, cuyas normas están referidas a valores horarios. El procedimiento de cálculo es el siguiente:

Agrupar por fecha, hora y estación los valores horarios de la estación ubicada en la zona donde se desea determinar el IMECA horario, calcular los promedios móviles de  $n$  horas,  $C_n$  para cada una de las estaciones. Se obtienen los promedios móviles para cada estación a cada hora del día, encontrar el máximo espacial de la zona. Se encuentra el máximo promedio móvil de la zona a cada hora, por último, aplicar a este valor la función de transformación para el IMECA. El valor de la norma de calidad del aire está implícita en esta función.

El IMECA horario representativo de la zona es el resultado de la aplicación de la función de transformación anterior. La base para el cálculo del IMECA diario son los valores IMECA horarios resultados del desarrollo del punto anterior. Para la determinación del IMECA diario de una zona se realizarán los siguientes pasos.

**c) Para Ozono, Bióxido de Nitrógeno, Monóxido de Carbono y Bióxido de Azufre.**

Para encontrar el índice para éstos compuestos se necesita agrupar por fecha y hora los valores IMECA horarios de la zona donde se desea determinar el IMECA diario, para encontrar el máximo espacial y que será el IMECA diario representativo de la zona.

**d) Para Partículas Suspendidas Totales y Partículas Fracción Respirable.**

Se requiere agrupar por fecha y hora los valores IMECA horarios de la zona donde se desea determinar el IMECA diario para partículas fracción respirable, encontrar el máximo espacial, valor que será el IMECA diario representativo de la zona. Para el caso de las partículas suspendidas totales, dependerá del periodo de monitoreo, mismo que se debe efectuar cada 6 días con toma de muestras durante 24 horas en forma continua.

Se deberá de reportar la concentración detectada en la zona o su equivalente en IMECA de acuerdo a los puntos de quiebre especificado en la tabla siguiente.

CONTAMINANTE	INTERVALO	ECUACIÓN
PST	0 - 260	$I_{PST} = C_{PST} 0.38461538$
	260 - 1000	$I_{PST} = C_{PST} 0.54054 - 40.54054$
SO <sub>2</sub>	0 - 0.13 ppm	$I_{SO_2} = C_{SO_2} 769.230769$
	0.13 - 1.00 ppm	$I_{SO_2} = C_{SO_2} 459.770114 + 40.22989$
CO	0 - 13 ppm	$I_{CO} = C_{CO} 7.69230769$
	13 - 50 ppm	$I_{CO} = C_{CO} 10.8108108 - 40.5405$
NO <sub>2</sub>	0 - 0.21 ppm	$I_{NO_2} = C_{NO_2} 476.190476$
	0.21 - 2.00 ppm	$I_{NO_2} = C_{NO_2} 223.463687 + 53.07264$
O <sub>3</sub>	0 - 0.11 ppm	$I_{O_3} = C_{O_3} 909.090909$
	0.11 - 0.60 ppm	$I_{O_3} = C_{O_3} 816.32653 + 10.20409$
PM <sub>10</sub>	0 - 50	$I_{PM_{10}} = C_{PM_{10}}$
	51 - 350	$I_{PM_{10}} = C_{PM_{10}} (1/2) + 25$
	351 - 420	$I_{PM_{10}} = C_{PM_{10}} (10/7) - 300$
	421 - 500	$I_{PM_{10}} = C_{PM_{10}} (5/4) - 225$
	501 - 600	$I_{PM_{10}} = C_{PM_{10}} - 100$

Tabla 2.3. Funciones Segmentadas

Dependiendo del contaminante, se instrumenta el algoritmo para el calculo del IMECA, el primero para O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO es el algoritmo simplificado y el segundo para PM<sub>10</sub> toma la estructura del PSI (Pollutant Standard Index, utilizado en los Estados Unidos). La diferencia fundamental es que el PSI define más de un punto de quiebre mientras que el método simplificado actual utiliza solo uno, que es el valor de la norma oficial mexicana para cada contaminante. El algoritmo simplificado se utiliza desde el 23 de diciembre de 1994 en la ZMVM.

Las normas de calidad del aire fijan valores máximos permisibles de concentración de contaminantes, las normas se establecieron fundamentalmente tomando en cuenta los criterios y estándares adoptados en otros países.

Los contaminantes generados en una zona geográfica determinada se miden a través de procedimientos estandarizados a nivel internacional y son representativos de la calidad del aire promedio que se respira en la zona.

Las estaciones de monitoreo deben ubicarse de acuerdo a los criterios y normas internacionales en sitios representativos de distintas fuentes contaminantes.

**TABLA DE LOS VALORES NORMADOS PARA LOS CONTAMINANTES\***

Contaminante	Valores límite		
	Exposición aguda		Exposición crónica
	Concentración y tiempo promedio	Frecuencia máxima aceptable	(Para protección de la salud de la población susceptible)
Ozono (O <sub>3</sub> )	0.11 ppm (1 Hora)	1 vez cada 3 años	-
Bióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	0.13 ppm (24 Horas)	1 vez al año	0.03 ppm (media aritmética anual)
Bióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	0.21 ppm (1 Hora)	1 vez al año	-
Monóxido de carbono (CO)	11 ppm (8 Horas)	1 vez al año	-
Partículas suspendidas totales (PST)	260 (24 Horas)	1 vez al año	75 (media aritmética anual)
Partículas Fracción Respirable (PM <sub>10</sub> )	150 (24 Horas)	1 vez al año	50 (media aritmética anual)
Plomo (Pb)	-	-	1.5 (promedio en 3 meses)

\*Valores publicados en el Diario Oficial de la Federación del 3 de diciembre de 1994

## **2.2 EFECTOS SOBRE LAS PRESTACIONES DEL MOTOR DEBIDO AL USO DE COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS**

El empleo de combustibles alternativos en un motor de encendido provocado no solo altera los productos de la combustión, también las prestaciones de éste se ven modificadas.

Lo anterior se debe principalmente a las propiedades de los distintos combustibles (descritas en el capítulo anterior) y a las condiciones de la mezcla aire / combustible.

### **2.2.1 Alcohol**

El empleo de etanol en el motor sin mezclarse con gasolina se traduce en mayor potencia y consumo del motor en comparación con el uso de gasolina, esta diferencia aumenta junto a las RPM. Este aumento de la potencia y el consumo no es proporcional debido a que el consumo específico también aumenta. También se ha encontrado que el rendimiento térmico aumenta cuando se trabaja con etanol en lugar de la gasolina.

Con respecto a los distintos grados de hidratación del etanol (contenido de agua) se sabe que la potencia efectiva del motor y el poder calorífico del etanol decrecen con el aumento de agua en el alcohol. Contrariamente, el consumo específico se incrementa.

Pasando a las mezclas de gasolina con etanol se ha observado que la potencia casi no varía con el agregado de gasolina (contenidos menores al 20% de gasolina), por lo que se puede decir que permanece constante; el consumo específico y el rendimiento térmico disminuyen a mayor porcentaje de gasolina, mientras que el poder calorífico del combustible aumenta casi exponencialmente.

En un trabajo anterior<sup>1</sup> realizado en el Laboratorio de Control de Emisiones se ensayaron los mismos combustibles alternativos y motor, dichos ensayos mostraron que el par y la potencia del motor se incrementaron con la adición de pequeñas cantidades de etanol a gasolina Magna, sin embargo para mezclas del 50% de etanol el par y potencia disminuyen considerablemente.

También se indica en dicho trabajo que las mezclas de alcohol, en especial la mezcla al 15% de etanol, poseen un rendimiento superior al observado por las gasolinas comerciales. El consumo específico del etanol es mayor, por lo que se necesitara más cantidad de éste por cada litro de gasolina que se utiliza en el automóvil. Esta razón hace que el costo de la gasolina sea bastante menor que el del etanol, además los motores que utilizan alcohol etílico tienen un mayor consumo de combustible, debido a que un litro de éste libera aproximadamente la mitad de las calorías que igual volumen de gasolina.

Con respecto al costo de preparación para funcionar con etanol es similar al de un motor normal, ya que las modificaciones necesarias son reemplazar los conductos del etanol y el depósito de gasolina, debido al alto poder corrosivo del alcohol.

### **2.2.2 Gas Licuado de Petróleo**

La utilización del GLP como carburante resulta muy positivo en cuanto a la reducción de las emisiones contaminantes y sonoras, además de ello se tiene una mezcla homogénea, controlada y bien distribuida con el aire en el colector de admisión facilitando una combustión más completa, en cuanto al funcionamiento interno del motor los aceites lubricantes permanecen limpios más tiempo debido a la ausencia de depósitos de carbono.

---

<sup>1</sup>López Rodríguez Adán, Santiago Cruz Octavio. Utilización de combustibles alternativos en un motor de encendido provocado, Tesis. México 2000

El motor también proporciona mayor potencia y mayor par motor a carga parcial (arranques, paradas, aceleraciones y desaceleraciones) que suele ser el régimen de funcionamiento usual de automotores en ciudad.

En el trabajo antes referido, el uso de GLP indica que la potencia se encuentra en un 25% por debajo de la misma curva para la gasolina Premium.

### **2.2.3 Gas Natural Comprimido**

Los motores a gasolina que se han convertido a gas natural tienen una pequeña pérdida de potencia cuando operan con gas natural; sin embargo, los motores diseñados específicamente para operar con gas natural no tendrán pérdida de potencia y pueden incluso tener mayor potencia y eficiencia. En general, los motores que están diseñados para gas natural son más eficientes que un motor a gasolina similar, debido a que pueden operar con una relación de compresión más alta.

Si el motor a GNC es un modelo de equipo de fabricación original, habrá sido diseñado para aprovechar de la mejor manera posible las propiedades del gas natural (como una mayor relación de compresión) que el modelo a gasolina y podrá esperarse una mejora en comportamiento y consumo de combustible (5 % o más).

Mientras más alta sea la relación de compresión más alta es la eficiencia teórica, y también la real. La máxima relación de compresión (RC) que pueden tolerar los distintos combustibles define la eficiencia. La eficiencia más alta de los combustibles alternativos proviene del gas natural comprimido, que puede operar con una relación de compresión de 12:1, con una eficiencia del 35 %. Es posible operar un motor con gas natural licuado a 14:1, pero esto constituye el máximo límite superior. No podríamos operar motores a gasolina y LPG a mucho más de 9:1, y una eficiencia de 30 %. Estas eficiencias constituyen el límite superior y a plena carga que en operación normal serán más bajas que los valores citados.

En términos de km por litro, un vehículo a gas natural obtendrá aproximadamente el mismo rendimiento o ligeramente mejor en Km/m<sup>3</sup> con gas natural. En términos de potencia, los vehículos de dos combustibles pierden alrededor de 5 % a 8%, porque el gas natural desplaza oxígeno en la cámara de combustión del motor. En términos de aceleración, el índice de octano de 130 del gas natural contribuye a asegurar un comportamiento cercano al de un vehículo a gasolina normal.

### 2.3 PRESTACIONES DEL MOTOR

Por lo antes mencionado, es importante considerar el comportamiento de las prestaciones del motor ante el cambio de combustible, las prestaciones de un motor representan la respuesta del motor ante condiciones de aceleración y desaceleración. Cuando se habla de una prestación *indicada* se hace referencia a lo que sucede en el interior de la cámara de combustión, del mismo modo, el término *efectivo* se refiere a los parámetros a la salida, por ejemplo en el eje del cigüeñal en el motor. En los párrafos siguientes se definen las principales prestaciones de un motor de encendido provocado.

#### 2.3.1 Par

El par es una magnitud física que nos da una idea de cómo evoluciona la potencia de un motor con la velocidad del mismo y representa la capacidad del motor para producir trabajo. La explosión en la cámara de combustión empuja al pistón hacia abajo, y su movimiento alternativo se convierte en giros del cigüeñal, así se manifiesta la fuerza del motor como un par de torsión.

El par que puede desarrollar un motor varía con la velocidad de éste, es decir, depende del régimen de giro, pues la fuerza de las explosiones depende del llenado de la cámara: a velocidades intermedias el par es mayor que a velocidades elevadas, ello se debe a que velocidades menores hay más tiempo

para que la mezcla entre el cilindro. A velocidades más altas se dispondrá de un menor tiempo para el llenado del cilindro, siendo menor la cantidad de mezcla quemada y con ello la presión y potencia desarrolladas, por esta razón existe un régimen determinado en el que se obtiene el par máximo.

El par efectivo es el par mecánico obtenido en el eje del motor. Este par es proporcional al trabajo del ciclo y a la Presión media efectiva (pme).

Curva de par (figura 2.3) es una gráfica que representa el par durante toda su gama de revoluciones aprovechable. En todos los motores, la curva de par empieza ascendiendo hasta llegar al régimen al que el motor rinde el par máximo. A partir de ese momento, el par empieza a decrecer progresivamente.

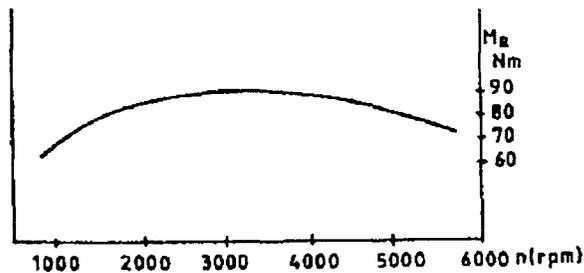


Figura 2.3 Curva de Par de un MEP

### 2.3.2 Potencia

La potencia es la velocidad a la que el motor realiza trabajo, y siendo el trabajo una forma de energía, es la potencia la velocidad con la que el motor proporciona energía. La energía que el motor recibe de la combustión del combustible se traduce en el trabajo que se manifiesta en la expansión de los gases de combustión dentro de la cámara del mismo motor.

La potencia ideal depende de la relación de compresión y del desplazamiento del pistón (condiciones de diseño), pero no toda la potencia ideal es aprovechada: las pérdidas en la combustión y refrigeración consumen parte de la energía, por lo tanto la potencia indicada es la realmente desarrollada en el interior del cilindro por el proceso de expansión de los gases.

A su vez la potencia entregada por el motor se ve mermada por los efectos de rozamientos en los mecanismos acoplados al cigüeñal como bomba de gasolina, árbol de levas, etc. y otros accesorios que consumen una cantidad de dicha potencia, por tal motivo la potencia al freno (que es la potencia realmente utilizable del motor) es la estudiada a efectos de definir el comportamiento del motor.

La potencia al freno se mide mediante un dispositivo de absorción de potencia como un dinamómetro que proporciona además de la potencia, el par proporcionado por el cigüeñal del motor y la velocidad a la que éste gira, de éste modo conocidos el par y la velocidad de giro del motor es posible conocer la potencia desarrollada por el motor.

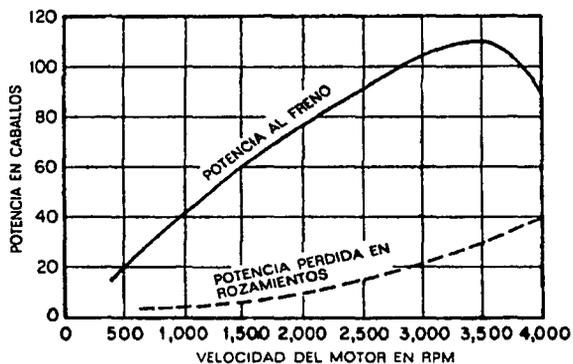


Fig. 2.4 Curvas de potencia al freno y potencia empleada en vencer los rozamientos.

En la figura 2.4 se observa la relación entre la potencia al freno y la potencia perdida por rozamientos. En ambas curvas se observa que ambas se incrementan conforme el motor tiene una velocidad mayor, para la potencia al freno existe una velocidad a la que la potencia es máxima, ello se debe a que conforme la velocidad del motor aumenta la mezcla aire/combustible entra en mayor cantidad, sin embargo existe un límite de velocidad por el cual la mezcla ya no alcanza a entrar íntegramente a la cámara de combustión, es por ello que la potencia no crece indefinidamente.

Entre algunos factores que afectan la potencia se encuentran la humedad del aire, compresión de la mezcla de combustible, tipo de combustible y la cantidad y naturaleza de la mezcla. La potencia es necesaria para obtener la velocidad máxima.

La curva de potencia indica la potencia entregada por un motor en todo su régimen de revoluciones. A mayor número de revoluciones crece la potencia aunque el par se mantenga constante o incluso disminuya. Por ello, la curva de potencia crece hasta alcanzar su máximo mucho después de que la curva de par haya iniciado su recorrido descendente. La curva de potencia y de par, en realidad, reflejan lo mismo: la capacidad de entregar potencia de un motor en toda su gama de revoluciones.

### **2.3.3 Consumo de Combustible**

El Consumo específico es la cantidad de combustible que necesita un motor para suministrar una determinada unidad de potencia por unidad de tiempo. El consumo específico es una forma de expresar el rendimiento del motor, en el sentido que relaciona consumo con prestaciones. Cuanto menor sea el consumo específico de un motor, mejor es su rendimiento.

El consumo específico de un motor en distintas condiciones de trabajo se puede ver un gráfico como el de abajo. En el eje horizontal está el régimen. En el eje vertical se pueden poner variables distintas, pero relacionadas entre sí, como el par o la presión media efectiva.

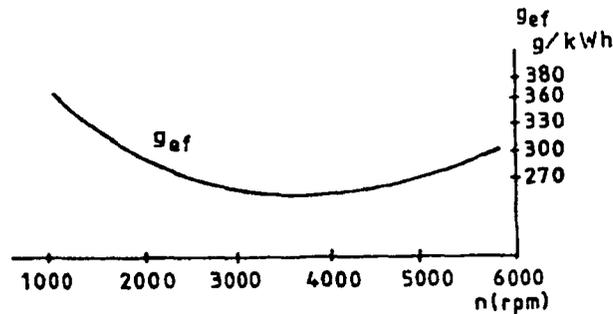


Figura 2.5 Curva de Gasto de Combustible de un MEP

Existen ensayos a máxima potencia al freno y máximo par en los motores de combustión en los cuales se controla el grado de estrangulamiento del motor, limitando así la entrada de combustible al mismo.

Para ensayos a velocidad constante y estrangulamiento totalmente abierto la relación aire / combustible juega un papel importante dado que de ello depende el consumo específico de combustible, potencia y otros parámetros como velocidad de pistón y tiempo de encendido. Las condiciones de funcionamiento del motor con el estrangulamiento totalmente abierto y dosado pobre fijo se tornan muy adversas en cuanto a que las prestaciones caen en zonas no óptimas, en parte debido a la poca homogeneidad de la mezcla pobre y temperaturas más bajas de tales muestras:

El control de la carga de combustible por estrangulamiento parcial obedece a la necesidad de contar con un rango de velocidades y potencias de salida.

### 2.3.4. Velocidad

El régimen o velocidad angular, referido a un motor, se expresa normalmente como revoluciones por minuto (rpm). El régimen de ralentí es en el cual el motor no posee carga alguna acoplada al cigüeñal. El régimen de par máximo o potencia máxima es la velocidad angular en la que el motor alcanza esos valores.

El régimen máximo es el límite de la aceleración del motor. Se puede rebasar el régimen máximo si se acopla una carga demasiado pequeña con el motor a altas velocidades, la inercia del coche puede entonces acelerar el motor por encima de su régimen máximo, aunque los sistemas de protección hayan cortado la alimentación. Se dice entonces que el motor ha sufrido un "sobrerrégimen".

## CAPÍTULO 3 INSTRUMENTACIÓN Y EQUIPO

Para llegar a determinar las concentraciones de hidrocarburos realizando una caracterización de las especies químicas en las emisiones del motor ensayado, en diferentes condiciones operativas, fue necesario definir los parámetros que deberían ser objeto de medida en los experimentos, así como la instrumentación empleada.

En primer lugar se debían tomar como base estudios anteriores concernientes al comportamiento del motor, así como su desempeño en diversas condiciones de uso empleando combustibles alternativos, en donde se cuantificaron los parámetros más importantes que son representativos de las prestaciones de cualquier motor de combustión interna, como lo son el par, la potencia y el consumo del combustible en función del régimen de giro ó revoluciones.

Por otra parte fue necesario determinar variables como la temperatura en diversos puntos del motor, caídas de presión, gastos de aire, gastos de los diferentes combustibles que ingresaban al motor, humedad, temperatura ambiente, etc. que aunados a la información del comportamiento del motor proporcionaron la información necesaria para elaborar una metodología de experimentación y conocer los diferentes contaminantes y cuál fue la contribución de cada uno de ellos al usar diferentes combustibles.

Así mismo para conocer y medir las variables antes mencionadas se requirió de acondicionar e implementar una serie de equipos y dispositivos dentro y fuera de la sala de ensayos del Laboratorio de Control de Emisiones, entre los cuales se encuentran: el propio motor de pruebas, un dinamómetro de banco,

anализador de gases, diversos medidores de flujo, banco de flujo, termopares, manómetros, higrómetros, etc. Además se requirió del uso de cromatógrafos de gases pertenecientes al Instituto Mexicano del Petróleo.

En la tabla 3.1 se recogen los parámetros a medir, los parámetros derivados, la instrumentación necesaria así como el equipo que se empleó y acondicionó para llevar a cabo los ensayos.

Equipo a Evaluar	Parámetro a Medir	Parámetros Derivados	Instrumentación
Motor de Combustión Interna	Par Efectivo	Presión Media Efectiva	Dinamómetro
	Régimen de Giro	Velocidad Lineal Media del Pistón Potencia Efectiva	Tacómetro
	Temperatura Aceite		Termopar
	CO <sub>2</sub>	Masa de Contaminante por masa de Combustible	Analizador de Gases
	CO	Masa de Contaminante por masa de Combustible	Analizador de Gases
	O <sub>2</sub>	Masa de Contaminante por masa de Combustible	Analizador de Gases
	HC	Masa de Contaminante por masa de Combustible	Analizador de Gases
	NO <sub>x</sub>	Masa de Contaminante por masa de Combustible	Analizador de Gases
Sistemas de Inyección	Gasto de Combustible	Consumo Específico Rendimiento Específico	Medidor de Flujo
	Velocidad del Aire	Gasto de Aire	Anemómetro
Cámara de Dilución	Caída de Presión Aire	Gasto de Aire de Dilución	Venturi con Manómetro
	Caída de Presión Gases	Gasto de Gases de Escape	Venturi con Manómetro
	Caída de Presión Mezcla	Gasto de Mezcla Diluida	Venturi con Manómetro
	Temperatura Flujos	Densidad de Flujos	Termopar
	Coefficiente de Descarga	Gastos Reales	Banco de Flujo
Sala de Ensayos	Humedad		Estación Metereológica
	Temperatura Ambiente	Densidad del Aire	Estación Metereológica

Tabla 3.1 Parámetros, equipos e instrumentos.

### 3.1 PARÁMETROS A MEDIR, EQUIPOS E INSTRUMENTOS.

A continuación se describe con más detalle cada equipo evaluado e instrumentos empleados haciendo referencia a su principio de operación, así como a los parámetros a medir.

#### 3.1.1 Motor de Combustión Interna Alternativo.

El LCE cuenta con diferentes motores de banco, usados en diversas investigaciones y ensayos. Particularmente y como antecedente de trabajos concernientes al uso de combustibles no convencionales se cuenta con un motor de combustión interna alternativo de cuatro tiempos y de encendido provocado (figura 3.1), originalmente alimentado con gasolina y que fue adaptado para el uso de diversos combustibles alternos, presentando la ventaja de proporcionar una gran accesibilidad al intercambio de sistemas de suministro de combustible, además de que por sus características generales y en comparación con el resto de los motores pertenecientes al LCE proporciona una mayor versatilidad en lo que se refiere a mantenimiento, reparación y servicio en general. A continuación se dan sus características generales.

Los ensayos se realizaron con un motor de combustión interna alternativo, de encendido provocado, cuatro tiempos, marca Ford, modelo 1989 "Performance", carburado, enfriado por agua, el cual cuenta con cuatro cilindros en línea que representan en su conjunto una cilindrada total de 2309 cm<sup>3</sup>, tiene una carrera de 8.4 cm, un diámetro de pistón de 9.35 cm, una potencia máxima de 100 HP @ 5000 RPM, un par máximo de 120 lb\*ft @ 3400 RPM, así como una relación de compresión de 9:1. En general se mantuvo constante la integridad del motor con excepción de los sistemas de inyección y los evaporadores para el gas natural y el licuado de petróleo que fueron intercambiados según el plan de actividades.

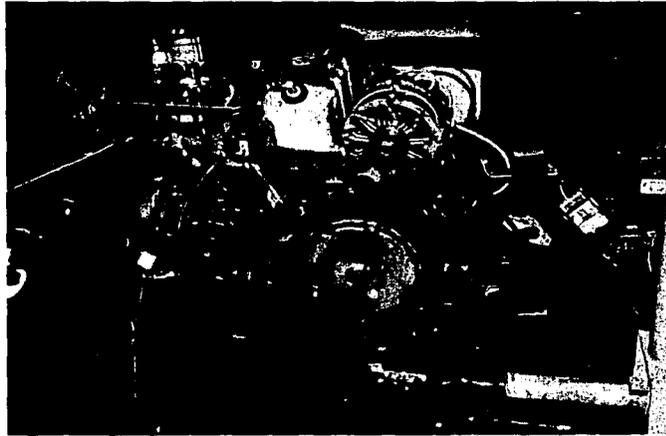


Figura 3.1 Motor de Banco.

Como accesorios adicionales del motor, se tiene una flecha de acoplamiento, guarda de seguridad y torre de enfriamiento; por otra parte dentro de lo que son los instrumentos para determinar las prestaciones del motor se encuentran el freno hidráulico, tacómetro, medidores de gasto de combustible, etc para conocer el par, velocidad angular, potencia, el consumo, y que se mencionan a continuación.

### 3.1.2 Freno Hidráulico.

Como se mencionó anteriormente el par, la velocidad angular y la potencia son magnitudes fundamentales, y de las cuales se derivan las curvas características de un motor. Para medir el par existen en la actualidad tres tipos de frenos que son operados con mayor frecuencia, éstos son el freno electromagnético, el dinamofreno y el freno hidráulico; en los experimentos realizados en el presente trabajo fue necesario emplear un freno hidráulico (figura 3.2), acopado al motor de banco ensayado, y del que se puede mencionar lo siguiente.

Un dinamómetro hidráulico está formado esencialmente por un rotor con palas, que bate el agua dentro de un estator. La potencia se disipa por fricción y calentamiento del agua, por lo que es necesario el aporte de un caudal continuo. Existen dos formas generales de regulación para los frenos hidráulicos. La primera consiste en variar el nivel de agua en el interior de la carcasa, y en consecuencia la cantidad de agua batida por el rotor. El segundo sistema mantiene el nivel de agua y lo que se modifica es la separación entre la carcasa y el rotor. Entre las características más importantes de este tipo de frenos pueden destacarse: construcción sencilla y fácil mantenimiento, precio reducido comparado con los otros tipos y dificultades de automatización.

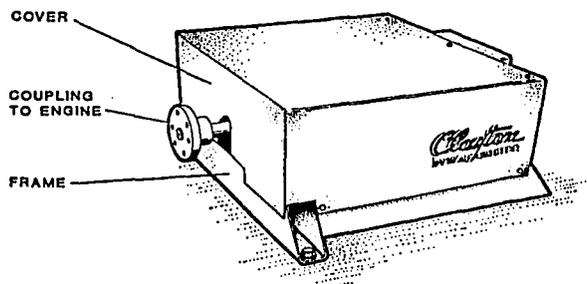


Figura 3.2 Dinamómetro Marca Clayton.

De la figura 3.2 se observa que el eje de salida de potencia del motor a ensayar se conecta por medio de una brida al eje de lo que se conoce como Unidad de Absorción de Potencia (PAU), haciendo girar el rotor de la PAU. Un sensor de velocidad convierte el giro en una señal de velocidad; a su vez una celda de carga convierte la resistencia de la PAU en una señal de torque. La potencia absorbida como calor en el agua de la PAU es extraída y disipada con agua fría en un intercambiador de calor. El volumen de agua en la PAU determina el nivel de resistencia mostrado por el motor ensayado.

La entrada y salida del agua es controlada por un panel de control general, que en este caso se encuentra ubicado fuera de la sala de ensayos, en donde se tiene instrumentado también un sistema que convierte la señal de velocidad y carga en lecturas de RPM, Par y Potencia.

La PAU puede ser vista como una bomba centrífuga de agua, con paletas en su rotor, arrojando agua hacia fuera. Sin embargo a diferencia de una bomba, el estator tiene paletas similares las cuales detienen el movimiento del agua regresándola hacia el rotor, ésta acción de batido consume potencia, que es procesada para proporcionar los parámetros de interés

En el caso del dinamómetro del LCE, es de la marca CLAYTON modelo A-31050 de la serie CAM-250-10456, cuya capacidad máxima es de 250 Hp @ 8000 RPM<sup>1</sup>, en la figura 3.3 se muestra un esquema de sus partes.

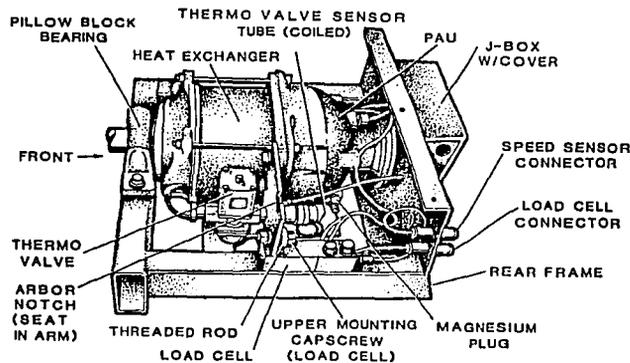


Figura 3.3 Partes de un Dinamómetro Clayton.

Una parte esencial al plantear el acoplamiento de un freno a un motor determinado, es conocer tanto su capacidad como sus curvas características, con el fin de abarcar todos los posibles puntos de funcionamiento del motor.

Los mapas de curvas características vienen representados en un diagrama lineal o logarítmico Par-Velocidad o Potencia-Velocidad con una serie de líneas que limitan el campo de actuación del freno. Estas líneas son las siguientes:

- Línea de máximo régimen: Es una línea vertical que corresponde a la máxima velocidad admisible en el freno como consecuencia de los esfuerzos centrífugos que se originan.
- Línea de potencia máxima: Es la máxima potencia que puede absorber el freno. Normalmente la limitación viene dada por la capacidad de éste para evacuar el calor generado, a través del agua de refrigeración.
- Línea de par mínimo: El empleo del freno por debajo de esta línea puede dar lugar a errores como consecuencia de la falta de precisión originada por la fricción de las partes del mismo freno (cojinetes, etc.), puesto que éstas tienen el mismo orden de magnitud que la potencia a medir.
- Línea de par máximo en la balanza o celda de carga: La limitación está originada por la máxima lectura de que es capaz de realizar el elemento de medida. En un diagrama Potencia-Velocidad se trata de una recta que pasa por el origen.
- Línea de par máximo de frenado: Es la curva límite que da el máximo par resistente que puede oponer el freno para distintos regímenes de giro. Tratándose de un mapa Par-Velocidad y un freno hidráulico sería una parábola que pasa por el origen, y para un diagrama Potencia-Velocidad una cúbica.

En la figura 3.4 se muestra un diagrama Potencia-Velocidad que muestra algunas de las curvas características descritas anteriormente, pertenecientes a un dinamómetro CLAYTON de la serie CAM-250E.

---

<sup>1</sup>Clayton Industries, Multifunction Signal Conditioner (MFSC), El Monte California, 1988, Pags, 1.3-1.8.

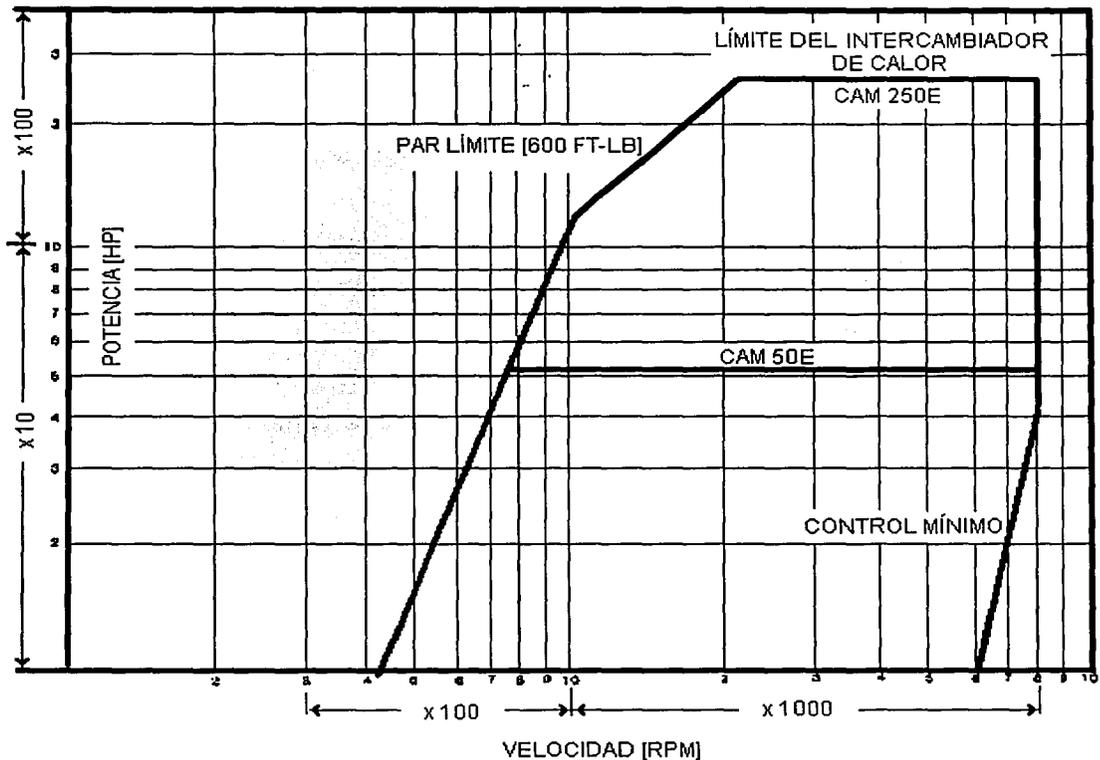


Figura 3.4 Mapa de Curvas Características del Dinamómetro Clayton CAM-250E.

### 3.1.3 Tacómetro.

En lo que se refiere a la velocidad angular, existen diferentes tipos de tacómetros para cuantificarla, como los que utilizan señales ópticas, señales procedentes del sistema de encendido o del sistema de inyección, de contacto, etc., que son independientes del freno y que por ser fácilmente calibrados, pueden servir para tomar lecturas más exactas.

En el caso del dinamómetro CLAYTON lleva incorporado un tacómetro de tipo magnético que cuenta los pulsos en un disco de hierro perforado. De esta forma a partir del par y el régimen puede determinarse la potencia.

El sensor de velocidad que proporciona los pulsos es un generador especial de señal eléctrica, produce un pulso de corriente directa cada vez que un hoyo en el disco de lectura de velocidad pasa por el sensor magnético. La frecuencia del tren de pulsos resultante es directamente proporcional a las RPM de la flecha. El disco tiene sesenta hoyos cerca de su borde y está ubicado en la parte interna de la PAU (figura 3.5).

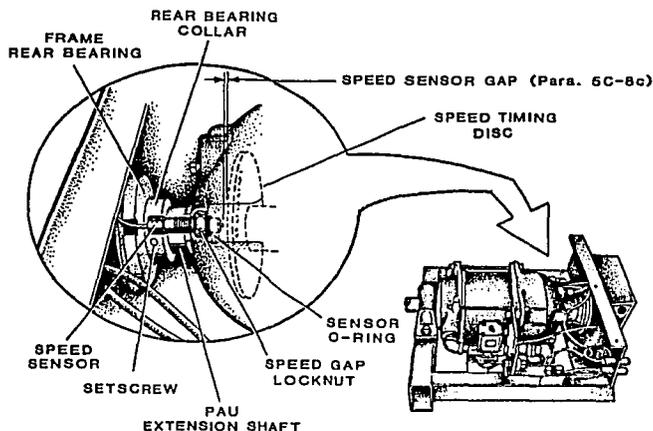


Figura 3.5 Sensor de Velocidad.

### 3.1.4 Medidores de Gasto de Combustible.

Para determinar el gasto de combustible, se requiere de un elemento que pueda proporcionar un dato confiable de la cantidad de combustible que se está consumiendo, para ello existen diversos equipos de medición de flujo, la manera más frecuente en la cual éstos son clasificados es por su tecnología, sin embargo existen características adicionales que forman la base para clasificar de manera más particular a este tipo de medidores.

Algunas de las características básicas pueden incluir:

- Medidor másico o volumétrico.
- Estado del fluido (puede manejar líquido, gas, vapor o lodos).
- Fluidos limpios o sucios, etc.

El LCE cuenta con diversos equipos de medición de flujos, a continuación se describen dichos equipos tomando en cuenta sólo los que se usan para determinar el gasto de los combustibles ensayados y atendiendo a su principio de operación, más adelante se realizará una descripción más detallada de los tipos de medidores y algunos parámetros de selección.

#### **3.1.4.1 Medidor Pro Bar.**

Para poder cuantificar el gasto de combustibles en estado gaseoso, como el GNC o el GLP, se tiene un medidor de flujo ProBar de la marca Dieterich Standard, que por sus características es exacto y confiable en diferentes usos.

Los dispositivos tradicionales de medición por presión diferencial (placa del orificio, venturi, tobera, etc.) son caros de instalar, limitados en algunas aplicaciones y la mayoría no son tan eficientes, pues involucran pérdidas y errores en el proceso de medición; a diferencia de éstos, el dispositivo de medición del flujómetro ProBar produce igualmente una señal de presión diferencial, pero con las diferencias de ser más exacto, sencillo, fiable, con mínimas pérdidas, bajos costos de instalación, operación y mantenimiento.

El diseño y la tecnología de los medidores de flujo ProBar los hace capaces de medir con mucha precisión flujos volumétricos o másicos en líquidos, gases, y vapores; en tuberías de diferentes calibres que van desde  $\frac{1}{2}$  hasta 72 pulgadas. El ProBar PNT+10S (figura 3.6) es un flujómetro volumétrico de fácil instalación, que cuenta con un transmisor de presión diferencial Rosemount modelo "3051C" y el sensor de Annubar "Diamond II+", que se integran en un solo dispositivo para proporcionar un flujómetro eficiente y exacto.

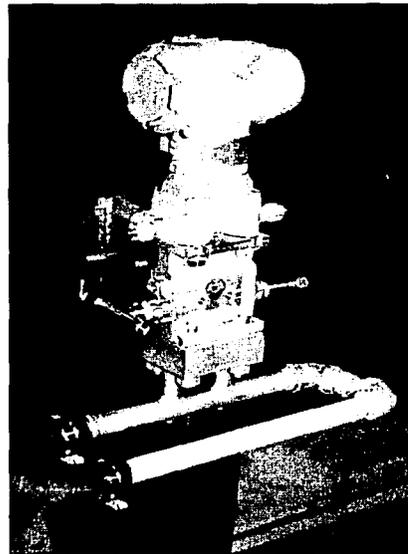
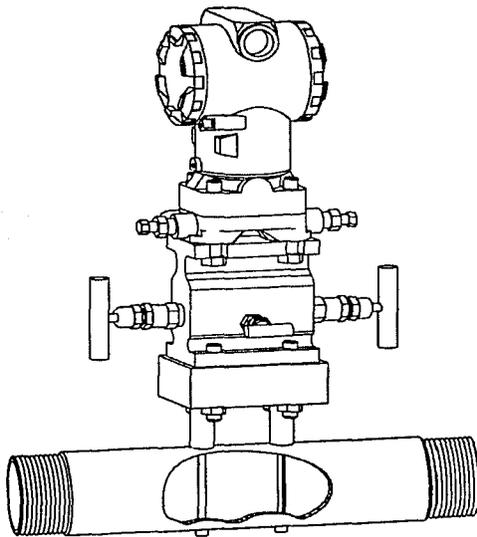


Figura 3.6 Medidor de Flujo ProBar PNT-10S.

En lo que se refiere a las principales partes que conforman al flujómetro, los transmisores de presión diferencial Rousemont proporcionan grandes cualidades y altos rendimientos, como porcentajes de error del 0.075%, rangeabilidad<sup>2</sup> de 100:1, y la mejor estabilidad de cualquier transmisor industrial.

Por otra parte el principal elemento de medición de flujo, el sensor "Diamond II+" de Annubar funciona detectando una presión de impacto y una presión de referencia a través de múltiples puertos de detección, la diferencia resultante es una señal de presión diferencial.

El sensor tiene una estructura de tubo múltiple, rígido con forma de diamante (figura 3.7) y con dos cámaras internas que proporcionan promedios de velocidad, muestreando el flujo bidireccionalmente.

<sup>2</sup> Dinámica de medida o rangeabilidad, es el cociente entre el valor de medida superior e inferior del instrumento o "la relación de máximo flujo a mínimo flujo controlable".

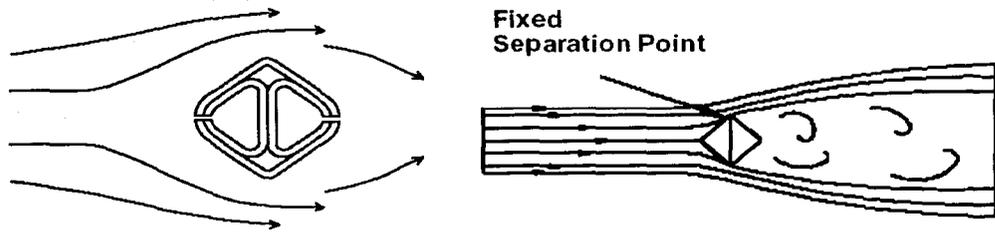


Figura 3.7 Diseño del Sensor "Diamond II+".

La forma del diamante establece un punto de separación fijo del fluido con respecto del sensor, el punto fijo de separación reduce los cambios en la presión de referencia (baja presión), que podrían causar una correspondiente pérdida de exactitud en la medida de flujo.

El principio de operación del elemento principal de flujo Annubar, como se mencionó anteriormente, produce una señal de presión diferencial, que es proporcional a la diferencia de los cuadrados de la velocidad del flujo según marca el teorema de Bernoulli. La señal de presión diferencial tiene dos componentes:

- Alta presión (PH)
- Baja presión (PL)

La figura 3.8<sup>3</sup> muestra el funcionamiento del sensor, se observa que dentro del sensor se generan una señal de alta presión y otra de baja presión que son las dos componentes de la presión diferencial.

La alta presión se produce por impacto o estancamiento del movimiento del fluido en el sensor. Una presión del estancamiento resulta del correspondiente perfil de velocidad. Múltiples puertos de muestreo, localizados en el frente del sensor, cuantifican la presión de impacto del perfil.

<sup>3</sup> ProBar Flowmeter, Instalation and Operation Manual, North America, 1999, Pags. 1.3-1.6

Dentro de la cámara de alta presión, el promedio de la presión se mantiene en función de la velocidad, por lo que cada sección de área en el cruce del flujo con la cámara, guarda cierta proporción con el diámetro de cada puerto de muestreo.

Por otra parte, cuando el fluido continúa alrededor del sensor, genera un modelo de vórtice y crea una perfil de baja presión. La baja presión se usa como una presión de referencia de tal forma que la velocidad puede determinarse independientemente del conducto de presión estática. La baja presión es cuantificada por puertos localizados aguasabajo y opuestos a los puertos de alta presión.

Trabajando con el mismo principio que la cámara de alta presión, un promedio de la baja presión se mantiene en la cámara de baja presión. Esto asegura menos dependencia en la magnitud de flujo o el Número de Reynolds.

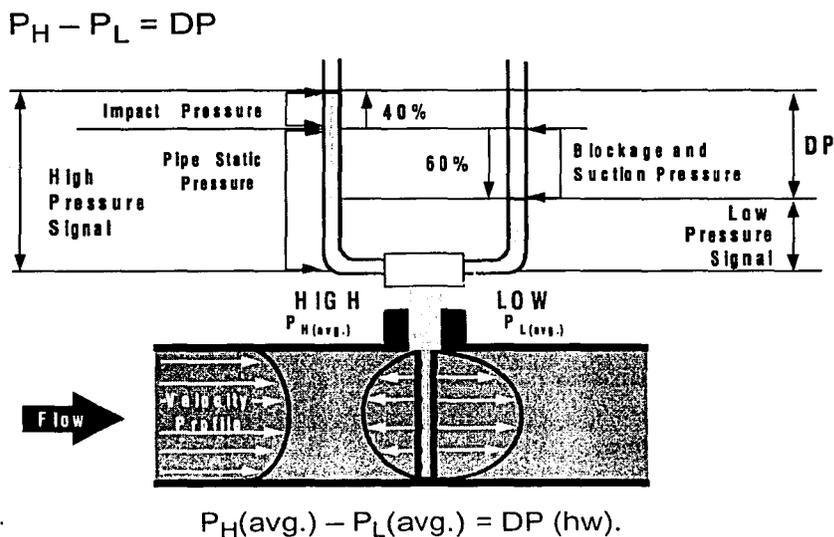


Figura 3.8 Principio de Funcionamiento del Sensor "Diamond II+".

### 3.1.4.2 Medidor ABB K-Flow.

El equipo ABB K-Flow es un medidor de flujo usado en el LCE para determinar el consumo de los diferentes combustibles líquidos ensayados. Dentro de los medidores gravimétricos, el ABB K-Flow modelo K-5 entra en la clasificación de medidores másicos tipo Coriolis<sup>4</sup>.

Los medidores de flujo másico miden la masa directamente usando las propiedades de la masa, opuestos a aquellos que miden volumen o velocidad. Muchas de las tecnologías de otros medidores son afectadas por cambios en la densidad del fluido, viscosidad, perfil de velocidad, presión y/o temperatura, a diferencia de éstos, en los medidores gravimétricos, la medición del fluido es independiente del cambio de parámetros del fluido.

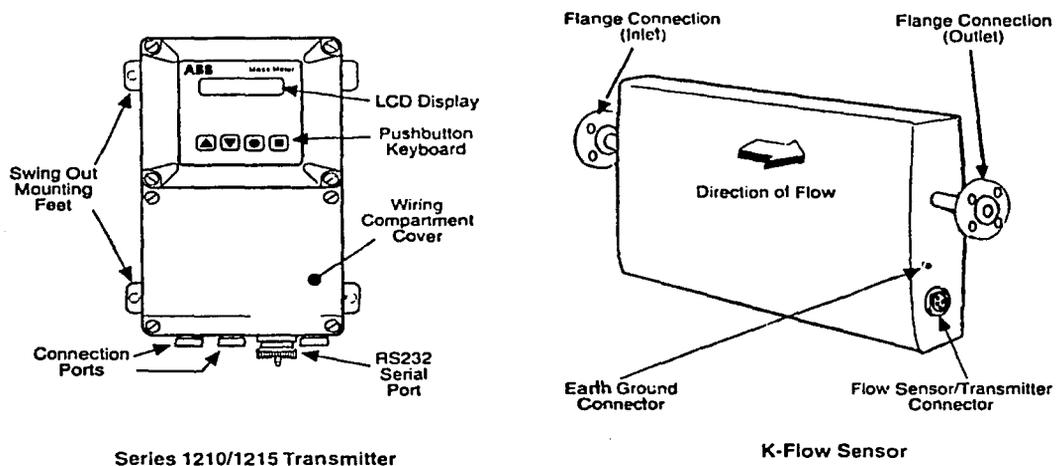


Figura 3.9 Medidor ABB K-Flow.

Los medidores que miden masa directa como el ABB K-Flow (figura 3.9), usan un efecto de peso del fluido conforme pasa a través del medidor, convirtiéndose en una medición altamente exacta (0.2 - 0.5% de error) que es independiente de las variaciones de las condiciones del proceso que

frecuentemente ocurren. Debido a esta característica única, es posible el uso de medidores de flujo másico sin necesidad de recalibrar o compensar los parámetros específicos del fluido. Por otra parte, debido a que el medidor de flujo Coriolis no tiene partes en movimiento sus requerimientos de mantenimiento son bajos y no requiere calibración frecuente.

Enunciado de manera simple, el medidor tipo Coriolis opera sobre el principio básico de movimiento mecánico, se basa en que la aceleración absoluta de un móvil, es la resultante de la relativa, la de arrastre y la de Coriolis. Básicamente consta de dos tubos en forma de "U" (figura 3.10) conectados a una ramificación principal por donde pasa el flujo, y un sensor el cual está formado por tres bobinas electromagnéticas:

- La bobina impulsora hace vibrar los dos tubos, sometiéndolos a un movimiento oscilatorio de rotación alrededor del eje O-O'. Vibran a la frecuencia de resonancia (menos energía), 600-2000 Hz. Opuestos uno del otro para neutralizar la vibración inducida dentro de la tubería y sistema de montaje permitiendo que una torsión pueda ser medida con respecto a la torsión del otro tubo, mientras se rechaza la vibración en la tubería
- Los 2 detectores electromagnéticos inducen corrientes eléctricas de forma senoidal, que están en fase con el accionador (Bobina impulsora) si no circula fluido.

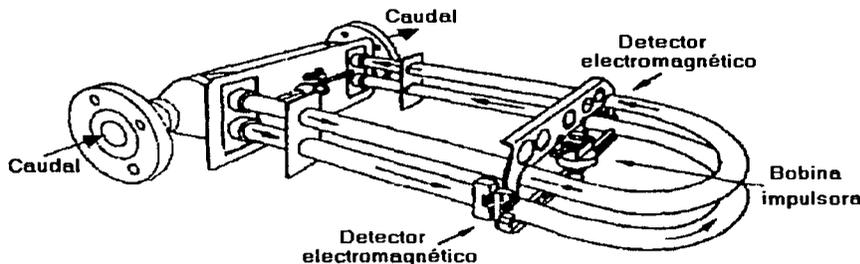


Figura 3.10 Medidor Tipo Coriolis.

<sup>4</sup> ABB K-Flow Inc., Installation and Operating Instructions, USA, 1993, Pags. 1-3,15-20.

El fluido en movimiento a través de cada tubo vibrando es forzado a tomar una aceleración conforme éste se mueve hacia el punto de máxima amplitud de vibración; de manera inversa el fluido desacelera conforme se mueve lejos del punto de máxima amplitud hasta que sale del tubo.

En la figura 3.11 se observa cómo el flujo atraviesa cada tubo en forma de "U", estando sometido a una velocidad lineal " $\underline{v}$ " y una velocidad angular " $\underline{\omega}$ " de rotación alrededor de O-O', por lo que sufre una aceleración de Coriolis de valor  $a_c = 2 \underline{\omega} \times \underline{v}$

La fuerza ejercida sobre el fluido como consecuencia de la aceleración cambia de signo con " $\underline{v}$ ", por lo que se genera un par de fuerzas que produce una torsión de los tubos alrededor del eje R-R'.

La torsión alrededor del eje R-R' produce un desfase de tiempo  $\Delta t$ , entre las corrientes inducidas por los detectores electromagnéticos, que es proporcional al par de fuerzas ejercido sobre los tubos, y por tanto a la masa que circula por ellos.

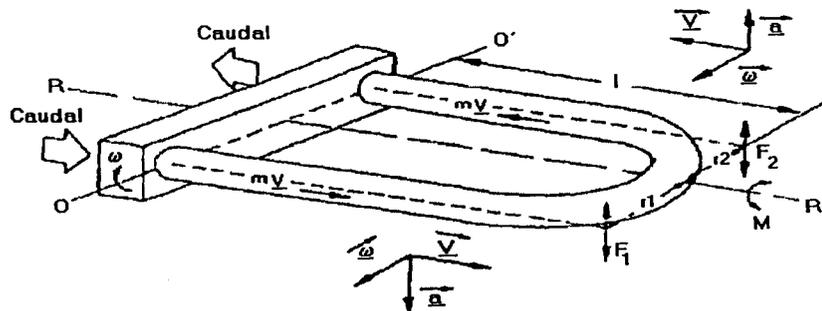


Figura 3.11 Tubo Sensor con los Ejes de Rotación.

La relación de flujo másico puede ser derivada por medición de la señal generada en los detectores electromagnéticos. Un método de procesamiento de señal usa cada sensor para medir un ángulo  $\theta$  de movimiento del tubo como una

función del tiempo. Este toma cada retraso del tubo a través del punto medio de la carrera correspondiente a la deflexión total. La diferencial de tiempo entre los dos retrasos es cero en condiciones de flujo igual a cero, y cuando se establece un flujo es incrementado el ángulo  $\theta$ .

La diferencial de tiempo entre las señales correspondientes a la carrera alta y baja de retraso del tubo también se incrementa. Esas diferenciales de tiempo también son interpretadas como pulsos de longitudes diferentes por un circuito lógico digital.

Un análisis sencillo permite saber que la relación de flujo másico es proporcional al intervalo de tiempo  $\Delta t$  y alguna geometría constante. Siendo independiente de  $\omega$  y de este modo independiente de la frecuencia de vibración del tubo de medición.

### **3.1.5 Medidor de Gasto del Aire de Combustión.**

Otro parámetro importante que es necesario cuantificar para realizar los ensayos de cromatografía, es la cantidad de aire que se combina con cada combustible para ingresar al motor y realizar el proceso de combustión.

La importancia de su medición radica en primer lugar en conocer la relación de mezcla de carburante y oxidante en cada condición de prueba, para tratar de tener una buena combustión. En segunda instancia se requiere conocer el gasto de aire de combustión para poder realizar un balance de masa en el motor que permita realizar los análisis experimentales que se plantean en el capítulo 4.

Un método de medida del gasto de aire se tiene al conocer el área de la sección de entrada y la velocidad con la que el aire ingresa al sistema de alimentación, para ello se usó en los experimentos de análisis cromatográfico un anemómetro de hilo caliente marca Airflow modelo TA-2-13/3K (figura 3.12) del que se menciona lo siguiente.

### 3.1.5.1 Anemómetro de Hilo Caliente.

Un anemómetro térmico mide la velocidad del fluido detectando los cambios en la transferencia de calor mediante un pequeño sensor calentado eléctricamente (hilo caliente) expuesto al fluido bajo estudio. El sensor calentado es mantenido a una temperatura constante usando un circuito de control electrónico. El efecto de enfriamiento resultante del paso del fluido a través del sensor se compensa aumentando el voltaje del sensor.

La magnitud del aumento de voltaje necesario para mantener la temperatura constante está directamente relacionada con la transferencia de calor y, por tanto, con la velocidad del fluido. La anemometría de hilo caliente (Hot Wire Anemometry) es ideal para la medida de velocidades en fluidos puros (gases, y líquidos) de temperatura uniforme. Su alto rango dinámico permite la medición de fenómenos turbulentos con una alta precisión hasta frecuencias muy altas. La técnica de hilo caliente es una medición invasiva, aunque sólo implique el emplazamiento de una pequeña sonda en el fluido de interés.

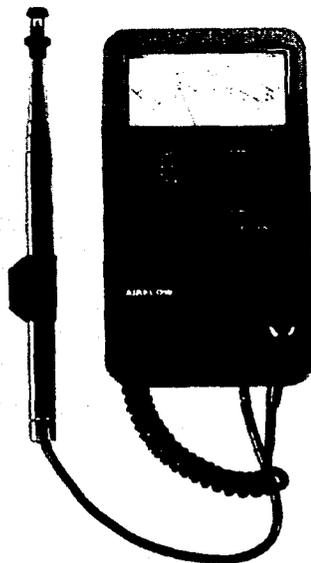


Figura 3.12 Anemómetro de Hilo Caliente Airflow TA-2-13/3K.

### 3.1.6 Analizador de Gases.

Para el análisis de los gases de escape del motor o gases crudos, el Laboratorio de Control de Emisiones cuenta con un analizador de cinco gases de la marca ANDROS Incorporated Modelo 6600.

El modelo 6600 es un analizador de gases compacto que usa la tecnología de medida de emisiones de infrarrojas no dispersivas (NDIR) para caracterizar las concentraciones gaseosas de HC, CO, y CO<sub>2</sub>. Los gases de NO<sub>x</sub> y el O<sub>2</sub> son medidos usando sensores electroquímicos. El 6600 es una completa y destacada herramienta para el análisis de emisiones.

El infrarrojo no dispersivo (NDIR) es una técnica usada para la medición de varios gases. Consiste en las características de absorción de energía de los gases en la región infrarroja. En un instrumento NDIR sencillo (figura 3.13), la energía infrarroja pasa a través de dos tubos idénticos y termina en un detector. El primer tubo es la celda de referencia y es llenada con un gas no absorbente como el nitrógeno. El segundo tubo es la celda de medición y contiene la muestra de gas que va a ser analizado, la energía en la región de interés es absorbida por el gas en la celda de medición, atenuando la energía que pasa a través de la celda, terminando en el detector.

Esta atenuación de energía es comparada con la señal no atenuada de la celda de referencia, la diferencia es proporcional a la cantidad de gas absorbente en la celda de medición.

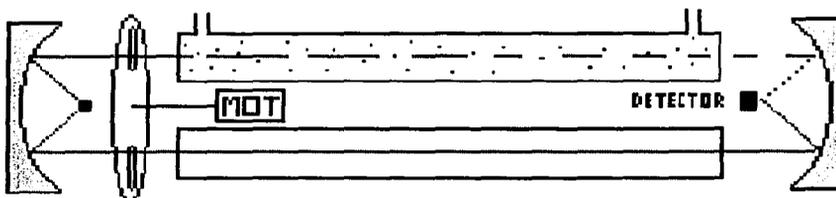


Figura 3.13 Infrarrojo no Dispersivo NDIR.

El analizador 6600 usa la técnica de NDIR para caracterizar las concentraciones de HC, CO, y CO<sub>2</sub>. El perfil de absorción en el sistema NDIR es la base de la medición. La concentración de un volumen de gas es una función de la cantidad de moléculas de gas en la muestra. La absorción de luz infrarroja incrementa con el número de moléculas de gas que pasan por el haz de luz. Como la concentración de gas incrementa la absorción de luz infrarroja, la transmisión de luz infrarroja también decrece. Un sistema básico de medida NDIR (figura 3.14) incluye los siguientes elementos:

- Fuente infrarroja.- La fuente de luz infrarroja produce un amplio rango de luz en frecuencias que cubren la banda infrarroja y se extienden en el espectro visible. Una fuente de corriente infrarroja regulada (IR) proporciona un flujo de fotones en el rango de 2 a 5 micras. La luz se dirige a través de la celda de muestreo al bloque óptico. La fuente se modula a 1 Hz, el monitoreo y compensación de la temperatura de la fuente se proporcionan para asegurar que la luz infrarroja sea mantenida dentro de la frecuencia especificada.
- Celda de Muestreo.- El gas a ser medido es transportado por medio de una celda que permite a la luz infrarroja pasar a través de la muestra. La celda de muestreo es una cámara de vidrio recubierta con oro que proporciona los medios para que la fuente infrarroja pueda atravesar el gas de la muestra.
- Filtro Infrarrojo.- Un filtro de banda es usado para seleccionar una banda específica de luz infrarroja. La longitud de onda del filtro esta basada en el gas a ser medido. Los filtros de separación de infrarrojos son usados para medir las concentraciones de HC, CO, y CO<sub>2</sub>.
- Detector infrarrojo.- La luz infrarroja que no es absorbida por la muestra de gas es transmitida a un detector infrarrojo. El detector produce un voltaje de salida que es proporcional al calor medido.

**Simple NDIR Gas Analyzer Model**

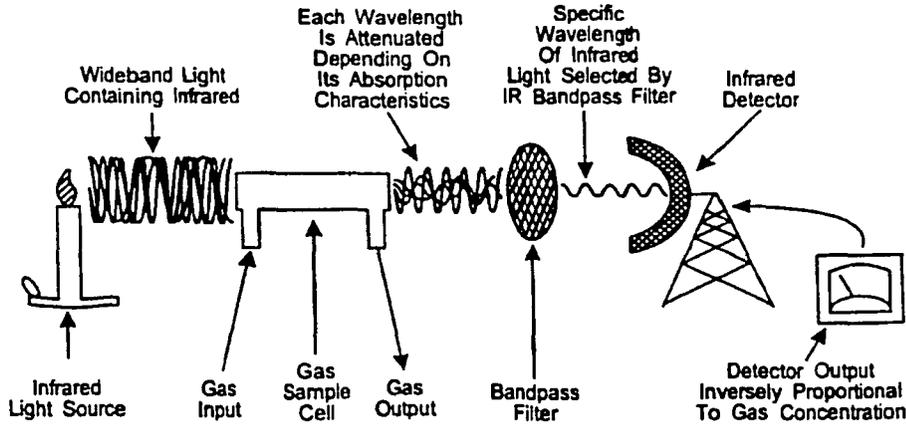


Figura 3.14 Sistema Básico de Medida NDIR.

**Espectro de transmisión infrarrojo del 6600**

La concentración del gas expuesto en la muestra es función de la intensidad de luz medida por el detector. La figura 3.15<sup>5</sup> caracteriza la absorción del analizador y muestra las curvas de los filtros de bandas para HC, CO, y CO<sub>2</sub>.

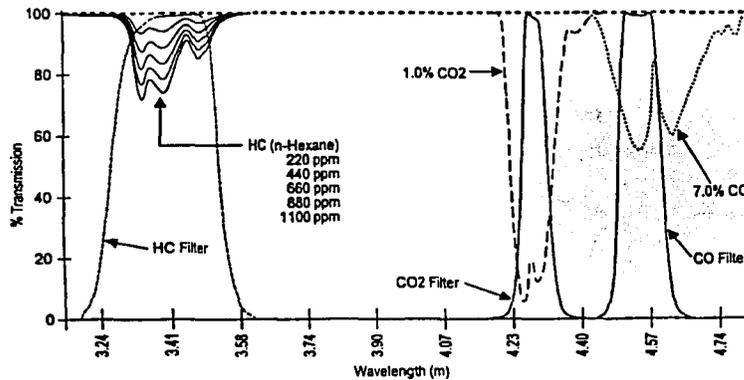


Figura 3.15 Absorción del Analizador y Curvas de los Filtros de Bandas para HC, CO, y CO<sub>2</sub>.

<sup>5</sup> Adros Incorporated, Users Manual, California U.S.A, 1997, Pags. 3-15.

La concentración de  $O_2$  y  $NO_x$  es medida usando sensores electroquímicos, los sensores proporcionan una respuesta eléctrica que es proporcional a la concentración del gas en la muestra.

El gas es dirigido desde la celda de muestreo a un multicolector que sirve como una plataforma de montaje para los sensores electroquímicos de  $O_2$  y  $NO_x$ . El gas de la muestra es liberado a los sensores de  $O_2$  y  $NO_x$  a través del multicolector. El sensor de  $O_2$  proporciona una salida lineal de 9 a 13 mV que es proporcional a una concentración de oxígeno de 0 a 100% en la muestra. El sensor de  $NO_x$  proporciona una salida lineal de aproximadamente 50 nanoampers sobre ppm de óxido de nitrógeno en el rango de 0 a 5000 ppm en la muestra. Una batería de 3 Volts es incluida con el sensor de  $NO_x$  para mantener un voltaje cuando la fuente de poder no este operando.

La salida del sensor es mandada a un convertidor ADC que proporciona un valor digital que representa la concentración del gas. La concentración del gas es determinada por la comparación de la salida del sensor calibrado con la salida obtenida de la muestra, en la figura 3.16 se observan los componentes del Analizador.

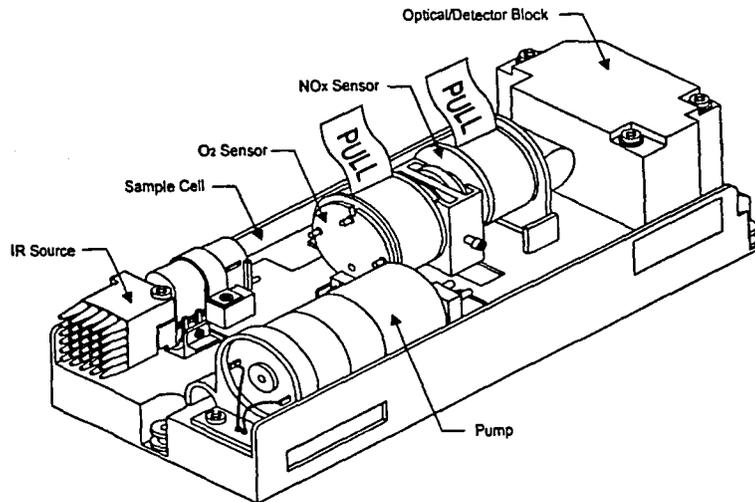


Figura 3.16 Componentes del Analizador de Gases Andros modelo 6600.

### **3.1.7 Sistemas de Alimentación de Combustible.**

Debido a que se requerían ensayar diferentes combustibles, era indispensable contar con diferentes sistemas de almacenamiento, distribución e inyección, según las características de cada combustible. A continuación se mencionan los componentes principales de cada sistema según el combustible empleado.

#### **3.1.7.1 Gasolinas Convencionales y Mezclas con Etanol.**

En lo que se refiere a los combustibles líquidos, como las gasolinas convencionales y el etanol, así como sus diferentes combinaciones, requirieron del uso de los mismos sistemas de distribución e inyección, así como de contenedores de almacenamiento similares, esto debido a que el comportamiento de los equipos y sus capacidades de operación en general no son afectadas por el cambio de combustible, salvo lo que se comenta en el capítulo uno a cerca de las gasolinas reformuladas, con respecto a los materiales que se usa en parte del sistema de alimentación. Enseguida se comentan brevemente las partes más relevantes de la alimentación de los combustibles líquidos.

- **Tanques de almacenamiento y líneas de suministro de combustible**

Para almacenar los combustibles líquidos como gasolinas convencionales o etanol que se usan en el LCE, se tienen incorporados dentro de lo que es el cuarto de máquinas diversos contenedores para almacenar este tipo combustibles, una bomba de suministro se encuentra dentro del tanque que contiene el combustible a ensayar, y lo impulsa hacia unos tanques denominados tanques de día en donde si es necesario se realizan las diferentes mezclas de los combustibles, para posteriormente por medio de líneas de transferencia hechas con tubería de cobre y manguera de hule abastecer de combustible al carburador.

- **Carburador**

Los equipos de formación de mezcla sirven para dosificar el combustible dentro de una corriente de aire, en la proporción requerida por la velocidad y la carga del motor, pueden clasificarse en dos grandes grupos: carburadores y equipos de inyección. Los primeros pueden ser de venturi fijo o de venturi variable y los segundos de inyección directa o de inyección indirecta.

El equipo instalado originalmente en el motor donde se realizaron los ensayos es un carburador marca Motorcraft (figura 3.17) de venturi fijo, en cuya garganta la mayor velocidad de la vena gaseosa crea una depresión que se emplea para aspirar la gasolina. Las válvulas para regular las cantidades de aire y de mezcla, la bomba de aceleración, y la cámara del flotador son los elementos auxiliares. La válvula de mezcla regula la cantidad de aire y combustible que entran en el cilindro; la de aire se emplea para restringir el caudal de aire, y por lo tanto controla la riqueza de la mezcla.

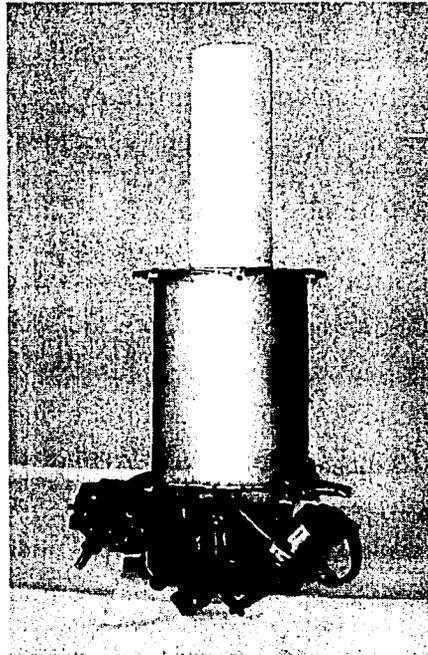


Figura 3.17 Carburador Motorcraft 883YAC

### **3.1.7.2 Gas Licuado de Petróleo.**

#### **▪ Tanque de Almacenamiento**

Los tanques de G.L.P. para uso vehicular están disponibles en dos estilos: cilindros universales portátiles y tanques montados permanentemente, diseñados con un margen de seguridad suficiente para soportar la presión dentro del tanque a temperaturas normales de operación. El G.L.P almacenado como un líquido a presión, se debe encontrar a un volumen máximo de 80%, el otro 20% será de gas vapor. La instalación del cilindro en forma inapropiada, o el llenado excesivo, puede hacer que el propano pase en forma líquida al sistema, haciendo que se forme escarcha en el regulador y que el motor no funcione o tenga fallas por mezcla rica.

#### **▪ Válvula de Seguridad**

La válvula de seguridad protege la línea de servicio de una sobrepresión cuando la válvula de servicio y la válvula solenoide están cerradas. Algunos tanques están equipados con ésta válvula de seguridad dentro de la válvula de servicio y la ventaja es que si la válvula de alivio hidrostático fuga, el combustible retornará al tanque en vez de ser tirado a la atmósfera, aún si la válvula de servicio estuviera cerrada y obviamente esto es mucho más seguro.

#### **▪ Válvula Solenoide**

Los dispositivos para dejar fluir el G.L.P. de las líneas de servicio al regulador son la válvula solenoide o el filtro vacuométrico. Estos requieren una señal eléctrica o de vacío respectivamente al arranque del motor o cuando éste está funcionando libremente. Esta es una situación conveniente de seguridad porque, si llegara a pararse el motor, el flujo de combustible automáticamente se cerraría, cuando el filtro vacuométrico recibe la señal deseada de vacío o eléctrica del motor, ésta abre y permite que el propano líquido que viene directamente de la presión del tanque fluya hacia el regulador de presión.

- **Regulador- Vaporizador**

El regulador-vaporizador IMPCO normalmente se encuentra cerrado, requiere de una señal de vacío desde el mezclador de aire-combustible para permitir el flujo del G.L.P., esto es una situación de seguridad muy deseable, porque en el caso fortuito de encontrarse con fallas en el motor y que en un momento llegará a detenerse, no permitirá el flujo de corriente del combustible. Cuando el regulador primario de presión recibe la señal deseada de vacío desde el mezclador de aire-combustible es cuando se permite el flujo de G.L.P.. Así, el G.L.P. que fluye a través del regulador, reduce su presión primaria desde su estado dentro del tanque hasta un estado ligeramente menor que el atmosférico.

Como la presión del G.L.P. se reduce, el líquido pasa a un estado de vapor seco saturado y al ocurrir este evento existe por el cambio de presiones y decremento de temperatura, un efecto refrigerante dentro del regulador de presión, tendiendo a que éste se congele; el regulador de presión IMPCO está diseñado para aprovechar el sistema de enfriamiento del motor y, por lo tanto, el calor que viene del refrigerante, para reemplazar la energía que se ha perdido en el proceso de vaporización, produciendo un intercambio de calor por medio de la pared del regulador hacia el G.L.P. líquido, y colaborando con la vaporización.

- **Mezclador**

En el mezclador IMPCO el conducto por donde fluye el combustible, normalmente se encuentra cerrado, una señal de vacío desde el motor es requerida para arrastrar el combustible desde la salida del regulador. Esto también es una medida de seguridad deseable, por lo que se ha mencionado que en un momento dado el motor pueda apagarse, el flujo de combustible se detendría automáticamente; cuando el mezclador recibe la señal de vacío deseada desde el motor, éste llama una cantidad medida de G.L.P. en forma de vapor desde el regulador de presión y lo mezcla en una relación apropiada con el aire para alcanzar el más alto rendimiento del motor sobre todo en el rango de operación del mismo.

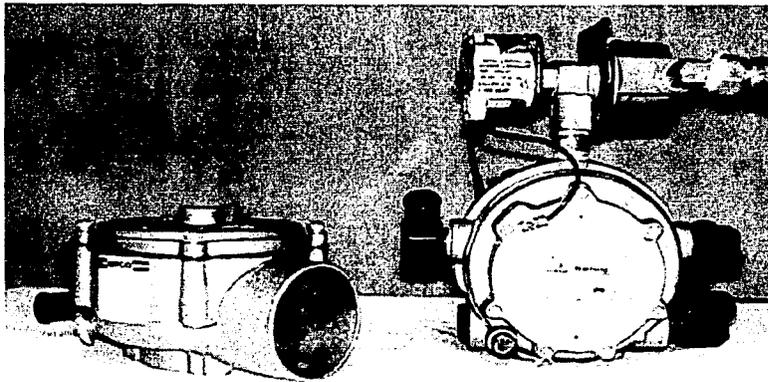


Figura 3.18 Mezclador y Regulador-Vaporizador IMPCO para un Sistema a G.L.P.

### 3.1.7.3 Gas Natural Comprimido

#### ▪ Tanque de Almacenamiento

El G.N.C. es almacenado bajo presión en un cilindro de almacenamiento de combustible como gas comprimido y con un máximo de presión aproximadamente de 3600 psi. Los cilindros pueden ser hechos de acero, aluminio o materiales compuestos que normalmente son de fibra de carbón.

Los cilindros para almacenamiento de GNC a bordo tienen varios diseños tanto en tamaño como en peso. El tamaño del cilindro se selecciona dependiendo del uso del vehículo, y la cantidad de combustible deseado.

#### ▪ Válvula de ¼

Cuando la válvula del cilindro se abre fluye gas hacia la válvula llamada válvula de ¼ de vuelta para abrirse o cerrarse, el propósito de la válvula es proveer un cerrado rápido del flujo de combustible en caso de un problema en el sistema o un funcionamiento inadecuado, la válvula de ¼ de vuelta es montada muy cerca del cilindro y normalmente se deja en posición abierta.

- **Regulador de alta presión**

El gas natural pasa a través de un regulador de alta presión que reduce la presión de 3000 psi a 100 psi. y fluye hacia el sistema de control de combustible o válvula solenoide.

- **Sistema de control de combustible**

Desde el regulador de alta presión el G.N.C. fluye hacia la válvula solenoide, que se encuentra normalmente cerrada, y en donde por supuesto se requiere una señal eléctrica desde el arranque del motor o funcionamiento del mismo para ser habilitada por cuestiones de seguridad. Cuando la señal es recibida, la válvula solenoide se abre permitiendo el flujo de G.N.C. hacia el regulador de baja presión.

- **Regulador de baja presión**

Desde el sistema de control de combustible (filtro vacuométrico o válvula solenoide) el G.N.C. fluye a través del regulador de baja presión, donde el combustible presurizado es reducido desde una presión de 150 psi. hasta una presión ligeramente mayor que la atmosférica, esto es muy importante puesto que la presión de salida del regulador y la presión de entrada del mezclador deben de coincidir perfectamente.

- **Mezclador**

Desde el regulador de presión el G.N.C. fluye hacia el mezclador de aire-combustible IMPCO. El conducto de combustible al igual que para el G.L.P se encuentra cerrado y es necesaria una señal de vacío desde el motor para entregar el combustible desde su salida, esto por las cuestiones de seguridad ya mencionadas. Cuando el mezclador recibe la señal de vacío deseada desde el motor, entrega una cantidad medida de G.N.C. desde el regulador de presión; la cual se mezcla con el aire en una relación aire-combustible adecuada, con objeto que el motor alcance su máximo desarrollo de operación.

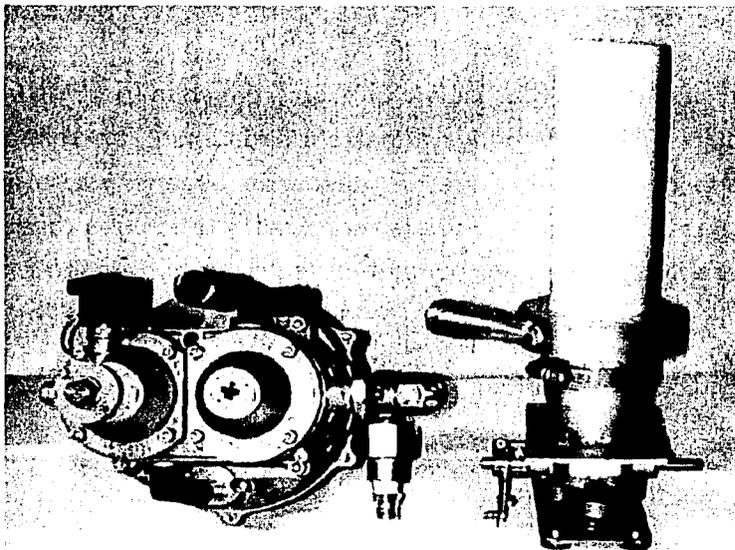


Figura 3.19 Reguladores de Alta Presión, Baja Presión y Mezclador IMPCO para un Sistema a G.N.C.

### 3.1.8 Equipo de Dilución de Gases

Una vez acondicionado cada equipo con el que se contaba, fue necesario implementar algunos dispositivos para la toma de muestras de los gases de escape. Primeramente había que diluir los gases productos de la combustión con aire atmosférico, esto se hace en principio con el fin de mezclar los gases con aire limpio y simular las condiciones atmosféricas en las que se completan los procesos de formación de los compuestos que son nocivos para el medio ambiente, por otra parte se diluyen los gases para poder ingresarlos a los equipos de cromatografía y poder determinar la contribución de cada compuesto a la muestra. Para todo ello se diseñó un dispositivo con el que fue posible conocer la relación entre el caudal de gases y el caudal de aire de dilución adecuado, así como el control de dicha relación y la recolección de las muestras. A continuación se menciona el principio de operación de los túneles de dilución en el que está basado dicho sistema.

### 3.1.8.1 Túneles de Dilución

Para la medición de las partículas que son emitidas por MCIA se han diseñado ciertos dispositivos, llamados túneles de dilución, en los cuales se propicia un mezclado homogéneo entre los gases de escape y aire limpio. En principio, estos túneles se construyeron para muestrear partículas procedentes de los motores de encendido provocado y posteriormente, se han usado en motores Diesel.

Como se mencionó anteriormente uno de los propósitos de diluir los gases es simular las condiciones atmosféricas en las que se cumplen los procesos de formación, antes de su recolección y análisis.

Existen túneles de dilución que, dependiendo de su tamaño, cumplen este cometido con mayor o menor capacidad. Los grandes túneles pueden diluir íntegramente o parcialmente el caudal de gases de escape, dependiendo del tamaño del motor, siendo su característica fundamental la de poder diluir dichos gases, también en condiciones transitorias.

Otros túneles de dimensiones más reducidas, denominados minitúneles de dilución realizan esta función aunque, sólo en condiciones estables del motor. No son capaces de realizar una dilución adecuada en pruebas de ciclos transitorios. No obstante, presentan ciertas ventajas.

Para el desarrollo de esta investigación se implementó un dispositivo basado en el principio de funcionamiento de los túneles de dilución antes mencionados, con la diferencia de que éste dispositivo esta destinado no al muestreo de partículas, sino al acondicionamiento de las muestras de gases productos de la combustión de cada combustible ensayado.

## 3.1.8.2 Cámara de Dilución

El dispositivo diseñado para este estudio es una cámara que tiene la función de diluir parcialmente el caudal de gases crudos en condiciones estables del motor, este sistema está conformado por un ducto que contiene y mezcla el flujo de la fracción de gases de escape extraído del motor y el aire de dilución; cuenta además con tres dispositivos de medición de flujo que funcionan bajo el principio de los tubos venturi, los cuales miden los caudales de gases, aire y muestras mediante manómetros diferenciales; se tiene también acoplado un turbosoplador con una válvula de paso que regula la cantidad de aire de dilución que ingresa a la cámara y una bomba de vacío que recolecta la mezcla de gases y aire incorporándola a una bolsa de Tedlar; adicionalmente existen termopares con los que se determinan las temperaturas en diversos puntos para poder obtener parámetros como las densidades de los flujos, en la figura 3.20 se puede observar un esquema del equipo.

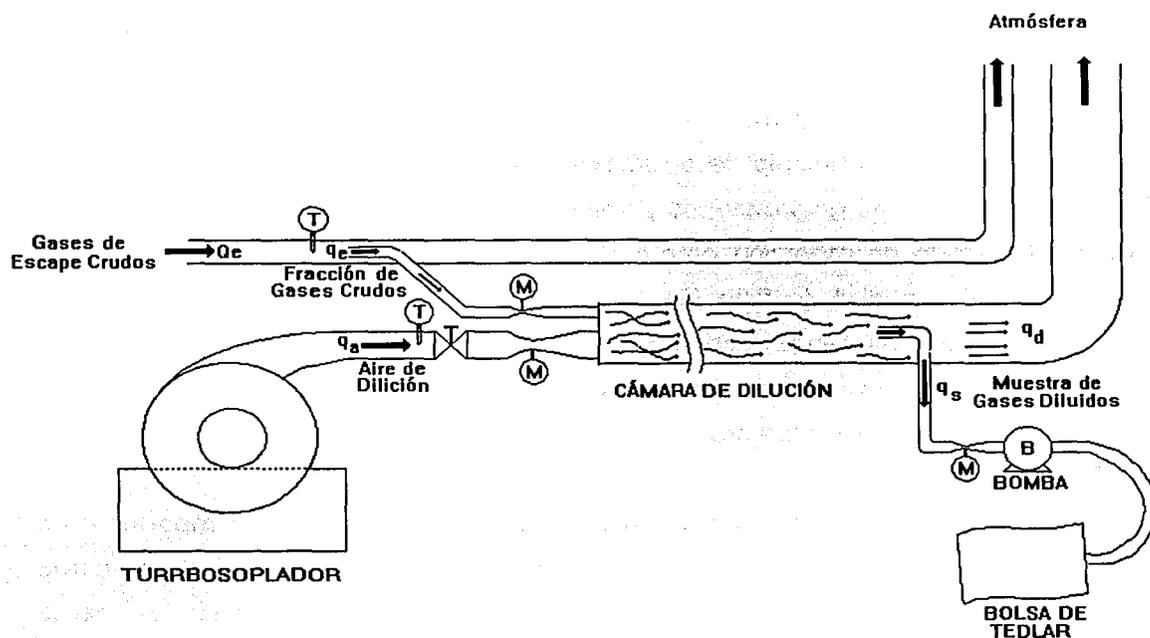


Figura 3.20 Componentes de la Cámara de Dilución

### 3.1.8.2.1 Medidores de Flujo

Una parte importante dentro de lo que es la cámara de dilución son los medidores de flujo usados para determinar los gastos de gases de escape, aire de dilución, y mezcla diluida. Para determinar que tipo de medidor era el mejor en cada caso se requirió saber cuáles son las clasificaciones de los medidores, y tener una base para escoger los más apropiados.

Sin embargo no hay un tipo de medidor de flujo adecuado y ciertamente la selección no puede ser óptima para cada aplicación, es necesario llevar a cabo un procedimiento un tanto riguroso para hallar el medidor que brinde la mejor solución para cada problema de medición específico.

Como se mencionó en apartados anteriores, la manera más frecuente en la cual los medidores de flujo son clasificados es por su tecnología, sin embargo existen características adicionales que forman la base para clasificarlos de forma particular y facilitar el proceso de selección. Algunos de los principales criterios que es necesario 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, pero además pueden dividirse según el método de medición empleado, en medidores de velocidad de flujo y medidores de cantidad de flujo (figura 3.21). A este respecto los medidores de velocidad de flujo pueden proporcionar información de gasto volumétrico siempre y cuando el área transversal del medidor de flujo en el punto donde la medición es hecha, sea conocida y constante.

- **Exactitud**

La calidad de la medición de flujo (exactitud) es un elemento importante en la selección de los medidores de flujo, muchas veces la exactitud se toma como un factor de selección primario. Existen distinciones según la aplicación, donde es necesaria la más alta exactitud (llamada "exactitud de prueba") y aplicaciones en donde es necesaria una exactitud medida (llamada "industrial").

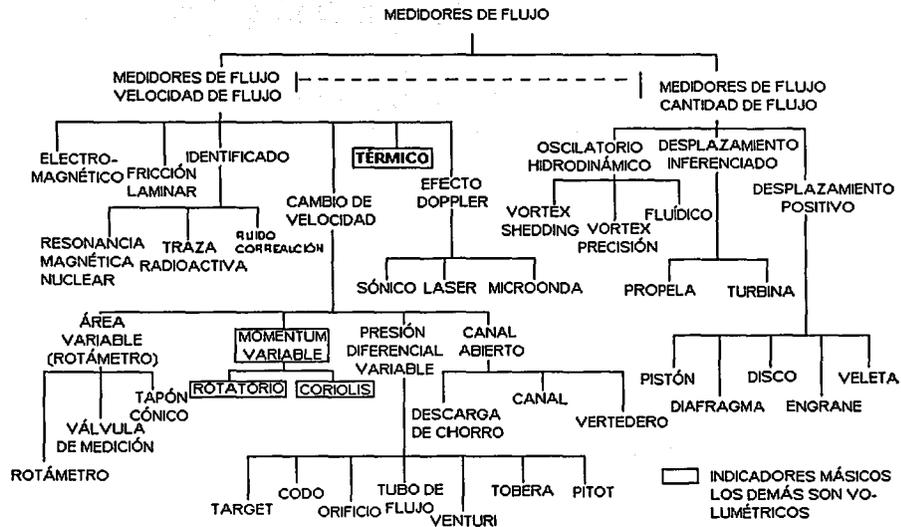


Figura. 3.21 Arreglo de la Familia de Medidores de Flujo.

▪ **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 prioridad en determinadas aplicaciones.

▪ **Tipo de Fluido**

En lo que se refiere 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 se muestran diferentes medidores, clasificados por su capacidad para medir el flujo según el estado físico en el que éste 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	TURBINA	PRESIÓN DIFERENCIAL VARIABLE
MAGNÉTICO	TURBINA	OSCILADOR	
TURBINA	OSCILADOR	OSCILADOR	
ULTRASÓNICO	TÉRMINICO		
TÉRMINICO			
OSCILADOR			
COROLIS			

Tabla 3.2 Selección del Tipo de Medidor de Flujo según el estado del Fluido

#### ▪ 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. Los medidores que presentan una obstrucción en la corriente de flujo, aún a través de las partes que no se mueven, requieren consideraciones específicas. La tabla 3.3 muestra una lista de medidores y algunas características que deben tener según el tipo fluido que se requiera medir.

#### ▪ Propiedades de los Fluidos.

Otras propiedades de fluidos pueden ser importantes para ciertos tipos específicos 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							CARACTERÍSTICAS										
	LÍQUIDO LÍQUIDO	LÍQUIDO SUCIO	LÍQUIDO VISCOSO	LÍQUIDO VISCOSO CORROSIVO	LÍQUIDO LÓBULOS	GAS LÍQUIDO	GAS SUCIO	VAPOR	TIEMPO DISPONIBLE	EXACTITUD	RANGEO DE MEDIDA	VALOR NOMINAL	DETECCIÓN DE OBSTRUCCIÓN	DETECCIÓN DE FUGA	COSTO RELATIVO	TUBERÍA REQUERIDA	INSTALACIÓN	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	H	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	3D	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	H	H	N	M	M	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	M	H	N	H	L-M	LINEAR
TARGET	●	●	○			●	●	> 5'-4'	1-1/2-3%	10/1	> 100	H	M	M	10-20D	L	M	✓

RECOMENDADO  
 LIMITADO A LA APLICACION  
 NO RECOMENDADO

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

Tabla 3.3 Clasificación de Medidores de Flujo por su Aplicación al Tipo de Fluido

En base a los criterios de clasificación de los medidores de flujo, y considerando la aplicación y condiciones de uso requeridas en los experimentos de especificación se decidió implementar medidores de flujo tipo venturi, por las razones que se mencionan a continuación:

- Dentro de los medidores que proporcionan velocidad de flujo, los de cambio de velocidad son apropiados por la sencillez del método de operación.
- Dentro de este tipo de medidores los de presión diferencial variable son de fácil construcción.
- Entre los medidores de presión diferencial variable, los tubos de venturi presentan gran versatilidad de manufactura con diferentes materiales no reactivos en presencia de Hidrocarburos, así como gran resistencia a altas temperaturas.

- Son aptos para manejar gases sucios, en éste caso con partículas de hollín.
- Son bastante precisos y con relaciones de rangeabilidad aceptables.
- El costo de construcción, mantenimiento y operación es bajo.
- Para los fines de los experimentos presentan caídas de presión permisibles.
- Son fácilmente adaptables a los tamaños y forma de las tuberías instaladas.

### 3.1.8.2.2 Medidores de Temperaturas

La temperatura es uno de los parámetros con mayor importancia en los estudios cromatográficos realizados, por lo cual fue necesario contar con valores de temperatura en diversos puntos del motor y sistemas aledaños. Dentro de lo que es la cámara de dilución, se instalaron una serie de Termopares tipo "J" de la marca OMEGA, de los que se comenta lo siguiente.

Los termopares son sensores activos, que usan el efecto Seebeck, en el cual una corriente eléctrica circula cuando dos hilos de metales distintos se unen y se calienta uno de los extremos, entregando un voltaje que es proporcional a la diferencia de temperaturas. La señal de salida es baja (milivolts), por lo que necesita acondicionamiento de la señal, por otra parte su sensibilidad es alta (microvolts por grado). Soportan altas temperaturas y su comportamiento es bastante lineal.

#### Tipos de Termopares

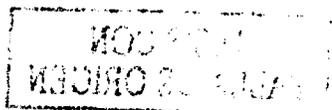
- **Termopar J:** Hierro y Constatan (Cu-Ni).

Precios relativamente bajos

Rango: 0°C a +750°C

Precisión: 2.2°C o 0.75%

Afectado por corrosión



- **Termopar K:** Cromo y Alumel (Al-Ni).  
Buena resistencia a la oxidación  
Rango: 0°C a +1.300°C y 600°C a 1.000°C en atm. oxidantes  
Precisión: 1%
- **Termopar R:** Platino y Platino-13% Rodio.
- **Termopar S:** Platino y Platino-10% Rodio.  
Rango de medida más amplio (0°C a +1.600°C), pero más caros.  
Precisión: 0.5%
- **Termopar W:** Volframio-5% Renio y Volframio-26% Renio.  
Rango: 0°C a +2.800°C en atm. inertes o vacío.  
Precisión: 1%

### 3.1.8.2.3 Bolsas de Tedlar

Para los muestreos de gases diluidos existe una amplia variedad de dispositivos de muestreo disponibles. El más simple es el sistema usado para el muestreo que es un envase de cristal sellado y vacío (figura 3.22), que se puede abrir en el sitio elegido para el muestreo y cerrado después de que la muestra haya entrado en el envase. Una bomba manual o eléctrica se puede utilizar para llevar la muestra dentro del envase después de abrirse en sitio.

Una jeringuilla grande en muchos casos puede ser un dispositivo adecuado para obtener y contener una muestra. Puede también servir como medio para llevar una muestra dentro de un envase o directamente al cromatógrafo.

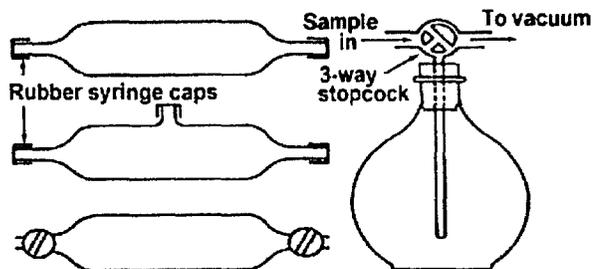


Figura 3.22 Tipos de envases del gas-muestreo)

Las bolsas plásticas también se utilizan para obtener la muestra del gas (figura 3.23). Son fabricadas con distintos materiales, el más confiable de éstos es el Teflon, aunque Mylar, y Tedlar (marcas registradas de Du Pont para la película de poliéster y la película polivinilo del fluoruro) también se utilizan.

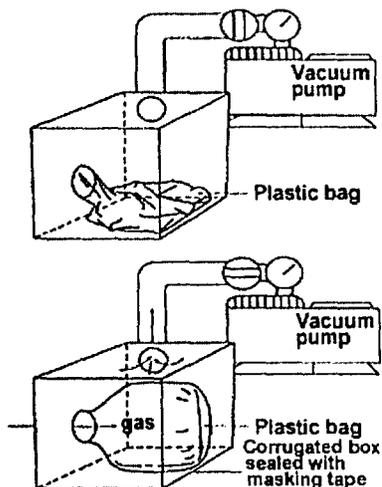


Figura 3.23 Muestreo de Gases por Medio de Bolsas Plásticas.

Particularmente en los ensayos cromatográficos realizados en el LCE, se usaron bolsas de Tedlar<sup>®</sup>, se fabrican de película de PVF (Polivinilo de Fluoruro), un material inerte a una amplia gama de productos químicos. El Tedlar es manufacturado sin plastificantes, así se reduce al mínimo la fuga de gases haciéndolo impermeable. Estas bolsas de muestreo se pueden utilizar para muestrear aire mezclado con contaminantes comunes, hidrocarburos, solventes tratados con cloro y muchas otras clases de productos químicos. Las bolsas de muestreo de Tedlar se presentan en una variedad de opciones de tamaño, las usadas en los ensayos fueron particularmente de cuatro litros, como se puede observar en la figura 3.24.



Figura 3.24 Bolsas de Tedlar

#### Características:

- Impermeable a los gases.
- Baja memoria de muestras anteriores.
- Resistente, flexible, resistente a la fatiga.
- Puede ser reutilizado muchas veces.
- Válvula integrada
- Puerto de salida amplio para su fácil mantenimiento.

#### Usos:

- Hidrocarburos
- Mezclas de gases
- Estándares de la calibración

#### 3.1.8.2.4 Bomba de Vacío

Para llevar las muestras de gases hacia las bolsas de Tedlar fue usada una bomba de vacío tipo diafragma (figura 3.25) especial para este tipo de experimentos. Los gases de escape del motor previamente diluidos se transportan a través de la bomba hacia las bolsas, para posteriormente inyectarse al instrumento que leerá y analizará los varios hidrocarburos presentes en los gases de escape.

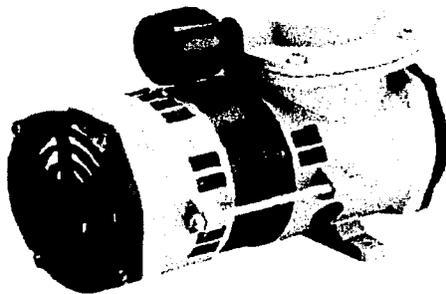


Figura 3.25 Bomba de Vacío Tipo Diafragma

#### 3.1.8.2.5 Turbosoplador

Adicionalmente a los equipos antes descritos y como parte de la cámara de dilución se encuentra incorporado un equipo generador de flujo de aire, que tiene la función de diluir los gases crudos provenientes del motor. Dicho generador es un turbosoplador con una capacidad de caudal máximo de  $0.222 \text{ m}^3/\text{s}$  y una presión máxima de 508 milímetros de columna de agua (mm c.a.).

Además de la aplicación que tiene dentro de la cámara, dicho turbosoplador tiene un uso adicional, pues también forma parte de lo que es el banco de flujo y que se describe a continuación.

#### 3.1.9 Banco de Flujo

El banco de flujo es un equipo donde se pueden conectar elementos de conducción de flujos y tiene la finalidad de medir el gasto real que circula por ellos y consecuentemente el gasto teórico, para determinar el coeficiente de descarga.

En el Laboratorio de Control de Emisiones se tiene implementado un banco de flujo (figura 3.26) que se emplea en la investigación y desarrollo de los motores

de combustión interna alternativos (MCIA), dicho equipo cuenta con una serie de elementos que se mencionan a continuación.

- Equipo generador de flujo de aire, que puede ser bien una soplante centrífuga que tiene la dualidad de aspirar e impulsar o bien un compresor de lóbulos o paletas, para el presente trabajo se cuenta, como ya se mencionó, con un turbosoplador con una capacidad de caudal máximo de  $0.222 \text{ m}^3/\text{s}$  y una presión máxima de 508 milímetros de columna de agua (mm c.a.).
- Una toma de aire, la cual se regula con una válvula de bola que permite el paso de aire al depósito de remanso, y posteriormente a los elementos a caracterizar.
- Dos líneas de conducción de aire, que en su parte intermedia tienen, acopladas mediante bridas, una placa de orificio en cada línea. Las secciones reducidas de cada línea (1 y 2) son de 12mm y 27 mm respectivamente.
- Un depósito de remanso cuya función es atenuar los efectos pulsatorios y disipar las turbulencias que produzca el generador de flujo; de este modo se evita generar errores en las mediciones de los elementos.
- Tres paneles de válvulas de control compuestos de circuitos de aire conectados a los manómetros y controlados por válvulas de bola de precisión que modifican el flujo de aspiración o el de impulsión y para cambiar la línea de conducción de aire.
- Un panel de control para las temperaturas, el cual consta de un conjunto de termopares crómel-alumen, multímetro digital de canal múltiple y sensores situados aguas debajo de la válvula de cada línea, aguas arriba de la válvula previa al depósito de remanso y en el depósito de remanso.

- Tres paneles de lectura con columnas de agua coloreada cada uno; una vertical y otra diagonal con regletas graduadas y deslizables para la medida directa de la presión en mm c. a.

Las lecturas obtenidas en el banco de flujo se capturan y procesan mediante un programa de computadora, que nos proporciona el coeficiente de flujo correspondiente de los dispositivos a caracterizar.

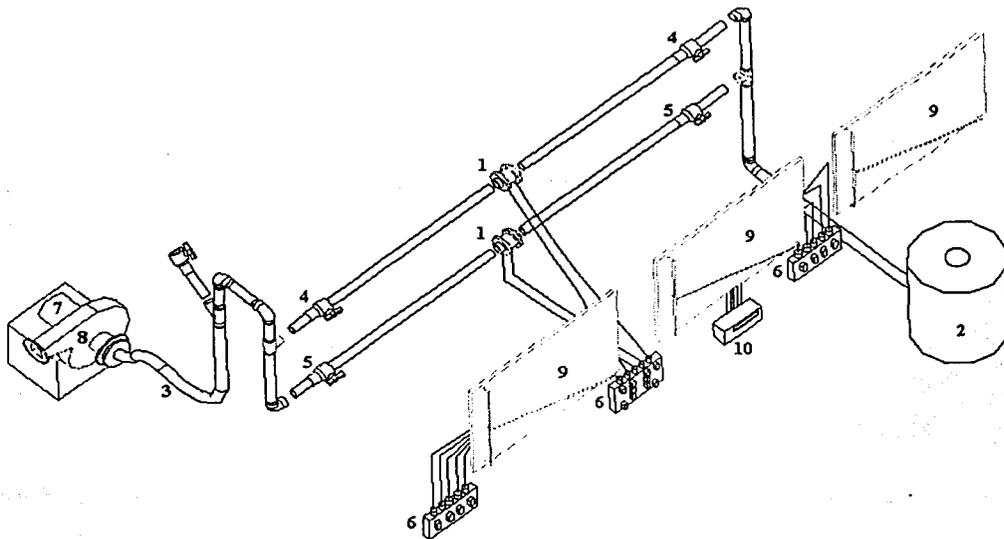


Fig. 3.26 Esquema del banco de flujo estacionario

1.Placas de orificio; 2.Depósito de remanso; 3.Conducto flexible con brida al Turbosoplador (aspiración/impulsión); 4.Válvulas de paso de la línea uno; 5.Válvulas de paso de la línea dos; 6.Válvulas de control de los tableros; 7.Motor eléctrico; 8.Turbosoplador; 9.Tableros de lecturas; 10.Sensores de temperaturas.

### 3.1.10 Cromatógrafo de Gases

La cromatografía de gases es un procedimiento físico-químico de análisis para separar, identificar y cuantificar los diferentes componentes de una mezcla. Las mezclas a analizar pueden estar inicialmente en estado gaseoso, líquido o sólido, pero en el momento del análisis la mezcla debe estar vaporizada.

El método de separación cromatográfica consiste en disolver una muestra en una sustancia líquida o gaseosa (fase móvil) y hacerla pasar a través de una fase estacionaria inmisible, misma que se mantiene fija en una columna o en una superficie sólida. Ambas fases se eligen para que los componentes de la muestra se distribuyan de modo distinto entre la fase móvil y estacionaria, esta distribución esta gobernada por la movilidad en las fases de los distintos componentes de la muestra: los componentes retenidos con mayor fuerza por la fase móvil se mueven más lentamente con el flujo de ésta que aquellos retenidos por la fase estacionaria. La consecuencia de las distintas movilidades se manifiesta en bandas bien definidas que se analizan cuantitativamente y cualitativamente.

La separación de dos sustancias A y B en una mezcla se logra mediante la elución cromatográfica (figura 3.27(a)). La elución implica el transporte de una especie a través de una columna por la adición continua de nueva fase móvil. La adición a la columna de más cantidad de fase móvil hace avanzar la muestra a través de la columna donde se da un mayor reparto entre las fases móvil y la nueva fase estacionaria. La continua adición de fase móvil hace descender las moléculas de la muestra en una serie continua de transferencia entre fases. Debido a que el movimiento de los componentes de la muestra sólo ocurre en la fase móvil, la velocidad con la que emigra la especie depende del tiempo que reside en ésta fase.

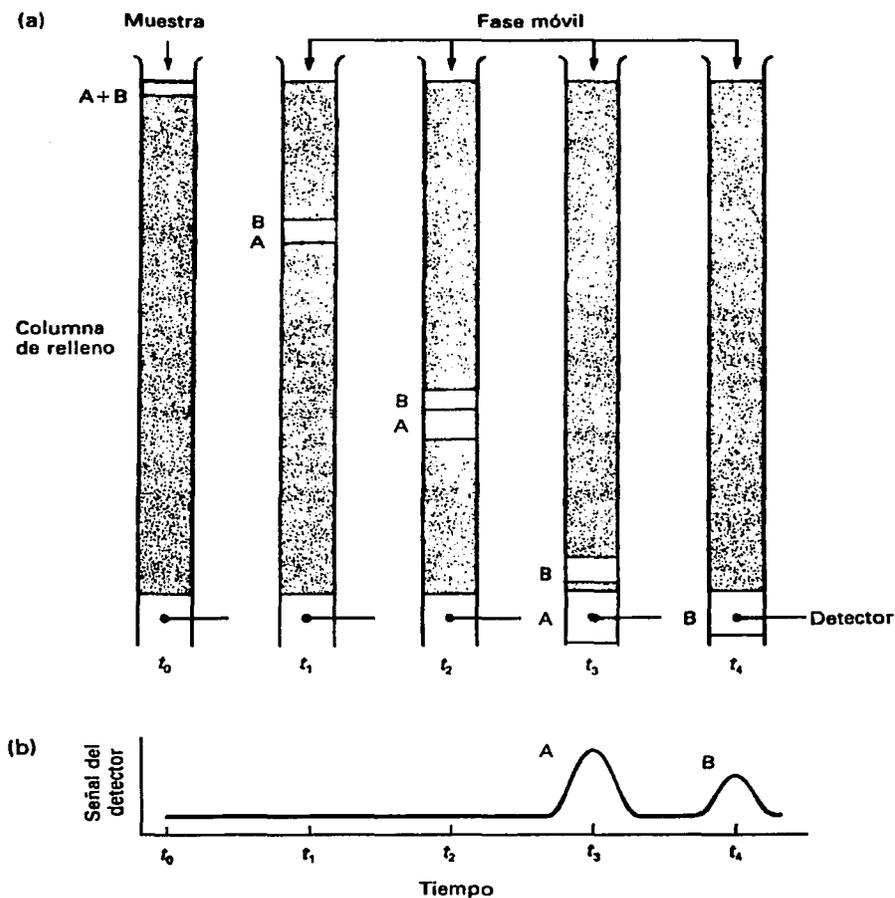


Figura 3.27 (a) Diagrama que muestra la separación de una mezcla de componentes A y B por elución cromatográfica en columna. (b) Salida de la señal del detector en diversas fases de la elución mostradas en (a).

El extremo inferior de la columna cuenta con un detector que responde a la presencia de la muestra, su finalidad es transmitir una señal en función del tiempo o del volumen de fase móvil añadido. Ante la presencia de un compuesto, el detector responde con un pico, el análisis de los picos contribuye a análisis cualitativos y cuantitativos (figura 3.27(b)).

Dependiendo del estado físico de las fases involucradas son posibles varios tipos de cromatografía. Cuando la fase móvil es un gas, se denomina cromatografía de gases y cuando es un líquido recibe el nombre de cromatografía de líquidos.

En la cromatografía de gases la muestra se volatiliza (se mezcla con la fase móvil) y se inyecta en la cabeza de la columna cromatográfica, la elución es producida por el flujo de la fase móvil a través de un gas inerte, la fase móvil solo se emplea como medio de transporte de las moléculas de la muestra, no existe interacción o reacción alguna entre la fase móvil y la muestra. Para realizar la cromatografía de gases se cuenta con dos procedimientos: la cromatografía gas-sólido y la cromatografía gas-líquido.

La cromatografía gas-sólido emplea un sólido inerte como fase estacionaria en el que se retiene a las moléculas de la muestra, en ocasiones la fijación de las moléculas activas es deficiente y se generan errores en el análisis, este procedimiento es aplicable con confiabilidad en muestras con bajo peso molecular.

La cromatografía gas-líquido se basa en la distribución de la muestra entre una fase móvil gaseosa y una fase líquida inmóvil sobre la superficie de un sólido inerte

El equipo cromatográfico (Cromatógrafo de gases, figura 3.28) consta de las siguientes partes.

- Un sistema para alimentar un gas de transporte (gas "carrier") que recorre en forma permanente el circuito del cromatógrafo.
- Un sistema de Inyección. El Inyector es el lugar por donde se introduce una pequeña cantidad de muestra (del orden de  $1 \text{ cm}^3$  de gas o 1 micro-litro de líquido) en medio de la corriente de gas "carrier".
- Un sistema de Separación, formado por una o varias columnas que llevan a cabo la tarea de fraccionamiento de los diferentes componentes.

- Un sistema de Detección para generar una señal cuando un componente de la mezcla completa el recorrido del sistema de separación.
- Un sistema de Integración para cuantificar la señal generada por cada componente en el Detector.

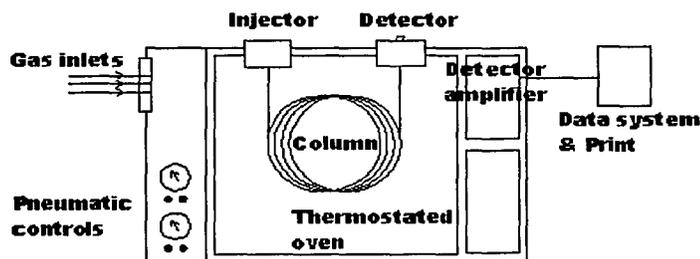


Figura 3.28 Partes Principales de un Cromatógrafo de Gases.

### Gas carrier

El gas "carrier" se elige de modo que no interfiera con las mediciones que se realizan. Los gases usados más frecuentemente son Hidrógeno, Helio y Nitrógeno.

### Inyector

El inyector es sólo una pequeña cámara colocada inmediatamente antes de la(s) columna(s) de separación, donde se accede mediante una jeringa adecuada o con una válvula de inyección, en la figura 3.29 se observa un inyector y su disposición dentro del cromatógrafo.

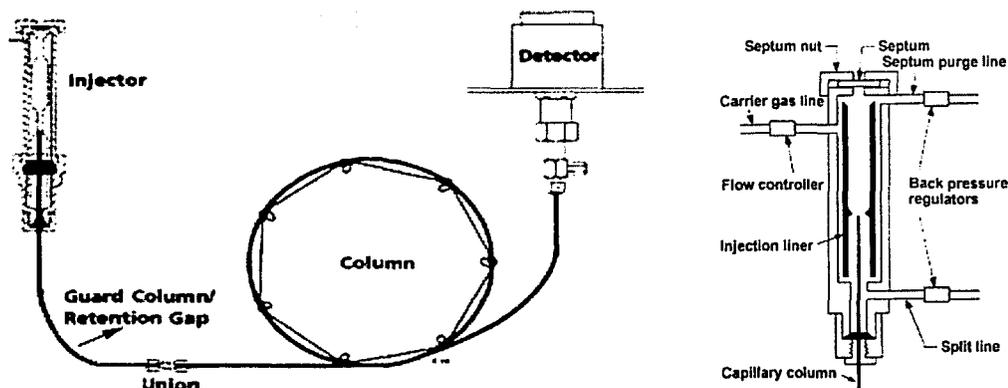


Figura 3.29 Inyector

### Columnas

El sistema de columnas cromatográficas constituyen el corazón de todo cromatógrafo. Cada columna se diseña para aprovechar alguna propiedad de los diferentes componentes que resulte adecuada para generar distintas velocidades de avance para cada uno de ellos durante el recorrido de la columna.

En el caso de los hidrocarburos se suele usar la volatilidad como propiedad distintiva entre los diversos componentes. Para aprovechar esta propiedad se emplea una fase líquida estacionaria que queda retenida en la columna mientras el gas carrier circula por ella. Si esta fase estacionaria es no polar (siliconas, hidrocarburos de elevado peso molecular) la tendencia a disolverse en ella crece al bajar la volatilidad de los compuestos analizados. De este modo las moléculas de los componentes pesados permanecen más tiempo (en término medio) en la fase líquida que en el gas carrier que circula permanentemente. Debido a esta característica, las moléculas de los componentes menos volátiles avanzan más lentamente que las de los componentes más volátiles, a la misma temperatura.

En forma simplificada puede afirmarse que las columnas de este tipo actúan como sistemas de destilación de muy elevada eficiencia y los diferentes compuestos las recorren empleando tiempos que son proporcionales a sus respectivos puntos de ebullición.

El sistema de columnas cromatográficas está encerrado en un horno de temperatura variable para optimizar la velocidad a la que se producen los procesos de separación.

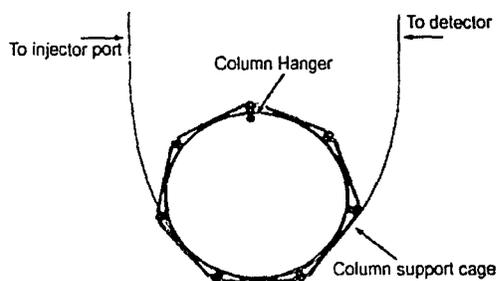
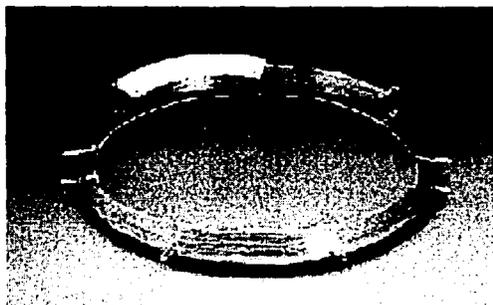


Figura 3.30 Columnas

### Detectores

Los detectores empleados en cromatografía gaseosa son de varios tipos, pero los dos principales son los siguientes:

1. Detector de Conductividad Térmica (TCD).
2. Detector de Ionización de Llama (FID).

El TCD es un detector universal pues mide la diferente conductividad térmica entre el carrier y los diferentes compuestos arrastrados hasta el detector. Empleando como gas de transporte Hidrógeno o Helio, que son gases de muy alta conductividad, es posible detectar fácilmente todos los compuestos típicos que se presentan en las mezclas naturales de hidrocarburos pues su conductividad térmica es mucho menor. El empleo de este detector implica el conocimiento de la sensibilidad del detector hacia cada componente de la mezcla. En otras palabras, cada componente tiene su propio Factor de Respuesta (FR) para traducir la señal del detector en abundancia de dicho componente.

El FID es un detector de muy alta sensibilidad sólo apto para hidrocarburos pues permite detectar los iones de Carbono que se forman durante la combustión a alta temperatura. Sumado a la muy alta sensibilidad, este detector presenta la característica de poseer un Factor de Respuesta (en masa) casi idéntico para todos los hidrocarburos: La misma masa de distintos componentes produce la misma intensidad de señal en el detector. Esta característica transforma al FID en un detector de mucha utilidad pues no es necesario conocer la fórmula de un componente para conocer su aporte a la masa total del sistema. Su máxima limitación reside en la imposibilidad de su empleo para detectar  $H_2O$ ,  $N_2$  y  $CO_2$  en las mezclas de hidrocarburos.

El método de análisis de hidrocarburos por medio de ionización de flama (FID) consiste en un detector altamente sensitivo, que descompone el gas de muestra mediante una flama de difusión de hidrógeno. La muestra es destruida en el proceso de manera que no pueden hacerse más estudios en ella. Una flama de difusión es una en la que el oxígeno necesario para mantener la combustión, es suministrado de manera independiente al suministro de combustible.

Durante el curso de una combustión normal una proporción pequeña y estable de moléculas de cada uno de los diferentes componentes de una mezcla, por ejemplo metano ( $CH_4$ ), se ionizará en  $C^+$  (carbono conteniendo cation, Ej.  $CHO^+$ ) y electrones  $e^-$ . La flama proporciona la energía para esta ionización. Esta es una condición de poca duración, ya que los componentes cargados se recombinan rápidamente en productos de combustión y pierden su energía, alejándose de la flama.

Pero si esto pasa en un campo electrostático, los componentes cargados positiva y negativamente pueden ser direccionados separadamente hacia generadores cargados opuestamente (platos verticales, uno llevado hacia un potencial negativo alto y el otro a aproximadamente tierra). La molécula de carbón formará  $CO_2$  con el oxígeno del aire entrante. El hidrógeno que queda no forma

parte de la reacción, pero puede formar vapor de agua. Cuando una molécula de metano se ioniza en el FID, la porción cargada positivamente es atraída hacia el electrodo de alto voltaje negativo donde su carga es neutralizada. Los electrones son atraídos hacia el electrodo colector o "tierra". La tierra es la entrada de un amplificador de corriente sensible, el cual, "cuenta" los electrones que pasan por él en su paso para neutralizar sus cargas. Entonces, indirectamente, para átomos de una molécula H-C, este instrumento actúa como un "contador de carbonos". Así, la corriente generada es amplificada y escalada para representar la concentración en volumen de hidrocarburos en la muestra.

Algunas variaciones en respuesta pueden ocurrir dependiendo del arreglo de la molécula. Esta diferencia es única para diferentes especies. Por tanto, se asocia un "factor de respuesta" para diferentes especies de hidrocarburos para corregir la respuesta medida.

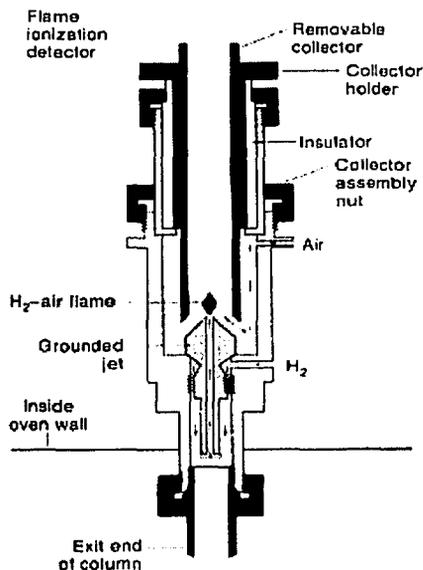


Figura 3.31 Detector de Ionización de Flama

El Laboratorio de Cromatografía del Instituto Mexicano del Petróleo cuenta con una gran variedad de equipos destinados a realizar análisis detallados de los compuestos emitidos a través de técnicas cromatográficas y de espectrometría de masas para cuantificar compuestos individuales volátiles y tóxicos. Entre los equipos cromatográficos con los que cuentan destacan los de la marca VARIAN, los cuales fueron empleados para realizar los estudios correspondientes del presente trabajo y que presenten las siguientes características:

- El modelo de los equipos es: 3400 de la marca VARIAN<sup>6</sup>
- La columna es una capilar de borisilcato de 100 metros de largo, en el catalogo de HP aparece como una HP1 de 100 metros.
- La fase estacionaria es una metil silicona que HP tiene clasificada como HP1 y otros proveedores como DB1. La fase estacionaria es un polímero que está revestido sobre la pared interna de la tubería de silicona fundida. El grueso, la uniformidad y la naturaleza del producto químico de la fase estacionaria son extremadamente importantes. Es la fase estacionaria la que tiene la influencia más grande en las separaciones obtenidas y la clave a la buena separación

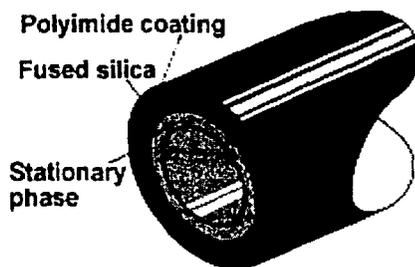


Figura 3.32 Columna y Fase Estacionaria.

<sup>6</sup> Variant, Chromatography and Spectroscopy Supplies, USA, 2000, Pags. 37-42

Fase estacionaria reticulada	Equivalente comercial
Dimethylsilaxane	BP1, DB1, HP1, SE30, OV1, CPSi15
5% Diphenyldimethylsiloxane	BP5, DB5, HP2, SE54
14% Cyanopropylphenyldimethylsiloxane	BP10, DB1701, OV1701
50% Trifluoropropylmethylsiloxane	OV210, DB-210, QF-1
50% Cyanopropylphenyldimethylsiloxane	BP225, OV225
Polyethylene glycol	BP20, DB-WAX, CW20M
Cyanopropylsilarylene	BPX70
Dimethylsiloxane-carborane copolymer	HT5
Dimethylsilarylene	PX5

Tabla 3.4 Fases estacionarias y equivalentes comercialmente disponibles.

- El gas que se usa como gas "carrier" es Helio grado cromatográfico, de la compañía Praxair.
- El detector es uno de ionización de flama.
- El flujo de aire para la flama es de 300 ml/min y el de Hidrógeno de 30 ml/min.



Figura 3.33 Laboratorio de Cromatografía del IMP.

### 3.1.11 Sala de Ensayos

Como una parte importante en el desarrollo experimental fue necesario conocer las condiciones atmosféricas a las que se encontraba sometido cada experimento, para tener en cuenta las posibles variaciones en los resultados debido a agentes externos.

Por tal motivo se implementó dentro de la sala de ensayos una estación meteorológica que facilitó la adquisición de parámetros como la temperatura ambiente, la presión atmosférica y la humedad.

El sensor de temperatura está formado por un circuito integrado de precisión, en el cual su salida de voltaje es directamente proporcional a la temperatura en grados Celsius (centígrados). Este integrado no requiere ningún tipo de calibración, tiene una precisión típica de  $\pm 1/4$  de  $^{\circ}\text{C}$ , y un factor de escala de  $+10.0 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ .

El sensor de presión es un transductor de tipo piezoresistivo, de alta precisión y de un voltaje de salida lineal, directamente proporcional a la presión aplicada; el voltaje que entrega el sensor es diferencial; para amplificarlo se usa un amplificador de instrumentación.

El sensor de humedad relativa, cuyo elemento dieléctrico usa un principio de operación capacitivo, está construido con un polímero especial el cual cambia sus propiedades con la humedad relativa de la atmósfera, resultando un cambio lineal de la capacitancia como función de la humedad relativa.

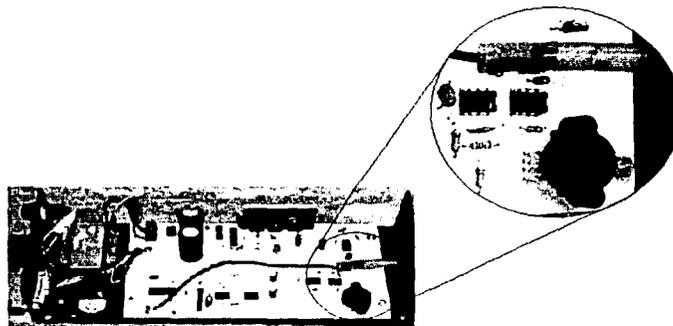


Figura 3.34 Estación Meteorológica y sensores de temperatura, humedad y presión.



## CAPÍTULO 4 DESARROLLO EXPERIMENTAL

La experimentación es sin duda, la principal actividad que se realiza en una investigación científica, es cierto que hoy en día la simulación puede abreviar tiempo dinero y esfuerzo, pero siempre se requiere experimentar para probar los modelos de simulación.

Como definición, se entiende que un experimento involucra una prueba o ensayo, sin embargo, un experimento diseñado es una prueba o una 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, lo que implica reducir el error aleatorio que está presente en el desarrollo experimental.

En cualquier estudio que se pretende realizar mediante la experimentación existen variables que pueden controlarse y otras que no es posible controlar y como consecuencia, son generadoras de errores en los muestreos.

Al diseñar un experimento se busca primeramente definir variables de respuesta, que proporcionen soluciones a los planteamientos originales del experimento, también se deben determinar qué variables alteran de manera importante el resultado del experimento y ubicar cuales de estas variables pueden ser controladas y cuales simplemente observables, finalmente definir los rangos de variación de las variables controladas, que permitan obtener resultados lógicos en las variables de respuesta.

Como variables de respuesta se encuentran en primer lugar las prestaciones del motor, que son el par, la potencia, el consumo, y que proporcionan información acerca de las condiciones de prueba a las que fue sometido; forman la base para realizar un análisis de sus características de funcionamiento con el uso de diversos tipos de combustibles.

Otras variables de respuesta son las concentraciones de cada compuesto emitido en los gases de escape del motor, son el punto de comparación de los combustibles ensayados desde el punto de vista de emisiones contaminantes.

Entre las variables que alteran de manera importante el experimento y particularmente las que son controlables se encuentran: obviamente el tipo de combustible, las condiciones de prueba del motor, el propio diseño del experimento, el método de muestreo, la toma de lecturas, la calibración de los equipos, y el funcionamiento del motor.

Por otra parte entre las variables que son simplemente observables y que intervienen de manera importante en el experimento se encuentran: la humedad del ambiente, el tiempo de traslado de las muestras desde el LCE hasta el IMP, la hora del día, el calor, etc.

#### **4.1 METODOLOGÍA DE LOS ENSAYOS**

Una vez conocidos los parámetros que era posible medir y la instrumentación empleada para hacerlo, así como las variables que intervienen en el experimento, se procede a definir el método que proporcionará información acerca de las características de cada combustible ensayado, desde el punto de vista de emisiones contaminantes, así como desde el punto de vista de prestaciones del motor.

Dicho método implica plantear los pasos que lleven a conocer los diferentes contaminantes y cuál es la concentración de cada uno de ellos al usar diferentes combustibles, para ello es necesario determinar la caracterización de especies químicas en las emisiones del motor, y tomar como base su comportamiento en diferentes condiciones de operación.

El experimento fue basado en ensayos previos con el uso de diferentes combustibles, que tuvieron como resultado las curvas de par, potencia y consumo del motor; las cuales se usan para realizar ensayos bajo protocolos de prueba bien definidos los cuales tienen reconocimiento y validez internacional (ciclo de pruebas de 18 modos, 13 modos, etc.) con el objeto de comparar los niveles de emisiones contaminantes que se presentan con el uso de los distintos combustibles.

Sin embargo en lo que se refiere a los experimentos de análisis cromatográfico propuestos, no fue posible seguir alguno de los procedimientos de prueba, debido al gran número de muestreos que éstos requieren y a las condiciones de infraestructura del Laboratorio de Control de Emisiones, por tal motivo se propuso implementar una secuencia alterna de pruebas que permitió realizar los ensayos sólo en algunas condiciones específicas de carga y comparar los contaminantes de cada combustible en dichas condiciones de prueba en el motor.

Una vez que se han establecido las condiciones de prueba se procede a diluir los gases que salen del motor, llamados gases crudos, con aire a presión, temperatura y humedad ambientales, primeramente con el fin de tomar en cuenta las posibles reacciones que se tienen con el aire del ambiente, y por otra parte para acondicionar y recolectar las muestras para su análisis.

Finalmente, cuando las muestras son recolectadas, se les analiza mediante cromatografía de gases, a fin de identificar su composición química y determinar la concentración de los contaminantes más importantes en función del combustible empleado.

Para posteriormente con los resultados realizar un proceso de análisis que permita comparar cada combustible y llegar a conclusiones respecto a la posibilidad de su uso como combustibles limpios y de alta eficiencia.

Por otra parte es bien sabido que el procedimiento de ensayos que se propone no puede ser cien por ciento representativo de las condiciones generales de operación del motor, ni mucho menos de un parque vehicular como el de la ZMVM, sin embargo proporciona información suficiente para conocer el orden de magnitud de los contaminantes que son emitidos a la atmósfera por un motor particular y así tener un punto de comparación entre los diferentes tipos de combustibles ensayados en él, la información cuantitativa y cualitativa de los contaminantes emitidos en cada caso da una idea de las posibles ventajas y/o desventajas del uso de combustibles no convencionales.

## **4.2 DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO.**

A continuación se describen detalladamente los procedimientos realizados para llevar a cabo las pruebas, tanto en lo referente a condiciones de operación del motor, que llevaron a determinar las condiciones en las que se basó el experimento, así como el manejo de las variables que intervienen en el experimento desde el punto de vista de emisiones.

### **4.2.1 Procedimiento de Ensayos para Determinar las Curvas del Motor**

Para realizar los ensayos de curvas características a plena carga, se mantiene completamente abierta la mariposa del acelerador, y al variar el número de revoluciones, comenzando en 1000 RPM y disminuyendo la carga de modo que fuese aumentando el régimen de giro en intervalos de 500 RPM, y hasta llegar a 5000 RPM se obtienen las curvas del motor.

Una vez que se tenían las curvas del motor y debido a que no era posible reproducirlas en su totalidad se propuso realizar un ensayo por cada combustible, en el cual se sometería el motor a tres condiciones de carga distintas.

Las comparaciones entre combustibles serían hechas tomando cada condición de carga del ensayo en cada combustible, de modo que las pruebas hayan sido realizadas bajo condiciones similares de humedad y temperatura ambientales.

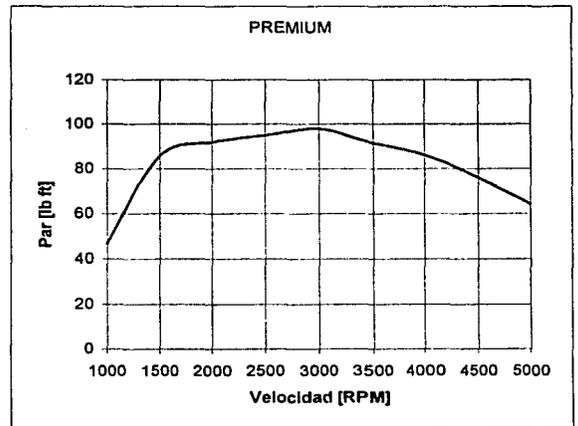
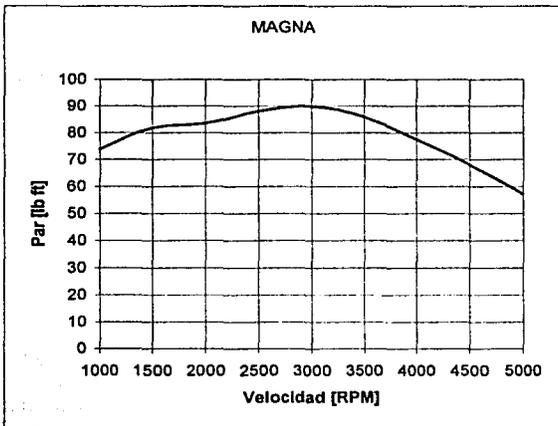
Cada condición de carga seleccionada, para compararse en cada ensayo usando diferentes combustibles, es representativa del comportamiento del motor con el uso de ese combustible en particular y en ese mismo punto de prueba, dado que en realidad no hay mucha discrepancia de resultados entre los ensayos con un mismo combustible.

Los tres puntos que se propusieron para los ensayos son: en ralentí, a plena carga y a media carga, esto es, el punto de velocidad angular mínima en la que se mantienen estables las condiciones de operación del motor; sobre la gráfica de par  $v/s$  velocidad angular, en el punto máximo de operación en la curva de par; y al cincuenta por ciento del par máximo manteniendo constante el número de revoluciones con respecto esta prueba, respectivamente.

La tabla 4.1 muestra los valores de par  $v/s$  velocidad angular a las que se obtuvieron las gráficas  $P - \omega$  para cada combustible, así mismo en la figura 4.1 se muestran dichas curvas, en donde se observan los puntos que se usaron para realizar los ensayos en cada caso, particularmente las condiciones de par a plena carga (máximo), y a media carga (50% del par máximo y manteniendo constante la velocidad). La condición de ralentí es medida en condiciones estables del motor y es distinta para cada combustible, por lo que no se observa en las curvas de par.

Velocidad	Par [lb ft]							
[RPM]	Magna	Premium	Etanol 5 %	Etanol 15%	Etanol 30%	Etanol 50%	GNC	GLP
1000	73.9	47	68.1	73.6	74.1	57.5	62.8	
1500	81.8	85.7	83.5	83.9	86.4	74.3	66.1	71.6
2000	83.6	91.9	88.6	86.4	93.6	83	63.4	78
2500	88.1	94.9	96.8	89.7	95.6	90	55.7	78.5
3000	89.9	97.9	95.1	94	98	88.7	42.1	71.9
3500	86	91.6	89.9	90.5	93.5	82.8	35.1	48.1
4000	77.7	86.1	84.6	83.5	86.3	77.8	38.5	41.7
4500	68.2	76	66.3	74.11	76.2	69.1	29.4	41
5000	57.3	64.3	66.1	93.6	65.4	58.7		39

Tabla 4.1 Condiciones de Prueba Par vs Velocidad para cada tipo de combustible



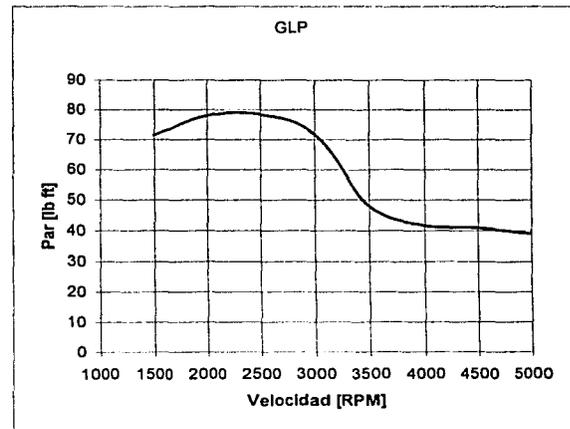
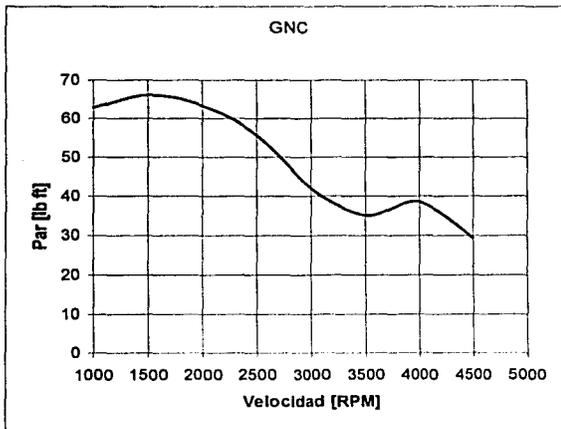
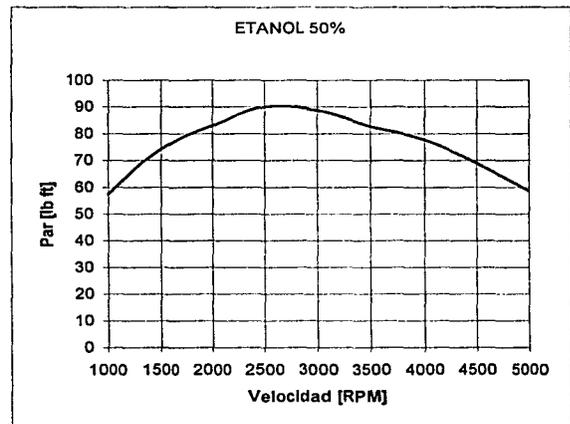
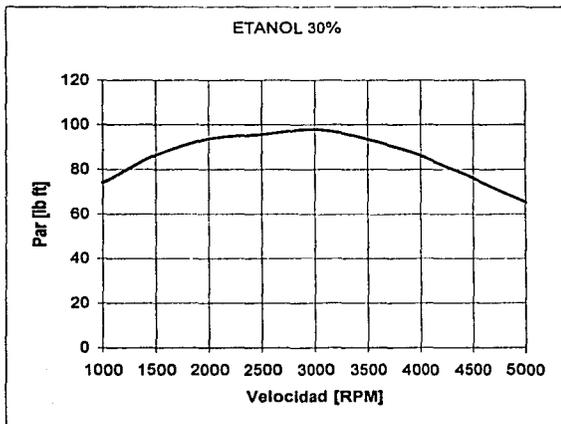
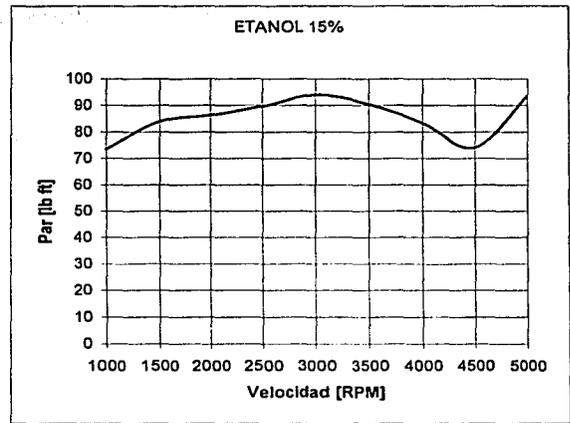
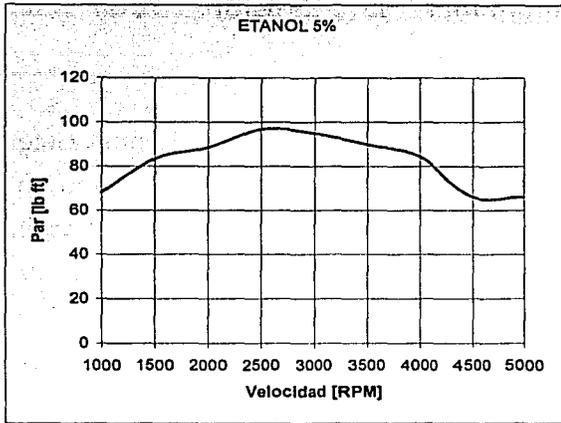


Figura 4.1 Gráficas de Par v/s Velocidad de los Diferentes Combustibles.

#### 4.2.2 Procedimiento para Determinar la Emisión Total de Contaminantes

Como se mencionó en el capítulo anterior, el dispositivo diseñado para este estudio es una cámara que tiene la función de diluir el caudal de gases crudos en condiciones estables del motor. Debido a que la capacidad del turbosoplador instalado en la sala de ensayos no era suficiente para diluir la totalidad de los gases de escape a las condiciones requeridas, se propuso realizar una dilución parcial, para la cual, se realizaron diferentes experimentos que llevaron a la determinación de las tasas de dilución correctas, estos resultados experimentales fueron validados por el personal de la sección de cromatografía del Laboratorio de Motoquímica del Instituto Mexicano del Petróleo, cumpliendo con los rangos de funcionamiento de los equipos de cromatografía de dicha institución.

Para determinar los contaminantes y su concentración, se recoge una muestra de la mezcla diluida mediante una sonda que colecta una fracción de gases diluidos y la envía a una bolsa de Tedlar para su posterior análisis.

Un balance de masa, haciendo referencia a la figura 4.2 permitirá determinar, según el combustible empleado, la emisión total de los principales contaminantes producidos.

El gasto total en la cámara es:

$$\dot{m}_a + \dot{m}_e = \dot{m}_s + \dot{m}_d \quad [kg] \quad \text{EC. 4.1}$$

Y cuyos caudales respectivos son:

$$q_a + q_e = q_s + q_d \quad [m^3] \quad \text{EC. 4.2}$$

Donde los subíndices indican:

- a     aire de dilución.
- e     gases de escape crudos.
- s     muestras de gases diluidos.
- d     gases diluidos no muestreados.

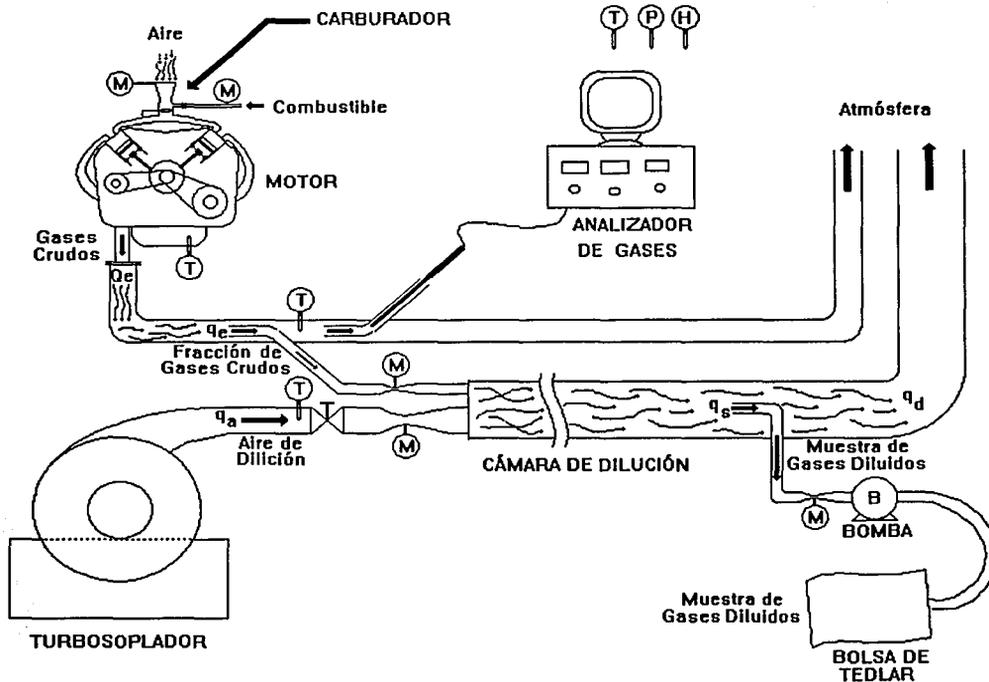


Figura 4.2 Dilución de una Fracción de los Gases de Escape.

La emisión total por unidad de tiempo de un contaminante se calcula a partir del gasto másico diferencial del contaminante y extrapolando linealmente la fracción muestreada. La secuencia para determinar la emisión de contaminantes se muestra a continuación.

- Se toma el gasto másico diferencial de cada contaminante recolectado ( $\dot{m}_d$ ) con referencia a la fracción de gases muestreados ( $q_s$ ).

$$\frac{\dot{m}_d}{q_s} \left[ \frac{mg}{m^3} \right] \quad \text{EC. 4.3}$$

- Este resultado se extrapola al gasto másico ( $\dot{m}_0$ ) que se recolectaría en todo el caudal diluido.

$$\dot{m}_0 = \frac{\dot{m}_d}{q_s} (q_e + q_a) \left[ \frac{mg}{s} \right] \quad \text{EC. 4.4}$$

- Análogamente al primer paso, se toma este gasto másico con respecto a la fracción de gases del motor ( $q_e$ ).

$$\frac{\dot{m}_0}{q_e} \left[ \frac{mg}{m^3} \right] \quad \text{EC. 4.5}$$

- Se multiplica por el caudal total de gases de escape del motor ( $Q_e$ ), para obtener la emisión total de contaminante ( $\dot{M}_t$ ).

$$\dot{M}_t = \left( \frac{\dot{m}_0}{q_e} \right) Q_e \left[ \frac{mg}{s} \right] \quad \text{EC. 4.6}$$

Donde:

$$Q_e = \frac{\dot{m}_{comb} + \dot{m}_{air}}{\rho_{g.e.}} \left[ \frac{m^3}{s} \right] \quad \text{EC. 4.7}$$

Esto es:

$$\dot{M}_t = \left( \frac{\dot{m}_0}{q_e} \right) \left( \frac{\dot{m}_{comb} + \dot{m}_{air}}{\rho_{g.e.}} \right) \left[ \frac{mg}{s} \right] \quad \text{EC. 4.8}$$

Finalmente

$$\dot{M}_t = \left( \frac{(\dot{m}_d)(q_e + q_a)}{q_e q_s} \right) \left( \frac{\dot{m}_{comb} + \dot{m}_{air}}{\rho_{g.e.}} \right) \left[ \frac{mg}{s} \right] \quad \text{EC. 4.9}$$

Este resultado proporciona el gasto másico total de un contaminante en particular, con respecto al caudal de gases de escape. Debido a que son varios los combustibles ensayados, es necesario expresar éste resultado en función de la masa del combustible quemado para comparar todos los combustibles.

Por lo tanto la emisión total de cada contaminante por unidad de masa de combustible quemado es:

$$E_{ic} = \frac{(\dot{M}_t)}{\dot{m}_{comb}} \left[ \frac{mg}{kg} \right] \quad \text{EC. 4.10}$$

Finalmente

$$E_{ic} = \frac{\left( \frac{(\dot{m}_d)(q_e + q_a)}{q_e q_s} \right) \left( \frac{\dot{m}_{comb} + \dot{m}_{air}}{\rho_{g.e.}} \right)}{\dot{m}_{comb}} \left[ \frac{mg}{kg} \right] \quad \text{EC. 4.11}$$

Donde:

- $\dot{m}_d$  Gasto másico diferencial de contaminante [mg/s]
- $\dot{M}_t$  Gasto másico total de contaminante [mg/s]
- $q$  Gasto volumétrico [ $m^3/s$ ]
- $\dot{m}$  Gasto másico [kg/s]
- $\rho$  Densidad [ $kg/m^3$ ]
- $E_{ic}$  Emisión total de contaminante [ $mg_{contaminante}/kg_{comb}$ ]

La ecuación anterior permite cuantificar la masa de cada contaminante emitido, con respecto a la masa de combustible quemado, en función de la concentración de cada hidrocarburo encontrado.

Otra medida importante que es posible realizar, para comparar los combustibles ensayados, es el cálculo de la emisión específica de contaminantes ( $E_{cc}$ ), que se efectúa siguiendo la secuencia que se describe a continuación:

El gasto másico total del contaminante es:

$$\dot{M}_t = \left( \frac{(\dot{m}_d)(q_e + q_a)}{q_e q_s} \right) \left( \frac{\dot{m}_{comb} + \dot{m}_{air}}{\rho_{g.e.}} \right) \left[ \frac{mg}{s} \right] \quad \text{EC. 4.12}$$

Para obtener la emisión específica por contaminante se tiene:

$$E_{cc} = \dot{M}_t \left( \frac{3600}{Potencia} \right) \left[ \frac{mg}{kW-h} \right] \quad \text{EC. 4.13}$$

Para el análisis de hidrocarburos totales se utiliza un cromatógrafo de gases, en el cual no existe respuesta a otros gases que contienen Oxígeno o Nitrógeno, tales como CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, etc. Por lo que la toma de lecturas con respecto a estos gases, así como de los Hidrocarburos totales se realiza con un analizador de gases a la salida de los gases crudos (sin diluir) como se observa en la figura 4.2.

### 4.2.2.1 Medidores de Flujo

Como elementos de gran importancia dentro de la cámara se encuentran los medidores de flujo, los cuales fue necesario seleccionar, diseñar y construir para llevar a cabo las pruebas, a continuación se describe el diseño en el cual están basados dichos medidores.

La elección de los medidores de flujo empleados en la cámara de dilución se realizó tomando en cuenta diversos criterios de selección, como se menciona en el capítulo tres. Por supuesto, pueden utilizarse diferentes tipos de medidores de flujo, pero debido a las razones ahí expuestas se optó por la implementación del tubo venturi.

En un tubo de venturi el flujo desde la tubería principal en la sección 1 se acelera a través de una sección angosta llamada garganta, donde disminuye la presión del fluido. Después se expande el flujo a través de la porción divergente al mismo diámetro que la tubería principal. En la pared de la tubería en la sección 1 y en la pared de la garganta en la sección 2, se encuentran ubicados ramificadores de presión. Estos ramificadores de presión se encuentran unidos a los dos lados de un manómetro diferencial de tal forma que la deflexión  $\Delta h$  es una indicación de la diferencia de presión  $P_1 - P_2$ .

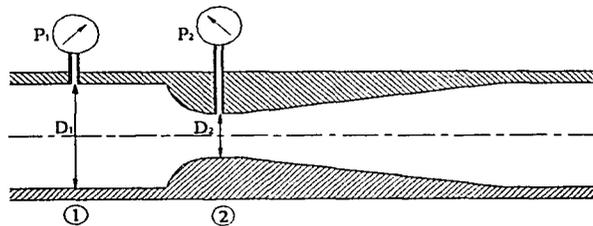


Figura 4.3 Sección de un venturi

La ecuación de la continuidad y la ecuación de la energía pueden utilizarse para derivar la relación a través de la cual es posible calcular la velocidad del flujo. Se pueden escribir dichas expresiones utilizando como referencia las secciones 1 y 2 en la figura 4.3:

$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad \text{EC. 4.14}$$

$$\frac{P_1}{\rho_{\text{fluido}}} + gZ_1 + \frac{v_1^2}{2} - gh_1 = \frac{P_2}{\rho_{\text{fluido}}} + gZ_2 + \frac{v_2^2}{2} \quad \text{EC. 4.15}$$

Para el flujo de gases, es necesario dar especial atención a la variación de la densidad con la presión y la temperatura. La reducción algebraica de las ecuaciones anteriores es como sigue:

$$v_2^2 - v_1^2 = 2 \left( \frac{P_1 - P_2}{\rho_{\text{fluido}}} + g(Z_1 - Z_2) - gh_1 \right) \quad \text{EC. 4.16}$$

Pero de la ecuación de continuidad tenemos que:

$$v_1^2 = v_2^2 \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2 \quad \text{EC. 4.17}$$

Por consiguiente,

$$v_2^2 \left[ 1 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right] = 2 \left[ \left( \frac{P_1 - P_2}{\rho_{\text{fluido}}} \right) + g(Z_1 - Z_2) - gh_1 \right] \quad \text{EC. 4.18}$$

O bien,

$$v_2^2 \left[ 1 - \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^4 \right] = 2 \left[ \left( \frac{P_1 - P_2}{\rho_{\text{fluido}}} \right) + g(Z_1 - Z_2) - gh_1 \right] \quad \text{EC. 4.19}$$

Finalmente se tiene:

$$v_2 = \sqrt{\frac{2 \left[ \left( \frac{P_1 - P_2}{\rho_{\text{fluido}}} \right) + g(Z_1 - Z_2) - gh_1 \right]}{1 - \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^4}} \quad \text{EC. 4.20}$$

La diferencia de elevación ( $z_1 - z_2$ ) es muy pequeña, aún cuando el medidor se encuentre instalado en forma vertical. Por lo tanto, se desprecia este termino. Por otra parte, el término  $h_1$  es la perdida de la energía del fluido conforme este corre de la sección 1 a la sección 2. El valor  $h_1$  debe determinarse en forma experimental. Es más conveniente modificar la ecuación eliminando  $h_1$  e introduciendo un coeficiente de corrección general conocido como coeficiente de descarga  $C_d$ :

$$v_2 = C_d \sqrt{\frac{2 \left( \frac{P_1 - P_2}{\rho_{\text{fluido}}} \right)}{1 - \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^4}} \quad \text{EC. 4.21}$$

Sí:

$$P_1 - P_2 = \rho_{\text{man}} g \Delta h \quad \text{EC. 4.22}$$

Se tiene:

$$v_2 = C_d \sqrt{\frac{2 \left( \frac{\rho_{\text{man}} g \Delta h}{\rho_{\text{fluido}}} \right)}{1 - \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^4}} \quad \text{EC. 4.23}$$

Esta ecuación puede utilizarse para calcular la velocidad de flujo en la garganta del medidor. Sin embargo, si se desea calcular el caudal que pasa por el medidor de flujo:

$$Q = A_2 v_2 \quad \text{EC. 4.24}$$

Por lo tanto:

$$Q = C_d A_2 \sqrt{\frac{2 \left( \frac{\rho_{man} g \Delta h}{\rho_{fluido}} \right)}{1 - \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^4}} \quad \text{EC. 4.25}$$

La expresión anterior proporciona el valor del caudal de un flujo, en función de la altura manométrica que proporciona un manómetro de presión diferencial, de la geometría del medidor y de los fluidos de trabajo usados, así como del valor del coeficiente de descarga ( $C_d$ ), que depende del número de Reynolds del flujo y de la geometría real del medidor.

### 4.3 DESARROLLO DE PRUEBAS

El desarrollo de las pruebas involucra entre otras cosas la realización de ensayos preliminares, tanto con el motor y los distintos combustibles, así como con los medidores de flujo dentro de la cámara de dilución, herramientas fundamentales del sistema de muestreo.

#### 4.3.1 Construcción y Caracterización de los Medidores de Flujo

Partiendo de la elección del tipo medidor y de su principio de operación se construyeron dos tipos de medidores de gasto, su construcción se realizó tomando en cuenta valores aproximados de los caudales que debían pasar por cada uno de ellos, tomando como referencia el consumo de combustible, para poder inferir el gasto de salida de los gases crudos y consecuentemente el de aire de dilución, el cual debía ser aproximadamente ocho veces mayor, esto en cada una de las condiciones de carga propuestas.

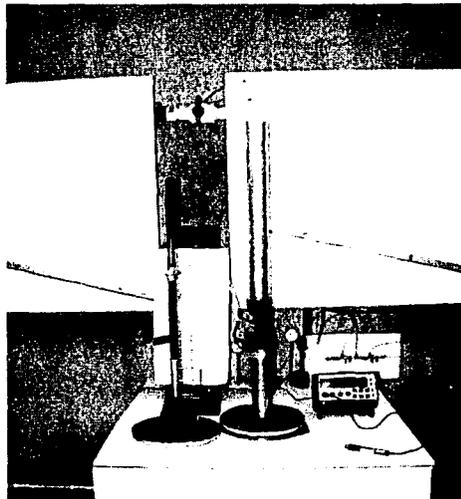


Figura 4.4 Medidores de Flujo tipo venturi

Los cálculos preliminares fueron basados en las condiciones de diseño de los medidores, en donde se proponen valores de diámetros, densidades de los fluidos manométricos, coeficiente de descarga unitario, caídas de presión, etc. En el apéndice A1 se muestra el desarrollo de las fórmulas para el caso particular del medidor de flujo de gases de escape y de aire de dilución.

La caracterización necesaria para evaluar los coeficientes de descarga  $C_d$  se realizó tomando los datos de altura manométrica medidas para cada prueba en el motor y repitiéndolas sobre el banco de flujo instalado en el Laboratorio de Control de Emisiones (figura 4.5), para obtener en cada caso el coeficiente de flujo adecuado.

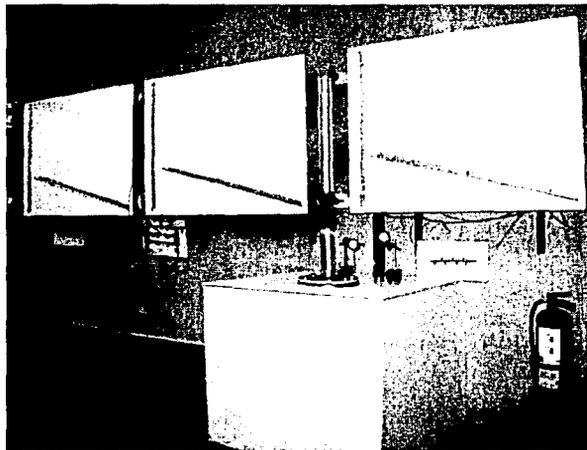


Figura 4.5 Banco de Flujo

Las siguientes tablas muestran la caracterización de los medidores de flujo para diferentes condiciones de gasto real. La caracterización se realizó para los dos tipos de medidores, tomando aire como fluido de trabajo, esto es cierto para el medidor de gasto de aire de dilución, sin embargo en el caso del medidor de gases crudos, el tomar aire como fluido de trabajo para caracterizarlo es una suposición que aunque no es cierta proporciona una muy buena aproximación del gasto que pasa a través del medidor.

VENTURI DE GASES DE ESCAPE				
	Venturi [m Hg]	Tobera Calibrada [m Hg]	Coefficiente de Tobera	Gasto Real m³/s
1	0.00428466	3.9974436977600E-04	0.895390620000	7.5244656370417E-04
2	0.01394669	7.8527723935100E-04	0.907187500000	1.0685147150019E-03
3	0.02092704	1.1389775241800E-03	0.917187499995	1.3010310134697E-03
4	0.03406804	1.4938976172000E-03	0.922187499996	1.4981372183942E-03
5	0.03917593	1.9198458182700E-03	0.922187499996	1.6983388806942E-03

Tabla 4.2 Tabla de Altura Manométrica v/s Gasto Real para el Venturi de Gases de Escape

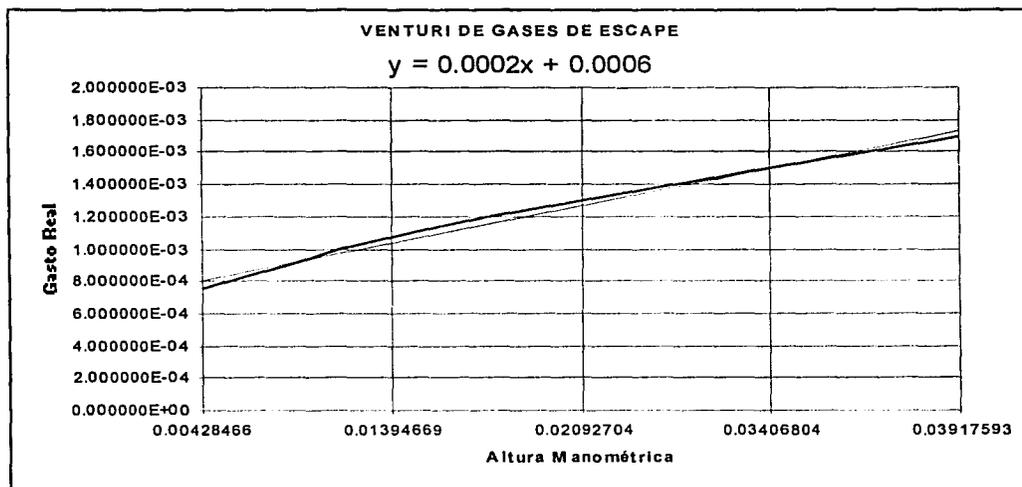


Figura 4.6 Curva de Gasto Real v/s Altura manométrica del Venturi de Gases de Escape

VENTURI AIRE DE DILUCIÓN				
	Venturi Gases m H <sub>2</sub> O	Tobera Calibrada m H <sub>2</sub> O	Coficiente de Tobera	Gasto Real m <sup>3</sup> /s
1	0.026820	0.136086969856	0.89539062000	0.003751991
2	0.054480	0.272173939713	0.90718750000	0.005376025
3	0.082020	0.408260909567	0.917187499995	0.006656838
4	0.097080	0.544347879422	0.922187499996	0.007728558
5	0.123960	0.680434849280	0.922187499996	0.008640790
6	0.146040	0.816521819135	0.925390624996	0.009498389
7	0.162660	0.952608788992	0.925390624996	0.010259433
8	0.182160	1.088695758850	0.925390624996	0.010967795
9	0.200320	1.238391425690	0.925390624996	0.011697553
10	0.216100	1.360869698560	0.925390624996	0.012262367
11	0.231440	1.496956668410	0.925390624996	0.012860879

Tabla 4.3 Tabla de Altura Manométrica v/s Gasto Real para el Venturi de Aire de Dilución

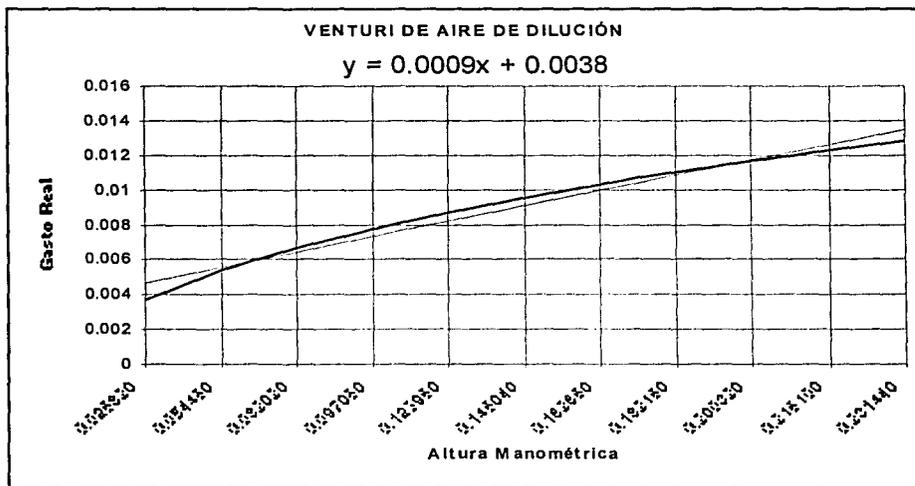


Figura 4.7 Curva de Gasto Real v/s Altura manométrica del Venturi de Aire de Dilución

### 4.3.2 Adquisición de Datos

Debido a que la introducción de una muestra en un cromatógrafo refleja la eficacia total del procedimiento de separación y su exactitud, así como la precisión en los resultados cualitativos y cuantitativos, la primera etapa en el proceso de análisis cromatográfico y su eficacia son de gran importancia, por lo que la muestra debe satisfacer los siguientes requerimientos para el correcto funcionamiento del aparato:

- Todas las líneas de entrada de combustible, aire y muestras deben estar absolutamente libres de impurezas, así como de contaminación por hidrocarburos. Debe ser usada una tubería químicamente inerte en todas las conexiones de entrada externas.
- El combustible debe estar libre de hidrocarburos, consistente de Hidrogeno grado cromatográfico.
- La muestra de gas debe ser suministrada a  $0.7 \text{ kg/cm}^2$  aproximadamente.
- La velocidad de flujo de la muestra al aparato debe ser aproximadamente 5 l/min.

Después de efectuar todos estos pasos, se podrá conectar la muestra de gas al cromatógrafo.

## 4.4 DESPLEGADO DE DATOS Y RESULTADOS

Los rangos de los cromatógrafos son expresados en partes por millón de Carbono (p.p.m.C). Por ejemplo, una molécula de propano, la cual tiene tres átomos de Carbono, teóricamente debería tener tres veces la respuesta de una molécula de metano, la cual solo tiene un átomo de Carbono. Esto significa que con gas propano, 250 p.p.m. de propano corresponden  $250 \times 3 = 750 \text{ p.p.m.C.}$  y similarmente, con 250 p.p.m. de n-hexano corresponden  $250 \times 6 = 1500 \text{ p.p.m.C.}$  Aún cuando es comúnmente aceptado que la relación entre el hidrocarburo y la sensibilidad relativa de la salida es teóricamente lineal, aunque en términos de átomos de Carbono no es perfectamente lineal.

<sup>1</sup>Es muy común el uso del término partes por millón (p.p.m.), como unidad de concentración. Hablando de gases, una parte por millón se refiere a una parte por volumen en un millón de unidades de volumen total. En virtud de las propiedades de los gases, una fracción de volumen y una fracción molar son la misma cosa. Así, una parte por millón de un constituyente traza es igual a un mol de ese constituyente en un millón de moles totales del gas; es decir, su fracción molar por  $1 \times 10^6$ .

Cuando se aplica esto a sustancias en disolución, las partes por millón se refieren a la masa. Es decir, que es posible expresarlo de cualquiera de las siguientes maneras:

$$ppm = \left( \frac{g_{SOLUTO}}{g_{SOLUCIÓN}} \right) \times 10^6 = \left( \frac{mg_{SOLUTO}}{kg_{SOLUCIÓN}} \right) \quad \text{EC. 4.26}$$

Debido a que se requiere que los resultados se encuentren en unidades de gasto másico para el análisis de emisión total de contaminantes, como se mostró en el apartado 4.2.2 es necesario seguir la siguiente secuencia de conversión:

Del gasto de muestras diluidas  $q_s$  y se tiene lo siguiente

$$q_s = \frac{V_s}{t} \left[ \frac{m^3}{s} \right] \quad \text{EC. 4.27}$$

Donde el Volumen de la muestra  $V_s$  se expresa en función de la masa y la densidad de la muestra

$$q_s = \frac{m_s}{\rho_s t} \left[ \frac{m^3}{s} \right] \quad \text{EC. 4.28}$$

Despejando la masa de la muestra se tiene:

$$m_s = q_s \rho_s t \quad [kg] \quad \text{EC. 4.29}$$

<sup>1</sup> BROWN Theodore; Química: La Ciencia Central, 3ª Edición, México 1988, Pag. 379.

Además, de la definición de partes por millón, que se sabe es la relación de masa de soluto (contaminante) y masa de la solución (muestra) en [mg/kg] se tiene que:

$$ppm = \frac{m_{SOLUTO}}{m_{SOLUCIÓN}} = \frac{m_d}{m_s} \left[ \frac{mg}{kg} \right] \quad \text{EC. 4.30}$$

Finalmente se puede conocer el valor de la masa diferencial de cada contaminante en función de parámetros conocidos, como se muestra a continuación

$$m_d = (q_s \rho_s t)(ppm) \quad [mg] \quad \text{EC. 4.31}$$

o

$$\dot{m}_d = (q_s \rho_s)(ppm) \quad \left[ \frac{mg}{s} \right] \quad \text{EC. 4.32}$$

#### 4.4.1 Resultados

Al inyectar, en el cromatógrafo, una muestra que contiene varios componentes, se obtiene una respuesta bajo la forma de una señal que varía en el tiempo, mostrando "picos" en tiempos característicos para cada componente. La altura (o área) de cada uno de estos picos es proporcional a la abundancia del componente involucrado. El registro de la señal del detector en función del tiempo se denomina Cromatograma de la muestra.

Como parte de los resultados, y partiendo de los cromatogramas de cada ensayo, se presentan los resultados cromatográficos proporcionados por el personal encargado del Laboratorio de Cromatografía del IMP condensados en tablas que agrupan los elementos químicos que se midieron, así como su concentración, en donde se compara la cantidad de cada compuesto emitido primero en p.p.m.C, después en p.p.m. usando el número de átomos de carbono contenidos en cada compuesto.

Prueba 1.1		Combustible: GLP		Modo: Ralenti	
Densidad de la Muestra: 608.8055 g/m <sup>3</sup>		Factor de Respuesta del Propano: 1062.84		Fecha y Hora de Corrida: 10-15-1901 12:40:19	
No	ELEMENTO	GPO.	CONCENTRACIÓN ppmC	Número de Carbonos	CONCENTRACIÓN ppm
1	METANO	P	2.675	1	2.675
2	ETILENO	O	3.194	2	6.388
3	ACETILENO	O	0.4	2	0.8
4	ETANO	P	1.268	2	2.536
5	PROPILENO	O	2.478	3	7.434
6	PROPANO	P	59.894	3	179.682
7	iC4	I	6.829	4	27.316
8	nC4	P	20.486	4	81.944
9	iC5	I	1.305	5	6.525
<b>TOTAL</b>			<b>98.529</b>		<b>315.3</b>

Tabla 4.4 Resultados Cromatográficos para el GLP a Ralenti

Prueba 1.2		Combustible: GLP		Modo: Media Carga	
Densidad de la Muestra: 605.5686 g/m <sup>3</sup>		Factor de Respuesta del Propano: 997.54		Fecha y Hora de Corrida: 10-15-1901 12:43:08	
No	ELEMENTO	GPO.	CONCENTRACIÓN ppmC	Número de Carbonos	CONCENTRACIÓN ppm
1	METANO	P	2.557	1	2.557
2	ACETILENO	O	2.868	2	5.736
3	PROPANO	P	4.58	3	13.74
4	iC4	I	0.554	4	2.216
5	nC4	P	1.329	4	5.316
<b>TOTAL</b>			<b>11.888</b>		<b>29.565</b>

Tabla 4.5 Resultados Cromatográficos para el GLP a Media Carga

Prueba 1.3		Combustible: GLP		Modo: Plena Carga	
Densidad de la Muestra: 607.9921 g/m <sup>3</sup>		Factor de Respuesta del Propano: 1009.32		Fecha y Hora de Corrida: 10-15-1901 12:45:22	
No	ELEMENTO	GPO.	CONCENTRACIÓN ppmC	Número de Carbonos	CONCENTRACIÓN ppm
1	METANO	P	2.377	1	2.377
2	ETILENO	O	3.201	2	6.402
3	ACETILENO	O	0.271	2	0.542
4	ETANO	P	0.572	2	1.144
5	PROPILENO	O	2.521	3	7.563
6	PROPANO	P	11.615	3	34.845
7	iC4	I	1.474	4	5.896
8	nC4	P	3.767	4	15.068
9	iC5	I	0.403	5	2.015
<b>TOTAL</b>			<b>26.201</b>		<b>75.852</b>

Tabla 4.6 Resultados Cromatográficos para el GLP a Plena Carga

Prueba 2.1 Combustible: Magna Modo: Ralentí					
Densidad de la Muestra: 586.8919 g/m3 Factor de Respuesta del Propano:1032.27					
Fecha y Hora de Corrida: 10-15-1901 16:04:35					
No	ELEMENTO	GPO.	CONCENTRACIÓN ppmC	Número de Carbonos	CONCENTRACIÓN ppm
1	METANO	P	20.853	1	20.853
2	ETILENO	O	11.074	2	22.148
3	ACETILENO	O	31.454	2	62.908
4	ETANO	P	1.499	2	2.998
5	PROPILENO	O	3.245	3	9.735
6	PROPANO	P	0.354	3	1.062
7	iC4	I	0.919	4	3.676
8	i-BUTILENO	O	2.066	4	8.264
9	BUTENO-1	O	0.804	4	3.216
10	13-BUTADIENO	O	0.889	4	3.556
11	nC4	P	5.318	4	21.272
12	t-BUTENO-2	O	0.968	4	3.872
13	22DMC3	I	0.525	5	2.625
14	c-BUTENO-2	O	0.975	4	3.9
15	12-BUTADIENO	O	0.581	4	2.324
16	3M-BUTENO-1	O	0.372	4	1.488
17	iC5	I	26.778	5	133.89
18	PENTENO-1	O	1.154	5	5.77
19	2M-BUTENO-1	O	1.894	5	9.47
20	nC5	P	13.467	5	67.335
21	ISOPRENO	O	1.428	5	7.14
22	t-PENTENO-2	O	2.972	5	14.86
23	c-PENTENO-2	O	1.585	5	7.925
24	2M-BUTENO-2	O	3.922	5	19.61
25	c-13-PENTADIENO	O	1.055	5	5.275
26	22DMC4	I	5.816	6	34.896
27	4M-PENTENO-1	O	0.414	6	2.484
28	CYC5	N	1.726	6	10.356
29	23DMC4	I	7.445	6	44.67
30	2MC5	I	16.348	6	98.088
31	O6 (3)	O	0.458	6	2.748
32	MTBE	D	7.938	6	47.628
33	3MC5	I	9.301	6	55.806
34	O6 (5)	O	0.836	6	5.016
35	HEXENO-1	O	0.61	6	3.66
36	nC6	P	7.072	6	42.432
37	O6 (6)	O	0.752	6	4.512
38	t-HEXENO-2	O	1.221	6	7.326
39	2M-PENTENO-2	O	1.38	6	8.28
40	O6 (8)	O	0.94	6	5.64
41	c-HEXENO-2	O	0.623	6	3.738
42	22DMC5	I	1.117	7	7.819

Tabla 4.7-a Resultados Cromatográficos para Magna a Ralentí

Prueba 2.1 Combustible: Magna Modo: Ralentí					
Densidad de la Muestra: 586.8919 g/m3 Factor de Respuesta del Propano:1032.27					
Fecha y Hora de Corrida: 10-15-1901 16:04:35					
No	ELEMENTO	GPO.	CONCENTRACIÓN ppmC	Número de Carbonos	CONCENTRACIÓN ppm
43	MCYC5	N	4.621	7	32.347
44	24DMC5	I	7.414	7	51.898
45	BENCENO	A	7.975	6	47.85
46	CYC6	N	2.104	7	14.728
47	2MC6 y 23DMC5	I	12.574	7	88.018
48	3MC6	I	4.113	7	28.791
49	c-13DMCYC5	N	1.127	7	7.889
50	t-13DMCYC5	N	0.756	7	5.292
51	t-12DMCYC5 y 3EC5	N	1.307	7	9.149
52	224TMC5	I	30.179	8	241.432
53	nC7	P	3.113	7	21.791
54	MCYC6	N	3.167	8	25.336
55	ECYC5 o 223TMC5	N	0.868	8	6.944
56	25DMC6 y 223TMC5	I	5.573	8	44.584
57	24DMC6 o 223TMC5	I	4.043	8	32.344
58	234TMC5	I	13.121	8	104.968
59	TOLUENO	A	29.926	7	209.482
60	23DMC6	I	3.329	8	26.632
61	2MC7	I	2.623	8	20.984
62	3MC7	I	3.269	8	26.152
63	225TMC6	I	3.306	9	29.754
64	nC8	P	4.421	8	35.368
65	ETILBZ	A	6.005	8	48.04
66	m-XILENO	A	8.966	8	71.728
67	p-XILENO	A	4.734	8	37.872
68	4MC8	I	1.254	9	11.286
69	2MC8	I	1.596	9	14.364
70	3MC8	I	1.987	9	17.883
71	o-XILENO	A	4.785	8	38.28
72	nC9	P	3.794	9	34.146
73	iC3BZ	A	1.056	9	9.504
74	nC3BZ	A	1.66	9	14.94
75	1M3EBZ (METOL)	A	3.803	9	34.227
76	1M4EBZ (PETOL)	A	1.759	9	15.831
77	23DMC8	I	1.808	10	18.08
78	4MC9	I	0.773	10	7.73
79	1M2EBZ (OETOL) y 2MC9	A	1.999	10	19.99
80	124TMBZ	A	0.271	9	2.439
81	nC10	P	2.075	10	20.75
82	123TMBZ	A	0.453	9	4.077
TOTAL			397.855		2363.171

Tabla 4.7-b Resultados Cromatográficos para Magna a Ralentí

Prueba 2.2      Combustible: Magna      Modo: Media Carga					
Densidad de la Muestra: 586.0021 g/m3      Factor de Respuesta del Propano: 1009.32					
Fecha y Hora de Corrida: 10-15-1901 16:07:00					
No	ELEMENTO	GPO.	CONCENTRACIÓN ppmC	Número de Carbonos	CONCENTRACIÓN ppm
1	METANO	P	3.815	1	3.815
2	ETILENO	O	3.472	2	6.944
3	ACETILENO	O	1.049	2	2.098
4	ETANO	P	0.792	2	1.584
5	PROPILENO	O	2.184	3	6.552
6	i-BUTILENO	O	1.965	4	7.86
7	BUTENO-1	O	0.686	4	2.744
8	13-BUTADIENO	O	0.601	4	2.404
9	nC4	P	0.459	4	1.836
10	iC5	I	2.058	5	10.29
11	nC5	P	1.106	5	5.53
12	2M-BUTENO-2	O	0.629	5	3.145
13	2MC5	I	1.429	6	8.574
14	3MC5	I	0.753	6	4.518
15	nC6	P	0.576	6	3.456
16	MCYC5	N	0.559	6	3.354
17	BENCENO	A	1.374	6	8.244
18	224TMC5	I	2.656	8	21.248
19	25DMC6 y 223TMC5	I	0.59	8	4.72
20	234TMC5	I	1.711	8	13.688
21	TOLUENO	A	4.147	7	29.029
22	ETILBZ	A	0.691	8	5.528
23	m-XILENO	A	1.127	8	9.016
24	p-XILENO	A	0.569	8	4.552
25	O-XILENO	A	0.75	8	6
26	1M3EBZ (METOL)	A	0.629	9	5.661
<b>TOTAL</b>			<b>36.377</b>		<b>182.39</b>

Tabla 4.8 Resultados Cromatográficos para Magna a Media Carga

Prueba 2.3		Combustible: Magna		Modo: Plena Carga	
Densidad de la Muestra: 591.0399 g/m3			Factor de Respuesta del Propano: 997.54		
Fecha y Hora de Corrida: 10-15-1901 16:05:49					
No	ELEMENTO	GPO.	CONCENTRACIÓN ppmC	Número de Carbonos	CONCENTRACIÓN ppm
1	METANO	P	15.364	1	15.364
2	ETILENO	O	8.162	2	16.324
3	ACETILENO	O	6.114	2	12.228
4	ETANO	P	1.737	2	3.474
5	PROPANO	P	0.192	3	0.576
6	i-BUTILENO	O	2.132	4	8.528
7	13-BUTADIENO	O	0.821	4	3.284
8	nC4	P	1.223	4	4.892
9	iC5	I	5.447	5	27.235
10	nC5	P	2.615	5	13.075
11	2M-BUTENO-2	O	0.852	5	4.26
12	c-13-PENTADIENO	O	0.377	5	1.885
13	22DMC4	I	1.12	6	6.72
14	23DMC4	I	1.59	6	9.54
15	2MC5	I	3.832	6	22.992
16	3MC5	I	2.024	6	12.144
17	nC6	P	1.499	6	8.994
18	MCYC5	N	0.921	6	5.526
19	24DMC5	I	1.419	7	9.933
20	BENCENO	A	4.321	6	25.926
21	2MC6 y 23DMC5	I	2.284	7	15.988
22	3MC6	I	1.198	7	8.386
23	224TMC5	I	5.988	8	47.904
24	nC7	P	0.564	7	3.948
25	MCYC6	N	0.593	8	4.744
26	25DMC6 y 223TMC5	I	1.08	8	8.64
27	25DMC6 y 223TMC5	I	0.682	8	5.456
28	234TMC5	I	2.926	8	23.408
29	TOLUENO	A	8.801	7	61.607
30	23DMC6	I	0.453	8	3.624
31	2MC7	I	0.643	8	5.144
32	ETILBZ	A	1.484	8	11.872
33	m-XILENO	A	2.542	8	20.336
34	p-XILENO	A	0.996	8	7.968
35	3MC8	I	0.776	9	6.984
36	o-XILENO	A	1.517	8	12.136
37	nC9	P	0.993	9	8.937
38	1M3EBZ (METOL)	A	0.883	9	7.947
39	1M2EBZ (OETOL) y 2M	A	0.575	9	5.175
40	124TMBZ	A	0.785	9	7.065
41	nC10	P	0.443	10	4.43
<b>TOTAL</b>			<b>97.968</b>		<b>494.599</b>

Tabla 4.9 Resultados Cromatográficos para Magna a Plena Carga

Prueba 3.1 Combustible: Magna-5%Etanol Modo: Ralenti					
Densidad de la Muestra: 587.4797 g/m3 Factor de Respuesta del Propano: 1030.29					
Fecha y Hora de Corrida: 10-29-1901 13:03:07					
No	ELEMENTO	GPO.	CONCENTRACIÓN ppmC	Número de Carbonos	CONCENTRACIÓN ppm
1	METANO	P	24.894	1	24.894
2	ETILENO	O	11.585	2	23.17
3	ACETILENO	O	30.212	2	60.424
4	ETANO	P	1.512	2	3.024
5	PROPILENO	O	2.423	3	7.269
6	PROPANO	P	0.666	3	1.998
7	PROPINO	O	0.291	3	0.873
8	PROPADIENO	O	0.529	3	1.587
9	iC4	I	0.79	4	3.16
10	i-BUTILENO	O	1.602	4	6.408
11	BUTENO-1	O	0.628	4	2.512
12	13-BUTADIENO	O	0.601	4	2.404
13	nC4	P	5.139	4	20.556
14	t-BUTENO-2	O	0.859	4	3.436
15	22DMC3	I	0.539	5	2.695
16	c-BUTENO-2	O	0.868	4	3.472
17	iC5	I	27.182	5	135.91
18	PENTENO-1	O	0.971	5	4.855
19	2M-BUTENO-1	O	2.199	5	10.995
20	nC5	P	13.602	5	68.01
21	ISOPRENO	O	0.373	5	1.865
22	t-PENTENO-2	O	3.11	5	15.55
23	c-PENTENO-2	O	1.528	5	7.64
24	2M-BUTENO-2	O	2.866	5	14.33
25	t-13-PENTADIENO	O	5.327	5	26.635
26	c-13-PENTADIENO	O	0.731	5	3.655
27	22DMC4	I	5.384	6	32.304
28	4M-PENTENO-1	O	0.354	6	2.124
29	23DMC4	I	1.71	6	10.26
30	2MC5	I	17.376	6	104.256
31	MTBE	D	7.663	6	45.978
32	3MC5	I	14.998	6	89.988
33	nC6	P	7.208	6	43.248
34	O6 (6)	O	0.978	6	5.868
35	t-HEXENO-2	O	0.925	6	5.55
36	2M-PENTENO-2	O	1.055	6	6.33
37	O6 (8)	O	0.875	6	5.25
38	c-HEXENO-2	O	0.81	6	4.86
39	22DMC5	I	1.325	7	9.275
40	MCYC5	N	5.007	6	30.042

Tabla 4.10-a Resultados Cromatográficos para Magna-5% Etanol a Ralenti

Prueba 3.1 Combustible: Magna-5%Etanol Modo: Ralenti					
Densidad de la Muestra: 587.4797 g/m3 Factor de Respuesta del Propano: 1030.29					
Fecha y Hora de Corrida: 10-29-1901 13:03:07					
No	ELEMENTO	GPO.	CONCENTRACIÓN ppmC	Número de Carbonos	CONCENTRACIÓN ppm
41	24DMC5	I	8.013	7	56.091
42	BENCENO	A	9.287	6	55.722
43	CYC6	N	2.22	6	13.32
44	2MC6 Y 23DMC5	I	13.555	7	94.885
45	3MC6	I	4.346	7	30.422
46	c-13DMCYC5	N	1.004	7	7.028
47	t-13DMCYC5	N	0.789	7	5.523
48	t-12DMCYC5 y 3EC5	N	1.011	7	7.077
49	224TMC5	I	32.785	8	262.28
50	nC7	P	3.387	7	23.709
51	25DMC6 y 223TMC5	I	6.423	8	51.384
52	24DMC6 o 223TMC5	I	4.432	8	35.456
53	234TMC5	I	14.538	8	116.304
54	233TMC5	I	14.197	8	113.576
55	TOLUENO	A	22.853	7	159.971
56	23DMC6	I	3.822	8	30.576
57	2MC7	I	2.79	8	22.32
58	4MC7	I	1.137	8	9.096
59	t-13DMCYC5	N	1.21	7	8.47
60	nC8	P	5.167	8	41.336
61	ETILBZ	A	7.901	8	63.208
62	m-XILENO	A	11.531	8	92.248
63	p-XILENO	A	5.519	8	44.152
64	4MC8	I	1.727	9	15.543
65	2MC8	I	1.959	9	17.631
66	3MC8	I	1.588	9	14.292
67	o-XILENO	A	5.987	8	47.896
68	nC9	P	4.256	9	38.304
69	35DMC8	I	0.929	10	9.29
70	nC3BZ	A	2.342	9	21.078
71	1M3EBZ (METOL)	A	4.871	9	43.839
72	1M4EBZ (PETOL)	A	1.929	9	17.361
73	23DMC8	I	2.48	10	24.8
74	1M2EBZ (OETOL) Y 2MC9	A	2.162	9	19.458
75	3MC9	I	1.103	10	11.03
76	124TMBZ	A	4.755	9	42.795
77	nC10	P	3.502	10	35.02
TOTAL			424.202		2555.151

Tabla 4.10-b Resultados Cromatográficos para Magna-5% Etanol a Ralenti

Prueba 3.2      Combustible: Magna-5%Etanol      Modo: Media Carga					
Densidad de la Muestra: 591.2741 g/m3      Factor de Respuesta del Propano: 1031.27					
Fecha y Hora de Corrida: 10-29-1901    14:21:49					
No	ELEMENTO	GPO.	CONCENTRACIÓN ppmC	Número de Carbonos	CONCENTRACIÓN ppm
1	METANO	P	5.139	1	5.139
2	ETILENO	O	2.563	2	5.126
3	ACETILENO	O	0.626	2	1.252
4	PROPILENO	O	1.154	3	3.462
5	i-BUTILENO	O	0.928	4	3.712
6	nC4	P	0.572	4	2.288
7	iC5	I	1.618	5	8.09
8	nC5	P	1.006	5	5.03
9	ISOPRENO	O	0.176	5	0.88
10	2M-BUTENO-2	O	0.406	5	2.03
11	22DMC4	I	0.414	6	2.484
12	23DMC4	I	0.501	6	3.006
13	2MC5	I	1.127	6	6.762
14	3MC5	I	0.873	6	5.238
15	nC6	P	0.416	6	2.496
16	i-HEXENO-2	O	0.525	6	3.15
17	MCYC5	N	0.232	6	1.392
18	24DMC5	I	0.506	7	3.542
19	BENCENO	A	1.229	6	7.374
20	2MC6 Y 23DMC5	I	0.646	7	4.522
21	224TMC5	I	2.302	8	18.416
22	25DMC6 y 223TMC5	I	0.335	8	2.68
23	24DMC6 o 223TMC5	I	0.371	8	2.968
24	234TMC5	I	1.121	8	8.968
25	233TMC5	I	0.875	8	7
26	TOLUENO	A	2.629	7	18.403
27	m-XILENO	A	1.225	8	9.8
28	p-XILENO	A	0.709	8	5.672
29	o-XILENO	A	1.046	8	8.368
30	1M3EBZ (METOL)	A	0.656	9	5.904
31	4MC9	I	0.321	10	3.21
32	124TMBZ	A	1.01	9	9.09
<b>TOTAL</b>			<b>33.257</b>		<b>177.454</b>

Tabla 4.11 Resultados Cromatográficos para Magna-5% Etanol a Media Carga

Prueba 3.3 Combustible: Magna-5%Etanol Modo: Plena Carga					
Densidad de la Muestra: 593.8284 g/m <sup>3</sup>			Factor de Respuesta del Propano: 979.8		
Fecha y Hora de Corrida: 10-29-1901 14:53:33					
No	ELEMENTO	GPO.	CONCENTRACIÓN ppmC	Número de Carbonos	CONCENTRACIÓN ppm
1	METANO	P	25.832	1	25.832
2	ETILENO	O	13.925	2	27.85
3	ACETILENO	O	8.843	2	17.686
4	ETANO	P	1.476	2	2.952
5	PROPANO	P	0.543	3	1.629
6	i-BUTILENO	O	2.063	4	8.252
7	nC4	P	0.937	4	3.748
8	iC5	I	4.811	5	24.055
9	nC5	P	2.534	5	12.67
10	i-PENTENO-2	O	1.622	5	8.11
11	2M-BUTENO-2	O	1.065	5	5.325
12	22DMC4	I	1.278	6	7.668
13	4M-PENTENO-1	O	2.739	6	16.434
14	23DMC4	I	1.437	6	8.622
15	2MC5	I	3.25	6	19.5
16	3MC5	I	5.989	6	35.934
17	MCYC5	N	1.192	6	7.152
18	24DMC5	I	1.649	7	11.543
19	BENCENO	A	6.855	6	41.13
20	2MC6 Y 23DMC5	I	12.268	7	85.876
21	3MC6	I	0.876	7	6.132
22	224TMC5	I	6.689	8	53.512
23	nC7	P	0.715	7	5.005
24	ECYC5 o 223TMC5	N	1.062	7	7.434
25	25DMC6 y 223TMC5	I	1.347	8	10.776
26	24DMC6 o 223TMC5	I	1.249	8	9.992
27	234TMC5	I	2.956	8	23.648
28	TOLUENO	A	10.114	7	70.798
29	225TMC6	I	2.589	9	23.301
30	nC8	P	1.497	8	11.976
31	ETILBZ	A	2.675	8	21.4
32	m-XILENO	A	3.345	8	26.76
33	p-XILENO	A	1.827	8	14.616
34	3MC8	I	1.109	9	9.981
35	o-XILENO	A	2.021	8	16.168
36	nC9	P	1.897	9	17.073
37	35DMC8	I	1.562	10	15.62
38	33DMC8	I	0.675	10	6.75
39	1M3EBZ (METOL)	A	1.241	9	11.169
40	23DMC8	I	0.785	10	7.85
<b>TOTAL</b>			<b>146.539</b>		<b>741.929</b>

Tabla 4.12 Resultados Cromatográficos para Magna-5% Etanol a Plena Carga

Prueba 4.1      Combustible: Premium      Modo: Ralenti					
Densidad de la Muestra: 585.7369 g/m3      Factor de Respuesta del Propano: 1031.47					
Fecha y Hora de Corrida: 10-29-1901 16:09:56					
No	ELEMENTO	GPO.	CONCENTRACIÓN ppmC	Número de Carbonos	CONCENTRACIÓN ppm
1	METANO	P	18.174	1	18.174
2	ETILENO	O	8.858	2	17.716
3	ACETILENO	O	24.488	2	48.976
4	ETANO	P	1.63	2	3.26
5	PROPILENO	O	2.438	3	7.314
6	iC4	I	0.507	4	2.028
7	i-BUTILENO	O	1.267	4	5.068
8	BUTENO-1	O	0.725	4	2.9
9	13-BUTADIENO	O	0.681	4	2.724
10	nC4	P	2.981	4	11.924
11	t-BUTENO-2	O	0.756	4	3.024
12	22DMC3	I	0.546	6	3.276
13	c-BUTENO-2	O	0.728	4	2.912
14	iC5	I	16.018	5	80.09
15	PENTENO-1	O	0.771	5	3.855
16	2M-BUTENO-1	O	1.201	5	6.005
17	nC5	P	8.006	5	40.03
18	ISOPRENO	O	0.389	5	1.945
19	t-PENTENO-2	O	1.733	5	8.665
20	c-PENTENO-2	O	1	5	5
21	2M-BUTENO-2	O	2.321	5	11.605
22	t-13-PENTADIENO	O	0.675	5	3.375
23	c-13-PENTADIENO	O	3.831	5	19.155
24	CICLOPENTENO	O	0.357	5	1.785
25	4M-PENTENO-1	O	0.415	6	2.49
26	CYC5	N	1.306	5	6.53
27	23DMC4	I	4.515	6	27.09
28	2MC5	I	10.005	6	60.03
29	3MC5	I	5.708	6	34.248
30	MTBE	D	4.189	6	25.134
31	nC6	P	4.647	6	27.882
32	O6 (6)	O	0.492	6	2.952
33	t-HEXENO-2	O	0.561	6	3.366
34	2M-PENTENO-2	O	0.633	6	3.798
35	O6 (8)	O	0.569	6	3.414
36	c-HEXENO-2	O	0.777	6	4.662
37	22DMC5	I	0.82	7	5.74
38	MCYC5	N	2.797	6	16.782
39	24DMC5	I	4.272	7	29.904
40	BENCENO	A	5.585	6	33.51
41	CYC6	N	1.386	6	8.316
42	2MC6 Y 23DMC5	I	8.178	7	57.246
43	3MC6	I	2.526	7	17.682
44	c-13DMCYC5	N	0.61	7	4.27

Tabla 4.13-a Resultados Cromatográficos para Premium a Ralenti

Prueba 4.1 Combustible: Premium Modo: Ralenti					
Densidad de la Muestra: 585.7369 g/m3			Factor de Respuesta del Propano: 1031.47		
Fecha y Hora de Corrida: 10-29-1901 16:09:56					
No	ELEMENTO	GPO.	CONCENTRACIÓN ppmC	Número de Carbonos	CONCENTRACIÓN ppm
45	t-12DMCYC5 y 3EC5	N	0.637	7	4.459
46	224TMC5	I	20.273	8	162.184
47	nC7	P	2.571	7	17.997
48	MCYC6	N	2.038	7	14.266
49	ECYC5 o 223TMC5	N	0.949	7	6.643
50	25DMC6 y 223TMC5	I	4.275	8	34.2
51	24DMC6 o 223TMC5	I	2.544	8	20.352
52	ctc-124TMCYC5	N	0.966	8	7.728
53	ctc-123TMCYC5	N	0.592	8	4.736
54	234TMC5	I	9.596	8	76.768
55	233TMC5	I	8.936	8	71.488
56	TOLUENO	A	14.298	7	100.086
57	23DMC6	I	2.397	8	19.176
58	2MC7	I	1.996	8	15.968
59	4MC7	I	1.191	8	9.528
60	3MC7	I	3.516	8	28.128
61	t-1E3MCYC5	N	2.091	8	16.728
62	nC8	P	4.284	8	34.272
63	nC3CYC5 y ctc-123TMCYC6	N	0.834	9	7.506
64	26DMC7	N	0.802	9	7.218
65	114TMCYC6 o 33DMC7	N	0.628	9	5.652
66	ETILBZ	A	5.815	8	46.52
67	m-XILENO	A	8.415	8	67.32
68	p-XILENO	A	4.791	8	38.328
69	4MC8	I	1.527	9	13.743
70	2MC8	I	1.66	9	14.94
71	3MC8	I	0.59	9	5.31
72	3MC8	I	1.369	9	12.321
73	o-XILENO	A	4.35	8	34.8
74	c-1E3MCYC6	N	0.785	9	7.065
75	nC9	P	3.635	9	32.715
76	t-1E3MCYC6	N	0.821	9	7.389
77	iC3BZ	A	0.954	9	8.586
78	33DMC8	I	1.026	10	10.26
79	nC3BZ	A	1.356	9	12.204
80	1M3EBZ (METOL)	A	4.054	9	36.486
81	1M4EBZ (PETOL)	A	1.912	9	17.208
82	23DMC8	I	1.887	10	18.87
83	1M2EBZ (OETOL) Y 2MC9	A	1.848	10	18.48
84	3EC8	I	1.806	10	18.06
85	3EC9	I	0.948	11	10.428
86	124TMBZ	A	3.787	9	34.083
<b>TOTAL</b>			<b>298.822</b>		<b>1816.051</b>

Tabla 4.13-b Resultados Cromatográficos para Premium a Ralenti

Prueba 4.2		Combustible: Premium		Modo: Media Carga	
Densidad de la Muestra: 588.8973 g/m3		Factor de Respuesta del Propano: 1021.32			
Fecha y Hora de Corrida: 10-29-1901 16:30:39					
No	ELEMENTO	GPO.	CONCENTRACIÓN ppmC	Número de Carbonos	CONCENTRACIÓN ppm
1	METANO	P	5.579	1	5.579
2	ETILENO	O	2.831	2	5.662
3	ACETILENO	O	1.965	2	3.93
4	ETANO	P	0.53	2	1.06
5	PROPILENO	O	1.585	3	4.755
6	i-BUTILENO	O	0.209	4	0.836
7	BUTENO-1	O	0.901	4	3.604
8	nC4	P	1.197	4	4.788
9	iC5	I	4.834	5	24.17
10	2M-BUTENO-1	O	0.469	5	2.345
11	nC5	P	0.343	5	1.715
12	2M-BUTENO-2	O	0.789	5	3.945
13	c-13-PENTADIENO	O	0.664	5	3.32
14	2MC5	I	1.309	6	7.854
15	3MC5	I	0.405	6	2.43
16	nC6	P	1.265	6	7.59
17	BENCENO	A	1.882	6	11.292
18	224TMC5	I	4.852	8	38.816
19	234TMC5	I	1.504	8	12.032
20	TOLUENO	A	0.788	7	5.516
21	m-XILENO	A	2.516	8	20.128
22	p-XILENO	A	0.861	8	6.888
23	o-XILENO	A	1.309	8	10.472
24	1M3EBZ (METOL)	A	0.659	9	5.931
25	1M4EBZ (PETOL)	A	0.33	9	2.97
26	124TMBZ	A	1.117	9	10.053
<b>TOTAL</b>			<b>40.693</b>		<b>207.681</b>

Tabla 4.14 Resultados Cromatográficos para Premium a Media Carga

Prueba 4.3		Combustible: Premium		Modo: Plena Carga	
Densidad de la Muestra: 590.0293 g/m3		Factor de Respuesta del Propano: 994.58			
Fecha y Hora de Corrida: 10-29-1901 17:32:04					
No	ELEMENTO	GPO.	CONCENTRACIÓN ppmC	Número de Carbonos	CONCENTRACIÓN ppm
1	METANO	P	39.625	1	39.625
2	ETILENO	O	18.96	2	37.92
3	ACETILENO	O	16.643	2	33.286
4	ETANO	P	3.577	2	7.154
5	PROPILENO	O	4.524	3	13.572
6	PROPANO	P	1.243	3	3.729
7	i-BUTILENO	O	4.275	4	17.1
8	BUTENO-1	O	1.154	4	4.616
9	13-BUTADIENO	O	0.853	4	3.412
10	nC4	P	1.118	4	4.472
11	t-BUTENO-2	O	0.491	4	1.964
12	c-BUTENO-2	O	0.4	4	1.6
13	iC5	I	11.358	5	56.79
14	2M-BUTENO-1	O	0.718	5	3.59
15	nC5	P	2.045	5	10.225
16	ISOPRENO	O	0.404	5	2.02
17	t-PENTENO-2	O	0.663	5	3.315
18	c-PENTENO-2	O	0.913	5	4.565
19	2M-BUTENO-2	O	1.342	5	6.71
20	c-13-PENTADIENO	O	0.971	5	4.855
21	22DMC4	I	0.692	6	4.152
22	CYC5	N	0.433	5	2.165
23	23DMC4	I	2.131	6	12.786
24	2MC5	I	2.98	6	17.88
25	MTBE	D	3.403	6	20.418
26	3MC5	I	2.001	6	12.006
27	nC6	P	1.573	6	9.438
28	t-HEXENO-2	O	0.288	6	1.728
29	2M-PENTENO-2	O	0.686	6	4.116
30	O6 (8)	O	0.356	6	2.136
31	22DMC5	I	0.422	7	2.954
32	MCYC5	N	0.854	6	5.124
33	24DMC5	I	1.738	7	12.166
34	BENCENO	A	12.534	6	75.204
35	2MC6 Y 23DMC5	I	2.805	7	19.635
36	3MC6	I	0.305	7	2.135
37	224TMC5	I	13.931	8	111.448
38	nC7	P	0.686	7	4.802
39	25DMC6 y 223TMC5	I	3.15	8	25.2
40	24DMC6 o 223TMC5	I	2.233	8	17.864
41	234TMC5	I	6.427	8	51.416
42	TOLUENO	A	23.192	7	162.344
43	23DMC6	I	1.615	8	12.92
44	2MC7	I	0.944	8	7.552
45	3MC7	I	0.759	8	6.072
46	t-1E3MICYC5	N	2.89	8	23.12
47	nC8	P	1.271	8	10.168
48	ETILBZ	A	4.215	8	33.72
49	m-XILENO	A	9.422	8	75.376
50	p-XILENO	A	5.197	8	41.576
51	3MC8	I	0.949	9	8.541
52	o-XILENO	A	5.466	8	43.728
53	nC9	P	0.912	9	8.208
54	nC3BZ	A	0.722	9	6.498
55	1M3EBZ (METOL)	A	2.654	9	23.886
56	1M4EBZ (PETOL)	A	1.144	9	10.296
57	23DMC8	I	1.542	10	15.42
58	4MC9	I	1.559	10	15.59
59	1M2EBZ (OETOL) Y 2MC9	A	0.951	9	8.559
60	124TMBZ	A	2.513	9	22.617
TOTAL			238.822		1211.484

Tabla 4.15 Resultados Cromatográficos para Premium a Plena Carga

Prueba 5.1		Combustible: Magna-15%Etanol		Modo: Ralenti	
Densidad de la Muestra:576.5873 g/m3		Factor de Respuesta del Propano: 994.42			
Fecha y Hora de Corrida: 11-05-1901 13:30:32					
No	ELEMENTO	GPO.	CONCENTRACIÓN ppmC	Número de Carbonos	CONCENTRACIÓN ppm
1	METANO	P	10.111	1	10.111
2	ETILENO	O	4.31	2	8.62
3	ACETILENO	O	10.517	2	21.034
4	PROPILENO	O	1.049	3	3.147
5	nC4	P	2.196	4	8.784
6	iC5	I	12.907	5	64.535
7	PENTENO-1	O	0.632	5	3.16
8	2M-BUTENO-1	O	0.827	5	4.135
9	nC5	P	7.231	5	36.155
10	t-PENTENO-2	O	1.635	5	8.175
11	c-PENTENO-2	O	0.829	5	4.145
12	2M-BUTENO-2	O	1.512	5	7.56
13	t-13-PENTADIENO	O	1.264	5	6.32
14	c-13-PENTADIENO	O	0.361	5	1.805
15	BENCENO	A	2.112	6	12.672
16	3MC6	I	1.99	7	13.93
17	c-13DMCYC5	N	0.43	7	3.01
18	t-13DMCYC5	N	0.438	7	3.066
19	t-13DMCYC5 y 3EC5	N	0.424	7	2.968
20	224TMC5	I	12.591	8	100.728
21	nC7	P	0.587	7	4.109
22	MCYC6	N	1.23	7	8.61
23	25DMC6 y 223TMC5	I	0.451	8	3.608
24	24DMC6 o 223TMC5	I	2.374	8	18.992
25	234TMC5	I	6.363	8	50.904
26	TOLUENO	A	23.956	7	167.692
27	23DMC6	I	1.417	8	11.336
28	2MC7	I	1.365	8	10.92
29	4MC7	I	0.68	8	5.44
30	3MC7	I	1.385	8	11.08
31	t-1E3MCYC5	N	1.441	9	12.969
32	nC8	P	1.883	8	15.064
33	ETILBZ	A	4.858	8	38.864
34	m-XILENO	A	9.206	8	73.648
35	p-XILENO	A	4.354	8	34.832
36	4MC8	I	0.6	9	5.4
37	2MC8	I	0.961	9	8.649
38	3MC8	I	0.537	9	4.833
39	o-XILENO	A	5.142	8	41.136
40	nC9	P	2.181	9	19.629
41	nC3BZ	A	1.622	9	14.598
42	1M3EBZ (METOL)	A	4.176	9	37.584
43	1M4EBZ (PETOL)	A	1.883	9	16.947
44	23DMC8	I	2.231	10	22.31
45	4MC9	I	0.616	10	6.16
46	1M2EBZ (OETOL) Y 2MC9	A	0.479	10	4.79
47	3EC8	I	1.928	10	19.28
48	3EC9	I	0.618	10	6.18
49	124TMBZ	A	3.771	9	33.939
<b>TOTAL</b>			<b>161.661</b>		<b>1033.563</b>

Tabla 4.16 Resultados Cromatográficos para Magna-15%Etanol a Ralenti

Prueba 5.2		Combustible: Magna-15%Etanol		Modo: Media Carga	
Densidad de la Muestra: 574.3594 g/m3		Factor de Respuesta del Propano: 961.07			
Fecha y Hora de Corrida: 11-05-1901 13:32:50					
No	ELEMENTO	GPO.	CONCENTRACIÓN ppmC	Número de Carbonos	CONCENTRACIÓN ppm
1	METANO	P	3.444	1	3.444
2	ETILENO	O	1.56	2	3.12
3	PROPILENO	O	1.021	2	2.042
4	i-BUTILENO	O	1.002	4	4.008
5	nC4	P	1.474	4	5.896
6	iC5	I	5.504	5	27.52
7	2M-BUTENO-1	O	0.434	5	2.17
8	nC5	P	2.729	5	13.645
9	t-PENTENO-2	O	0.634	5	3.17
10	2M-BUTENO-2	O	0.799	5	3.995
11	22DMC4	I	0.822	6	4.932
12	23DMC4	I	1.143	6	6.858
13	2MC5	I	2.64	6	15.84
14	3MC5	I	1.672	6	10.032
15	nC6	P	1.675	6	10.05
16	MCYC5	N	0.573	6	3.438
17	24DMC5	I	0.635	7	4.445
18	BENCENO	A	0.835	6	5.01
19	224TMC5	I	3.699	8	29.592
20	234TMC5	I	1.86	8	14.88
21	TOLUENO	A	16.82	7	117.74
22	3MC7	I	1.113	8	8.904
23	nC8	P	1.173	8	9.384
24	ETILBZ	A	2.913	8	23.304
25	m-XILENO	A	5.97	8	47.76
26	p-XILENO	A	2.918	8	23.344
27	o-XILENO	A	3.798	8	30.384
28	nC9	P	1.65	9	14.85
29	24DMC8 y 22DMC8	I	1.411	10	14.11
30	33DMC8	I	1.707	10	17.07
31	1M3EBZ (METOL)	A	2.61	9	23.49
32	1M4EBZ (PETOL)	A	1.168	9	10.512
33	23DMC8	I	1.447	10	14.47
34	124TMBZ	A	7.435	9	66.915
35	nC10	P	2.033	10	20.33
<b>TOTAL</b>			<b>88.321</b>		<b>616.654</b>

Tabla 4.17 Resultados Cromatográficos para Magna-15%Etanol a Media Carga

Prueba 5.3		Combustible: Magna-15%Etanol		Modo: Plena Carga	
Densidad de la Muestra: 582.5902 g/m3		Factor de Respuesta del Propano: 938.232			
Fecha y Hora de Corrida: 11-05-1901 13:32:51					
No	ELEMENTO	GPO.	CONCENTRACIÓN ppmC	Número de Carbonos	CONCENTRACIÓN ppm
1	METANO	P	20.002	1	20.002
2	ETILENO	O	11.868	2	23.736
3	ACETILENO	O	2.885	2	5.77
4	ETANO	P	0.969	2	1.938
5	PROPILENO	O	4.283	3	12.849
6	i-BUTILENO	O	3.189	4	12.756
7	BUTENO-1	O	0.799	4	3.196
8	13-BUTADIENO	O	0.861	4	3.444
9	nC4	P	1.186	4	4.744
10	c-BUTENO-2	O	0.536	4	2.144
11	iC5	I	6.822	5	34.11
12	PENTENO-1	O	0.469	5	2.345
13	2M-BUTENO-1	O	0.726	5	3.63
14	nC5	P	3.496	5	17.48
15	ISOPRENO	O	0.529	5	2.645
16	l-PENTENO-2	O	0.71	5	3.55
17	22DMC4	I	0.794	6	4.764
18	CYC5	N	0.361	6	2.166
19	23DMC4	I	1.463	6	8.778
20	2MC5	I	3.795	6	22.77
21	3MC5	I	1.999	6	11.994
22	nC6	P	1.91	6	11.46
23	MCYC5	N	0.954	6	5.724
24	BENCENO	A	6.619	6	39.714
25	2MC6 y 23DMC5	I	1.54	7	10.78
26	3MC6	I	1.082	7	7.574
27	224TMC5	I	7.401	8	59.208
28	nC7	P	1.008	7	7.056
29	MCYC6	N	0.868	7	6.076
30	25DMC6 y 223TMC5	I	1.02	8	8.16
31	234TMC5	I	3.116	8	24.928
32	TOLUENO	A	27.505	7	192.535
33	nC8	P	1.127	8	9.016
34	ETILBZ	A	3.314	8	26.512
35	m-XILENO	A	7.466	8	59.728
36	p-XILENO	A	3.36	8	26.88
37	o-XILENO	A	4.612	8	36.896
38	nC9	P	1.606	9	14.454
39	nC3BZ	A	0.885	9	7.965
40	1M3EBZ (METOL)	A	3.375	9	30.375
41	1M4EBZ (PETOL)	A	0.947	9	8.523
42	124TMBZ	A	4.274	9	38.466
<b>TOTAL</b>			<b>151.731</b>		<b>836.841</b>

Tabla 4.18 Resultados Cromatográficos para Magna-15%Etanol a Plena Carga

Prueba 6.1		Combustible: Magna-30%Etanol		Modo: Ralentí	
Densidad de la Muestra: 583.507 g/m3		Factor de Respuesta del Propano: 948.72			
Fecha y Hora de Corrida: 11-05-1901 16:07:39					
No	ELEMENTO	GPO	CONCENTRACIÓN ppmC	Número de Carbonos	CONCENTRACIÓN ppm
1	METANO	P	12.66	1	12.66
2	ETILENO	O	5.696	2	11.392
3	ACETILENO	O	14.606	2	29.212
4	ETANO	P	0.576	2	1.152
5	PROPILENO	O	1.334	3	4.002
6	iC4	I	0.533	4	2.132
7	i-BUTILENO	O	0.486	4	1.944
8	13-BUTADIENO	O	0.273	4	1.092
9	nC4	P	2.466	4	9.864
10	t-BUTENO-2	O	0.477	4	1.908
11	c-BUTENO-2	O	0.422	4	1.688
12	iC5	I	14.072	5	70.36
13	PENTENO-1	O	0.723	5	3.615
14	2M-BUTENO-1	O	0.731	5	3.655
15	nC5	P	8.424	5	42.12
16	t-PENTENO-2	O	1.933	5	9.665
17	c-PENTENO-2	O	0.984	5	4.92
18	2M-BUTENO-2	O	2.153	5	10.765
19	22DMC4	I	1.198	6	7.188
20	CICLOPENTENO	O	0.407	5	2.035
21	CYC5	N	0.877	6	5.262
22	23DMC4	I	2.428	6	14.568
23	2MC5	I	6.347	6	38.082
24	3MC5	I	3.816	6	22.896
25	O6 (5)	O	0.981	6	5.886
26	HEXENO-1	O	0.271	6	1.626
27	nC6	P	0.287	6	1.722
28	MCYC5	N	2.204	6	13.224
29	24DMC5	I	1.464	7	10.248
30	BENCENO	A	3.774	6	22.644
31	2MC6 Y 23DMC5	I	4.134	7	28.938
32	3MC6	I	2.841	7	19.887
33	224TMC5	I	14.137	8	113.096
34	MCYC6	N	1.736	8	13.888
35	ECYC5 o 223TMC5	N	0.536	8	4.288
36	25DMC6 y 223TMC5	I	2.545	8	20.36
37	24DMC6 o 223TMC5	I	1.944	8	15.552
38	234TMC5	I	6.556	8	52.448
39	TOLUENO	A	12.798	7	89.586
40	23DMC6	I	1.684	8	13.472
41	2MC7	I	1.412	8	11.296
42	4MC7	I	0.588	8	4.704
43	3MC7	I	1.537	8	12.296
44	t-1E3MCYC5	N	1.688	8	13.504
45	nC8	P	2.236	8	17.888
46	ETILBZ	A	3.979	8	31.832
47	m-XILENO	A	6.366	8	50.928
48	p-XILENO	A	2.997	8	23.976
49	4MC8	I	0.633	9	5.697
50	2MC8	I	0.706	9	6.354
51	3MC8	I	0.767	9	6.903
52	o-XILENO	A	3.654	8	29.232
53	nC9	P	1.637	9	14.733
54	nC3BZ	A	0.949	9	8.541
55	1M3EBZ (METOL)	A	2.608	9	23.472
56	1M4EBZ (PETOL)	A	0.922	9	8.298
57	124TMBZ	A	2.527	9	22.743
58	nC10	P	1.331	10	13.31
<b>TOTAL</b>			<b>178.051</b>	<b>372</b>	<b>1044.749</b>

Tabla 4.19 Resultados Cromatográficos para Magna-30%Etanol a Ralentí

Prueba 6.2		Combustible: Magna-30%Etanol		Modo: Media Carga	
Densidad de la Muestra: 578.1569 g/m3		Factor de Respuesta del Propano: 961.07			
Fecha y Hora de Corrida: 11-05-1901 16:08:45					
No	ELEMENTO	GPO.	CONCENTRACIÓN ppmC	Número de Carbonos	CONCENTRACIÓN ppm
1	METANO	P	2.73	1	2.73
2	ETILENO	O	0.8	2	1.6
3	ACETILENO	O	3.93	2	7.86
4	nC4	P	1.405	4	5.62
5	iC5	I	0.86	5	4.3
6	nC5	P	0.623	5	3.115
7	2M-BUTENO-2	O	1.259	5	6.295
8	2MC5	I	0.412	6	2.472
9	3MC5	I	0.423	6	2.538
10	nC6	P	0.243	6	1.458
11	224TMC5	I	0.967	8	7.736
12	234TMC5	I	0.621	8	4.968
13	TOLUENO	A	2.023	7	14.161
14	m-XILENO	A	1.832	8	14.656
15	p-XILENO	A	0.855	8	6.84
16	o-XILENO	A	1.662	8	13.296
17	nC9	P	0.783	9	7.047
18	33DMC8	I	0.445	10	4.45
19	1M3EBZ (METOL)	A	1.162	9	10.458
20	1M4EBZ (PETOL)	A	0.371	9	3.339
21	23DMC8	I	1.123	10	11.23
22	124TMBZ	A	1.991	9	17.919
23	nC10	P	0.848	10	8.48
TOTAL			27.368		162.568

Tabla 4.20 Resultados Cromatográficos para Magna-30%Etanol a Media Carga

Prueba 6.3		Combustible: Magna-30%Etanol		Modo: Plena Carga	
Densidad de la Muestra: 586.5255 g/m3		Factor de Respuesta del Propano: 938.23			
Fecha y Hora de Corrida: 11-05-1901 16:08:54					
No	ELEMENTO	GPO.	CONCENTRACIÓN ppmC	Número de Carbonos	CONCENTRACIÓN ppm
1	METANO	P	8.51	1	8.51
2	ETILENO	O	4.836	2	9.672
3	ACETILENO	O	1.603	2	3.206
4	ETANO	P	0.6	2	1.2
5	PROPILENO	O	1.215	3	3.645
6	i-BUTILENO	O	1.101	4	4.404
7	BUTENO-1	O	0.422	4	1.688
8	nC4	P	0.406	4	1.624
9	iC5	I	2.329	5	11.645
10	nC5	P	1.344	5	6.72
11	2M-BUTENO-2	O	0.388	5	1.94
12	22DMC4	I	0.352	6	2.112
13	23DMC4	I	0.582	6	3.492
14	2MC5	I	1.095	6	6.57
15	3MC5	I	0.691	6	4.146
16	nC6	P	0.483	6	2.898
17	BENCENO	A	2.274	6	13.644
18	3MC6	I	0.636	7	4.452
19	224TMC5	I	2.574	8	20.592
20	nC7	P	0.588	7	4.116
21	25DMC6 y 223TMC5	I	0.393	8	3.144
22	24DMC6 o 223TMC5	I	0.525	8	4.2
23	234TMC5	I	1.376	8	11.008
24	TOLUENO	A	6.991	7	48.937
25	ETILBZ	A	1.148	8	9.184
26	m-XILENO	A	2.851	8	22.808
27	p-XILENO	A	1.539	8	12.312
28	o-XILENO	A	1.748	8	13.984
29	nC9	P	0.786	9	7.074
30	1M3EBZ (METOL)	A	1.218	9	10.962
31	1M4EBZ (PETOL)	A	0.578	9	5.202
32	23DMC8	I	1.295	10	12.95
33	124TMBZ	A	1.64	9	14.76
<b>TOTAL</b>			<b>54.117</b>	<b>204</b>	<b>292.801</b>

Tabla 4.21 Resultados Cromatográficos para Magna-30%Etanol a Plena Carga

Prueba 7.1		Combustible: Magna-50%Etanol		Modo: Ralenti	
Densidad de la Muestra: 578.6608 g/m3		Factor de Respuesta del Propano: 994.42			
Fecha y Hora de Corrida: 11-12-1901 11:08:05					
No	ELEMENTO	GPO.	CONCENTRACIÓN ppmC	Número de Carbonos	CONCENTRACIÓN ppm
1	METANO	P	5.996	1	5.996
2	ETILENO	O	2.047	2	4.094
3	ACETILENO	O	3.566	2	7.132
4	ETANO	P	0.412	2	0.824
5	PROPILENO	O	0.48	3	1.44
6	PROPANO	P	0.39	3	1.17
7	iC4	I	0.453	4	1.812
8	nC4	P	1.176	4	4.704
9	iC5	I	6.567	5	32.835
10	PENTENO-1	O	0.291	5	1.455
11	2M-BUTENO-1	O	0.383	5	1.915
12	nC5	P	3.624	5	18.12
13	I-PENTENO-2	O	0.793	5	3.965
14	c-PENTENO-2	O	0.419	5	2.095
15	2M-BUTENO-2	O	0.779	5	3.895
16	22DMC4	I	0.411	6	2.466
17	23DMC4	I	1.159	6	6.954
18	2MC5	I	2.763	6	16.578
19	3MC5	I	1.883	6	11.298
20	nC6	P	1.752	6	10.512
21	MCYC5	N	0.966	6	5.796
22	24DMC5	I	0.87	7	6.09
23	BENCENO	A	1.582	6	9.492
24	CYC6	N	0.586	6	3.516
25	2MC6 Y 23DMC5	I	2.19	7	15.33
26	3MC6	I	1.103	7	7.721
27	224TMC5	I	6.6	8	52.8
28	nC7	P	1.117	7	7.819
29	MCYC6	N	0.511	7	3.577
30	25DMC6 y 223TMC5	I	1.211	8	9.688
31	24DMC6 o 223TMC5	I	1.087	8	8.696
32	234TMC5	I	2.969	8	23.752
33	TOLUENO	A	8.12	7	56.84
34	23DMC6	I	0.743	8	5.944
35	2MC7	I	0.738	8	5.904
36	3MC7	I	0.679	8	5.432
37	225TMC6	I	0.815	9	7.335
38	nC8	P	1.063	8	8.504
39	26DMC7	N	4.728	9	42.552
40	ETILBZ	A	4.563	9	41.067
41	m-XILENO	A	9.876	8	79.008
42	p-XILENO	A	9.885	8	79.08
43	o-XILENO	A	5.242	8	41.936
44	nC9	P	0.954	9	8.586
45	nC3BZ	A	0.61	9	5.49
46	1M3EBZ (METOL)	A	2.075	9	18.675
47	1M4EBZ (PETOL)	A	0.953	9	8.577
48	23DMC8	I	1.26	10	12.6
49	3MC9	I	0.632	10	6.32
50	124TMBZ	A	2.18	9	19.62
51	nC10	P	2.013	10	20.13
<b>TOTAL</b>			<b>113.265</b>	<b>336</b>	<b>767.137</b>

Tabla 4.22 Resultados Cromatográficos para Magna-50%Etanol a Ralenti

Prueba 7.2		Combustible: Magna-50%Etanol		Modo: Media Carga	
Densidad de la Muestra: 573.9171 g/m <sup>3</sup>		Factor de Respuesta del Propano: 961.07			
Fecha y Hora de Corrida: 11-12-1901 11:09:28					
No	ELEMENTO	GPO.	CONCENTRACIÓN ppmC	Número de Carbonos	CONCENTRACIÓN ppm
1	METANO	P	4.145	1	4.145
2	ETILENO	O	0.94	2	1.88
3	ACETILENO	O	0.814	2	1.628
4	iC5	I	0.755	5	3.775
5	nC5	P	0.541	5	2.705
6	2MC5	I	0.454	6	2.724
7	nC6	P	0.173	6	1.038
8	224TMC5	I	1.054	8	8.432
9	234TMC5	I	0.434	8	3.472
10	TOLUENO	A	4.159	7	29.113
11	ETILBZ	A	3.843	8	30.744
12	m-XILENO	A	10.554	8	84.432
13	p-XILENO	A	5.576	8	44.608
14	23DMC7	I	6.566	9	59.094
15	124TMBZ	A	0.693	9	6.237
TOTAL			40.701		284.027

Tabla 4.23 Resultados Cromatográficos para Magna-50%Etanol a Media Carga

Prueba 7.3		Combustible: Magna-50%Etanol		Modo: Plena Carga	
Densidad de la Muestra: 589.9708 g/m <sup>3</sup>		Factor de Respuesta del Propano: 994.58			
Fecha y Hora de Corrida: 11-12-1901 11:08:22					
No	ELEMENTO	GPO.	CONCENTRACIÓN ppmC	Número de Carbonos	CONCENTRACIÓN ppm
1	METANO	P	12.659	1	12.659
2	ETILENO	O	3.874	2	7.748
3	ACETILENO	O	5.283	2	10.566
4	ETANO	P	0.633	2	1.266
5	i-BUTILENO	O	0.643	4	2.572
6	nC4	P	0.604	4	2.416
7	iC5	I	2.939	5	14.695
8	nC5	P	1.563	5	7.815
9	2M-BUTENO-2	O	0.53	5	2.65
10	23DMC4	I	0.531	6	3.186
11	2MC5	I	1.255	6	7.53
12	3MC5	I	0.865	6	5.19
13	nC6	P	1.016	6	6.096
14	MCYC5	N	0.521	6	3.126
15	24DMC5	I	0.419	7	2.933
16	BENCENO	A	1.7	6	10.2
17	224TMC5	I	4.067	8	32.536
18	nC7	P	0.571	7	3.997
19	25DMC6 y 223TMC5	I	0.713	8	5.704
20	24DMC6 o 223TMC5	I	0.545	8	4.36
21	234TMC5	I	1.146	8	9.168
22	TOLUENO	A	7.965	7	55.755
23	nC8	P	0.404	8	3.232
24	ETILBZ	A	1.486	8	11.888
25	m-XILENO	A	2.95	8	23.6
26	p-XILENO	A	1.876	8	15.008
27	o-XILENO	A	1.446	8	11.568
28	1M3EBZ (METOL)	A	0.943	9	8.487
29	124TMBZ	A	0.878	9	7.902
TOTAL			60.025		293.853

Tabla 4.24 Resultados Cromatográficos para Magna-50%Etanol a Plena Carga

Prueba 8.1		Combustible: GNC		Modo: Ralenti	
Densidad de la Muestra: 652.3962 g/m3		Factor de Respuesta del Propano: 1004.21			
Fecha y Hora de Corrida: 11-12-1901 13:32:08					
No	ELEMENTO	GPO.	CONCENTRACIÓN ppmC	Número de Carbonos	CONCENTRACIÓN ppm
1	METANO	P	40.942	1	40.942
2	ETILENO	O	1.105	2	2.21
3	ACETILENO	O	0.326	2	0.652
4	ETANO	P	3.646	2	7.292
5	PROPANO	P	1.513	3	4.539
6	iC4	I	1.034	4	4.136
7	nC4	P	3.836	4	15.344
8	t-BUTENO-2	O	1.184	4	4.736
9	c-BUTENO-2	O	0.395	4	1.58
TOTAL			53.981		81.431

Tabla 4.25 Resultados Cromatográficos para GNC a Ralenti

Prueba 8.2		Combustible: GNC		Modo: Media Carga	
Densidad de la Muestra: 648.7313 g/m3		Factor de Respuesta del Propano: 992.39			
Fecha y Hora de Corrida: 11-12-1901 13:32:58					
No	ELEMENTO	GPO.	CONCENTRACIÓN ppmC	Número de Carbonos	CONCENTRACIÓN ppm
1	METANO	P	25.102	1	25.102
2	ETANO	P	0.911	2	1.822
3	PROPANO	P	0.532	3	1.596
4	iC4	I	1.476	4	5.904
5	nC4	P	6.391	4	25.564
6	t-BUTENO-2	O	0.572	4	2.288
7	c-BUTENO-2	O	0.644	4	2.576
TOTAL			35.628	22	64.852

Tabla 4.26 Resultados Cromatográficos para GNC a Media Carga

Prueba 8.3		Combustible: GNC		Modo: Plena Carga	
Densidad de la Muestra: 655.8211 g/m3		Factor de Respuesta del Propano: 994.42			
Fecha y Hora de Corrida: 11-12-1901 13:33:53					
No	ELEMENTO	GPO.	CONCENTRACIÓN ppmC	Número de Carbonos	CONCENTRACIÓN ppm
1	METANO	P	50.196	1	50.196
2	ETILENO	O	0.535	2	1.07
3	ETANO	P	2.347	2	4.694
4	PROPANO	P	0.732	3	2.196
5	iC4	I	1.407	4	5.628
6	nC4	P	5.437	4	21.748
7	t-BUTENO-2	O	0.676	4	2.704
8	c-BUTENO-2	O	0.539	4	2.156
TOTAL			61.869	24	90.392

Tabla 4.27 Resultados Cromatográficos para GNC a plena Carga

Por otra parte, y como parte de los resultados se tienen los valores de las prestaciones del motor en las diferentes condiciones de prueba, los valores de las variables que intervienen directamente en los resultados de los experimentos y datos de reactividad específica evaluados en algunas condiciones de prueba para determinados combustibles, a continuación se muestran los resultados de forma breve.

REACTIVIDAD ESPECÍFICA DE HIDROCARBUROS			
Prueba	Combustible	Modo de Prueba	Reactividad Específica gO <sub>3</sub> / gHC
1.1	GLP	Ralentí	1.091025
4.1	PREMIUM	Ralentí	2.629098
4.2	PREMIUM	Media Carga	3.703229
4.3	PREMIUM	Plena Carga	3.290079
7.3	MAGNA-50%ETANOL	Plena Carga	3.04836

Tabla 4.28 Reactividad Específica para Algunos Combustibles

Gas Licuado de Petróleo																			
Par	Velocidad Angular	Potencia	Gasto de Combustible			Aire de Combustión				Gases de Escape				Aire de Difusión			Gasto de Gases de Muestra		
			lb-ft	RPM	Hp	NL/min	Gasto Másico [kg/s]	Velocidad [m/s]	Área de la Sección [m <sup>2</sup> ]	Temp Amb. [K]	Gasto Másico [kg/s]	Temp g.e. [K]	Ah g.e. [m] Hg	Cd.	Gasto Volumétrico [m <sup>3</sup> /s]	Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]		Temp a.d. [K]	Ah a.d. [m] H2O
ralentí	4.4	1025	0.8	0.84	2.33408E-05	0.75	0.002206183	296.15	0.001501914	428.15	0.009	0.546	0.0006018	0.627853161	296.15	0.175	0.36351	0.0039575	2.04708291E-04
1/2 carga	39.3	2529	19.1	80.94	0.002249053	3.8	0.002206183	298.15	0.007558654	674.816	0.021	0.2860	0.0006042	0.398353523	296.15	0.266	0.30095	0.0040394	2.04708291E-04
plena carga	82.4	2382	37.7	119.8	0.003328843	5	0.002206183	300.15	0.009879326	781.483	0.048	0.177	0.0006096	0.343981035	296.15	0.393	0.2546	0.0041537	2.04708291E-04

Magna																			
Par	Velocidad Angular	Potencia	Gasto de Combustible			Aire de Combustión				Gases de Escape				Aire de Difusión			Gasto de Gases de Muestra		
			lb-ft	RPM	Hp	kg/h	Gasto Másico [kg/s]	Velocidad [m/s]	Área de la Sección [m <sup>2</sup> ]	Temp Amb. [K]	Gasto Másico [kg/s]	Temp g.e. [K]	Ah g.e. [m] Hg	Cd.	Gasto Volumétrico [m <sup>3</sup> /s]	Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]		Temp a.d. [K]	Ah a.d. [m] H2O
ralentí	1.9	1412	3.2	1.8	0.0005	2	0.002463009	288.15	0.004595485	465.15	0.027	0.304	0.0006054	0.577911063	288.15	0.175	0.36852	0.0039575	2.04708291E-04
1/2 carga	49.2	3039	31	6.1	0.001694444	4.8	0.002463009	298.15	0.010659244	610.82	0.031	0.248	0.0006062	0.440089275	298.15	0.266	0.29994	0.0040394	2.04708291E-04
plena carga	96.1	3070	58.5	15.7	0.004361111	8.4	0.002463009	299.15	0.018591321	836.78	0.051	0.166	0.0006102	0.321249708	299.15	0.392	0.25359	0.0041528	2.04708291E-04

Magna-5%Etanol																			
Par	Velocidad Angular	Potencia	Gasto de Combustible			Aire de Combustión				Gases de Escape				Aire de Difusión			Gasto de Gases de Muestra		
			lb-ft	RPM	Hp	kg/h	Gasto Másico [kg/s]	Velocidad [m/s]	Área de la Sección [m <sup>2</sup> ]	Temp Amb. [K]	Gasto Másico [kg/s]	Temp g.e. [K]	Ah g.e. [m] Hg	Cd.	Gasto Volumétrico [m <sup>3</sup> /s]	Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]		Temp a.d. [K]	Ah a.d. [m] H2O
ralentí	3.3	900	0.56	1.7	0.000472222	2.1	0.002463009	288.15	0.004825259	494.81	0.012	0.441	0.0006024	0.543269803	288.15	0.177	0.36660	0.003959	2.04708291E-04
1/2 carga	48	2520	23.03	8.9	0.002472222	4.8	0.002463009	289.15	0.01099102	824.81	0.033	0.207	0.0006066	0.325911823	289.15	0.265	0.30508	0.0040385	2.04708291E-04
plena carga	94.9	2640	47.7	20.5	0.005694444	8	0.002463009	290.15	0.018255233	843.15	0.048	0.171	0.0006096	0.318822668	290.15	0.391	0.25776	0.0041519	2.04708291E-04

Premium																			
Par	Velocidad Angular	Potencia	Gasto de Combustible			Aire de Combustión				Gases de Escape				Aire de Difusión			Gasto de Gases de Muestra		
			lb-ft	RPM	Hp	kg/h	Gasto Másico [kg/s]	Velocidad [m/s]	Área de la Sección [m <sup>2</sup> ]	Temp Amb. [K]	Gasto Másico [kg/s]	Temp g.e. [K]	Ah g.e. [m] Hg	Cd.	Gasto Volumétrico [m <sup>3</sup> /s]	Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]		Temp a.d. [K]	Ah a.d. [m] H2O
ralentí	4.2	1149	0.8	3.6	0.001	2	0.002463009	300.15	0.004411757	434.817	0.012	0.47	0.0006024	0.61822636	300.15	0.178	0.35827	0.003960	2.04708291E-04
1/2 carga	47	3022	28	6.8	0.001888889	5	0.002463009	302.15	0.010956387	564.15	0.025	0.287	0.0006005	0.4764962	302.15	0.269	0.29648	0.0040421	2.04708291E-04
plena carga	95.6	3050	54.7	10	0.002777778	8.5	0.002463009	307.45	0.018304775	808.15	0.0485	0.174	0.0006097	0.332630491	307.45	0.396	0.24909	0.0041564	2.04708291E-04

Magna-15%Etanol																			
Par	Velocidad Angular	Potencia	Gasto de Combustible			Aire de Combustión				Gases de Escape					Aire de Dilusión			Gasto de Gases de Muestra	
			kg/h	Gasto Másico [kg/s]	Velocidad [m/s]	Área de la Sección [m <sup>2</sup> ]	Temp Amb. [K]	Gasto Másico [kg/s]	Temp g.e. [K]	Δh g.e. [m/Hg]	Cd.	Gasto Volumétrico [m <sup>3</sup> /s]	Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	Temp a.d. [K]	Δh a.d. [m/H <sub>2</sub> O]	Cd.	Gasto Volumétrico [m <sup>3</sup> /s]		
lb-ft	RPM	Hp																	
ralentí	5.1	1140	1.1	1.7	0.000472222	1.9	0.002463009	288.15	0.004365711	489.81	0.0096	0.495	0.00060192	0.548815522	288.15	0.1765	0.36708	0.00395885	2.04708291E-04
1/2 carga	47	3026	27.07	8	0.002222222	5.1	0.002463009	290.15	0.011637711	736.48	0.025	0.251	0.00060500	0.365000178	290.15	0.2675	0.30329	0.00404075	2.04708291E-04
plena carga	80	3180	48.43	16.8	0.004666667	8.3	0.002463009	291.15	0.018874753	766.48	0.06	0.161	0.00061200	0.350714084	291.15	0.395	0.25624	0.0041555	2.04708291E-04

Magna-30%Etanol																			
Par	Velocidad Angular	Potencia	Gasto de Combustible			Aire de Combustión				Gases de Escape					Aire de Dilusión			Gasto de Gases de Muestra	
			kg/h	Gasto Másico [kg/s]	Velocidad [m/s]	Área de la Sección [m <sup>2</sup> ]	Temp Amb. [K]	Gasto Másico [kg/s]	Temp g.e. [K]	Δh g.e. [m/Hg]	Cd.	Gasto Volumétrico [m <sup>3</sup> /s]	Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	Temp a.d. [K]	Δh a.d. [m/H <sub>2</sub> O]	Cd.	Gasto Volumétrico [m <sup>3</sup> /s]		
lb-ft	RPM	Hp																	
ralentí	3.2	1160	0.7	4.3	0.001194444	2.1	0.002463009	289.15	0.004808571	476.48	0.0105	0.481	0.00060209	0.56416918	289.15	0.179	0.36408	0.0039611	2.04708291E-04
1/2 carga	48.6	2960	27.57	6.2	0.001722222	4.4	0.002463009	291.15	0.010005893	754.81	0.0255	0.246	0.00060510	0.35613642	291.15	0.269	0.30203	0.0040421	2.04708291E-04
plena carga	97	3120	57.62	19.6	0.005444444	8.6	0.002463009	292.15	0.019490031	898.15	0.051	0.162	0.00061020	0.302668841	292.15	0.3977	0.25508	0.00415793	2.04708291E-04

Magna-50%Etanol																			
Par	Velocidad Angular	Potencia	Gasto de Combustible			Aire de Combustión				Gases de Escape					Aire de Dilusión			Gasto de Gases de Muestra	
			kg/h	Gasto Másico [kg/s]	Velocidad [m/s]	Área de la Sección [m <sup>2</sup> ]	Temp Amb. [K]	Gasto Másico [kg/s]	Temp g.e. [K]	Δh g.e. [m/Hg]	Cd.	Gasto Volumétrico [m <sup>3</sup> /s]	Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	Temp a.d. [K]	Δh a.d. [m/H <sub>2</sub> O]	Cd.	Gasto Volumétrico [m <sup>3</sup> /s]		
lb-ft	RPM	Hp																	
ralentí	7.7	1150	1.68	4.1	0.001138889	2	0.002463009	288.15	0.004595485	483.15	0.0123	0.44	0.00060246	0.556380691	288.15	0.1783	0.36537	0.00396047	2.04708291E-04
1/2 carga	42	2460	19.67	6.5	0.001805556	4.5	0.002463009	291.15	0.0102333	713.15	0.0295	0.235	0.00060590	0.376940799	291.15	0.2695	0.30178	0.00404255	2.04708291E-04
plena carga	89.2	2496	42.39	15.5	0.004305556	8.5	0.002463009	293.15	0.019197691	741.48	0.0582	0.166	0.00061164	0.362538883	293.15	0.3968	0.25488	0.00415712	2.04708291E-04

Gas Natural Comprimido																			
Par	Velocidad Angular	Potencia	Gasto de Combustible		Aire de Combustión				Gases de Escape					Aire de Dilusión			Gasto de Gases de Muestra		
			NL/min	Gasto Másico [kg/s]	Velocidad [m/s]	Área de la Sección [m <sup>2</sup> ]	Temp Amb. [K]	Gasto Másico [kg/s]	Temp g.e. [K]	Δh g.e. [m/Hg]	Cd.	Gasto Volumétrico [m <sup>3</sup> /s]	Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	Temp a.d. [K]	Δh a.d. [m/H <sub>2</sub> O]	Cd.		Gasto Volumétrico [m <sup>3</sup> /s]	
lb-ft	RPM	Hp																	
ralentí	4.8	1176	1	1.4	1.58667E-05	0.7	0.002181278	296.15	0.001385962	478.15	0.007	0.586	0.0006014	0.562198747	296.15	0.177	0.36162	0.0039593	2.04708291E-04
1/2 carga	34.8	1366	8.1	52.24	0.000592053	3	0.002181278	298.15	0.005899994	624.816	0.023	0.284	0.0006046	0.43023119	298.15	0.2685	0.29870	0.00404165	2.04708291E-04
plena carga	62.6	1655	19.9	106.86	0.00121108	4.4	0.002181278	299.15	0.008624398	678.15	0.038	0.213	0.0006076	0.396395091	299.15	0.396	0.25252	0.0041564	2.04708291E-04

## **CAPÍTULO 5 ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

### **5.1 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

Una vez que se cuenta con los listados que proporcionan los cromatogramas y los parámetros que intervinieron en los muestreos, se procede, en base al diseño del experimento a procesar la información, de tal forma que se tengan valores de emisión de contaminantes en función del gasto de combustible, así como de la potencia entregada por el motor, en cada condición de carga ensayada y para cada combustible usado.

Las matrices de resultados obtenidas en los ensayos, tienen datos tanto de las prestaciones del motor, así como de los parámetros que intervienen para el muestreo de los gases productos de la combustión en la cámara de dilución. Esta información, al ser introducida en las ecuaciones de diseño, proporciona valores de emisión total y emisión específica de contaminantes.

La interpretación de dichos valores en cada combustible, así como la comparación entre éstos lleva a realizar conclusiones finales con respecto al uso de combustibles no convencionales en el motor ensayado. A continuación se presentan las matrices del análisis de los resultados que se obtuvieron en el capítulo de desarrollo experimental, seguidas de las gráficas comparativas de cada combustible por condición de ensayo.

Emissiones de cada tipo de combustible, ensayados a Ralenti:

Prueba 1.1		Combustible: GLP		Modo: Ralenti		
No	Elemento	Concentración [ppm]	Masa Diferencial del Contaminante [mg/s]	Emisión Total del Contaminante [mg/kg]	Emisión Específica del Contaminante [mg/kW-h]	
1	METANO	2.675	3.3337865148E-04	1,284.154	180.88	
2	ETILENO	6.388	7.9612068250E-04	3,066.607	431.95	
3	ACETILENO	0.8	9.9702026612E-05	384.046	54.09	
4	ETANO	2.536	3.1605542436E-04	1,217.426	171.48	
5	PROPILENO	7.434	9.2648108229E-04	3,568.747	502.67	
6	PROPANO	179.682	2.2393324432E-02	86,257.689	12,149.80	
7	iC4	27.316	3.4043256987E-03	13,113.250	1,847.06	
8	nC4	81.944	1.0212478586E-02	39,337.830	5,540.92	
9	iC5	6.525	8.1319465456E-04	3,132.375	441.21	
	TOTAL	315.3	3.9295061239E-02	151,362.125	21,320.07	

Tabla 5.1 Emisiones Totales y Especificas para GLP a Ralenti

Prueba 2.1		Combustible: Magna		Modo: Ralenti		
No	Elemento	Concentración [ppm]	Masa Diferencial del Contaminante [mg/s]	Emisión Total del Contaminante [mg/kg]	Emisión Específica del Contaminante [mg/kW-h]	
1	METANO	20.853	2.5053135703E-03	1,626.774	1,227.12	
2	ETILENO	22.148	2.6608969910E-03	1,727.799	1,303.33	
3	ACETILENO	62.908	7.5578701423E-03	4,907.549	3,701.90	
4	ETANO	2.998	3.6018462972E-04	233.879	176.42	
5	PROPILENO	9.735	1.1695788427E-03	759.442	572.87	
6	PROPANO	1.062	1.2759041920E-04	82.848	62.49	
7	iC4	3.676	4.4164066006E-04	286.770	216.32	
8	i-BUTILENO	8.264	9.9285049368E-04	644.687	486.31	
9	BUTENO-1	3.216	3.8637550674E-04	250.885	189.25	
10	13-BUTADIENO	3.556	4.2722366354E-04	277.409	209.26	
11	nC4	21.272	2.5556529164E-03	1,659.461	1,251.78	
12	i-BUTENO-2	3.872	4.6518842104E-04	302.061	227.85	
13	22DMC3	2.625	3.1537179887E-04	204.780	154.47	
14	c-BUTENO-2	3.9	4.6855238690E-04	304.245	229.50	
15	12-BUTADIENO	2.324	2.7920916594E-04	181.299	136.76	
16	3M-BUTENO-1	1.488	1.7877075685E-04	116.081	87.56	
17	iC5	133.89	1.6085763867E-02	10,444.963	7,878.93	
18	PENTENO-1	5.77	6.9321724934E-04	450.126	339.54	
19	2M-BUTENO-1	9.47	1.1377413087E-03	738.769	557.27	
20	nC5	67.335	8.0897371723E-03	5,252.906	3,962.41	
21	ISOPRENO	7.14	8.5781129294E-04	557.002	420.16	
22	i-PENTENO-2	14.86	1.7853047357E-03	1,159.251	874.46	
23	c-PENTENO-2	7.925	9.5212247851E-04	618.241	466.36	
24	2M-BUTENO-2	19.61	2.3559775146E-03	1,529.806	1,153.98	
25	c-13-PENTADIENO	5.275	6.3374713869E-04	411.511	310.41	
26	22DMC4	34.896	4.1924625880E-03	2,722.290	2,053.50	
27	4M-PENTENO-1	2.484	2.9843182796E-04	193.781	146.17	
28	CYC5	10.356	1.2441867997E-03	807.887	609.41	
29	23DMC4	44.67	5.3667269546E-03	3,484.775	2,628.66	
30	2MC5	98.088	1.1784452955E-02	7,651.994	5,772.11	
31	O6 (3)	2.748	3.3014922031E-04	214.376	161.71	
32	MTBE	47.628	5.7221059188E-03	3,715.533	2,802.73	
33	3MC5	55.806	6.7046242316E-03	4,353.511	3,283.98	
34	O6 (5)	5.016	6.0263045453E-04	391.306	295.17	
35	HEXENO-1	3.66	4.3971839386E-04	285.522	215.38	
36	nC6	42.432	5.0978499695E-03	3,310.185	2,496.97	
37	O6 (6)	4.512	5.4207906915E-04	351.988	265.51	
38	i-HEXENO-2	7.326	8.8015763754E-04	571.512	431.11	
39	2M-PENTENO-2	8.28	9.9477275988E-04	645.935	487.25	
40	O6 (8)	5.64	6.7759883644E-04	439.985	331.89	
41	c-HEXENO-2	3.738	4.4908944160E-04	291.607	219.97	
42	22DMC5	7.819	9.3938746491E-04	609.972	460.12	

Tabla 5.2-a Emisiones Totales y Especificas para Gasolina Magna a Ralenti

Prueba 2.1		Combustible: Magna		Modo: Ralentí	
No	Elemento	Concentración [ppm]	Masa Diferencial del Contaminante [mg/s]	Emisión Total del Contaminante [mg/kg]	Emisión Específica del Contaminante [mg/kW-h]
43	MCYC5	32.347	3.8862215536E-03	2,523.439	1,903.50
44	24DMC5	51.898	6.2351107116E-03	4,048.642	3,054.00
45	BENCENO	47.85	5.7487773623E-03	3,732.851	2,815.79
46	CYC6	14.728	1.7694460396E-03	1,148.954	866.69
47	2MC6 y 23DMC5	88.018	1.0574626664E-02	6,866.418	5,179.53
48	3MC6	28.791	3.4589978901E-03	2,246.030	1,694.24
49	c-13DMCYC5	7.889	9.4779737955E-04	615.433	464.24
50	t-13DMCYC5	5.292	6.3578954653E-04	412.837	311.41
51	t-12DMCYC5 y 3EC5	9.149	1.0991758430E-03	713.727	538.38
52	224TMC5	241.432	2.9006035865E-02	18,834.478	14,207.37
53	nC7	21.791	2.6180064264E-03	1,699.949	1,282.32
54	MCYC6	25.336	3.0439085319E-03	1,976.500	1,490.93
55	ECYC5 o 223TMC5	6.944	8.3426353196E-04	541.712	408.63
56	25DMC6 y 223TMC5	44.584	5.3563947737E-03	3,478.066	2,623.60
57	24DMC6 o 223TMC5	32.344	3.8858611287E-03	2,523.205	1,903.32
58	234TMC5	104.968	1.2611027423E-02	8,188.713	6,176.98
59	TOLUENO	209.482	2.5167510542E-02	16,342.010	12,327.23
60	23DMC6	26.632	3.1996120943E-03	2,077.603	1,567.19
61	2MC7	20.984	2.5210521248E-03	1,636.994	1,234.83
62	3MC7	26.152	3.1419441083E-03	2,040.157	1,538.95
63	225TMC6	29.754	3.5746942871E-03	2,321.155	1,750.91
64	nC8	35.368	4.2491694410E-03	2,759.112	2,081.27
65	ETILBZ	48.04	5.7716042735E-03	3,747.674	2,826.97
66	m-XILENO	71.728	8.6175193865E-03	5,595.610	4,220.93
67	p-XILENO	37.872	4.5500041017E-03	2,954.452	2,228.63
68	4MC8	11.296	1.3559185227E-03	880.438	664.14
69	2MC8	14.364	1.7257144834E-03	1,120.558	845.27
70	3MC8	17.883	2.1484929064E-03	1,395.080	1,052.35
71	o-XILENO	38.28	4.5990218899E-03	2,986.281	2,252.64
72	nC9	34.146	4.1023563598E-03	2,663.781	2,009.36
73	iC3BZ	9.504	1.1418261244E-03	741.422	559.27
74	nC3BZ	14.94	1.7949160667E-03	1,165.492	879.16
75	1M3EBZ (METOL)	34.227	4.1120878324E-03	2,670.100	2,014.13
76	1M4EBZ (PETOL)	15.831	1.9019622659E-03	1,235.000	931.60
77	23DMC8	18.08	2.1721608090E-03	1,410.448	1,063.94
78	4MC9	7.73	9.2869485916E-04	603.029	454.88
79	1M2EBZ (OETOL) y 2MC9	19.99	2.4016313370E-03	1,559.450	1,176.34
80	124TMBZ	2.439	2.9302545427E-04	190.270	143.53
81	nC10	20.75	2.4929389816E-03	1,618.739	1,221.06
82	123TMBZ	4.077	4.8981745677E-04	318.053	239.92
	TOTAL	2363.171	2.8391523403E-01	184,354.567	139,063.80

Tabla 5.2-b Emisiones Totales y Específicas para Gasolina Magna a Ralentí

Prueba 3.1		Combustible: Magna-5%Etanol		Modo: Ralenti	
No	Elemento	Concentración [ppm]	Masa Diferencial del Contaminante [mg/s]	Emisión Total del Contaminante [mg/kg]	Emisión Especifica del Contaminante [mg/kW-h]
1	METANO	24.894	2.9938013617E-03	2.286.696	9.309.09
2	ETILENO	23.17	2.7864697337E-03	2.128.334	8.664.40
3	ACETILENO	60.424	7.2667099852E-03	5.550.386	22.595.49
4	ETANO	3.024	3.6367218276E-04	277.776	1.130.82
5	PROPILENO	7.269	8.7418422504E-04	667.711	2.718.23
6	PROPANO	1.998	2.4028340647E-04	183.531	747.15
7	PROPINO	0.873	1.0498869562E-04	80.191	326.46
8	PROPADIENO	1.587	1.9085573877E-04	145.778	593.46
9	IC4	3.16	3.8002781003E-04	290.269	1.181.68
10	I-BUTILENO	6.408	7.7083867300E-04	588.622	2.396.26
11	BUTENO-1	2.512	3.0209805658E-04	230.746	939.36
12	13-BUTADIENO	2.404	2.8910976434E-04	220.825	898.97
13	nC4	20.566	2.4721049566E-03	1.888.219	7.686.89
14	I-BUTENO-2	3.436	4.1322011243E-04	315.622	1.284.89
15	22DMC3	2.695	3.2410599621E-04	247.555	1.007.79
16	c-BUTENO-2	3.472	4.1754954317E-04	318.929	1.298.35
17	IC5	135.91	1.6344803690E-02	12.484.326	50.823.40
18	PENTENO-1	4.855	5.8387184104E-04	445.967	1.815.52
19	2M-BUTENO-1	10.995	1.3222803074E-03	1.009.971	4.111.57
20	nC5	68.01	8.1790162532E-03	6.247.215	25.432.27
21	ISOPRENO	1.865	2.2428856510E-04	171.314	697.41
22	I-PENTENO-2	15.55	1.8700735589E-03	1.428.381	5.814.91
23	c-PENTENO-2	7.64	9.1880141413E-04	701.790	2.856.97
24	2M-BUTENO-2	14.33	1.7233539613E-03	1.316.315	5.358.69
25	I-13-PENTADIENO	26.635	3.2031774431E-03	2.446.619	9.960.13
26	c-13-PENTADIENO	3.655	4.3955748280E-04	335.738	1.366.78
27	22DMC4	32.304	3.8849425238E-03	2.967.358	12.080.05
28	4M-PENTENO-1	2.124	2.5543641408E-04	195.105	794.27
29	23DMC4	10.26	1.2338877629E-03	942.456	3.836.72
30	2MC5	104.256	1.2538031444E-02	9.576.675	38.986.42
31	MTBE	45.978	5.5294046360E-03	4.223.415	17.193.42
32	3MC5	89.988	1.0822133724E-02	8.266.055	33.650.92
33	nC6	43.248	5.2010894710E-03	3.972.645	16.172.54
34	O6 (8)	5.868	7.0569721179E-04	539.019	2.194.33
35	I-HEXENO-2	5.55	6.6745390686E-04	509.808	2.075.42
36	2M-PENTENO-2	6.33	7.6125823971E-04	581.457	2.367.10
37	O6 (8)	5.25	6.3137531730E-04	482.251	1.963.23
38	c-HEXENO-2	4.86	5.8447315087E-04	446.426	1.817.39
39	22DMC5	9.275	1.1154297272E-03	851.976	3.468.38
40	MCYC5	30.042	3.6129099585E-03	2.759.577	11.234.17

Tabla 5.3-a Emisiones Totales y Especificas para Gasolina Magna-5% de Etanol a Ralenti

Prueba 3.1		Combustible: Magna-5%Etanol		Modo: Ralenti	
No	Elemento	Concentración [ppm]	Masa Diferencial del Contaminante [mg/s]	Emisión Total del Contaminante [mg/kg]	Emisión Específica del Contaminante [mg/kW-h]
41	24DMC5	56.091	6.7456138900E-03	5.152.368	20.975.17
42	BENCENO	55.722	6.7012372249E-03	5.118.473	20.837.18
43	CYC6	13.32	1.6018893765E-03	1.223.539	4.981.00
44	2MC6 Y 23DMC5	94.885	1.1411056568E-02	8.715.880	35.482.15
45	3MC6	30.422	3.6586095053E-03	2.794.483	11.376.27
46	c-13DMCYC5	7.028	8.4520109142E-04	645.573	2.628.11
47	l-13DMCYC5	5.523	6.6420683380E-04	507.328	2.065.32
48	l-12DMCYC5 y 3EC5	7.077	8.5109392772E-04	650.074	2.646.44
49	224TMC5	262.28	3.1542308233E-02	24.092.333	98.079.33
50	nC7	23.709	2.8512909329E-03	2.177.845	8.865.96
51	25DMC6 y 223TMC5	51.384	6.1795408198E-03	4.719.996	19.214.99
52	24DMC6 o 223TMC5	35.456	4.2640082381E-03	3.256.892	13.258.73
53	234TMC5	116.304	1.3986947601E-02	10.683.372	43.491.76
54	233TMC5	113.576	1.3658872960E-02	10.432.785	42.471.63
55	TOLUENO	159.971	1.9238426835E-02	14.694.504	59.820.99
56	23DMC6	30.576	3.6771298479E-03	2.808.629	11.433.86
57	2MC7	22.32	2.6842470633E-03	2.050.255	8.346.54
58	4MC7	9.096	1.0939028356E-03	835.534	3.401.44
59	l-13DMCYC5	8.47	1.0186188452E-03	778.031	3.167.35
60	nC8	41.336	4.9711485935E-03	3.797.013	15.457.55
61	ETILBZ	63.208	7.6015182963E-03	5.806.116	23.636.56
62	m-XILENO	92.248	1.1093925766E-02	8.473.652	34.496.04
63	p-XILENO	44.152	5.3098062875E-03	4.055.684	16.510.59
64	4MC8	15.543	1.8692317251E-03	1.427.738	5.812.29
65	2MC8	17.631	2.1203387084E-03	1.619.536	6.593.09
66	3MC8	14.292	1.7187840066E-03	1.312.825	5.344.48
67	o-XILENO	47.896	5.7600670852E-03	4.399.597	17.910.66
68	nC9	38.304	4.6065143150E-03	3.518.502	14.323.74
69	35DMC8	9.29	1.1172336567E-03	853.354	3.473.99
70	nC3BZ	21.078	2.5348817025E-03	1.936.168	7.882.10
71	1M3EBZ (METOL)	43.839	5.2721642924E-03	4.026.932	16.393.55
72	1M4EBZ (PETOL)	17.361	2.0878679778E-03	1.594.735	6.492.13
73	23DMC8	24.8	2.9824967370E-03	2.278.061	9.273.93
74	1M2EBZ (OETOL) Y 2MC9	19.458	2.3400573189E-03	1.787.359	7.276.30
75	3MC9	11.03	1.3264894762E-03	1.013.186	4.124.66
76	124TMBZ	42.795	5.1466108007E-03	3.931.033	16.003.15
77	nC10	35.02	4.2115740213E-03	3.216.843	13.095.69
	TOTAL	2555.151	3.0728748064E-01	234.709.277	955.496.02

Tabla 5.3-b Emisiones Totales y Específicas para Gasolina Magna-5% de Etanol a Ralenti

Prueba 4.1		Combustible: Premium	Modo: Ralenti		
No	Elemento	Concentración [ppm]	Masa Diferencial del Contaminante [mg/s]	Emisión Total del Contaminante [mg/kg]	Emisión Específica del Contaminante [mg/kW-h]
1	METANO	18.174	2.1791570974E-03	705.752	4.259.00
2	ETILENO	17.716	2.1242405159E-03	687.967	4.151.67
3	ACETILENO	48.976	5.8724770552E-03	1.901.889	11.477.33
4	ETANO	3.26	3.9089095067E-04	126.596	763.97
5	PROPILENO	7.314	8.7698662981E-04	284.025	1.714.01
6	iC4	2.028	2.4316774477E-04	78.753	475.25
7	i-BUTILENO	5.068	6.0767955153E-04	196.806	1.187.67
8	BUTENO-1	2.9	3.4772507881E-04	112.616	679.60
9	13-BUTADIENO	2.724	3.2662176369E-04	105.781	638.36
10	nC4	11.924	1.4297495999E-03	463.046	2.794.34
11	i-BUTENO-2	3.024	3.6259332356E-04	117.431	708.66
12	22DMC3	3.276	3.9280943386E-04	127.217	767.72
13	c-BUTENO-2	2.912	3.4916394121E-04	113.082	682.42
14	iC5	80.09	9.6032074352E-03	3.110.141	18.768.76
15	PENTENO-1	3.855	4.6223454442E-04	149.701	903.40
16	2M-BUTENO-1	6.005	7.2003072354E-04	233.193	1.407.25
17	nC5	40.03	4.7998051396E-03	1,554.488	9,380.87
18	ISOPRENO	1.945	2.3321561320E-04	75.530	455.80
19	t-PENTENO-2	8.665	1.0389785545E-03	336.489	2,030.61
20	c-PENTENO-2	5	5.9952599795E-04	194.165	1,171.73
21	2M-BUTENO-2	11.605	1.3914998413E-03	450.658	2,719.58
22	t-13-PENTADIENO	3.375	4.0469004862E-04	131.062	790.92
23	c-13-PENTADIENO	19.155	2.2967840982E-03	743.847	4,488.90
24	CICLOPENTENO	1.785	2.1403078127E-04	69.317	418.31
25	4M-PENTENO-1	2.49	2.9856394698E-04	96.694	583.52
26	CYC5	6.53	7.8298095333E-04	253.580	1,530.28
27	23DMC4	27.09	3.2482318569E-03	1,051.988	6,348.43
28	2MC5	60.03	7.1979091314E-03	2,331.149	14,067.79
29	3MC5	34.248	4.1065132756E-03	1,329.955	8,025.88
30	MTBE	25.134	3.0136972865E-03	976.030	5,890.05
31	nC6	27.882	3.3431967750E-03	1,082.744	6,534.03
32	O6 (6)	2.952	3.5396014919E-04	114.635	691.79
33	t-HEXENO-2	3.366	4.0360090182E-04	130.712	788.81
34	2M-PENTENO-2	3.798	4.5539994805E-04	147.488	890.05
35	O6 (8)	3.414	4.0935635140E-04	132.576	800.06
36	c-HEXENO-2	4.662	5.5899804049E-04	181.040	1,092.52
37	22DMC5	5.74	6.8825584565E-04	222.902	1,345.15
38	MCYC5	16.782	2.0122490595E-03	651.697	3,932.79
39	24DMC5	29.904	3.5856450886E-03	1,161.264	7,007.88
40	BENCENO	33.51	4.0180232383E-03	1,301.296	7,852.93
41	CYC6	8.316	9.9713163980E-04	322.936	1,948.82
42	2MC6 Y 23DMC5	57.246	6.8640930558E-03	2,223.038	13,415.37
43	3MC6	17.682	2.1201637392E-03	686.646	4,143.70
44	c-13DMCYC5	4.27	5.1199520225E-04	165.817	1,000.66

Tabla 5.4-a Emisiones Totales y Especificas para Gasolina Premium a Ralenti

Prueba 4.1		Combustible: Premium		Modo: Ralentí	
No	Elemento	Concentración [ppm]	Masa Diferencial del Contaminante [mg/s]	Emisión Total del Contaminante [mg/kg]	Emisión Específica del Contaminante [mg/kW-h]
45	t-12DMCYC5 y 3EC5	4.459	5.3465728498E-04	173.157	1.044.95
46	224TMC5	162.184	1.9446704890E-02	6.298.103	38.007.16
47	nc7	17.997	2.1579338770E-03	698.879	4.217.52
48	MCYC6	14.266	1.7105675774E-03	553.993	3.343.18
49	ECYC5 o 223TMC5	6.643	7.9653024088E-04	257.968	1.556.76
50	25DMC6 y 223TMC5	34.2	4.1007578260E-03	1.328.091	8.014.63
51	24DMC6 o 223TMC5	20.352	2.4403106221E-03	790.331	4.769.41
52	ctc-124TMCYC5	7.728	9.2662738244E-04	300.102	1.811.03
53	ctc-123TMCYC5	4.736	5.6787102526E-04	183.913	1.109.86
54	234TMC5	76.768	9.2048823622E-03	2.981.137	17.990.27
55	233TMC5	71.488	8.5717829083E-03	2.776.099	16.752.92
56	TOLUENO	100.086	1.2000831806E-02	3.886.647	23.454.75
57	23DMC6	19.176	2.2993021074E-03	744.663	4.493.82
58	2MC7	15.968	1.9146462271E-03	620.086	3.742.04
59	4MC7	9.528	1.1424567417E-03	370.002	2.232.85
60	3MC7	28.128	3.3726934541E-03	1.092.297	6.591.68
61	t-1E3MCCYC5	16.728	2.0057741788E-03	649.600	3.920.14
62	nc8	34.272	4.1093910004E-03	1.330.887	8.031.50
63	nc3CYC5 y ctc-123TMCYC6	7.506	9.0000842813E-04	291.481	1.759.00
64	26DMC7	7.218	8.6547573065E-04	280.297	1.691.51
65	114TMCYC6 o 33DMC7	5.652	6.7770418809E-04	219.485	1.324.52
66	ETILBZ	46.52	5.5779898850E-03	1.806.515	10.901.77
67	m-XILENO	67.32	8.0720180364E-03	2.614.242	15.776.17
68	p-XILENO	38.328	4.5957264899E-03	1.488.394	8.982.01
69	4MC8	13.743	1.6478571580E-03	533.683	3.220.62
70	2MC8	14.94	1.7913836819E-03	580.166	3.501.13
71	3MC8	5.31	6.3669660983E-04	206.204	1.244.38
72	3MC8	12.321	1.4773519642E-03	478.462	2.887.38
73	o-XILENO	34.8	4.1727009458E-03	1.351.391	8.155.24
74	c-1E3MCCYC6	7.065	8.4713023511E-04	274.356	1.655.65
75	nc9	32.715	3.9226986046E-03	1.270.424	7.666.63
76	t-1E3MCCYC6	7.389	8.8597951978E-04	286.938	1.731.58
77	iC3BZ	8.586	1.0295060437E-03	333.421	2.012.09
78	33DMC8	10.26	1.2302273478E-03	398.427	2.404.39
79	nc3BZ	12.204	1.4633230558E-03	473.919	2.859.96
80	1M3EBZ (METOL)	36.486	4.3748611123E-03	1.416.863	8.550.35
81	1M4EBZ (PETOL)	17.208	2.0633286746E-03	668.240	4.032.62
82	23DMC8	18.87	2.2626111163E-03	732.780	4.422.11
83	1M2EBZ (OETOL) Y 2MC9	18.48	2.2158480884E-03	717.635	4.330.71
84	3EC8	18.06	2.1654879046E-03	701.325	4.232.29
85	3EC9	10.428	1.2503714213E-03	404.951	2.443.76
86	124TMBZ	34.083	4.0867289177E-03	1.323.548	7.987.21
	TOTAL	1816.051	2.1775395762E-01	70.522.839	425.584.14

Tabla 5.4-b Emisiones Totales y Específicas para Gasolina Premium a Ralentí

Prueba 5.1		Combustible: Magna-15%Etanol		Modo: Ralentí	
No	Elemento	Concentración [ppm]	Masa Diferencial del Contaminante [mg/s]	Emisión Total del Contaminante [mg/kg]	Emisión Específica del Contaminante [mg/kW-h]
1	METANO	10.111	1.1934235804E-03	824.632	1.709.06
2	ETILENO	8.62	1.0174375693E-03	703.029	1.457.04
3	ACETILENO	21.034	2.4826893077E-03	1.715.489	3.555.37
4	PROPILENO	3.147	3.7144733533E-04	256.663	531.94
5	nC4	8.784	1.0367948502E-03	716.405	1.484.76
6	iC5	64.535	7.6172080666E-03	5.263.339	10.908.34
7	PENTENO-1	3.16	3.7298175394E-04	257.723	534.13
8	2M-BUTENO-1	4.135	4.8806314954E-04	337.242	698.94
9	nC5	36.155	4.2674542132E-03	2,948.726	6,111.27
10	i-PENTENO-2	8.175	9.6491324002E-04	666.736	1,381.82
11	c-PENTENO-2	4.145	4.8924347155E-04	338.057	700.63
12	2M-BUTENO-2	7.56	8.9232343664E-04	616.578	1,277.87
13	i-13-PENTADIENO	6.32	7.4596350788E-04	515.446	1,068.27
14	c-13-PENTADIENO	1.805	2.1304812211E-04	147.212	305.10
15	BENCENO	12.672	1.4957040462E-03	1,033.502	2,141.95
16	3MC6	13.93	1.6441885546E-03	1,136.101	2,354.58
17	c-13DMCYC5	3.01	3.5527692385E-04	245.489	508.78
18	i-13DMCYC5	3.066	3.6188672708E-04	250.057	518.25
19	i-13DMCYC5 y 3EC5	2.968	3.5031957142E-04	242.064	501.68
20	224TMC5	100.728	1.1889147503E-02	8,215.164	17,026.03
21	nC7	4.109	4.8499431232E-04	335.121	694.54
22	MCYC6	8.61	1.0162572473E-03	702.213	1,455.35
23	25DMC6 y 223TMC5	3.608	4.2586017982E-04	294.261	609.86
24	24DMC6 o 223TMC5	18.992	2.2416675541E-03	1,548.948	3,210.21
25	234TMC5	50.904	6.0083111401E-03	4,151.623	8,604.29
26	TOLUENO	167.692	1.9793055785E-02	13,676.606	28,344.94
27	23DMC6	11.336	1.3380130262E-03	924.540	1,916.12
28	2MC7	10.92	1.2889116307E-03	890.612	1,845.81
29	4MC7	5.44	6.4209517134E-04	443.675	919.52
30	3MC7	11.08	1.3077967828E-03	903.661	1,872.85
31	i-1E3MCYC5	12.969	1.5307596098E-03	1,057.724	2,192.15
32	nC8	15.064	1.7780370701E-03	1,228.588	2,546.26
33	ETILBZ	38.864	4.5872034447E-03	3,169.666	6,569.17
34	m-XILENO	73.648	8.6928355108E-03	6,006.576	12,448.70
35	p-XILENO	34.832	4.1112976118E-03	2,840.825	5,887.64
36	4MC8	5.4	6.3737388332E-04	440.413	912.76
37	2MC8	8.649	1.0208605031E-03	705.394	1,461.94
38	3MC8	4.833	5.7044962557E-04	394.169	816.92
39	o-XILENO	41.136	4.8553726045E-03	3,354.966	6,953.21
40	nC9	19.629	2.3168540659E-03	1,600.900	3,317.89
41	nC3BZ	14.598	1.7230340646E-03	1,190.582	2,467.50
42	1M3EBZ (METOL)	37.584	4.4361222279E-03	3,065.272	6,352.81
43	1M4EBZ (PETOL)	16.947	2.0002917038E-03	1,382.162	2,864.55
44	23DMC8	22.31	2.6332983957E-03	1,819.557	3,771.05
45	4MC9	6.16	7.2707835578E-04	502.397	1,041.22
46	1M2EBZ (OETOL) Y 2MC9	4.79	5.6537424094E-04	390.662	809.65
47	3EC8	19.28	2.2756608278E-03	1,572.436	3,258.89
48	3EC9	6.18	7.2943899980E-04	504.028	1,044.60
49	124TMBZ	33.939	4.0058948566E-03	2,767.993	5,736.70
	TOTAL	1033.563	1.2199371536E-01	84,295.221	174,702.91

Tabla 5.5 Emisiones Totales y Específicas para Gasolina Magna-15% de Etanol a Ralentí

Prueba 6.1		Combustible: Magna-30%Etanol		Modo: Ralenti	
No	Elemento	Concentración [ppm]	Masa Diferencial del Contaminante [mg/s]	Emisión Total del Contaminante [mg/kg]	Emisión Específica del Contaminante [mg/kVh-h]
1	METANO	12.66	1.5122208025E-03	498.737	4,108.53
2	ETILENO	11.392	1.3607598248E-03	448.785	3,697.02
3	ACETILENO	29.212	3.4893360254E-03	1,150.798	9,480.12
4	ETANO	1.152	1.3760492610E-04	45.383	373.86
5	PROPILENO	4.002	4.7803377973E-04	157.658	1,298.76
6	iC4	2.132	2.5466467226E-04	83.990	691.89
7	i-BUTILENO	1.944	2.3220831279E-04	76.583	630.88
8	13-BUTADIENO	1.092	1.3043800287E-04	43.019	354.38
9	nC4	9.864	1.1782421797E-03	388.589	3,201.15
10	i-BUTENO-2	1.908	2.2790815885E-04	75.165	619.20
11	c-BUTENO-2	1.688	2.0162944033E-04	66.498	547.80
12	iC5	70.36	8.4044119795E-03	2,771.812	22,833.80
13	PENTENO-1	3.615	4.3180712487E-04	142.412	1,173.17
14	2M-BUTENO-1	3.655	4.3658507370E-04	143.988	1,186.15
15	nC5	42.12	5.0311801105E-03	1,659.305	13,669.13
16	i-PENTENO-2	9.665	1.1544718843E-03	380.750	3,136.56
17	c-PENTENO-2	4.92	5.8768770522E-04	193.822	1,596.68
18	2M-BUTENO-2	10.765	1.2858654770E-03	424.084	3,493.55
19	22DMC4	7.188	8.5859740348E-04	283.169	2,332.71
20	CICLOPENTENO	2.035	2.4307814637E-04	80.168	660.41
21	CYC5	5.262	6.2853916766E-04	207.295	1,707.67
22	23DMC4	14.568	1.7401289613E-03	573.902	4,727.73
23	2MC5	38.082	4.5488461769E-03	1,500.230	12,358.68
24	3MC5	22.896	2.7348979062E-03	901.981	7,430.40
25	OB (S)	5.886	7.0307516929E-04	231.877	1,910.17
26	HEXENO-1	1.626	1.9422361965E-04	64.056	527.68
27	nC6	1.722	2.0569069683E-04	67.838	558.84
28	MCYC5	13.224	1.5795898809E-03	520.956	4,291.56
29	24DMC5	10.248	1.2241104884E-03	403.717	3,325.76
30	BENCENO	22.644	2.7047968287E-03	892.054	7,348.62
31	2MC6 Y 23DMC5	28.938	3.4566070760E-03	1,140.004	9,391.20
32	3MC6	19.887	2.3754767060E-03	783.443	6,453.89
33	2241MC5	113.096	1.3509172502E-02	4,455.385	36,702.84
34	MCYC6	13.888	1.6589038313E-03	547.114	4,507.05
35	ECYC5 o 223TMC5	4.288	5.1219611382E-04	168.925	1,391.58
36	25DMC6 y 223TMC5	20.36	2.4319759509E-03	802.076	6,607.39
37	24DMC6 o 223TMC5	15.552	1.8576665024E-03	612.667	5,047.06
38	234TMC5	52.448	6.2648464966E-03	2,066.174	17,020.85
39	TOLUENO	89.586	1.0700933081E-02	3,529.215	29,073.18
40	23DMC6	13.472	1.6092131636E-03	530.726	4,372.04
41	2MC7	11.296	1.3492927476E-03	445.003	3,665.87
42	4MC7	4.704	5.6188678158E-04	185.313	1,526.58
43	3MC7	12.296	1.4687414682E-03	484.397	3,990.40
44	i-1E3MCYC5	13.504	1.6130355226E-03	531.986	4,382.43
45	nC8	17.888	2.1366987136E-03	704.693	5,805.16
46	ETILBZ	31.832	3.8022916733E-03	1,254.013	10,330.38
47	m-XILENO	50.928	6.0832844414E-03	2,006.294	16,527.57
48	p-XILENO	23.976	2.8639025245E-03	944.528	7,780.89
49	4MC8	5.697	6.8049936111E-04	224.432	1,848.84
50	2MC8	6.354	7.5897717052E-04	250.314	2,062.05
51	3MC8	6.903	8.2455451812E-04	271.942	2,240.22
52	o-XILENO	29.232	3.4917249998E-03	1,151.586	9,486.61
53	nC9	14.733	1.7598380002E-03	580.402	4,781.27
54	nC3BZ	8.541	1.0202115224E-03	336.470	2,771.80
55	1M3EBZ (METOL)	23.472	2.8037003693E-03	924.673	7,617.33
56	1M4EBZ (PETOL)	8.298	9.9118548332E-04	326.897	2,692.93
57	124TMBZ	22.743	2.7166222520E-03	895.954	7,380.74
58	nC10	13.31	1.5898624708E-03	524.344	4,319.47
	TOTAL	1044.749	1.2479393137E-01	41,157.590	339,050.48

Tabla 5.6 Emisiones Totales y Específicas para Gasolina Magna-30% de Etanol a Ralenti

Prueba 7.1		Combustible: Magna-50%Etanol		Modo: Ralentí		
No	Elemento	Concentración [ppm]	Masa Diferencial del Contaminante [mg/s]	Emisión Total del Contaminante [mg/kg]	Emisión Específica del Contaminante [mg/kW-h]	
1	METANO	5.996	7.1026615288E-04	237.788	778.22	
2	ETILENO	4.094	4.8496157937E-04	162.359	531.36	
3	ACETILENO	7.132	8.4483292233E-04	282.839	925.66	
4	ETANO	0.824	9.7608290522E-05	32.678	106.95	
5	PROPILENO	1.44	1.7057759509E-04	57.107	186.90	
6	PROPANO	1.17	1.3859429601E-04	46.400	151.85	
7	iC4	1.812	2.1464347382E-04	71.860	235.18	
8	nC4	4.704	5.5722014395E-04	186.550	610.53	
9	iC5	32.835	3.8895245380E-03	1,302.160	4,261.64	
10	PENTENO-1	1.455	1.7235444450E-04	57.702	188.84	
11	2M-BUTENO-1	1.915	2.2684451013E-04	75.944	248.55	
12	nC5	18.12	2.1464347382E-03	718.597	2,351.79	
13	l-PENTENO-2	3.965	4.6968066981E-04	157.243	514.62	
14	c-PENTENO-2	2.095	2.4816670952E-04	83.083	271.91	
15	2M-BUTENO-2	3.895	4.6138870338E-04	154.467	505.53	
16	22DMC4	2.466	2.9211413159E-04	97.796	320.06	
17	23DMC4	6.954	8.2374763628E-04	275.780	902.58	
18	2MC5	16.578	1.9637745634E-03	657.445	2,151.65	
19	3MC5	11.298	1.3383233815E-03	448.053	1,466.36	
20	nC6	10.512	1.2452164441E-03	416.882	1,364.35	
21	MCYC5	5.796	6.8657482023E-04	229.856	752.26	
22	24DMC5	6.09	7.2140107922E-04	241.515	790.42	
23	BENCENO	9.492	1.1243906476E-03	376.431	1,231.96	
24	CYC6	3.516	4.1649362800E-04	139.436	456.34	
25	2MC6 Y 23DMC5	15.33	1.8159406477E-03	607.952	1,989.68	
26	3MC6	7.721	9.1460389699E-04	306.197	1,002.11	
27	224TMC5	52.8	6.2545118199E-03	2,093.926	6,852.89	
28	nC7	7.819	9.2621264999E-04	310.084	1,014.83	
29	MCYC6	3.577	4.2371948446E-04	141.856	464.26	
30	25DMC6 y 223TMC5	9.688	1.1476081536E-03	384.204	1,257.40	
31	24DMC6 o 223TMC5	8.696	1.0300991437E-03	344.863	1,128.65	
32	234TMC5	23.752	2.8135826656E-03	941.950	3,082.76	
33	TOLUENO	56.84	6.7330767394E-03	2,254.143	7,377.24	
34	23DMC6	5.944	7.0410640639E-04	235.725	771.47	
35	2MC7	5.904	6.9936813986E-04	234.139	766.28	
36	3MC7	5.432	6.4345659480E-04	215.421	705.02	
37	225TMC6	7.335	8.6887962498E-04	290.889	952.01	
38	nC8	8.504	1.0073554643E-03	337.249	1,103.73	
39	26DMC7	42.552	5.0405679348E-03	1,687.514	5,522.81	
40	ETILBZ	41.067	4.8646597899E-03	1,628.623	5,330.07	
41	m-XILENO	79.008	9.3590240505E-03	3,133.275	10,254.42	
42	p-XILENO	79.08	9.3675529302E-03	3,136.131	10,263.76	
43	o-XILENO	41.936	4.9675986303E-03	1,663.085	5,442.86	
44	nC9	8.586	1.0170689107E-03	340.501	1,114.37	
45	nC3BZ	5.49	6.5032708127E-04	217.721	712.55	
46	1M3EBZ (METOL)	18.675	2.2121781863E-03	740.607	2,423.82	
47	1M4EBZ (PETOL)	8.577	1.0160028007E-03	340.144	1,113.21	
48	23DMC8	12.6	1.4925539570E-03	499.687	1,635.35	
49	3MC9	6.32	7.4864611177E-04	250.637	820.27	
50	124TMBZ	19.62	2.3241197331E-03	778.084	2,546.47	
51	nC10	20.13	2.3845326313E-03	798.309	2,612.67	
	TOTAL	767.137	9.0872489279E-02	30,422.886	99,566.44	

Tabla 5.7 Emisiones Totales y Específicas para Gasolina Magna-50% de Etanol a Ralentí

Prueba 8.1		Combustible: GNC		Modo: Ralentí		
No	Elemento	Concentración [ppm]	Masa Diferencial del Contaminante [mg/s]	Emisión Total del Contaminante [mg/kg]	Emisión Específica del Contaminante [mg/kW-h]	
1	METANO	40.942	5.4678413962E-03	31,830.199	2,438.20	
2	ETILENO	2.21	2.9514751320E-04	1,718.156	131.61	
3	ACETILENO	0.652	8.7075193941E-05	506.895	38.83	
4	ETANO	7.292	9.7385324266E-04	5,669.137	434.26	
5	PROPANO	4.539	6.0618758481E-04	3,528.828	270.31	
6	iC4	4.136	5.5236656770E-04	3,215.517	246.31	
7	nC4	15.344	2.0492051776E-03	11,929.133	913.77	
8	l-BUTENO-2	4.736	6.3249711427E-04	3,681.985	282.04	
9	c-BUTENO-2	1.58	2.1101043930E-04	1,228.365	94.09	
	TOTAL	81.431	1.0875184230E-02	63,308.215	4,849.42	

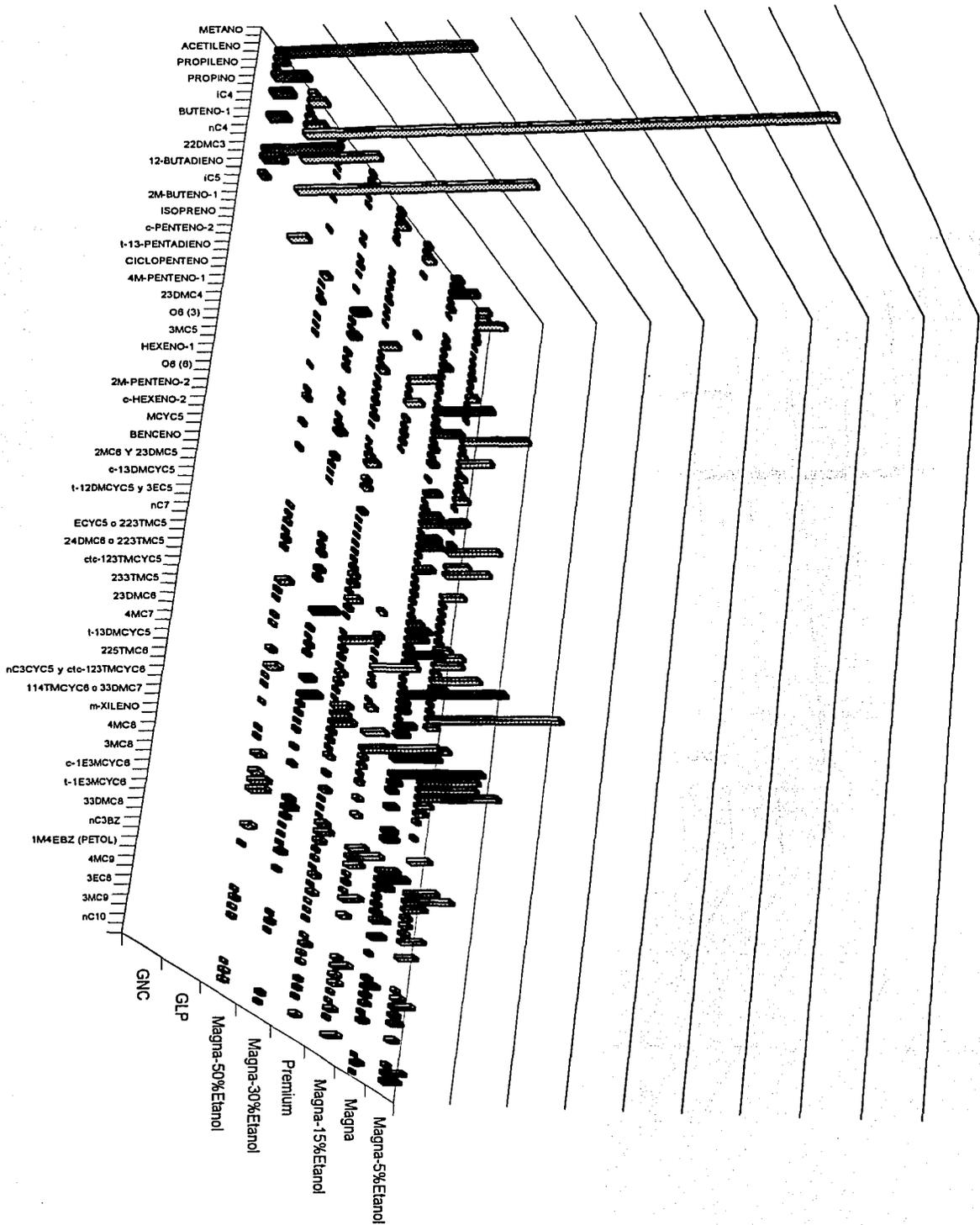
Tabla 5.8 Emisiones Totales y Específicas para GNC a Ralentí

Prueba 7.1		Combustible: Magna-50%Etanol		Modo: Ralenti		
No	Elemento	Concentración [ppm]	Masa Diferencial del Contaminante [mg/s]	Emisión Total del Contaminante [mg/kg]	Emisión Específica del Contaminante [mg/kW-h]	
1	METANO	5.996	7.1026615288E-04	237.788	778.22	
2	ETILENO	4.094	4.8496157937E-04	162.359	531.36	
3	ACETILENO	7.132	8.4483292233E-04	282.839	925.66	
4	ETANO	0.824	9.7608290522E-05	32.678	106.95	
5	PROPILENO	1.44	1.7057759509E-04	57.107	186.90	
6	PROPANO	1.17	1.3859429601E-04	46.400	151.85	
7	iC4	1.812	2.1464347382E-04	71.860	235.18	
8	nC4	4.704	5.5722014395E-04	186.550	610.53	
9	iC5	32.835	3.8895245380E-03	1,302.160	4,261.64	
10	PENTENO-1	1.455	1.7235444504E-04	57.702	188.84	
11	2M-BUTENO-1	1.915	2.2684451013E-04	75.944	248.55	
12	nC5	18.12	2.1464347382E-03	718.597	2,351.79	
13	l-PENTENO-2	3.965	4.6968066981E-04	157.243	514.62	
14	c-PENTENO-2	2.095	2.4816670952E-04	83.083	271.91	
15	2M-BUTENO-2	3.895	4.6138870338E-04	154.467	505.53	
16	22DMC4	2.466	2.9211413159E-04	97.796	320.06	
17	23DMC4	6.954	8.2374763628E-04	275.780	902.56	
18	2MC5	16.578	1.9637745634E-03	657.445	2,151.65	
19	3MC5	11.298	1.3383233815E-03	448.053	1,466.36	
20	nC6	10.512	1.2452164441E-03	416.882	1,364.35	
21	MCYC5	5.796	6.8657482023E-04	229.856	752.26	
22	24DMC5	6.09	7.2140107922E-04	241.515	790.42	
23	BENCENO	9.492	1.1243906476E-03	376.431	1,231.96	
24	CYC6	3.516	4.1649362800E-04	139.436	456.34	
25	2MC6 y 23DMC5	15.33	1.8159406477E-03	607.952	1,989.68	
26	3MC6	7.721	9.1460389699E-04	306.197	1,002.11	
27	224TMC5	52.8	6.2545118199E-03	2,093.926	6,852.89	
28	nC7	7.819	9.2621264999E-04	310.084	1,014.83	
29	MCYC6	3.577	4.2371948446E-04	141.856	464.26	
30	25DMC6 y 223TMC5	9.688	1.1476081536E-03	384.204	1,257.40	
31	24DMC6 o 223TMC5	8.696	1.0300991437E-03	344.863	1,128.65	
32	234TMC5	23.752	2.8135826656E-03	941.950	3,082.76	
33	TOLUENO	56.84	6.7330767394E-03	2,254.143	7,377.24	
34	23DMC6	5.944	7.0410640639E-04	235.725	771.47	
35	2MC7	5.904	6.9936813986E-04	234.139	766.28	
36	3MC7	5.432	6.4345659480E-04	215.421	705.02	
37	225TMC6	7.335	8.6887962498E-04	290.889	952.01	
38	nC8	8.504	1.0073554643E-03	337.249	1,103.73	
39	26DMC7	42.552	5.0405679348E-03	1,687.514	5,522.81	
40	ETILBZ	41.067	4.8646597899E-03	1,628.623	5,330.07	
41	m-XILENO	79.008	9.3590240505E-03	3,133.275	10,254.42	
42	p-XILENO	79.08	9.3675529302E-03	3,136.131	10,263.76	
43	o-XILENO	41.936	4.9675986303E-03	1,663.085	5,442.86	
44	nC9	8.586	1.0170689107E-03	340.501	1,114.37	
45	nC3BZ	5.49	6.5032708127E-04	217.721	712.55	
46	1M3EBZ (METOL)	18.675	2.2121781863E-03	740.607	2,423.82	
47	1M4EBZ (PETOL)	8.577	1.0160028007E-03	340.144	1,113.21	
48	23DMC8	12.6	1.4925539570E-03	499.687	1,635.35	
49	3MC9	6.32	7.4864611177E-04	250.637	820.27	
50	124TMBZ	19.62	2.3241197331E-03	778.084	2,546.47	
51	nC10	20.13	2.3845326313E-03	798.309	2,612.87	
	TOTAL	767.137	9.0872489279E-02	30,422.886	99,566.44	

Tabla 5.7 Emisiones Totales y Específicas para Gasolina Magna-50% de Etanol a Ralenti

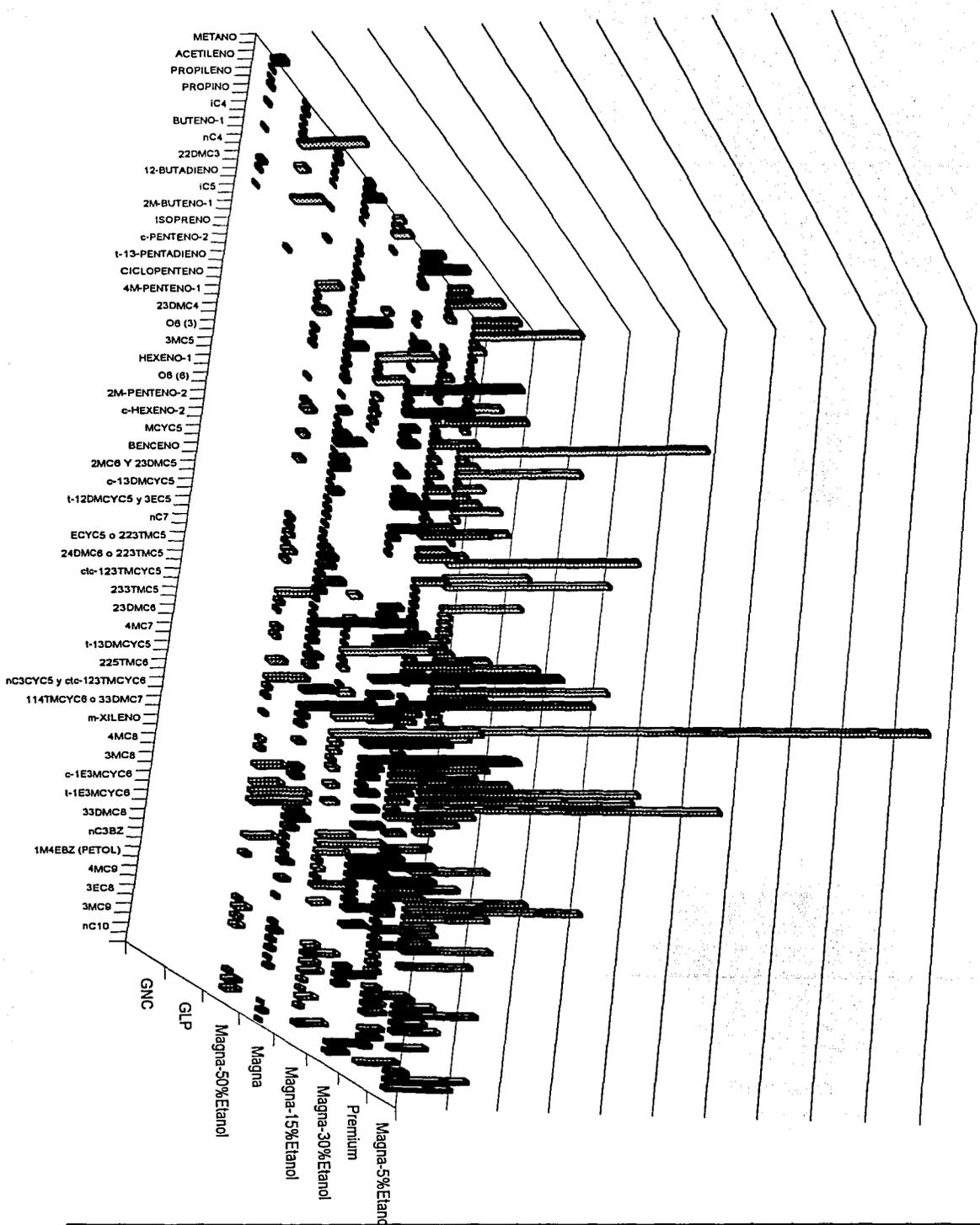
Prueba 8.1		Combustible: GNC		Modo: Ralenti		
No	Elemento	Concentración [ppm]	Masa Diferencial del Contaminante [mg/s]	Emisión Total del Contaminante [mg/kg]	Emisión Específica del Contaminante [mg/kW-h]	
1	METANO	40.942	5.4678413962E-03	31,830.199	2,438.20	
2	ETILENO	2.21	2.9514751320E-04	1,718.156	131.61	
3	ACETILENO	0.652	8.7075193941E-05	506.895	38.83	
4	ETANO	7.292	9.7385324266E-04	5,669.137	434.26	
5	PROPANO	4.539	6.0618758481E-04	3,528.828	270.31	
6	iC4	4.136	5.5236656770E-04	3,215.517	246.31	
7	nC4	15.344	2.0492051776E-03	11,929.133	913.77	
8	l-BUTENO-2	4.736	6.3249711427E-04	3,681.985	282.04	
9	c-BUTENO-2	1.58	2.1101043930E-04	1,228.365	94.09	
	TOTAL	81.431	1.0875184230E-02	63,308.215	4,849.42	

Tabla 5.8 Emisiones Totales y Específicas para GNC a Ralenti



Emisión Total de Contaminantes (Ralenti)

Emisión Específica de Contaminantes (Ralenti)



Emissiones de cada tipo de combustible, ensayados a Media Carga:

Prueba 1.2		Combustible: GLP		Modo: Media Carga	
No	Elemento	Concentración [ppm]	Masa Diferencial del Contaminante [mg/s]	Emisión Total del Contaminante [mg/kg]	Emisión Específica del Contaminante [mg/kW-h]
1	METANO	2.557	3.1697828254E-04	130.266	74.05
2	ACETILENO	5.736	7.1106274096E-04	292.219	166.12
3	PROPANO	13.74	1.7032779046E-03	699.980	397.92
4	iC4	2.216	2.7470624721E-04	112.893	64.18
5	nC4	5.316	6.5899747750E-04	270.822	153.95
TOTAL		29.565	3.6650226528E-03	1,506.181	856.21

Tabla 5.9 Emisiones Totales y Especificas para GLP a Media Carga

Prueba 2.2		Combustible: Magna		Modo: Media Carga	
No	Elemento	Concentración [ppm]	Masa Diferencial del Contaminante [mg/s]	Emisión Total del Contaminante [mg/kg]	Emisión Específica del Contaminante [mg/kW-h]
1	METANO	3.815	4.5764544760E-04	283.799	74.89
2	ETILENO	6.944	8.3299868626E-04	516.566	136.31
3	ACETILENO	2.098	2.5167500631E-04	156.071	41.18
4	ETANO	1.584	1.9001582936E-04	117.834	31.09
5	PROPILENO	6.552	7.8597456688E-04	487.405	128.62
6	i-BUTILENO	7.86	9.4288157748E-04	584.708	154.29
7	BUTENO-1	2.744	3.2916883570E-04	204.127	53.86
8	13-BUTADIENO	2.404	2.8838260970E-04	178.834	47.19
9	nC4	1.836	2.2024562039E-04	136.581	36.04
10	iC5	10.29	1.2343831339E-03	765.476	201.99
11	nC5	5.53	6.6337596991E-04	411.378	108.55
12	2M-BUTENO-2	3.145	3.7727259048E-04	233.957	61.74
13	2MC5	8.574	1.0285326521E-03	637.822	168.31
14	3MC5	4.518	5.4197696782E-04	336.095	88.69
15	nC6	3.456	4.1457999132E-04	257.093	67.84
16	MCCY5	3.354	4.0234412352E-04	249.505	65.84
17	BENCENO	8.244	9.8894602096E-04	613.274	161.83
18	224TMC5	21.248	2.5488992059E-03	1,580.645	417.10
19	25DMC6 y 223TMC5	4.72	5.6620878444E-04	351.122	92.65
20	234TMC5	13.688	1.6420054749E-03	1,018.254	268.70
21	TOLUENO	29.029	3.4823039838E-03	2,159.476	569.84
22	ETILBZ	5.528	6.6313605093E-04	411.230	108.51
23	m-XILENO	9.016	1.0815547459E-03	670.703	176.98
24	p-XILENO	4.552	5.4605559042E-04	338.625	89.36
25	O-XILENO	6	7.1975692938E-04	446.342	117.78
26	1M3EBZ (METOL)	5.661	6.7909066287E-04	421.123	111.13
TOTAL		182.39	2.1879411058E-02	13,568.046	3,580.32

Tabla 5.10 Emisiones Totales y Especificas para Gasolina Magna a Media Carga

Prueba 3.2		Combustible: Magna-5%Etanol		Modo: Media Carga		
No	Elemento	Concentración [ppm]	Masa Diferencial del Contaminante [mg/s]	Emisión Total del Contaminante [mg/kg]	Emisión Específica del Contaminante [mg/kW-h]	
1	METANO	5.139	6.2201793243E-04	388.838	201.51	
2	ETILENO	5.126	6.2044442919E-04	387.855	201.00	
3	ACETILENO	1.252	1.5154046534E-04	94.732	49.09	
4	PROPILENO	3.462	4.1903601519E-04	261.949	135.75	
5	I-BUTILENO	3.712	4.4929569277E-04	280.865	145.56	
6	nC4	2.288	2.7693656925E-04	173.120	89.72	
7	iC5	8.09	9.7920316663E-04	612.123	317.23	
8	nC5	5.03	6.0882471300E-04	380.591	197.24	
9	ISOPRENO	0.88	1.0651406510E-04	66.584	34.51	
10	2M-BUTENO-2	2.03	2.4570858199E-04	153.598	79.60	
11	22DMC4	2.484	3.0066015648E-04	187.950	97.40	
12	23DMC4	3.006	3.6384236328E-04	227.447	117.87	
13	2MC5	6.762	8.1846375930E-04	511.641	265.15	
14	3MC5	5.238	6.3400076475E-04	396.329	205.39	
15	nC6	2.496	3.0211262100E-04	188.858	97.87	
16	I-HEXENO-2	3.15	3.8127193756E-04	238.342	123.52	
17	MCYC5	1.392	1.6848588479E-04	105.325	54.58	
18	24DMC5	3.542	4.2871911202E-04	268.003	138.89	
19	BENCENO	7.374	8.9253945003E-04	557.948	289.15	
20	2MC6 Y 23DMC5	4.522	5.4733704815E-04	342.153	177.32	
21	224TMC5	18.416	2.2290488896E-03	1,393.432	722.13	
22	25DMC6 y 223TMC5	2.68	3.2438374371E-04	202.780	105.09	
23	24DMC6 o 223TMC5	2.968	3.5924289228E-04	224.571	116.38	
24	234TMC5	8.968	1.0854751543E-03	678.556	351.66	
25	233TMC5	7	8.4727097237E-04	529.649	274.49	
26	TOLUENO	18.403	2.2274753863E-03	1,392.448	721.62	
27	m-XILENO	9.8	1.1861793613E-03	741.509	384.28	
28	p-XILENO	5.672	6.8653156504E-04	429.167	222.41	
29	o-XILENO	8.368	1.0128519281E-03	633.158	328.13	
30	1M3EBZ (METOL)	5.904	7.1461254583E-04	446.721	231.51	
31	4MC9	3.21	3.8853426018E-04	242.882	125.87	
32	124TMBZ	9.09	1.1002418770E-03	687.787	356.44	
	TOTAL	177.454	2.1478803304E-02	13,426.911	6,958.38	

Tabla 5.11 Emisiones Totales y Específicas para Gasolina Magna -5% Etanol a Media Carga

Prueba 4.2		Combustible: Premium		Modo: Media Carga		
No	Elemento	Concentración [ppm]	Masa Diferencial del Contaminante [mg/s]	Emisión Total del Contaminante [mg/kg]	Emisión Específica del Contaminante [mg/kW-h]	
1	METANO	5.579	6.7256049881E-04	360.156	117.29	
2	ETILENO	5.662	6.8256632807E-04	365.514	119.04	
3	ACETILENO	3.93	4.7376998751E-04	253.704	82.63	
4	ETANO	1.06	1.2778528925E-04	68.429	22.29	
5	PROPILENO	4.755	5.7322551924E-04	306.962	99.97	
6	I-BUTILENO	0.836	1.0078160549E-04	53.969	17.58	
7	BUTENO-1	3.604	4.3446998346E-04	232.659	75.77	
8	nC4	4.788	5.7720374051E-04	309.093	100.66	
9	iC5	24.17	2.9137456993E-03	1,560.311	508.16	
10	2M-BUTENO-1	2.345	2.8269481443E-04	151.383	49.30	
11	nC5	1.715	2.0674695384E-04	110.713	36.06	
12	2M-BUTENO-2	3.945	4.7557826991E-04	254.672	82.94	
13	c-13-PENTADIENO	3.32	4.0023317011E-04	214.325	69.80	
14	2MC5	7.854	9.4681666207E-04	507.020	165.12	
15	3MC5	2.43	2.9294174800E-04	156.870	51.09	
16	nC6	7.59	9.1499089192E-04	489.978	159.57	
17	BENCENO	11.292	1.3612749870E-03	728.963	237.41	
18	224TMC5	38.816	4.6793526299E-03	2,505.793	816.08	
19	234TMC5	12.032	1.4504835852E-03	776.734	252.96	
20	TOLUENO	5.516	6.6496571275E-04	356.089	115.97	
21	m-XILENO	20.128	2.4264738699E-03	1,299.377	423.18	
22	p-XILENO	6.888	8.3036327582E-04	444.659	144.82	
23	o-XILENO	10.472	1.2624222161E-03	676.027	220.17	
24	1M3EBZ (METOL)	5.931	7.1499485902E-04	382.880	124.70	
25	1M4EBZ (PETOL)	2.97	3.5803991423E-04	191.730	62.44	
26	124TMBZ	10.053	1.2119108612E-03	648.978	211.36	
	TOTAL	207.681	2.5036393073E-02	13,406.987	4,366.35	

Tabla 5.12 Emisiones Totales y Específicas para Gasolina Premium a Media Carga

Prueba 5.2		Combustible: Magna-15%Etanol		Modo: Media Carga	
No	Elemento	Concentración [ppm]	Masa Diferencial del Contaminante [mg/s]	Emisión Total del Contaminante [mg/kg]	Emisión Específica del Contaminante [mg/kW-h]
1	METANO	3.444	4.0493219521E-04	259.568	102.87
2	ETILENO	3.12	3.6683752876E-04	235.149	93.19
3	PROPILENO	2.042	2.4009045953E-04	153.902	60.99
4	I-BUTILENO	4.008	4.7124513310E-04	302.076	119.72
5	nC4	5.896	6.9322886846E-04	444.371	176.11
6	iC5	27.52	3.2356951255E-03	2.074.133	822.00
7	2M-BUTENO-1	2.17	2.5514020430E-04	163.549	64.82
8	nC5	13.645	1.6043263077E-03	1,028.399	407.57
9	1-PENTENO-2	3.17	3.727163351E-04	238.917	94.69
10	2M-BUTENO-2	3.995	4.6971664340E-04	301.096	119.33
11	22DMC4	4.932	5.7988547816E-04	371.716	147.32
12	23DMC4	6.858	8.0633710649E-04	516.875	204.84
13	2MC5	15.84	1.8624059153E-03	1,193.832	473.13
14	3MC5	10.032	1.1795237463E-03	756.094	299.65
15	nC6	10.05	1.1816401167E-03	757.450	300.19
16	MCYC5	3.438	4.0422673842E-04	259.116	102.69
17	24DMC5	4.445	5.2262590235E-04	335.012	132.77
18	BENCENO	5.01	5.8905641638E-04	377.595	149.65
19	224TMC5	29.592	3.4793128689E-03	2,230.296	883.89
20	234TMC5	14.88	1.7495328295E-03	1,121.479	444.46
21	TOLUENO	117.74	1.3843413666E-02	8,873.853	3,516.82
22	3MC7	8.904	1.0468978705E-03	671.079	265.96
23	nC8	9.384	1.1033344134E-03	707.255	280.29
24	ETILBZ	23.304	2.7399941571E-03	1,756.381	696.08
25	m-XILENO	47.76	5.6154360172E-03	3,599.586	1,426.56
26	p-XILENO	23.344	2.7446972024E-03	1,759.395	697.27
27	o-XILENO	30.384	3.5724331647E-03	2,289.988	907.55
28	nC9	14.85	1.7460055455E-03	1,119.218	443.56
29	24DMC8 y 22DMC8	14.11	1.6589992086E-03	1,063.445	421.46
30	33DMC8	17.07	2.0070245564E-03	1,286.535	509.87
31	1M3EBZ (METOL)	23.49	2.7618633175E-03	1,770.399	701.63
32	1M4EBZ (PETOL)	10.512	1.2359602892E-03	792.271	313.99
33	23DMC8	14.47	1.7013266158E-03	1,090.578	432.21
34	124TMBZ	66.915	7.8676068068E-03	5,043.263	1,998.71
35	nC10	20.33	2.3903227435E-03	1,532.236	607.24
	TOTAL	616.654	7.2503791494E-02	46,476.105	18,419.06

Tabla 5.13 Emisiones Totales y Específicas para Gasolina Magna -15% Etanol a Media Carga

Prueba 6.2		Combustible: Magna-30%Etanol		Modo: Media Carga	
No	Elemento	Concentración [ppm]	Masa Diferencial del Contaminante [mg/s]	Emisión Total del Contaminante [mg/kg]	Emisión Específica del Contaminante [mg/kW-h]
1	METANO	2.73	3.2310508434E-04	231.785	69.90
2	ETILENO	1.6	1.8936561720E-04	135.845	40.97
3	ACETILENO	7.86	9.3025859447E-04	667.338	201.25
4	nC4	5.62	6.6514673040E-04	477.155	143.90
5	iC5	4.3	5.0892009621E-04	365.083	110.10
6	nC5	3.115	3.6867118598E-04	264.473	79.76
7	2M-BUTENO-2	6.295	7.4503535015E-04	534.465	161.18
8	2MC5	2.472	2.9256987857E-04	209.880	63.29
9	3MC5	2.538	3.0038121028E-04	215.484	64.98
10	nC6	1.458	1.7255941867E-04	123.789	37.33
11	224TMC5	7.736	9.1558275914E-04	656.810	198.08
12	234TMC5	4.968	5.8798024139E-04	421.798	127.20
13	TOLUENO	14.161	1.6760040657E-03	1,202.312	362.58
14	m-XILENO	14.656	1.7345890535E-03	1,244.339	375.26
15	p-XILENO	6.84	8.0953801351E-04	580.737	175.13
16	o-XILENO	13.296	1.5736282789E-03	1,128.871	340.44
17	nC9	7.047	8.3403719024E-04	598.312	180.43
18	33DMC8	4.45	5.2667312283E-04	377.819	113.94
19	1M3EBZ (METOL)	10.458	1.2377410154E-03	887.916	267.77
20	1M4EBZ (PETOL)	3.339	3.9518237239E-04	283.491	85.49
21	23DMC8	11.23	1.3291099257E-03	953.461	287.54
22	124TMBZ	17.919	2.1207765591E-03	1,521.378	458.80
23	nC10	8.48	1.0036377711E-03	719.978	217.13
	TOTAL	162.568	1.9240493535E-02	13,802.518	4,162.45

Tabla 5.14 Emisiones Totales y Específicas para Gasolina Magna-30% Etanol a Media Carga

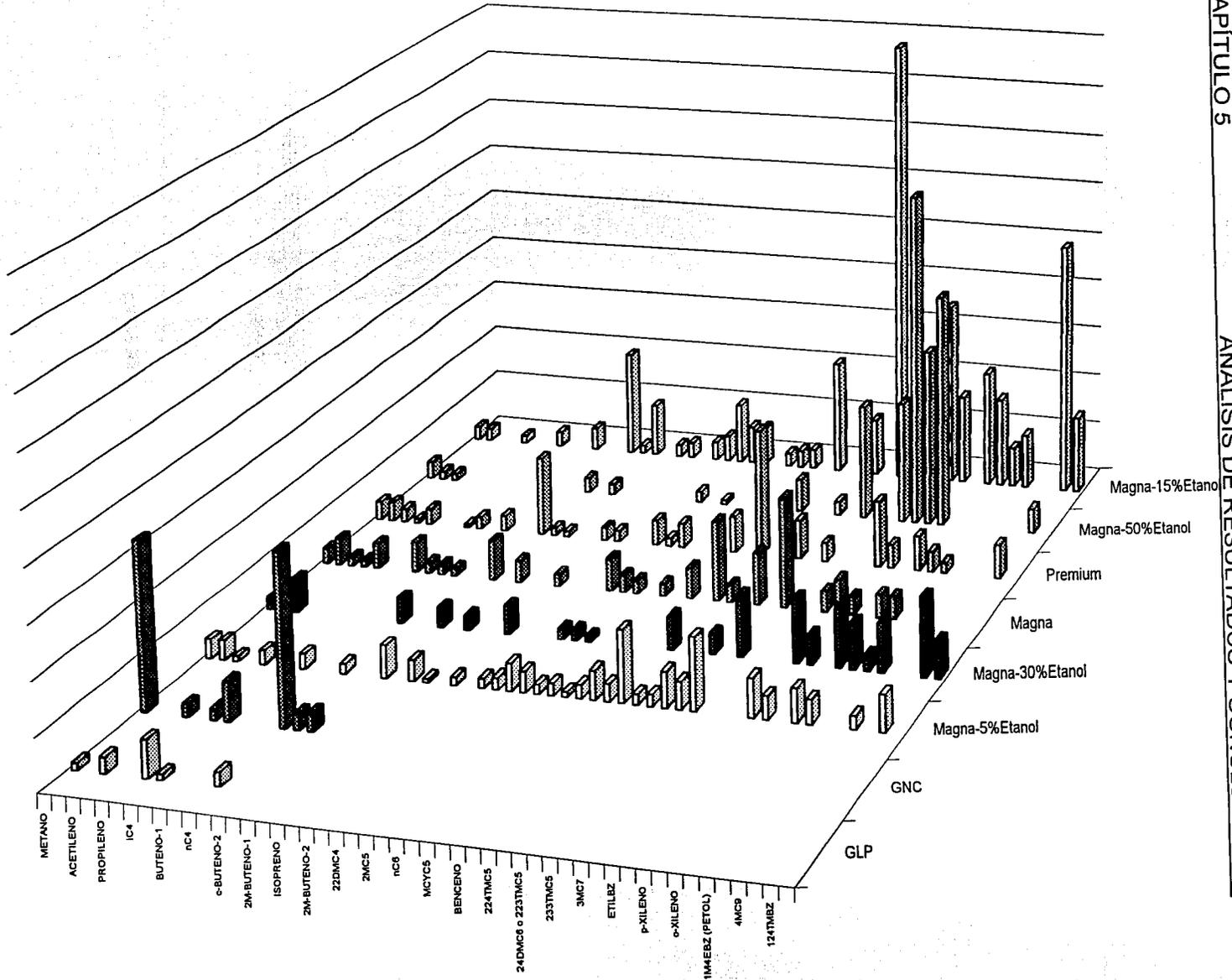
Prueba 7.2		Combustible: Magna-50%Etanol		Modo: Media Carga	
No	Elemento	Concentración [ppm]	Masa Diferencial del Contaminante [mg/s]	Emisión Total del Contaminante [mg/kg]	Emisión Específica del Contaminante [mg/kW-h]
1	METANO	4.145	4.8697776448E-04	322.867	143.08
2	ETILENO	1.88	2.2087290645E-04	146.439	64.89
3	ACETILENO	1.628	1.9126653814E-04	126.810	56.20
4	iC5	3.775	4.4350809673E-04	294.047	130.31
5	nC5	2.705	3.1779851699E-04	210.701	93.37
6	2MC5	2.724	3.2003074317E-04	212.181	94.03
7	nC6	1.038	1.2195004090E-04	80.853	35.83
8	224TMC5	8.432	9.9063848254E-04	656.795	291.06
9	234TMC5	3.472	4.0790996340E-04	270.445	119.85
10	TOLUENO	29.113	3.4203579391E-03	2,267.705	1,004.92
11	ETILBZ	30.744	3.6119769340E-03	2,394.748	1,061.22
12	m-XILENO	84.432	9.9195432113E-03	6,576.678	2,914.42
13	p-XILENO	44.608	5.2407971334E-03	3,474.660	1,539.78
14	23DMC7	59.094	6.9426933690E-03	4,603.021	2,039.80
15	124TMBZ	6.237	7.3275761570E-04	485.820	215.29
	TOTAL	284.027	3.3369079255E-02	22,123.771	9,804.02

Tabla 5.15 Emisiones Totales y Específicas para Gasolina Magna-50% Etanol a Media Carga

Prueba 8.2		Combustible: GNC		Modo: Media Carga	
No	Elemento	Concentración [ppm]	Masa Diferencial del Contaminante [mg/s]	Emisión Total del Contaminante [mg/kg]	Emisión Específica del Contaminante [mg/kW-h]
1	METANO	25.102	3.3335625573E-03	3,189.769	1,125.57
2	ETANO	1.822	2.4196283083E-04	231.526	81.70
3	PROPANO	1.596	2.1194987816E-04	202.807	71.56
4	iC4	5.904	7.8405518837E-04	750.235	264.74
5	nC4	25.564	3.3949164694E-03	3,248.477	1,146.29
6	t-BUTENO-2	2.288	3.0384794563E-04	290.741	102.59
7	c-BUTENO-2	2.576	3.4209454018E-04	327.338	115.51
	TOTAL	64.852	8.6123894100E-03	8,240.894	2,907.97

Tabla 5.16 Emisiones Totales y Específicas para GNC a Media Carga

# Emisión Total de Contaminantes (Media Carga)





Emissiones de cada tipo de combustible, ensayados a Plena Carga:

Prueba 1.3		Combustible: GLP		Modo: Plena Carga	
No	Elemento	Concentración [ppm]	Masa Diferencial del Contaminante [mg/s]	Emisión Total del Contaminante [mg/kg]	Emisión Específica del Contaminante [mg/kW-h]
1	METANO	2.377	2.9584385296E-04	130.266	55.53
2	ETILENO	6.402	7.9679947271E-04	350.848	149.56
3	ACETILENO	0.542	6.7457874760E-05	29.703	12.66
4	ETANO	1.144	1.4238341093E-04	62.694	26.73
5	PROPILENO	7.563	9.4129872105E-04	414.474	176.68
6	PROPANO	34.845	4.3368443653E-03	1,909.605	814.02
7	iC4	5.896	7.3382219480E-04	323.118	137.74
8	nC4	15.068	1.8753787027E-03	825.769	352.01
9	iC5	2.015	2.5078896244E-04	110.428	47.07
	TOTAL	75.852	9.4406175577E-03	4,156.905	1,771.99

Tabla 5.17 Emisiones Totales y Específicas para GLP a Plena Carga

Prueba 2.3		Combustible: Magna		Modo: Plena Carga	
No	Elemento	Concentración [ppm]	Masa Diferencial del Contaminante [mg/s]	Emisión Total del Contaminante [mg/kg]	Emisión Específica del Contaminante [mg/kW-h]
1	METANO	15.364	1.8589021543E-03	1,161.279	417.94
2	ETILENO	16.324	1.9750532912E-03	1,233.840	444.06
3	ACETILENO	12.228	1.4794751069E-03	924.246	332.63
4	ETANO	3.474	4.2032192684E-04	262.560	94.50
5	PROPANO	0.576	6.9690682170E-05	43.537	15.67
6	i-BUTILENO	8.528	1.0318092666E-03	644.584	231.98
7	13-BUTADIENO	3.284	3.9733368098E-04	248.219	89.33
8	nC4	4.892	5.9188683537E-04	369.759	133.08
9	iC5	27.235	3.2951835571E-03	2,058.541	740.87
10	nC5	13.075	1.5819542871E-03	988.266	355.68
11	2M-BUTENO-2	4.26	5.1542067022E-04	321.990	115.88
12	c-13-PENTADIENO	1.885	2.2806759703E-04	142.477	51.28
13	23DMC4	6.72	8.1305795865E-04	507.927	182.80
14	23DMC4	9.54	1.1542519234E-03	721.075	259.51
15	2MC5	22.992	2.7818197300E-03	1,737.837	625.44
16	3MC5	12.144	1.4693118824E-03	917.897	330.35
17	nC6	8.994	1.0881909643E-03	679.806	244.66
18	MCYC5	5.526	6.6859498207E-04	417.679	150.32
19	24DMC5	9.933	1.2018012951E-03	750.780	270.20
20	BENCENO	25.926	3.1368066423E-03	1,959.601	705.26
21	2MC6 y 23DMC5	15.988	1.9344003933E-03	1,208.444	434.92
22	3MC6	8.386	1.0146285776E-03	633.851	228.12
23	224TMC5	47.904	5.7959417338E-03	3,620.796	1,303.12
24	nC7	3.948	4.7767155071E-04	298.407	107.40
25	MCYC6	4.744	5.7398020176E-04	358.572	129.05
26	25DMC6 y 223TMC5	8.64	1.0453602325E-03	653.049	235.03
27	25DMC6 y 223TMC5	5.456	6.6012562833E-04	412.389	148.42
28	234TMC5	23.408	2.8321518893E-03	1,769.280	636.76
29	TOLUENO	61.607	7.4538782230E-03	4,656.529	1,675.88
30	23DMC6	3.624	4.3847054199E-04	273.918	98.58
31	2MC7	5.144	6.2237650882E-04	388.806	139.93
32	ETILBZ	11.872	1.4364023936E-03	897.338	322.95
33	m-XILENO	20.336	2.4604682511E-03	1,537.085	553.19
34	p-XILENO	7.968	9.6405443668E-04	602.257	216.75
35	3MC8	6.984	8.4499952131E-04	527.882	189.98
36	o-XILENO	12.136	1.4683439563E-03	917.292	330.13
37	nC9	8.937	1.0812944905E-03	675.498	243.11
38	1M3EBZ (METOL)	7.947	9.6151363056E-04	600.669	216.18
39	1M2EBZ (OETOL) y 2MC9	5.175	6.2612722262E-04	391.149	140.77
40	124TMBZ	7.065	8.5479977349E-04	534.004	192.19
41	nC10	4.43	5.3598910072E-04	334.839	120.51
	TOTAL	494.599	5.9841912692E-02	37,383.975	13,454.43

Tabla 5.18 Emisiones Totales y Específicas para Gasolina Magna a Plena Carga

Prueba 3.3		Combustible: Magna-5%Etanol		Modo: Plena Carga	
No	Elemento	Concentración [ppm]	Masa Diferencial del Contaminante [mg/s]	Emisión Total del Contaminante [mg/kg]	Emisión Específica del Contaminante [mg/kW-h]
1	METANO	25.832	3.1401791666E-03	1,580.615	910.96
2	ETILENO	27.85	3.3854904688E-03	1,704.093	982.12
3	ACETILENO	17.686	2.1499383997E-03	1,082.175	623.69
4	ETANO	2.952	3.5884983353E-04	180.628	104.10
5	PROPANO	1.629	1.9802384106E-04	99.676	57.45
6	i-BUTILENO	8.252	1.0031262962E-03	504.925	291.00
7	nC4	3.748	4.5561286452E-04	229.334	132.17
8	iC5	24.055	2.9241642092E-03	1,471.883	848.29
9	nC5	12.67	1.5401854305E-03	775.255	446.80
10	i-PENTENO-2	8.11	9.8586454944E-04	496.237	286.00
11	2M-BUTENO-2	5.325	6.4731550256E-04	325.827	187.78
12	22DMC4	7.668	9.3213432369E-04	469.192	270.41
13	4M-PENTENO-1	16.434	1.9977432806E-03	1,005.568	579.54
14	23DMC4	8.622	1.0481040870E-03	527.565	304.05
15	2MC5	19.5	2.3704511361E-03	1,193.171	687.66
16	3MC5	35.934	4.3681944167E-03	2,198.739	1,267.20
17	MCYC5	7.152	8.6940853978E-04	437.618	252.21
18	24DMC5	11.543	1.4031855110E-03	706.296	407.06
19	BENCENO	41.13	4.9998284733E-03	2,516.673	1,450.43
20	2MC6 Y 23DMC5	85.876	1.0439223680E-02	5,254.602	3,028.39
21	3MC6	6.132	7.4541571112E-04	375.206	216.24
22	224TMC5	53.512	6.5050041639E-03	3,274.306	1,887.08
23	nC7	5.005	6.0841579161E-04	306.247	176.50
24	ECYC5 o 223TMC5	7.434	9.0368891005E-04	454.873	262.16
25	25DMC6 y 223TMC5	10.776	1.3099477663E-03	659.365	380.01
26	24DMC6 o 223TMC5	9.992	1.2146434745E-03	611.393	352.36
27	234TMC5	23.648	2.8746886393E-03	1,446.980	833.94
28	TOLUENO	70.798	8.6063179249E-03	4,332.006	2,496.67
29	225TMC6	23.301	2.8325067653E-03	1,425.748	821.70
30	nC8	11.976	1.4558216824E-03	732.791	422.33
31	ETILBZ	21.4	2.6014181699E-03	1,309.429	754.66
32	m-XILENO	26.76	3.2529883284E-03	1,637.398	943.68
33	p-XILENO	14.616	1.7767442977E-03	894.328	515.43
34	3MC8	9.981	1.2133062969E-03	610.720	351.98
35	o-XILENO	16.168	1.9654078958E-03	989.292	570.16
36	nC9	17.073	2.0754211409E-03	1,044.667	602.07
37	35DMC8	15.62	1.8987921408E-03	955.761	550.83
38	33DMC8	6.75	8.2054077789E-04	413.021	238.04
39	1M3EBZ (METOL)	11.169	1.3577214738E-03	683.412	393.87
40	23DMC8	7.85	9.5425853429E-04	480.328	276.83
	TOTAL	741.929	9.0190073896E-02	45,397.340	26,163.86

Tabla 5.19 Emisiones Totales y Específicas para Gasolina Magna-5% Etanol a Plena Carga

Prueba 4.3		Combustible: Premium		Modo: Plena Carga	
No	Elemento	Concentración [ppm]	Masa Diferencial del Contaminante [mg/s]	Emisión Total del Contaminante [mg/kg]	Emisión Específica del Contaminante [mg/kW-h]
1	METANO	39.625	4.7860616198E-03	4,169.817	1,022.27
2	ETILENO	37.92	4.5801250882E-03	3,990.396	978.28
3	ACETILENO	33.286	4.0204125445E-03	3,502.751	858.73
4	ETANO	7.154	8.6408794518E-04	752.830	184.56
5	PROPILENO	13.572	1.6392789477E-03	1,428.208	350.14
6	PROPANO	3.729	4.5040312379E-04	392.410	96.20
7	I-BUTILENO	17.1	2.0654045097E-03	1,799.467	441.16
8	BUTENO-1	4.616	5.5753843374E-04	485.751	119.09
9	13-BUTADIENO	3.412	4.1211463083E-04	359.051	88.02
10	nC4	4.472	5.4014555365E-04	470.597	115.37
11	I-BUTENO-2	1.964	2.3721955889E-04	206.676	50.67
12	c-BUTENO-2	1.6	1.9325422313E-04	168.371	41.28
13	iC5	56.79	6.8593170823E-03	5,976.123	1,465.10
14	2M-BUTENO-1	3.59	4.3361416315E-04	377.783	92.62
15	nC5	10.225	1.2350152697E-03	1,075.997	263.79
16	ISOPRENO	2.02	2.4398345670E-04	212.569	52.11
17	I-PENTENO-2	3.315	4.0039859355E-04	348.844	85.52
18	c-PENTENO-2	4.565	5.5137845537E-04	480.384	117.77
19	2M-BUTENO-2	6.71	8.1045989826E-04	706.107	173.11
20	c-13-PENTADIENO	4.855	5.8640578332E-04	510.901	125.25
21	22DMC4	4.152	5.0149470903E-04	436.923	107.12
22	CYC5	2.165	2.8149712068E-04	227.827	55.85
23	23DMC4	12.786	1.5443428106E-03	1,345.496	329.86
24	2MC5	17.88	2.1596159435E-03	1,881.548	461.28
25	MTBE	20.418	2.4661654549E-03	2,148.626	526.76
26	3MC5	12.006	1.4501313768E-03	1,263.415	309.74
27	nC6	9.438	1.1399583487E-03	993.179	243.49
28	I-HEXENO-2	1.728	2.0871456098E-04	181.841	44.58
29	2M-PENTENO-2	4.116	4.9714648901E-04	433.135	106.19
30	O6 (8)	2.136	2.5799438788E-04	224.775	55.11
31	22DMC5	2.954	3.5679560946E-04	310.855	76.21
32	MCYC5	5.124	6.1889664958E-04	539.209	132.19
33	24DMC5	12.166	1.4694567991E-03	1,280.252	313.87
34	BENCENO	75.204	9.0834316228E-03	7,913.865	1,940.16
35	2MC6 Y 23DMC5	19.635	2.3715916695E-03	2,066.230	506.56
36	3MC6	2.135	2.5787360399E-04	224.670	55.08
37	224TMC5	111.448	1.3461122912E-02	11,727.892	2,875.20
38	nC7	4.802	5.8000423718E-04	505.324	123.88
39	25DMC6 y 223TMC5	25.2	3.0437540143E-03	2,651.846	650.13
40	24DMC6 o 223TMC5	17.864	2.1576834013E-03	1,879.864	460.87
41	234TMC5	51.416	6.2102244604E-03	5,410.607	1,326.46
42	TOLUENO	162.344	1.9608539750E-02	17,083.779	4,188.25
43	23DMC6	12.92	1.5605278518E-03	1,359.597	333.32
44	2MC7	7.552	9.1215993318E-04	794.712	194.83
45	3MC7	6.072	7.3339977679E-04	638.969	156.65
46	I-1E3MCYC5	23.12	2.7925235243E-03	2,432.963	596.46
47	nC8	10.168	1.2281305880E-03	1,069.999	262.32
48	ETILBZ	33.72	4.0728327525E-03	3,548.422	869.93
49	m-XILENO	75.376	9.1042064518E-03	7,931.965	1,944.60
50	p-XILENO	41.576	5.0217109881E-03	4,375.124	1,072.60
51	3MC8	8.541	1.0316151999E-03	898.786	220.35
52	o-XILENO	43.728	5.2816379182E-03	4,601.584	1,128.12
53	nC9	8.208	9.9139416467E-04	863.744	211.76
54	nC3BZ	6.498	7.8485371370E-04	683.797	167.64
55	1M3EBZ (METOL)	23.886	2.8850439836E-03	2,513.571	616.23
56	1M4EBZ (PETOL)	10.296	1.2435909259E-03	1,083.468	265.62
57	23DMC8	15.42	1.8624875754E-03	1,622.677	397.81
58	4MC9	15.59	1.8830208366E-03	1,640.566	402.20
59	1M2EBZ (OETOL) Y 2MC9	8.559	1.0337893099E-03	900.680	220.81
60	124TMBZ	22.617	2.7317692279E-03	2,380.031	583.49
	TOTAL	1211.484	1.4632774954E-01	127,486.846	31,254.61

Tabla 5.20 Emisiones Totales y Especificas para Gasolina Premium a Plena Carga

Prueba 5.3		Combustible: Magna-15%Etanol		Modo: Plena Carga	
No	Elemento	Concentración [ppm]	Masa Diferencial del Contaminante [mg/s]	Emisión Total del Contaminante [mg/kg]	Emisión Específica del Contaminante [mg/kW-h]
1	METANO	20.002	2.3854594023E-03	1.305.852	607.47
2	ETILENO	23.736	2.8307801407E-03	1.549.631	720.87
3	ACETILENO	5.77	6.8813622395E-04	376.701	175.24
4	ETANO	1.938	2.3112790330E-04	126.524	58.86
5	PROPILENO	12.849	1.5323851545E-03	838.861	390.23
6	i-BUTILENO	12.756	1.5212938774E-03	832.789	387.41
7	BUTENO-1	3.196	3.8115829666E-04	208.654	97.06
8	13-BUTADIENO	3.444	4.1073503558E-04	224.845	104.60
9	nC4	4.744	5.6577439279E-04	309.717	144.08
10	c-BUTENO-2	2.144	2.5569567836E-04	139.973	65.11
11	iC5	34.11	4.0679942113E-03	2.226.908	1.035.94
12	PENTENO-1	2.345	2.7966714821E-04	153.096	71.22
13	2M-BUTENO-1	3.63	4.3291758977E-04	236.988	110.24
14	nC5	17.48	2.0846830493E-03	1.141.201	530.88
15	ISOPRENO	2.645	3.1544546141E-04	172.682	80.33
16	1-PENTENO-2	3.55	4.2337670624E-04	231.766	107.82
17	22DMC4	4.764	5.6815961368E-04	311.023	144.68
18	CYC5	2.166	2.5831942133E-04	141.410	65.78
19	23DMC4	8.778	1.0468734443E-03	573.081	266.59
20	2MC5	22.77	2.7155739722E-03	1.486.564	691.54
21	3MC5	11.994	1.4304169619E-03	783.041	364.26
22	nC6	11.46	1.3667315644E-03	748.179	348.05
23	MCYC5	5.724	6.8265021593E-04	373.698	173.84
24	BENCENO	39.714	4.7363331019E-03	2.592.772	1.206.13
25	2MC6 y 23DMC5	10.78	1.2856340545E-03	703.784	327.39
26	3MC6	7.574	9.0328314735E-04	494.477	230.03
27	224TMC5	59.208	7.0612078939E-03	3.865.459	1.798.17
28	nC7	7.056	8.4150592655E-04	460.659	214.29
29	MCYC6	6.076	7.2463010342E-04	396.678	184.53
30	25DMC6 y 223TMC5	8.16	9.7317011914E-04	532.734	247.82
31	234TMC5	24.928	2.9729393051E-03	1.627.452	757.08
32	TOLUENO	192.535	2.2961925109E-02	12.589.857	5.847.38
33	nC8	9.016	1.0752575728E-03	588.619	273.82
34	ETILBZ	26.512	3.1618487989E-03	1.730.865	805.18
35	m-XILENO	59.728	7.1232236368E-03	3.899.407	1.813.97
36	p-XILENO	26.88	3.2057368631E-03	1.754.890	816.36
37	o-XILENO	36.896	4.4002554799E-03	2.408.795	1.120.55
38	nC9	14.454	1.7237991302E-03	943.645	438.97
39	nC3BZ	7.965	9.4991421556E-04	520.004	241.90
40	1M3EBZ (METOL)	30.375	3.6225542119E-03	1.983.065	922.50
41	1M4EBZ (PETOL)	8.523	1.0164618781E-03	556.433	258.85
42	124TMBZ	38.466	4.5874953190E-03	2.511.295	1.168.23
	TOTAL	836.841	9.9802531332E-02	54.634.074	25.415.25

Tabla 5.21 Emisiones Totales y Especificas para Gasolina Magna-15% Etanol a Plena Carga

Prueba 6.3		Combustible: Magna-30%Etanol		Modo: Plena Carga	
No	Elemento	Concentración [ppm]	Masa Diferencial del Contaminante [mg/s]	Emisión Total del Contaminante [mg/kg]	Emisión Específica del Contaminante [mg/kW-h]
1	METANO	8.51	1.0217670430E-03	590.171	269.21
2	ETILENO	9.672	1.1612844700E-03	670.756	305.97
3	ACETILENO	3.206	3.8493362395E-04	222.337	101.42
4	ETANO	1.2	1.4407995906E-04	83.220	37.96
5	PROPILENO	3.645	4.3764287564E-04	252.782	115.31
6	i-BUTILENO	4.404	5.2877344974E-04	305.419	139.32
7	BUTENO-1	1.688	2.0267247574E-04	117.063	53.40
8	nC4	1.624	1.9498821126E-04	112.625	51.38
9	iC5	11.645	1.3981759360E-03	807.584	368.39
10	nC5	6.72	8.0684777073E-04	466.034	212.59
11	2M-BUTENO-2	1.94	2.3292926714E-04	134.540	61.37
12	22DMC4	2.112	2.5358072794E-04	146.468	66.81
13	23DMC4	3.492	4.1927268086E-04	242.171	110.47
14	2MC5	6.57	7.8883777585E-04	455.631	207.84
15	3MC5	4.146	4.9779625855E-04	287.526	131.16
16	nC6	2.898	3.4795310113E-04	200.977	91.68
17	BENCENO	13.644	1.6381891345E-03	946.215	431.63
18	3MC6	4.452	5.3453664811E-04	308.747	140.84
19	224TMC5	20.592	2.4724120974E-03	1,428.061	651.43
20	nC7	4.116	4.9419425957E-04	285.446	130.21
21	25DMC6 y 223TMC5	3.144	3.7748949273E-04	218.037	99.46
22	24DMC6 o 223TMC5	4.2	5.0427985670E-04	291.271	132.87
23	234TMC5	11.008	1.3216934911E-03	763.408	348.24
24	TOLUENO	48.937	5.8757007970E-03	3,393.794	1,548.12
25	ETILBZ	9.184	1.1026919533E-03	636.913	290.54
26	m-XILENO	22.808	2.7384797552E-03	1,581.741	721.53
27	p-XILENO	12.312	1.4782603799E-03	853.840	389.49
28	o-XILENO	13.984	1.6790117896E-03	969.794	442.38
29	nC9	7.074	8.4935135865E-04	490.584	223.79
30	1M3EBZ (METOL)	10.962	1.3161704260E-03	760.218	346.78
31	1M4EBZ (PETOL)	5.202	6.2458662252E-04	360.760	164.56
32	23DMC8	12.95	1.5548628915E-03	898.086	409.67
33	124TMBZ	14.76	1.7721834964E-03	1,023.610	466.93
	TOTAL	292.801	3.5155630077E-02	20,305.828	9,262.74

Tabla 5.22 Emisiones Totales y Específicas para Gasolina Magna-30% Etanol a Plena Carga

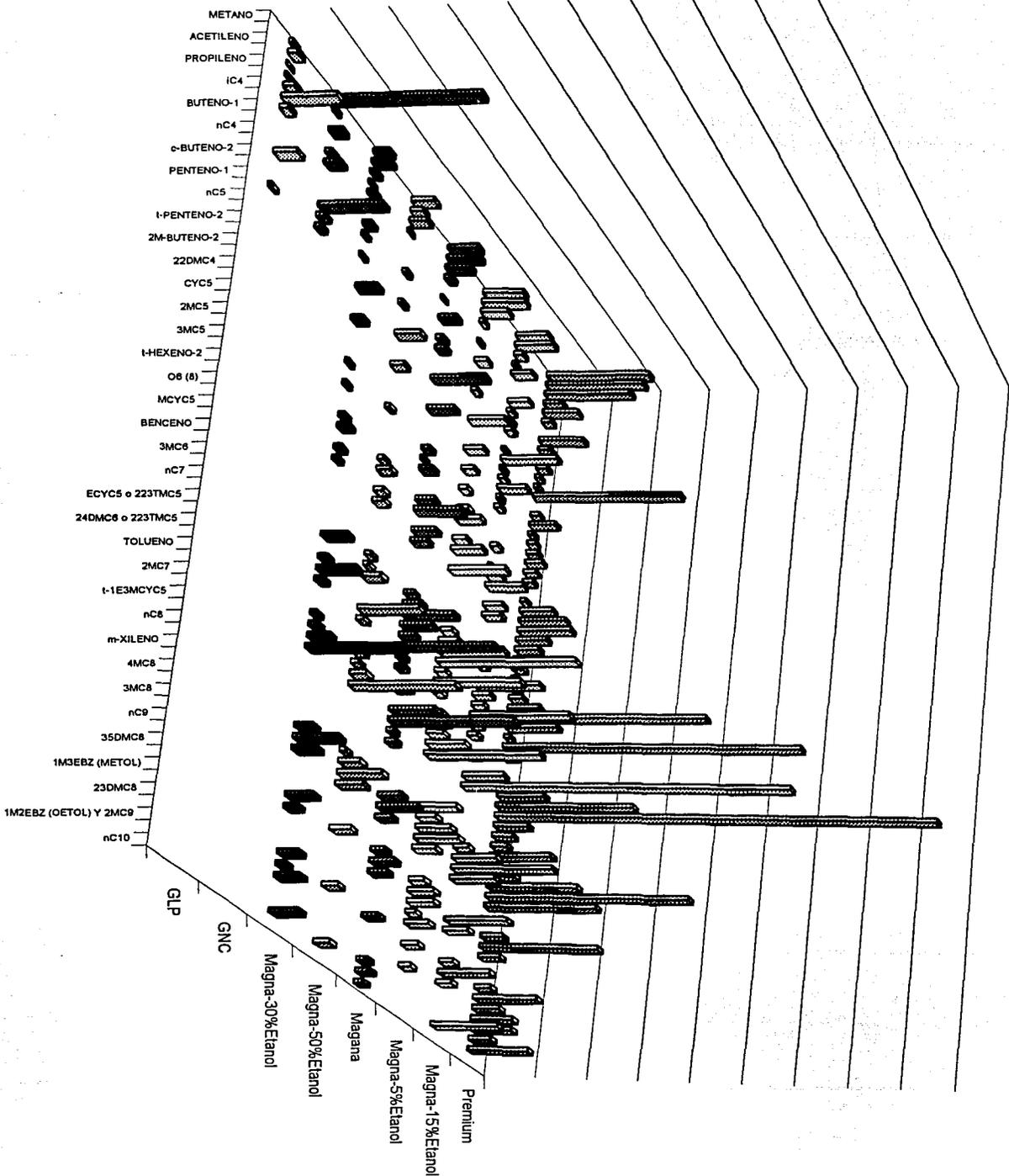
Prueba 7.3		Combustible: Magna-50%Etanol		Modo: Plena Carga	
No	Elemento	Concentración [ppm]	Masa Diferencial del Contaminante [mg/s]	Emisión Total del Contaminante [mg/kg]	Emisión Específica del Contaminante [mg/kW-h]
1	METANO	12.659	1.5288516598E-03	876.744	429.91
2	ETILENO	7.748	9.3574078988E-04	536.615	263.13
3	ACETILENO	10.566	1.2760760436E-03	731.786	358.83
4	ETANO	1.266	1.5289724315E-04	87.681	42.99
5	i-BUTILENO	2.572	3.1062536287E-04	178.133	87.35
6	nC4	2.416	2.9178494428E-04	167.329	82.05
7	iC5	14.695	1.7747432766E-03	1,017.754	499.05
8	nC5	7.815	9.4383250809E-04	541.255	265.40
9	2M-BUTENO-2	2.65	3.2004557216E-04	183.535	90.00
10	23DMC4	3.186	3.8477931808E-04	220.658	108.20
11	2MC5	7.53	9.0941251259E-04	521.517	255.72
12	3MC5	5.19	6.2680623378E-04	359.452	176.26
13	nC6	6.096	7.3622558788E-04	422.200	207.02
14	MCYC5	3.126	3.7753300323E-04	216.502	106.16
15	24DMC5	2.933	3.5422402383E-04	203.135	99.61
16	BENCENO	10.2	1.2318735230E-03	706.437	346.40
17	224TMC5	32.536	3.9294349946E-03	2,253.395	1,104.95
18	nC7	3.997	4.8272534035E-04	276.826	135.74
19	25DMC6 y 223TMC5	5.704	6.8888299759E-04	395.051	193.71
20	24DMC6 o 223TMC5	4.36	5.2656554514E-04	301.967	148.07
21	234TMC5	9.168	1.1072369078E-03	634.962	311.35
22	TOLUENO	55.755	6.7336380663E-03	3,861.509	1,893.48
23	nC8	3.232	3.9033482612E-04	223.844	109.76
24	ETILBZ	11.888	1.4357365139E-03	823.345	403.73
25	m-XILENO	23.6	2.8502171709E-03	1,634.501	801.47
26	p-XILENO	15.008	1.8125448857E-03	1,039.432	509.68
27	o-XILENO	11.568	1.3970895014E-03	801.183	392.86
28	1M3EBZ (METOL)	8.487	1.0249912343E-03	587.797	288.23
29	124TMBZ	7.902	9.5433966461E-04	547.281	268.36
	TOTAL	293.853	3.5489189251E-02	20,351.824	9,979.48

Tabla 5.23 Emisiones Totales y Específicas para Gasolina Magna-50% Etanol a Plena Carga

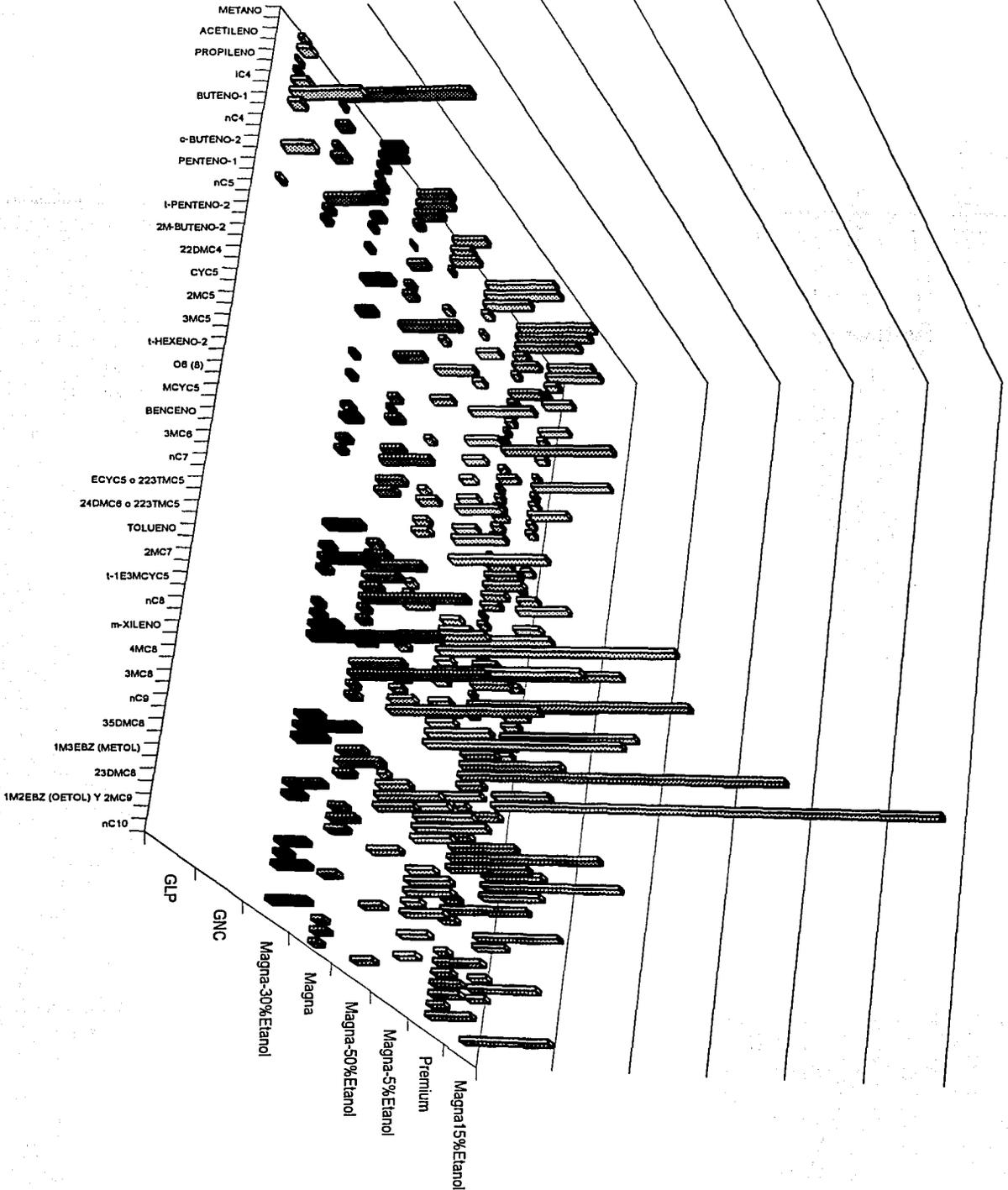
Prueba 8.3		Combustible: GNC		Modo: Plena Carga	
No	Elemento	Concentración [ppm]	Masa Diferencial del Contaminante [mg/s]	Emisión Total del Contaminante [mg/kg]	Emisión Específica del Contaminante [mg/kW-h]
1	METANO	50.196	6.7389142141E-03	5,287.695	1,553.55
2	ETILENO	1.07	1.4364965752E-04	112.715	33.12
3	ETANO	4.694	6.3017896487E-04	494.470	145.28
4	PROPANO	2.196	2.9481742796E-04	231.329	67.97
5	iC4	5.628	7.5557034817E-04	592.859	174.18
6	nC4	21.748	2.9197128522E-03	2,290.955	673.09
7	t-BUTENO-2	2.704	3.6301745228E-04	284.842	83.69
8	c-BUTENO-2	2.156	2.8944734731E-04	227.115	66.73
	TOTAL	90.392	1.2135308264E-02	9,521.980	2,797.60

Tabla 5.24 Emisiones Totales y Específicas para GNC a Plena Carga

Emisión Total de Contaminantes (Plena Carga)



Emisión Específica de Contaminantes (Plena Carga)



## 5.2 CONCLUSIONES GENERALES

En este estudio se muestran los efectos del uso de distintos combustibles en un motor de encendido provocado, haciendo una comparación de los perfiles de emisiones de los principales compuestos químicos que se forman. Los resultados muestran que los compuestos más abundantes para los perfiles, se relacionan con el tipo de combustible empleado, así como con el modo de prueba al que fue sometido el motor.

Debido a que no fue posible seguir alguno de los procedimientos de prueba establecidos para los ensayos en motores de banco, se propuso un método experimental alternativo, con el cual se realizaron las comparaciones entre combustibles, proporcionando información suficiente para conocer el orden de magnitud de los contaminantes que son emitidos a la atmósfera y proporcionando con ello, una idea de las posibles ventajas y/o desventajas del uso de combustibles no convencionales como herramienta para abatir los altos índices de contaminación atmosférica.

Los tres puntos de operación del motor elegidos para cuantificar las emisiones de cada tipo de combustible, definitivamente no son representativos de las condiciones generales de operación del motor, para cada caso, ni mucho menos de un parque vehicular como el de la ZMVM, por lo que los resultados son simplemente indicativos y de ninguna manera concluyentes sobre las emisiones de los motores de combustión interna en general.

En cuanto a los resultados obtenidos en las pruebas en modo ralentí, tienen gran relevancia en cuanto a que es una etapa que presenta un gran contenido de contaminantes, así como altas concentraciones, las tablas 5.1 a 5.8 y las gráficas correspondientes a la emisión total y la emisión específica de contaminantes, dan lugar a las siguientes conclusiones:

- En la gráfica de emisión total de contaminantes, el gas natural comprimido es el combustible de menor aportación de hidrocarburos; en donde el elemento que se emite con mayor concentración es el metano, que aunque no es un gas tóxico, si contribuye con el calentamiento global del planeta, la emisión tan alta de éste compuesto es debida a una mala combustión, ya que uno de los principales problemas del uso de éste combustible es la carburación.  
En cuanto a la gráfica de emisión específica, las emisiones que son emitidas por el uso de gas natural con respecto a la potencia entregada, son mucho menores que las emisiones de los demás combustibles, debido al alto poder calorífico y octanaje del combustible.
- El gas licuado de petróleo presenta de igual forma altas emisiones de propano, lo que es un indicativo de una mala combustión, sin embargo en general es un combustible limpio, que emite muy pocos compuestos químicos al ambiente, en cuanto a las emisiones específicas, éstas son muy bajas debido también al alto poder calorífico y elevado número de octanos.
- Las emisiones totales correspondientes a las combinaciones de gasolina magna en modo ralentí, en general son bajas, salvo la correspondiente al 5% de etanol, que tiene mayor concentración de contaminantes que el resto de mezclas, por lo que no presenta ventajas con respecto a los demás combustibles, incluso en las emisiones específicas correspondientes.  
Sin embargo las mezclas con gran contenido de etanol reducen de manera importante la concentración de contaminantes, como se observa con la mezcla al 50% de etanol, cuya emisión específica es también menor que las demás mezclas.  
Por otra parte, las mezclas con etanol presentan un menor contenido de compuestos, particularmente en la proporción de 15%, lo que corrobora que es un buen oxigenante, que favorece en gran medida la combustión de los compuestos que contiene la gasolina.

Para el modo de media carga, los resultados presentan en general una disminución sustancial de la cantidad de elementos químicos que son arrojados a la atmósfera por el uso de cada combustible ensayado, de las tablas 5.9 a 5.16 y las gráficas de emisión total y la emisión específica de contaminantes correspondientes, se puede concluir lo siguiente:

- Nuevamente los combustibles gaseosos presentan grandes ventajas con respecto a las emisiones, arrojando muy pocos compuestos químicos y en bajas concentraciones, salvo el gas natural que presentó problemas de carburación, la contribución de los contaminantes es muy baja, tanto en emisiones totales como en emisiones específicas, en donde el poder calorífico de cada combustible es elevado.

Para esta condición de prueba se torna evidente que los combustibles gaseosos se emplean con dosados pobres, lo que implica la reducción de carburante, una mejor combinación con aire, mejor combustión y finalmente menor emisión de contaminantes y bajas concentraciones de éstos.

- El etanol contenido en las mezclas con gasolina magna reduce de manera significativa la cantidad de contaminantes totales emitidos, en función de la concentración de etanol; al 50% se tienen menores compuestos y se van incrementando hasta la mezcla de 5%, particularmente ésta última tiene menores concentraciones en sus emisiones, lo que implica una mejoría con respecto a las gasolinas convencionales. Por otra parte la emisión específica para las mezclas se mantiene aproximadamente igual con respecto a las emisiones totales para este modo de prueba, que es una condición intermedia entre el máximo par alcanzable y una condición de operación estable a bajas revoluciones.

Finalmente el modo de prueba a plena carga es una condición máxima de operación del motor, en donde es importante conocer y medir los valores de emisiones, al respecto las tablas 5.17 a 5.24 y las gráficas de emisiones totales y específicas correspondientes suministran la siguiente información:

- Con el uso de combustibles gaseosos a plena carga se corrobora lo antes expuesto para condición de media carga, tanto para las emisiones totales, así como para las emisiones específicas de cada combustible.
- En cuanto a las combinaciones de etanol con gasolina magna, la emisión total de contaminantes sigue decreciendo con el porcentaje de etanol en la mezcla, sin embargo, es el contenido de contaminantes es mayor que a media carga debido a que al demandarse mayores prestaciones al motor, la eficiencia de la combustión decrece, incrementando el número de químicos arrojados, así como sus concentraciones correspondientes.

En lo concerniente a la emisión específica, se aprecian en general valores elevados de contaminantes para cada combustible, corroborando el detrimento de la eficiencia del proceso de combustión.

Por otra parte, en relación con los valores de reactividad específica de las muestras de gases de escape, la información proporciona argumentos suficientes para evaluar el grado de contribución de los compuestos que son emitidos a la atmósfera y que facilitan la formación de ozono, en donde el valor de referencia aceptado es de  $3.42 \text{ g O}_3 / \text{g HC}$ .

Debido a causas ajenas al desarrollo experimental, fue imposible contar con la totalidad de los datos de reactividad específica para cada prueba, sin embargo de los valores contenidos en la tabla 4.28 se tiene que:

- Para el caso de la gasolina Premium, los datos se encuentran por debajo del valor de referencia, con excepción del ensayo realizado a media carga, presentando en general valores de reactividad específica elevados, debido a la mayor aportación de hidrocarburos en las emisiones de escape.
- La baja contribución de contaminantes por parte del GLP en el modo ralentí, propicia que el valor de reactividad específica obtenido sea mucho menor que el valor de referencia. Esto también se observa, aunque en menor medida en la mezcla de Magna con etanol al cincuenta por ciento, en donde la reactividad específica disminuye en comparación con la gasolina Premium.

Finalmente es importante destacar que en el diseño experimental existen algunas variables que de alguna manera intervienen en el resultado de los experimentos, pero que por causas externas al desarrollo de pruebas no es posible controlar del todo, propiciando con ello variación en los datos medidos.

Un caso particular de este problema es el tiempo de traslado de las muestras de gases y el cambio de temperatura al que fueron expuestas en el trayecto, por tales motivos el traslado y almacenamiento de las muestras se realizaron cuidando de no rebasar los tiempos y temperaturas establecidos como límites, evitando con ello la variación en los resultados cromatográficos

Como comentarios finales la experiencia obtenida al usar combustibles alternativos en un motor de encendido provocado, nos ha permitido ponderar, en su justa medida, la importancia que tienen las propiedades físicas, químicas y térmicas de los combustibles en el funcionamiento de dicha máquina. Conocimos de manera directa el modo de utilización de dichos combustibles, aprendimos sobre el equipo que se utiliza para realizar los diferentes tipos de ensayos de pruebas en motores y pudimos advertir muy cercanamente las variaciones en el desempeño del motor y en sus emisiones contaminantes.

APENDICE A1

El cálculo del gasto dentro de los medidores de flujo se determinó siguiendo los siguientes algoritmos, basados en el diseño de los medidores de flujo tipo venturi.

De la ecuación 4.25 y expresando el valor del área en función del diámetro, se tiene lo siguiente:

$$Q = \frac{\pi C_d (D_2)^2}{4} \sqrt{\frac{2 \left( \frac{\rho_{man} g \Delta h}{\rho_{fluido}} \right)}{1 - \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^4}}$$

En el caso del medidor de gases de escape, el valor del diámetro mayor y menor, así como le valor de la densidad del fluido manométrico (Mercurio), se muestran a continuación:

$$D_1 - 2.06375 \times 10^{-2} \text{ [m]}$$

$$D_2 - 4.7625 \times 10^{-3} \text{ [m]}$$

$$\rho_{Hg} - 13600 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

Por otra parte la densidad del fluido a medir (gases de escape) no es constante y cambia con el tiempo, por lo que su valor dependerá de la siguiente expresión:

$$\rho_{g.e.} = \frac{P}{RT} = \frac{77.15}{(0.287)T_{g.e.}} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

Donde la temperatura de gases de escape se encuentra en unidades de temperatura absoluta [K].

Finalmente sustituyendo los valores conocidos y dejando expresado todo en función de las variables que cambian, se tiene la siguiente expresión para el caudal de gases de escape:

$$q_e = (5.61181613483 \times 10^{-4}) C d_{g.e.} \sqrt{(T_{g.e.})(\Delta h_{g.e.})} \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

De forma similar para el aire de dilución, se tiene una expresión final que define el caudal de aire que debe ingresar a la cámara de dilución:

$$q_a = (1.51226361197 \times 10^{-3}) C d_{a.d.} \sqrt{(T_{a.d.})(\Delta h_{a.d.})} \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

cuyos diámetros son los siguientes:

$$D_1 - 0.053 \text{ [m]}$$

$$D_2 - 0.015 \text{ [m]}$$

El valor de la densidad del fluido manométrico, que para este caso es agua es el siguiente:

$$\rho_{H_2O} - 1000 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

Así mismo el valor de la densidad del aire de dilución en función de la temperatura es el siguiente:

$$\rho_{a.d.} = \frac{P}{RT} = \frac{77.15}{(0.287)T_{a.d.}} \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

## BIBLIOGRAFIA

- Obert, Edward F. Internal Combustion Engines. International Textbox Company. Seraton, Pennsylvania, Third printing, 1972.
- 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.
- Frank M. White. Mecánica de fluidos. McGraw Hill. México 1988.
- Morrison, Boyd. Química Orgánica. Fondo Educativo Interamericano. México, 1970.
- López, Santiago. Utilización de combustibles alternativos en un motor de encendido provocado. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingeniería, UNAM. México 2000.
- BROWN Theodore; Química: La Ciencia Central, 3ª Edición, México 1988.
- Clayton Industries, Multifunction Signal Conditioner (MFSC), El Monte California, 1988.
- ProBar Flowmeter, Instalation and Operation Manual, North America, 1999
- Adros Incorporated, Users Manual, California U.S.A, 1997, Pags. 3-15.
- Variant, Chromatography and Spectroscopy Supplies, USA, 2000, Pags. 37-42
- PEMEX; bases de datos consultadas a través de internet.