



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

ESPECIFICACIONES DE CALIDAD PARA LOS COMBUSTIBLES  
DE AUTOMOTORES, SU INTERPRETACION Y TENDENCIAS  
DE SU COMPOSICION FUTURA A CORTO Y MEDIANO  
PLAZO

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**I N G E N I E R O Q U I M I C O**

P R E S E N T A :

**FERNANDO TINOCO ALMANZA**



EXAMENES PROFESIONALES  
FACULTAD DE QUIMICA

MEXICO, D.F.

2005

m352033



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente	Prof. JOSE ANTONIO ORTIZ RAMIREZ
Vocal	Prof. HUMBERTO RANGEL DAVALOS
Secretario	Prof. EZEQUIEL MILLAN VELASCO
1er sup.	Prof. ERNESTO RIVERA GARCIA
2do sup.	Prof. ALFONSO DURAN MORENO

**Sitio en donde se desarrolló el tema:**

Facultad de Química UNAM y PEMEX Refinación



**Asesor: HUMBERTO RANGEL DAVALOS**



**Sustentante: FERNANDO TINOCO ALMANZA**

## Agradecimientos

A ti Dios por encima de todas las cosas, por haberme dado tanto, por estar siempre conmigo, por bendecirme con la hermosa familia que me has regalado y por todos, todos mis compañeros y amigos.

### A mi amada familia:

Porque siempre han creído en mi, porque siempre me han apoyado inclusive más allá de su alcance, porque nunca me dejaron solo, porque siempre estuvieron ahí cuando más los necesite, por haber sacrificado tanto, porque las carencias económicas nunca fueron un pretexto, por todo su esfuerzo durante todos estos años y por todo el amor que me han brindado desde siempre.

A ti, que has sido siempre el motor y el corazón de esta familia; eres la persona que más admiro en este mundo, sin ti, no lo hubiera logrado nunca. Porque tu inmenso AMOR solo es comparable con tu dedicación y fortaleza, i i i i i i i i i i GRACIAS, GRACIAS MADRE DE MI ALMA ! ! ! ! ! ! ! ! ! !

### A la familia Almanza Ríos:

Ustedes siempre han sido mi modelo a seguir desde que era niño; les agradezco infinitamente por ser el "Ángel Guardián" de toda mi familia; ¡MIL GRACIAS POR TODO!, ¡Gracias tíos, gracias primos, gracias Laurita!

### Y si Dios me lo permite, a mi futura familia:

Porque el pensar en ustedes aun sin conocerlos, me motivó a dar en cada paso, lo mejor de mí; GRACIAS por estar conmigo y por formar parte de mí.

### A todos, todos, toditos mis Amigos, pero en especial:

La vida sería muy difícil (¿más?), si no fuera por los AMIGOS; me considero una persona MUY AFORTUNADA por tenerlos a todos ustedes.

Dianita: Gracias por ser mi i i MEJOR AMIGA ! !.

Zeli: Gracias por todo lo que hiciste por mí durante la carrera, i i nunca lo olvidaré ! !; realmente te aprecio y valoro mucho más de lo que te imaginas.

Richi: Gracias por compartir conmigo, la llave que abre aquellas puertas, que ningún Título podría nunca, lograr abrir jamás.

Compadrito: En las buenas, en las malas, en las peores y i por supuesto en las mejores SIEMPRE JUNTOS !; si hubieras sido mujer, si hubieras sido mujer.....



## Índice

Agradecimientos		I
Índice		III
Lista de Tablas		VII
Lista de Figuras		VIII
<b>Justificación</b>		<b>1</b>
<b>Introducción</b>		<b>2</b>
<b>Objetivos</b>		<b>4</b>
<b>Capítulo I</b>		
<b>Generalidades</b>		<b>5</b>
<b>1.1. Generalidades Gasolina</b>		<b>6</b>
1.1.1. Definición		6
1.1.2. Composición		6
1.1.3. Elaboración		7
1.1.3.1. Destilación del Petróleo		9
1.1.3.2. Procesos de Desintegración (Cracking)		11
1.1.3.3. Craqueo Térmico ó Pirólisis		11
1.1.3.4. Craqueo Catalítico		12
1.1.3.5. Hidrólisis		13
1.1.3.6. Alquilación		14
1.1.3.7. Polimerización		15
1.1.3.8. Reformación Catalítica		16
1.1.3.9. Isomerización		17
1.1.4. Procesos de Purificación		18
1.1.4.1. Hidrotratamiento		18
1.1.4.2. Hidrodesulfuración		18
1.1.5. Aditivos		20
1.1.5.1. Tetraetilo de Plomo		20
1.1.5.2. Metil Terbutil Eter (MTBE)		21
1.1.5.3. Detergentes		21
1.1.5.4. Colorantes		21
<b>1.2. Generalidades Diesel</b>		<b>22</b>
1.2.1. Definición		22
1.2.2. Usos		22
1.2.3. Composición		22
1.2.4. Elaboración		23
1.2.5. Procesos de Purificación		23
1.2.6. Aditivos		23
1.2.6.1. Realzadores de Cetano		23
1.2.6.2. Detergentes		24
1.2.6.3. Mejoradores de Fluidéz		24
1.2.6.4. Antioxidantes		24

<b>Capítulo II</b>		
<b>Motores de Combustión Interna</b>	.....	<b>25</b>
2.1. Definición	.....	26
2.2. Clasificación de los Motores de Combustión Interna	.....	26
2.3. Cámara de Combustión Interna	.....	27
2.3.1. Cilindro	.....	27
2.3.2. Embolo	.....	28
2.3.3. Válvula de Admisión	.....	29
2.3.4. Válvula de Escape	.....	29
2.3.5. Bujía	.....	29
2.3.6. Inyector	.....	29
2.4. Relación de Compresión	.....	30
2.5. Motor de Encendido por Chispa	.....	31
2.6. Motor de Cuatro Tiempos de Encendido por Chispa	.....	31
2.7. Motor de Encendido por Compresión	.....	34
2.8. Motor de Cuatro Tiempos de Encendido por Compresión	.....	34
2.9. El ciclo de Dos Tiempos	.....	35
2.10. Proceso de Combustión	.....	37
2.11. El Convertidor Catalítico	.....	38
2.12. Fundamentos del Carburador	.....	40
2.13. Cáster	.....	41
<b>Capítulo III</b>		
<b>Descripción e Interpretación de Propiedades</b>	.....	<b>42</b>
3.1. Clasificación de Propiedades	.....	45
3.1.1. Características de manejo y almacenamiento	.....	45
3.1.2. Características de desempeño en los vehículos	.....	45
3.1.3. Características de protección al medio ambiente	.....	45
3.2. Propiedades de la gasolina	.....	46
3.2.1. Aditivo Detergente Dispersante	.....	47
3.2.2. Aromáticos	.....	49
3.2.3. Azufre Mercaptánico	.....	51
3.2.4. Azufre Total	.....	52
3.2.5. Benceno	.....	55
3.2.6. Color	.....	56
3.2.7. Contenido de Fósforo	.....	56
3.2.8. Contenido de Plomo	.....	57
3.2.9. Corrosión al Cu, 3h a 50 °C	.....	59
3.2.10. Destilación	.....	60
3.2.11. Gomas Preformadas y Gomas no Lavadas	.....	66
3.2.12. Índice de Octano	.....	69
3.2.13. Olefinas	.....	75
3.2.14. Oxigenados	.....	76
3.2.15. Periodo de Inducción	.....	78
3.2.16. Peso Específico	.....	79
3.2.17. Presión de Vapor	.....	80
3.2.18. Prueba Doctor	.....	82
3.2.19. Temperatura de Prueba Mínima	.....	83

<b>3.3. Propiedades del Combustible Diesel</b>	<b>84</b>
3.3.1. Agua y Sedimento	85
3.3.2. Aromáticos	86
3.3.3. Azufre Total	88
3.3.4. Carbón Ramsbottom (en 10 % de residuo)	89
3.3.5. Cenizas	90
3.3.6. Color ASTM	91
3.3.8. Destilación	92
3.3.9. Número de Cetano ó Índice de Cetano	94
3.3.10. Peso Específico	98
3.3.11. Temperatura de Ecurrimiento	99
3.3.12. Temperatura de Inflamación	101
3.3.13. Temperatura de Nublamiento	102
3.3.14. Viscosidad Cinemática a 40 °C	103

#### **Capítulo IV**

##### **Especificaciones de Calidad** 105

<b>4.1. Pemex Magna</b>	
4.1.1. Zona Metropolitana del Valle de México	108
4.1.2. Zona Metropolitana de Guadalajara	110
4.1.3. Zona Metropolitana de Monterrey	112
4.1.4. Resto del País	114
<b>4.2. Pemex Premium</b>	
4.2.1. Zona Metropolitana del Valle de México	116
4.2.2. Zona Metropolitana de Guadalajara	117
4.2.3. Zona Metropolitana de Monterrey	118
4.2.4. Resto del País	119
<b>4.3. Pemex Diesel</b>	<b>120</b>

#### **Capítulo V**

##### **Normatividad Ambiental** 121

<b>5.1. Efectos de los Productos de Combustión Sobre el Medio Ambiente</b>	<b>123</b>
5.1.1. Monóxido de Carbono (CO)	123
5.1.2. Hidrocarburos (HC)	124
5.1.3. Oxidos de Nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	124
5.1.4. Ozono (O <sub>3</sub> )	125
5.1.5. Oxidos de Azufre (SO <sub>x</sub> )	126
5.1.6. Partículas (PM)	126
5.1.7. Gases de Efecto Invernadero (GEI)	128
<b>5.2. Regulación de Emisiones en Vehículos Automotores</b>	<b>129</b>
<b>5.3. Normatividad en México</b>	<b>133</b>
5.3.1. Norma Oficial Mexicana NOM-ECOL-042-1999	133
5.3.2. Norma Oficial Mexicana NOM-ECOL-086-1994	135
<b>5.4. Comparación de la Normatividad entre México y Estados Unidos</b>	<b>135</b>

**Capítulo VI**

<b>Tendencias en la Calidad de la Gasolina y el Diesel</b>	138
6.1. Antecedentes Históricos en México	141
6.2. Situación Actual en México	144
6.3. Tendencias Generales en la Composición de las Gasolinas y el Diesel	146
6.3.1. Gasolinas	146
6.3.2. Diesel	147
6.4. Introducción de Nuevas Tecnologías	147
6.4.1. Sistemas de Diagnóstico a Bordo y Recuperación de Vapores	148
6.4.2. Filtros de Particulado Diesel	148
6.4.3. Trampas de Captura de NOx	149
6.4.4. Catalizadores de Oxidación para Vehículos Diesel	150
6.4.5. Sistemas de Control de NOx	150
6.4.6. Recirculación de Gases de Escape	151
6.4.7. Adsorbedores de NOx	151
6.4.8. Reducción Catalítica Selectiva (SCR)	151
6.5. Impacto del Azufre Sobre las Emisiones Contaminantes	152
6.6. Tendencias Globales Hacia Combustibles de Bajo Azufre	153
6.7. Normatividad Futura para Vehículos y Combustibles	154
6.8. Introducción de Combustibles de Ultra Bajo Azufre en México	156
6.9. Inversiones y Financiamiento Requerido	157
6.10. Costo-Beneficio de la Reducción de Azufre en los Combustibles en México	158
6.10.1. Reducción de Emisiones	159

**Capítulo VII**

<b>Conclusiones</b>	162
<b>Anexos</b>	166
Anexo I Aceites Combustibles	167
Anexo II Norma Oficial Mexicana NOM-042-ECOL-1999	168
Anexo III Norma Oficial Mexicana NOM-086-ECOL-1999	170
<b>Bibliografía</b>	173

## Lista de Tablas

Tabla	Descripción	Pág.
1.1	Composición de la materia prima producida por desintegración catalítica	12
1.2	Composición de las parafinas C8 de la gasolina alquilada	15
1.3	Materias y productos característicos del reformado catalítico	16
1.4	Resumen de los procesos de obtención de gasolinas	19
1.5	Principales aditivos empleados en la gasolina y su función	20
3.1	Propiedades de las gasolinas	46
3.2	Propiedades antidetonantes de las diferentes familias de hidrocarburos	71
3.3	Propiedades del combustible diesel	84
4.1	Especificaciones Magna (Zona Metropolitana del Valle de México)	108
4.2	Especificación de la presión de vapor y destilación según la clase de volatilidad (ZMVM)	109
4.3	Clase requerida para la protección contra el sello de vapor ( ZMVM)	109
4.4	Características de la gasolina Pemex-Magna requerida por la ZMVM a lo largo del año	110
4.5	Especificaciones Magna (Zona Metropolitana de Guadalajara)	110
4.6	Especificación de la presión de vapor y destilación según la clase de volatilidad (ZMG)	111
4.7	Clase requerida para la protección contra el sello de vapor ( ZMG)	111
4.8	Características de la gasolina Pemex-Magna requerida por la ZMG a lo largo del año	112
4.9	Especificaciones Magna (Zona Metropolitana de Monterrey)	112
4.10	Especificación de la presión de vapor y destilación según la clase de volatilidad (ZMM)	113
4.11	Clase requerida para la protección contra el sello de vapor ( ZMM)	113
4.12	Características de la gasolina Pemex-Magna requerida por la ZMM a lo largo del año	113
4.13	Rango de PVR para control en la elaboración de gasolina Pemex Magna por la refinería de Cadereyta	114
4.14	Especificaciones Magna (Resto del País)	114
4.15	Especificación de la presión de vapor y destilación según la clase de volatilidad (RP)	115
4.16	Clase requerida para la protección contra el sello de vapor ( RP)	115
4.17	Especificaciones Pemex Premium (Zona Metropolitana del Valle de México)	116
4.18	Especificaciones Pemex Premium (Zona Metropolitana de Guadalajara)	117
4.19	Especificaciones Pemex Premium (Zona Metropolitana de Monterrey)	118
4.20	Especificaciones Pemex Premium (Resto del País)	119
4.21	Especificaciones Pemex Diesel	120
5.1	Normas pre-control de emisiones para vehículos de pasajeros	132
5.2	Normas de México y Estados Unidos para regular emisiones de escape de automóviles de pasajeros	136
5.3	Normas de México y Estados Unidos para regular emisiones de escape vehículos de hasta 3 825 kg	136
5.4	Comparación Estándares Diesel	137
6.1	Normas Internacionales de azufre para gasolina y diesel	155
6.2	Proyecto SEMARNAT-SENER para reducción de azufre en gasolina y diesel en México	156

## Lista de Figuras

Figura	Descripción	Pag.
1.1	Obtención de Gasolina	8
1.2	Unidad de Destilación de Crudos de Alambique de Tuberías	10
2.1	Cámara de combustión interna	28
2.2	Relación de compresión	30
2.3	Carrera de admisión	32
2.4	Carrera de compresión	32
2.5	Carrera de expansión ó de potencia	33
2.6	Carrera de escape	33
2.7	Carreras potencia y escape	36
2.8	Carreras de admisión y compresión	36
2.9	Aspecto físico de un Convertidor Catalítico	39
2.10	Atomizador ordinario	40
2.11	Fundamentos del carburador	40
2.12	Válvula de mariposa	41
3.1	Curva de destilación típica de una gasolina	60
3.2	Unidad de destilación ASTM	61
3.3	Comportamiento de las propiedades de la gasolina a lo largo de la curva de destilación.	65
3.4	Motor CFR para determinar el número de octano Unidad de Investigación	70
3.5	Movimiento de frente de llama durante la combustión normal	73
3.6	Movimiento de frente de llama durante la preignición	73
3.7	Movimiento de frente de llama y reacción de gases finales durante el golpeteo o detonación	74
3.8	Esquema de una bomba Reid para la presión de vapor	80
3.9	Funcionamiento de un inyector	89
3.10	Efectos de ceniza y Carbón sobre los pistones del motor.	90
3.11	Curva típica de destilación de un combustible Diesel	92
3.12	Aparato para determinar el punto de fluidez	99
5.1	Normas para Emisiones de NOx HC y PM en Vehículos Ligeros en Estados Unidos y Europa	131
6.1	Comportamiento histórico de los niveles de plomo en la ZMVM	142
6.2	Sustitución gradual de la gasolina con plomo en México	144
6.3	Proyección de Emisiones en la ZMVM por la Introducción de Gasolina de Bajo Azufre	159
6.4	Proyección de Emisiones de SO2 por la Introducción de Gasolina de Bajo Azufre	160

## Justificación

Actualmente PEMEX Refinación a través de la Subgerencia de Calidad de Productos, ha puesto en marcha un proyecto de reciente creación, el cual tiene la finalidad de evaluar la calidad de los combustibles para automotores, gasolina y diesel, en las diferentes estaciones de servicio del país, para verificar que los productos ahí distribuidos cumplan con las especificaciones de calidad establecidas, y detectar posibles alteraciones hechas a estos productos. Este proyecto está integrado por los denominados *Laboratorios Móviles*.

De esta manera, los *inspectores de calidad* son los encargados de realizar las pruebas correspondientes dentro de estas unidades, y evaluar la calidad de estos productos por medio de la medición de algunas de sus propiedades más importantes tales como el índice de octano, índice de cetano, contenido de azufre, contenido de aromáticos y volatilidad por citar algunas.

El poder llevar acabo estas pruebas, exige una serie de conocimientos y habilidades indispensables para toda aquella persona involucrada con este tema, en especial para los mismos inspectores de calidad de dichos laboratorios. De esta manera, además de ser capaz de llevar acabo las pruebas pertinentes, el inspector de calidad también debe de conocer los efectos que producen los combustibles fuera de especificación, los problemas generados dentro del motor mismo, así como nociones sobre sus principios de operación, también es necesario que esté familiarizado con los problemas relacionados con el medio ambiente y la salud originados por la presencia de algunos de los componentes contenidos en estos combustibles, y los productos generados en la combustión. Dada la importancia del contenido de azufre tanto en gasolina como en el diesel, es importante que el inspector de calidad conozca las tendencias con respecto al contenido del mismo en estos combustibles.

Considerando que estos profesionistas se encuentran entre las personas que más dominio deben de tener con respecto a este tema, el presente trabajo servirá como complemento en la formación de los inspectores de calidad de estos laboratorios móviles.

## Introducción

Alguna vez te has preguntado: ¿Qué es el octanaje?, ¿Cómo se mide?, ¿Cuáles son los problemas originados por el uso de una gasolina cuyo índice de octano es menor al especificado para un automóvil?, ¿Aumentará la potencia de un automóvil, al emplear una gasolina con un octanaje mayor? ó ¿Simplemente se estará "tirando el dinero"?, ¿Por qué al diesel no se le mide el índice de octano?, ¿Cómo funciona un motor diesel y un motor a gasolina?, ¿Será posible utilizar gasolina en vez de diesel y viceversa? , ¿La composición de un combustible para la ciudad de México será la misma que para el resto del país?, ó ¿La composición de un combustible en invierno, es la misma que en el verano? .

En el presente trabajo se encontrará la respuesta a estas y otras preguntas relacionadas con la calidad de los combustibles para automotores.

La *calidad* asociada a los combustibles para automotores, es la que permite determinar si las *gasolinas* y *diesel* empleados, cumplen con los requisitos necesarios para garantizar su desempeño y funcionalidad, y si son técnicamente compatibles con el motor. Asimismo, y de manera preponderante, permite saber, si se está utilizando un producto seguro y si este uso provocará daños a la salud de las personas y al medio ambiente.

Es por ello que la *determinación de la calidad* de estos productos resulta indispensable y es una de las principales ocupaciones de los productores de gasolinas y diesel en el mundo y por supuesto en México.

La calidad de las gasolinas y diesel se determina estableciendo una serie de *especificaciones* es decir, la asignación de valores demostradamente convenientes a algunas de las propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas de estos productos.

Si al evaluar estas propiedades se obtienen valores que se encuentran fuera del rango establecido, lo más seguro es que el uso de dicho producto ocasione problemas de tipo técnico y/ó ecológico.

Debido a esto, resulta conveniente conocer y saber interpretar de manera correcta, los valores de todas y cada una de estas propiedades, identificar la relación existente entre las mismas, su origen, función y efectos negativos generados, los métodos analíticos empleados en su determinación y por supuesto los límites de los valores establecidos para dichas propiedades los cuales, varían de un país a otro, e inclusive varían de una región a otra dentro de un mismo país.

Para ello, no es posible limitarnos a conocer cada una de estas propiedades. Para tener una visión más amplia es necesario en primer instancia

familiarizamos muy bien con estos productos, conocer su composición, elaboración, los procesos utilizados para mejorar su calidad, así como los aditivos empleados con el mismo fin.

También será necesario comprender los principios de operación de los motores de encendido por explosión en el caso de las gasolinas, y de los motores encendidos por compresión para el caso del diesel.

Actualmente en México se utilizan 26 Métodos ASTM (American Society for Testing and Materials) para determinar propiedades tales como benceno, azufre total, índice de octano, índice de cetano, presión de vapor y temperatura de inflamación por mencionar algunas.

Por otra parte, desde su aparición a finales del siglo XIX, el desarrollo de las gasolinas y diesel usados por la industria automotriz ha sido influenciado por factores técnicos, políticos, económicos y en las últimas décadas, por factores ambientales. De esta manera, la calidad de las gasolinas y diesel producidos hoy en día, no es la misma que la calidad de las gasolinas empleadas por los primeros automotores.

Debido a la dinámica de la Tecnología que aceleradamente produce nuevos procedimientos y a la tendencia, afortunadamente en expansión, de disminuir las emisiones contaminantes para preservar el medio ambiente, los requerimientos de calidad para estos productos han ido evolucionando y lo continuará haciendo con el paso de los años.

Por lo tanto, el conocer la situación actual de México, y la tendencia de las especificaciones para los combustibles automotores dentro del país, así como en los Estados Unidos y Europa, permitirá contar con elementos para la toma de decisiones pertinentes con el fin de cumplir con los requerimientos de calidad a corto y mediano plazo demandados por la industria automotriz y la cada vez más estricta legislación ambiental.

## Objetivos

- Conocer todas y cada una de las propiedades consideradas en la determinación de la calidad de las gasolinas y diesel en México.
- Diferenciar las propiedades características de las gasolinas, de las propiedades del combustible diesel.
- Comprender la importancia, función y significado de los valores asignados a cada una de las propiedades física y químicas empleadas para establecer la calidad de las gasolinas y diesel.
- Ilustrar la problemática originada por el uso de combustibles para automotores fuera de especificación.
- Presentar las especificaciones de calidad vigentes en México para las gasolinas y el diesel.
- Identificar los cambios esperados en los próximos años, en la composición de las gasolinas y diesel en nuestro país.

# **Capítulo I**

## **Generalidades**

## **Capítulo I Generalidades**

Las especificaciones de calidad asociadas a los principales (hasta el momento) combustibles para automotores: gasolina y diesel, tienen una razón de ser, un origen.

Son el resultado de la necesidad que se ha tenido desde el momento en el que fue usado el primer combustible como tal, por un automotor: el mantener un control de calidad.

El asignar cierto valor a una determinada propiedad, no involucra únicamente al producto sino también a toda una serie de factores tales como la materia prima a partir de la cual fue obtenido, los procesos físicos y/o químicos a los cuales fue sometido durante su elaboración y la interacción con los equipos para los cuales fue diseñado.

Asimismo, también se hace indispensable conocer las transformaciones químicas a las cuales se someterá dicho combustible durante su utilización y los efectos que provocará al interactuar con el medio ambiente.

El presente capítulo tiene la finalidad de proporcionar la información que nos servirá como fundamento, para la posterior descripción de las propiedades físicas y químicas cuyas especificaciones se utilizan, para determinar la calidad de los combustibles para automotores.

### **1.1. Generalidades Gasolina**

#### **1.1.1 Definición**

Podemos definir a la Gasolina como una mezcla compleja derivada de los procesos de refinación del petróleo, constituida principalmente por cadenas de hidrocarburos de 5 a 9 átomos de carbono, con un intervalo de ebullición de 100 a 400 °F la cual es utilizada principalmente como combustible por los motores de combustión interna de encendido por chispa.

#### **1.1.2 Composición**

La gasolina comercial típica contiene más de 150 productos químicos entre los cuales se encuentran principalmente cadenas de hidrocarburos parafínicos, iso-parafínicos, olefínicos, nafténicos y aromáticos. Su proporción varía dependiendo del proceso de obtención, así como de las características del petróleo crudo utilizado para su elaboración. Adicionalmente se pueden

encontrar pequeñas cantidades de metales como el plomo, así como compuestos azufrados.

En general, la gasolina comercial consiste en una mezcla de las denominadas *gasolinas naturales* y de las *gasolinas sintéticas*. La diferencia entre unas y otras deriva de la proporción de hidrocarburos presentes en cada una de ellas, la cual a su vez, es función de los procesos utilizados para su obtención.

Las gasolinas naturales están constituidas principalmente por cadenas de hidrocarburos de la familia de las parafinas.

Por su parte, las gasolinas sintéticas están constituidas en su mayoría por cadenas de tipo isoparafínico, olefínico, nafténico y aromático, cuya presencia como se verá en el capítulo de *propiedades de las gasolinas*, afecta algunas de las propiedades más importantes de estos combustibles.

### 1.1.3. Elaboración

La *destilación atmosférica* del petróleo crudo, fue el primer proceso mediante el cual se obtuvo gasolina hacia finales del siglo XIX. Sin embargo, la actual demanda supera por mucho a la obtenida en la fracción de gasolina del petróleo; por otra parte, la gasolina obtenida por este proceso presenta un *índice de octano*<sup>1</sup> demasiado bajo para usarse en los motores modernos de combustión interna.

En base a lo anterior, se han desarrollado técnicas de refinación del petróleo que se relacionan con la conversión de las otras fracciones de hidrocarburos en gasolina y el mejoramiento de sus propiedades.

Como puede observarse en la fig. 1.1, actualmente se utilizan procesos de **Desintegración** (Craqueo) para descomponer moléculas grandes de hidrocarburos en otras más pequeñas; procesos de **Combinación** (Alquilación y Polimerización) que consisten en unir moléculas pequeñas en otras más grandes y procesos de **Reagrupación** (Reformación e isomerización) con la finalidad de reagrupar las estructuras de las moléculas mejorando sus propiedades.

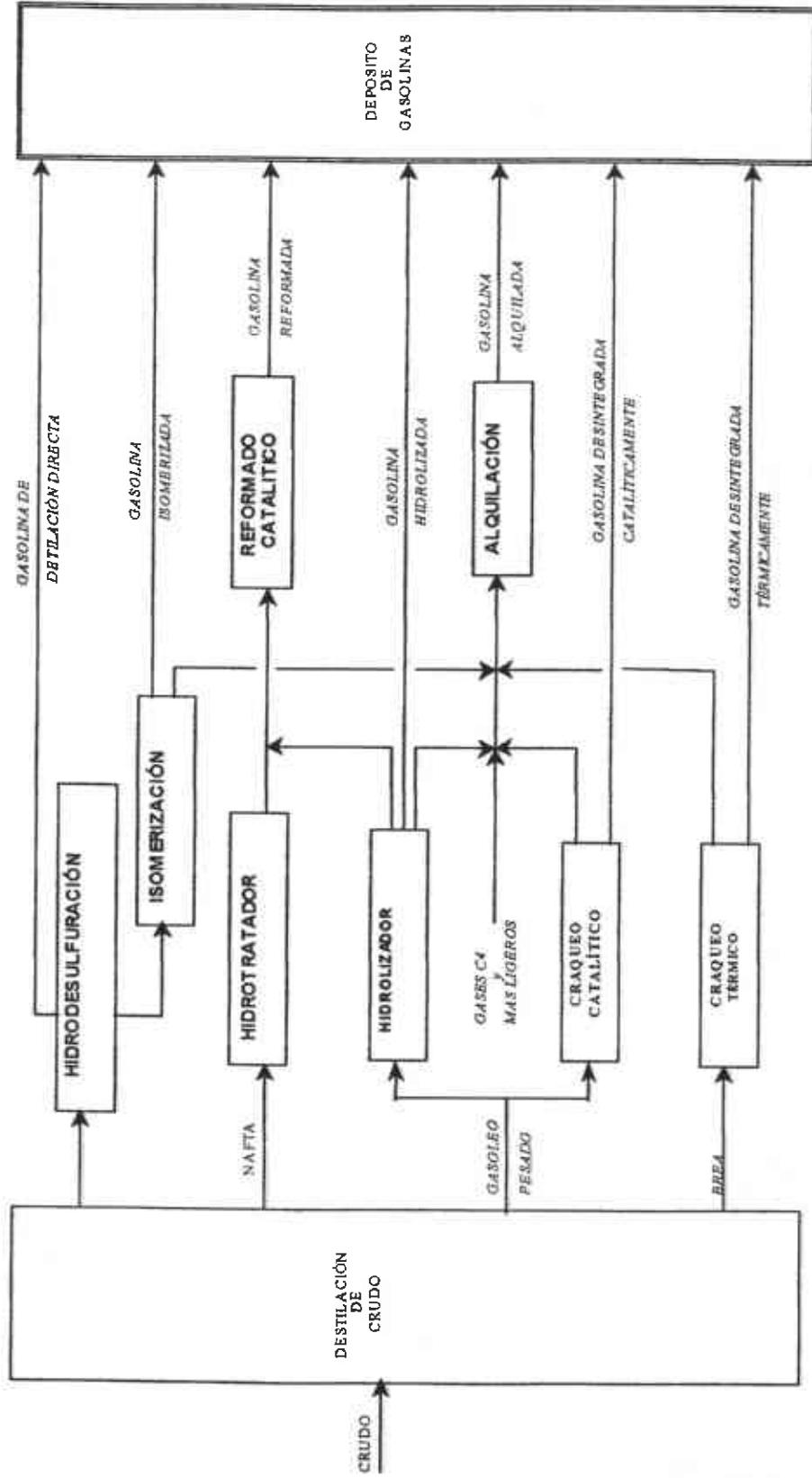
En la tabla 1.4 al final del capítulo, se muestran de manera resumida la finalidad de cada uno de los procesos, las materias primas utilizadas así como los productos obtenidos.

---

<sup>1</sup> Esta propiedad se describe en el capítulo de propiedades de las gasolinas.

**Fig. 1.1**  
Obtención de gasolina

Representación de los procesos de refinación asociados a la producción de gasolinas, así como también los procesos destinados al mejoramiento de sus propiedades, y procesos de purificación involucrados. Por simplicidad cada uno de los procesos es representado por un solo bloque sin embargo, hay que tener en cuenta que cada proceso como su nombre lo indica, implica una serie de etapas logradas generalmente a través del uso de varios equipos.



### 1.1.3.1. Destilación del Petróleo

Aunque los principios de la destilación de multicomponentes se aplican a la destilación del petróleo, este tema merece una mención especial por varias razones.

1. La materia prima es de composición extraordinariamente compleja, puesto que consiste en muchos distintos tipos de compuestos de hidrocarburos. El número de esos compuestos en un intervalo dado, con diferencias pequeñas de volatilidad. Se multiplica con rapidez al elevarse el punto de ebullición.
2. Muchos productos comerciales obtenidos del petróleo (como es el caso de la *gasolina* y el *diesel*) son por si mismos mezclas complejas especificadas por rangos de puntos de ebullición.
3. El carácter y los rendimientos de las diversas fracciones varían mucho, según el origen del crudo del que proceden. Sin embargo, los crudos procedentes de un mismo yacimiento pueden tener variaciones marcadas.
4. La escala de las operaciones de destilación en la industria petrolera es mucho mayor que en cualquier otra industria.

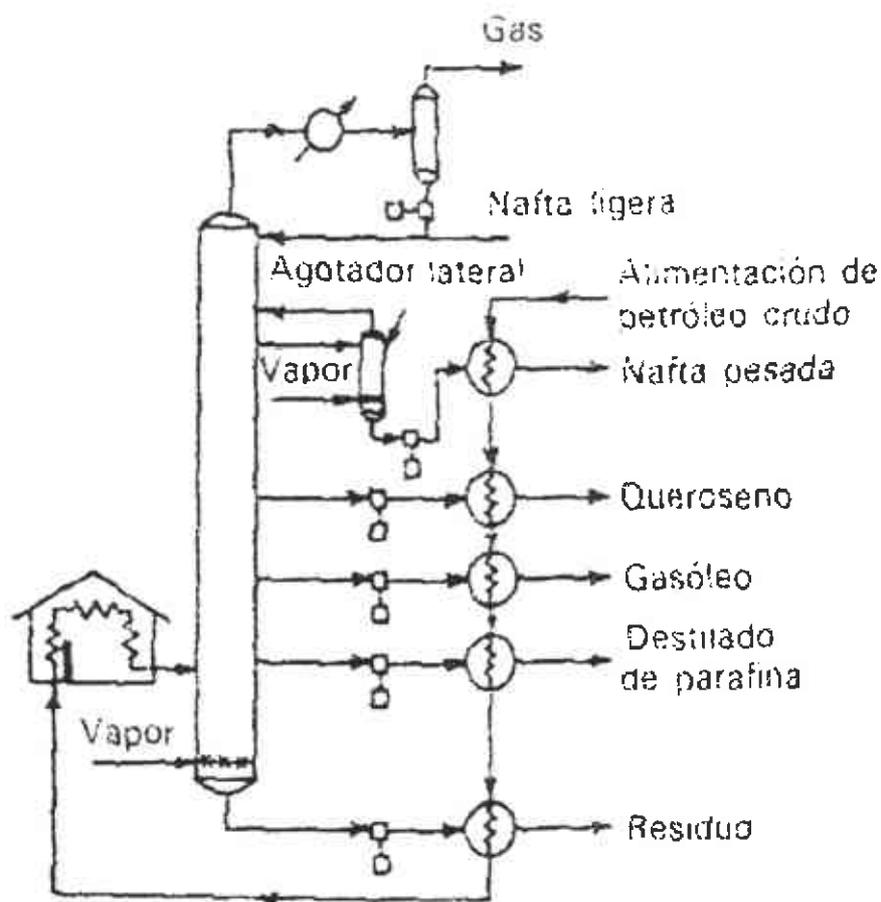
El modo óptimo de separación de un petróleo crudo, en cada caso, depende de las propiedades del crudo, los mercados de una refinería individual y las características de la refinería. La separación inicial de petróleo crudo en sus diversos cortes se logra mediante la destilación atmosférica en una unidad de destilación de alambique de tuberías<sup>2</sup>.

Como lo muestra Hengstebeck (*Petroleum processing*, McGraw-Hill, Nueva Cork, 1959), esta unidad es principalmente una columna de rectificación de la que se retiran muchos productos de corriente lateral, además del producto del domo y el fondo: un gas y una *gasolina ligera* líquida en el domo a, aproximadamente 240 °F; una corriente lateral de corriente pesada *Diesel* a cerca de 355 °F; una corriente lateral de queroseno a unos 420 °F; una corriente lateral de gasóleo a cerca de 500 °F; una corriente lateral de destilado de cera ligero a 600 °F; y un producto del fondo a, aproximadamente, 800 °F. En la fig. 1.2 tomada del Manual del Ingeniero Químico; Perry Secc. 13-52, se puede apreciar este proceso.

---

<sup>2</sup> Manual del Ingeniero Químico Secc. 13-50

Fig. 1.2  
Unidad de destilación de crudos de alambique de tuberías<sup>3</sup>



Es importante mencionar que la separación completa de las fracciones en compuestos individuales resulta técnica y económicamente casi imposible. En los destilados del petróleo obtenido que hierven a temperaturas menores de 200 ° C (entre los cuales se encuentra la fracción de gasolinas), se encuentran más de 500 compuestos distintos los cuales presentan puntos de ebullición muy semejantes, obteniéndose fracciones que contienen mezclas de hidrocarburos de temperaturas de ebullición muy cercanas.

<sup>3</sup> Hengstebeck, Petroleum Processing, McGraw-Hill, New York, 1959

### 1.1.3.2. Procesos de Desintegración (Cracking)

La palabra desintegración ó *cracking* (del inglés " to crack": romper) traducido al español como *craqueo*, denota reacciones en las que una molécula de hidrocarburo es fracturada ó rota en compuestos menos complejos, de punto de ebullición más bajo.

Esta fragmentación puede ocurrir en un enlace carbono-hidrógeno, uno de carbono o hidrógeno con un átomo inorgánico, como azufre ó nitrógeno, o uno carbono-carbono.

Puesto que el principal objetivo de la ruptura es la reducción de tamaño de las moléculas de hidrocarburo, la principal reacción implica el rompimiento de enlaces carbono-carbono. Hay tres tipos principales de desintegración: pirólisis, desintegración catalítica e hidrólisis.

### 1.1.3.3. Craqueo térmico ó Pirólisis

Se denomina **pirólisis** (del griego: *pyr*, <fuego>, y *lisis*, <pérdida>) a la descomposición de una sustancia por la sola acción del calor. Este proceso se lleva a cabo en una unidad de coquificación térmica a temperaturas cercanas a 480 °C y 20 atm de presión.

Las fracciones del petróleo que sirven de materia prima son gasóleos pesados y los hidrocarburos que produce se caracterizan por tener dobles ligaduras en sus moléculas, a las cuales se les llama *olefinas*, así como también hidrocarburos de la familia de las *parafinas cortas* es decir, cantidades relativamente grandes de hidrocarburos más ligeros que el C<sub>3</sub>.

La siguiente, es un ejemplo de las reacciones que se llevan a cabo en este proceso:



### 1.1.3.4. Craqueo Catalítico

El craqueo catalítico es el proceso de refinación más importante y utilizado para la conversión de gasóleos pesados, o sea la fracción que contiene de 14 a 20 átomos de carbono en sus moléculas, en gasolina.

Se introdujo como consecuencia de la Segunda Guerra Mundial y de la demanda resultante de combustibles de *alto octanaje* lo cual desplazó progresivamente a los anteriores procesos de pirólisis.

En uno de los procesos Houdry, los gases a 842 °F y 29 psia son enviados por entre un laberinto forrado con una mezcla de sílice, alúmina y óxido de níquel.

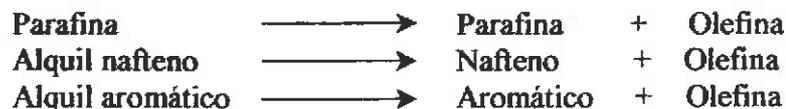
Debido a que las reacciones de desintegración en este proceso son gobernadas principalmente por catalizadores específicos, la gasolina producida contiene proporciones sustanciales de hidrocarburos con alto índice de octano tales como *olefinas* y *parafinas*.

Además de la gasolina, también se producen propileno y butenos los cuales sirven como carga para el proceso de *alquilación*. En la tabla 1.1 se indica la composición de la materia prima producida por desintegración catalítica, para el proceso de alquilación.<sup>4</sup>

Tabla 1.1  
Composición de la materia prima producida por desintegración catalítica

Componente	% en vol.
Propano	12.7
Propileno	23.6
Isobutano	25
n-butano	6.9
Isobutileno	8.8
1-butileno	6.9
2-butileno	16.1

En general, las reacciones principales en el craqueo catalítico pueden ser representadas como sigue:



<sup>4</sup> Tecnología del Petróleo pág. 2-273

### 1.1.3.5. Hidrólisis

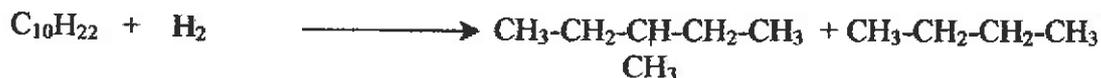
El proceso de craqueo catalítico con hidrógeno, también conocido como *hidrólisis*, difiere de la desintegración catalítica en que emplea diferente catalizador y un ambiente de hidrógeno. Las reacciones de craqueo catalítico con hidrógeno se llevan a cabo normalmente a unas temperaturas entre 550 y 750 ° F y a presiones en el reactor entre 1200 y 2000 psig<sup>5</sup>.

Generalmente en los procesos de hidrólisis se utiliza una gama más amplia de materias primas en comparación a la desintegración catalítica. Entre estas se encuentran destilados pesados, sustancias extraídas de solventes de productos residuales.

Los productos hidrolizados difieren de los formados por desintegración catalítica en que no son olefinicos y en que sus fracciones formadoras de gasolina no tienen un índice de octano alto, aunque la fracción C<sub>5</sub>/C<sub>6</sub> puede ser añadida directamente a la mezcla de gasolina de la refinería.

La fracción C<sub>7</sub>+ nafta generalmente se emplea como materia prima para el proceso de *reformación catalítica*. Todos los productos obtenidos a partir de este proceso presentan un bajo contenido de azufre. Los hidrocarburos ligeros obtenidos son predominantemente isómeros ramificados. Por otra parte, la fracción obtenida de C<sub>4</sub> es una valiosa materia prima para el proceso de *alquilación* debido a su alto contenido de isobutano<sup>6</sup>.

Las principales reacciones de craqueo catalítico con hidrógeno implican el rompimiento de moléculas de hidrocarburos y la saturación de parafinas. La siguiente, es un ejemplo de este tipo de reacciones:



<sup>5</sup> Refino del Petróleo Tecnología y Economía ; James H. Gary pág. 135

<sup>6</sup> Tecnología del Petróleo pag. 2-268

### 1.1.3.6. Alquilación

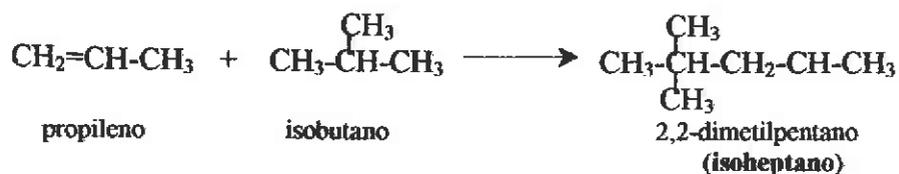
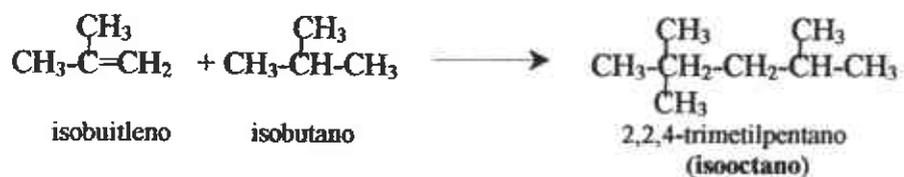
La demanda de carburantes de aviación de gran octanaje durante la Segunda Guerra Mundial, contribuyó a estimular el desarrollo del proceso de alquilación para producir gasolinas isoparafínicas con esa característica. En la tabla 1.2 se muestra la composición isomérica de las isoparafinas C<sub>8</sub> de este producto<sup>7</sup>.

La adición de un grupo alquilo a cualquier conjunto es considerada como una reacción de alquilación, pero en la terminología del refinado del petróleo, la alquilación es el proceso que se emplea actualmente para la reacción de olefinas de bajo peso molecular con una isoparafina, para obtener isoparafinas de mayor peso molecular.

Aunque la alquilación puede tener lugar a altas temperaturas y presiones en ausencia de catalizadores, los únicos procesos de importancia comercial trabajan a presiones y temperaturas bajas (50 psia y 50 ° F).

En los procesos de alquilación que emplean ácido fluorhídrico o sulfúrico como catalizadores, solo reaccionan con las olefinas las isoparafinas con átomos de carbono terciarios, como el isobutano o el isopentano.

Las principales reacciones que tienen lugar en la alquilación son la combinación de las olefinas con las isoparafinas como se muestra a continuación:



<sup>7</sup> Tecnología del Petróleo pag. 2-273

Tabla 1.2  
Composición de las parafinas C<sub>8</sub> de la gasolina alquilada

Isómero C <sub>8</sub>	% en vol.
2,2,4-trimetilpentano (isooctano)	58.6
2,3,4- trimetilpentano	19.3
2,3,3- trimetilpentano	9.3
2,2,3- trimetilpentano	0.8
2,4-dimetilhexano	3.9
2,2- y 2,5-dimetilhexano	2.3
3,4-dimetilhexano	0.5
3,3-dimetilhexano	
4-metilheptano	0.8
2-metilheptano	
3-metilheptano	
2,3-dimetilhexano	4.5

### 1.1.3.7. Polimerización

A diferencia de la alquilación, en este proceso, se llevan gases de la misma familia a la presencia de un catalizador para obtener un producto líquido de mayor peso molecular.

Generalmente este término se reserva a la conversión de gases de olefinas (principalmente propileno y butileno) en gasolina. Este proceso emplea temperaturas y presiones moderadas (400 °F y 200 psia) resultando por ello ser un proceso de costo moderado.

La polimerización catalítica llegó a su máxima capacidad al principio de los años 60's, pero su empleo ha venido declinando uniforme y rápidamente desde esa fecha.

El proceso representaba un medio de convertir hidrocarburos C<sub>3</sub> y C<sub>4</sub> insaturados en un líquido de buena calidad en el intervalo de ebullición de la gasolina.

Sin embargo los mayores rendimientos de calidad logrados mediante la alquilación de la fracción C<sub>3</sub> / C<sub>4</sub> se combinaron para que la polimerización catalítica se convirtiera en un proceso obsoleto<sup>8</sup>.

<sup>8</sup> Tecnología del Petróleo pag. 2-287

### 1.1.3.8. Reformación Catalítica

El proceso de reformación tiene por objetivo, el reordenamiento de la estructura molecular de ciertas cadenas de hidrocarburos, particularmente de las naftas (de 180 a 375°F) con características antidetonantes deficientes para convertirlas en combustibles adecuados para los automotores actuales.

Prácticamente toda la nafta que entra a las unidades de reformación catalítica es *hidrotratada* previamente, con objeto de prolongar la vida útil del catalizador usado en el proceso.

Algunas de las sustancias eliminadas en el hidrotratamiento son: azufre, nitrógeno, oxígeno y compuestos orgánicos de arsénico y paladio, los cuales envenenan a los catalizadores.

Un importante subproducto de la reformación catalítica es el hidrógeno, que se utiliza para hidrotratar y para cualquier hidrólisis que se efectúe en la refinería.

Hoy en día existen varios procesos de reformado en uso. Entre ellos se encuentran los procesos de Platforming, Powerforming, Ultraforming, Houdriforming, Iso-Plus Houdriforming, Catalytic Reforming y Rheniforming.

Existen otros varios procesos en uso en algunas refinerías, pero de uso limitado por lo que no son de interés general<sup>9</sup>.

El proceso de reformación implica cuatro reacciones principales: deshidrogenación de naftenos a aromáticos, deshidrogenación de parafinas a aromáticos, isomerización y craqueo con hidrógeno.

De esta forma, las parafinas se isomerizan y en cierto grado se transforman en naftenos los cuales a su vez, se transforman en aromáticos; los naftenos presentes también se transforman en aromáticos. Las materias primas y los productos característicos del reformado catalítico se representan en la tabla 1.3<sup>10</sup>

Tabla 1.3  
Materias y productos característicos del reformado catalítico

Componente	%Volumen	
	Alimentación	Producto
Parafinas	45-55	30-50
Olefinas	0-2	0
Naftenos	30-40	5-10
Aromáticos	5-10	45-60

<sup>9</sup> Refino de Petróleo pag. 76

<sup>10</sup> Refino de Petróleo pag. 71

### 1.1.3.9. Isomerización

El proceso de Isomerización comenzó a utilizarse a principios de la década de los 60's por efecto de la demanda de isobutano para la fabricación del producto alquilato necesario en la formulación de la gasolina para aviones.

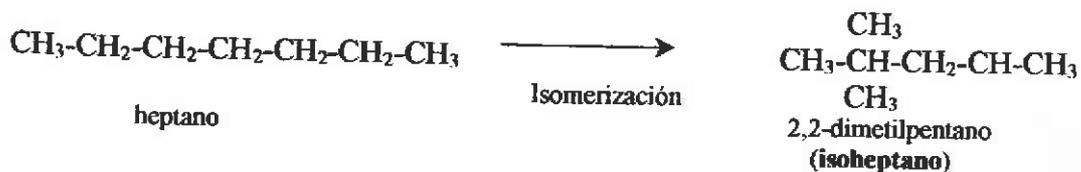
La isomerización puede definirse como el rearrreglo de la configuración estructural de una molécula sin modificar su peso molecular. Aunque los cambios estructurales de este tipo forman parte de las reacciones en los procesos de reformación y craqueo catalítico, en esta parte se consideran solo los procesos en los que la isomerización es la reacción principal.

En la operación común, las parafinas tales como el butano y pentano se pasan a través de una cámara catalizadora, propiciando la formación del isómero correspondiente. El catalizador utilizado en la isomerización es similar al catalizador en base de platino utilizado en el reformado catalítico, pero las condiciones son mucho menos rígidas (300 °F, 196 psia) y solamente se utiliza un reactor<sup>11</sup>.

Los procesos de isomerización se utilizan en la industria para cambiar la configuración estructural de las parafinas C<sub>4</sub> (*n*-butano) a isobutano necesario para el proceso de *alquilación*.

Las parafinas C<sub>5</sub> y C<sub>6</sub>, obtenidas principalmente por destilación directa, se transforman por isomerización en las estructuras más ramificadas del mismo peso molecular a fin de mejorar sus índices antidetonantes<sup>12</sup>.

Así sucede, por ejemplo, con el heptano normal, que tiene siete átomos de carbono formando una cadena lineal, cuyo índice de octano es de cero. Pero si lo isomerizamos y lo hacemos altamente ramificado obtenemos el isoheptano, que tiene 110 de octano.



<sup>11</sup> Refino de Petróleo pag. 85

<sup>12</sup> Tecnología del Petróleo pag. 2-277

## 1.1.4. Procesos de Purificación

### 1.1.4.1 Hidrotratamiento

El hidrotratamiento en las refinerías tiene numerosas aplicaciones. Su función principal es purificar, limpiar y mejorar la calidad de las materias primas. En todos los procesos de hidrotratamiento intervienen el hidrógeno y un catalizador.

#### 1.1.4.1.2 Hidrodesulfuración<sup>13</sup>

Algunas ocasiones el destilado ligero del crudo puede tener un contenido suficientemente bajo de azufre que permite prescindir del hidrotratamiento.

En otros casos solo una parte del producto es sometido a hidrotratamiento para eliminar los compuestos de azufre nativos. De esta manera, se estabilizan las gasolinas directas para convertir los mercaptanos residuales en disulfuros para obtener un producto dulce (*ensayo doctor*). En algunas refinerías son hidrotratadas porciones de las materias primas utilizadas en la desintegración catalítica particularmente si provienen de operaciones térmicas, o si su contenido de azufre es muy alto.

Esta eliminación de compuestos de azufre es llevada a cabo en las refinerías por las siguientes razones:

1. Los compuestos de azufre disminuyen la calidad de algunos productos refinados.
2. Contaminan la atmósfera en forma de óxidos de azufre cuando se les quema.
3. Corroen el equipo de procesamiento en las refinerías.
4. Envenenan los catalizadores utilizados en algunos procesos de refinación.

La hidrodesulfuración es un proceso catalítico por medio del cual una determinada carga de alimentación de hidrocarburos e hidrógeno pasa por el lecho de un catalizador a temperaturas y presiones elevadas (730 °F y 196 psia).

Algunos de los átomos de azufre unidos a las moléculas de hidrocarburos reaccionan con el hidrógeno en la superficie del catalizador para formar sulfuro de hidrógeno.

El sulfuro de hidrógeno es eliminado de los productos gaseosos en los que aparece por absorción selectiva en soluciones líquidas que usualmente consisten en aminas orgánicas.

Las principales reacciones que se llevan a cabo en el proceso de hidrodesulfuración son las siguientes:

---

<sup>13</sup> Tecnología del Petróleo pag. 2-261



Tabla 1.4  
Resumen de los procesos de obtención de gasolinas

Proceso	Función	Materia prima	Productos
DESTILACIÓN	Obtención de gasolina natural	Nafta	Parafinas C <sub>5</sub> y C <sub>6</sub>
DESINTEGRACIÓN TÉRMICA	1) Obtención de gasolina nafta. 2) Olefinas para el proceso de alquilación.	Gasóleo pesado	Parafinas cortas, olefinas
DESINTEGRACIÓN CATALÍTICA	1) Convertir en gasolinas fracciones con intervalos de ebullición mayores. 2) Crear olefinas ligeras como propileno y butileno, así como isobutano para el proceso de alquilación.	Gasóleo pesado	Isoparafinas, propileno y butileno, así como isobutano.
HIDRÓLISIS	1) Convertir en gasolinas fracciones con intervalos de ebullición bajos. 2) obtención de isobutano para alquilación	Isobutano, propileno y butileno	Hidrocarburos ligeros predominantemente isómeros arborecentes, naftenos e isobutano
ALQUILACIÓN	Mejorar sus propiedades antidetonantes, por medio de la conversión de las cadenas de hidrocarburos utilizados.	Parafinas C <sub>4</sub> , C <sub>5</sub> , C <sub>6</sub> obtenidos por destilación directa	Isoparafinas como el iso-octano y el iso-heptano.
POLIMERIZACIÓN	Obtención de gasolina a partir de fracciones con intervalos de ebullición menores.	Olefinas ligeras C <sub>3</sub> y C <sub>4</sub>	Parafinas
REFORMACIÓN	Mejorar sus propiedades antidetonantes, por medio de la conversión de las cadenas de hidrocarburos utilizados.	Gasóleo pesado y fracciones destiladas del craqueo térmico	Isoparafinas, naftenos y aromáticos
ISOMERIZACIÓN	1) Mejorar sus propiedades antidetonantes, por medio de la conversión de las cadenas de hidrocarburos utilizados. 2) Obtención de isobutano para el proceso de alquilación.	Hidrocarburos C <sub>3</sub> y C <sub>4</sub> insaturados	Isómeros parafínicos C <sub>5</sub> y C <sub>6</sub>

### 1.1.5. Aditivos

Los aditivos son productos químicos que se añaden a la gasolina en concentraciones tales que van desde unas cuantas hasta varios cientos de partes por millón con la finalidad de mantener y/o mejorar su calidad.

Los aditivos para la gasolina se clasifican de acuerdo a su tipo y funcionamiento en compuestos antidetonantes, oxigenantes, antioxidantes, agentes anticongelantes, detergentes y colorantes.

Considerando que los compuestos antidetonantes, oxigenados, detergentes y colorantes son los que están contemplados dentro de las *especificaciones de calidad* de las gasolinas, a continuación se presenta una breve descripción de cada uno de estos compuestos y su función (ver tabla 1.5).

Tabla 1.5  
Principales aditivos empleados en la gasolina y su función

Aditivo	Función
Antidetonante	Aumentar la capacidad antidetonante del combustible
Oxigenante	Los aditivos oxigenados favorecen la combustión de las gasolinas, reduciendo así las emisiones nocivas de los escapes vehiculares, como monóxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles; a su vez, diluyen o desplazan componentes de las gasolinas, tales como aromáticos (benceno en particular) y sulfuros.
Detergentes	Mantener limpio el sistema de inyección
Colorantes	Identificar la presencia de compuestos antidetonantes, así como identificar los fabricantes y tipos de gasolina.

#### 1.1.5.1. Tetraetilo de Plomo

El tetraetilo de plomo ( $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{CH}_2)_4$ ) se había venido utilizando desde los años 20's como aditivo para aumentar la calidad de combustión (antidetonante) de la gasolina, ya que este producto había sido la forma menos costosa, desde el punto de vista energético-económico para aumentar la capacidad antidetonante de las gasolinas en las refinerías.

Sin embargo, debido al impacto que ha tenido este producto en los aspectos técnico y ambiental<sup>14</sup>, en la actualidad el tetraetilo de plomo ha sido reemplazado casi en su totalidad por sustancias tales como el metil terbutil éter (MTBE); así como por el uso de gasolinas sintéticas con propiedades antidetonantes mayores.

<sup>14</sup> Estos se discutirán en el capítulo de *Propiedades de las Gasolinas*

### 1.1.5.2. Metil Terbutil Éter (MTBE)

El metil-ter-butyl-éter, o MTBE ( $C_5H_{12}O$ ) es un producto químico que se utiliza para aumentar el octanaje, mejorar la combustión y reducir las emisiones de monóxido de carbono en aproximadamente un 10%.

El MTBE también contribuye a reducir las emisiones de compuestos orgánicos reactivos y la proporción de contaminantes aromáticos, sulfuro, olefina y bencina en la fabricación de gasolina. El MTBE normalmente representa entre 10 y 15 por ciento del volumen de la gasolina.

El MTBE se comenzó a utilizar en bajos niveles como aditivo antidetonante de las gasolinas en Estados Unidos en 1979, al dejarse de utilizar tetraetilo de plomo. Desde 1992 se comenzó a utilizar en mayores concentraciones, a efectos de cumplir el requerimiento de contenido de oxigenados establecido por el Congreso de Estados Unidos.

### 1.1.5.3. Detergentes

Desde mediados de los ochenta la mayor parte de las refinerías han agregado detergentes a la gasolina, con el propósito de limpiar las boquillas de inyección de combustible y mantenerlas limpias.<sup>15</sup> Las boquillas se tapan parcialmente debido al calor y manejo en vías cortas por lo que al agregarse sustancias detergentes, se coadyuva en la disolución de depósitos y a mantener los inyectores limpios.

Algunos de los aditivos para el control y la prevención de depósitos son los siguientes:

Carboxilatos de Aminas, Poliéteres Aminas, Poliolefin Aminas y Polibuten succinimidadas .

### 1.1.5.4. Colorantes

El propósito de adicionar colorantes a la gasolina, es para identificar la presencia de compuestos antidetonantes, así como para identificar a los fabricantes y el tipo de gasolina.

---

<sup>15</sup> Manual para Ajustes de Motores y Control de Emisiones. Pág. 72

<sup>16</sup> Revista Octanaje 19

## 1.2. Generalidades Diesel

El combustible Diesel (*Aceite combustible no. 2*)<sup>17</sup> se desarrolló tras la Primera Guerra Mundial (1914-1918), debido a la escasez de gasolinas en Alemania y Europa en su conjunto. Al igual que las gasolinas, Las especificaciones de calidad del diesel evolucionaron junto al desarrollo de los motores de encendido por compresión. La creación de plantas motrices más pequeñas y eficientes, necesitó de combustibles diesel de alta calidad, originando una demanda creciente de este combustible.

### 1.2.1. Definición

El Diesel es una mezcla compleja de hidrocarburos compuesta principalmente de parafinas y aromáticos, la cual es utilizada como combustible para el parque vehicular equipado con motores de encendido por compresión.

### 1.2.2. Usos

Debido a las características de este tipo de motores (las cuales se describen en el Capítulo II), el Diesel es utilizado principalmente como combustible para camiones de carga de servicio ligero y pesado, autobuses de servicio urbano y de transporte foráneo. Sin embargo, gracias al desarrollo y perfeccionamiento de los motores diesel, en la actualidad también es utilizado por vehículos ligeros aunque en menor proporción.

### 1.2.3. Composición

El Diesel está constituido principalmente por cadenas de hidrocarburos de 12 a 20 átomos de carbono de tipo alifático<sup>18</sup>, así como por cadenas de hidrocarburos de tipo aromático, con un contenido de olefina que alcanza solamente a un pequeño porcentaje por volumen. La proporción en la que estos se encuentran depende del proceso de refinación involucrado.

Comúnmente, el combustible diesel producido por la simple destilación del petróleo crudo es bastante bajo en hidrocarburos aromáticos. Sin embargo, el fraccionamiento catalítico del petróleo residual para aumentar la producción de gasolina y diesel tiene como resultado un contenido aromático elevado. Un típico diesel obtenido por destilación directa, puede contener 20% a 25% de aromáticos por volumen, mientras que una mezcla diesel catalíticamente fraccionado podría tener aromáticos en un 40% a 50%.

<sup>17</sup> Clasificación de acuerdo a la ASTM (ANEXO I)

<sup>18</sup> Diccionario de Química y Productos Químicos HAWLEY Edic. Omega, S.A. Pág. 340

#### 1.2.4. Elaboración

A diferencia de la gasolina, los procesos de refinación para obtener el combustible diesel son solamente la destilación atmosférica y la desintegración catalítica. El diesel es obtenido como una de las fracciones de la destilación directa del petróleo crudo que se separa entre 190 y 360 °C<sup>19</sup>.

#### 1.2.5. Procesos de Purificación

A fin de reducir el olor producido principalmente por compuestos azufrados como los mercaptanos, reducir la contaminación atmosférica por óxido de azufre y en general, de mejorar las características del combustible, el diesel se somete a un proceso de desulfuración. La hidrodesulfuración de los combustibles diesel a presiones mayores que las normales satura los compuestos aromáticos presentes<sup>20</sup>.

Los procesos de obtención y purificación de los combustibles diesel, son descritos al inicio de este capítulo.

#### 1.2.6. Aditivos

Entre los aditivos empleados en los combustibles diesel se encuentran los realizadores de cetano, aditivos detergentes, mejoradores de fluidez y antioxidantes. Además, la investigación de los aditivos se ha dirigido específicamente a la reducción de emisiones en años recientes.

##### 1.2.6.1. Realizadores de Cetano

Los *realizadores de cetano* se usan para aumentar las cualidades de autoignición del combustible diesel. Estos componentes (generalmente nitratos orgánicos) con frecuencia se adicionan para producir el impacto adverso de los combustibles con altos aromáticos sobre el arranque en frío y el ruido de la combustión.

---

<sup>19</sup> Diesel Inyección y Combustión; Juan Miralles de Imperial Ed. CEAC Pág. 53

<sup>20</sup> Tecnología del Petróleo Pág. 2-300

### **1.2.6.2. Detergentes**

Los aditivos detergentes ayudan a prevenir y remover los depósitos de coke sobre las puntas del inyector de combustible y otros lugares vulnerables. Al mantener de ese modo la nueva inyección de combustible y las características de mezcla.

### **1.2.6.3. Mejoradores de Fluidez**

Se trata de polímeros, que en realidad no impiden la precipitación de cristales de parafinas a bajas temperaturas, pero que no obstante, impiden tanto el crecimiento de sus cristales, que al ser de tamaño microscópico pueden pasar por el filtro.

### **1.2.6.4. Antioxidantes**

Los destilados medios normales son suficientemente resistentes a la oxidación, pero los componentes del craqueo elevan la tendencia a la oxidación. Para estos resulta conveniente la introducción de aditivos que reducen la tendencia a la oxidación<sup>21</sup>.

---

<sup>21</sup> Manual de la Técnica del Automóvil; Robert Bosch Pág. 214

**Capítulo II**  
**Motores de Combustión Interna**

## Capítulo II

### Motores de Combustión Interna

El desarrollo y funcionamiento de los motores de combustión interna, ha estado desde sus inicios, *íntimamente relacionado* con las *propiedades* y características de los combustibles que utilizan.

Así pues, el desempeño y funcionamiento de los motores se ve afectado por factores mecánicos y por los efectos provocados por el uso de dichos combustibles.

Considerando lo anterior, resulta fácil entender que los requerimientos de calidad de las gasolinas y diesel, están determinados en gran parte por los fabricantes de estos equipos con el fin de que estos se ajusten a sus equipos en particular y sus condiciones económicas y de operación.

#### 2.1. Definición

A diferencia del *motor de combustión externa* en el cual, los productos de la combustión del aire y del combustible, le transfieren calor a un segundo fluido, el cual se convierte en el fluido motriz o elemento productor de trabajo; en el *motor de combustión interna*, los productos de la combustión son directamente el fluido motriz.

Debido a este rango simplificador y al mayor rendimiento térmico resultante, el motor de combustión interna es una de las unidades generadoras de trabajo más ligeras (en peso) que se conocen y, por lo mismo, su mayor campo de aplicación es la transportación.

#### 2.2. Clasificación de los Motores de Combustión Interna

Todos los motores de combustión interna se clasifican en dos tipos principales, de *cuatro* y *dos tiempos*. Esos motores se subdividen en:

- 1) *Motores Ciclo Otto* en los cuales se utiliza una bujía para encender una mezcla precombinada de combustible y aire.
- 2) *Motores Ciclo Diesel* en estos motores, la compresión a alta presión eleva la temperatura del aire hasta la temperatura de ignición del aceite combustible inyectado.

Los motores Otto y los diesel tienen los mismos elementos principales los cuales se describirán a continuación.

## 2.3. Cámara de Combustión

La cámara de combustión (Fig. 2.1) es el espacio en el cual se lleva a cabo la combustión.

Está formada por el hueco que deja un cilindro entre su parte superior y la culata, en la posición de PMS (Punto Muerto Superior). La relación entre su tamaño y el máximo volumen del cilindro da la relación de compresión.

La descripción de la *cámara de combustión*, que puede considerarse como el *corazón* de los motores de combustión interna, será la que nos permitirá entender los principios de operación de los automotores, así como la diferencia entre los motores de encendido por chispa y los de encendido por compresión.

Todo esto nos permitirá comprender mejor algunas de las propiedades que se describirán posteriormente, así como la relación que existe entre el combustible y los motores.

En términos generales la cámara de combustión está constituida por los siguientes elementos:

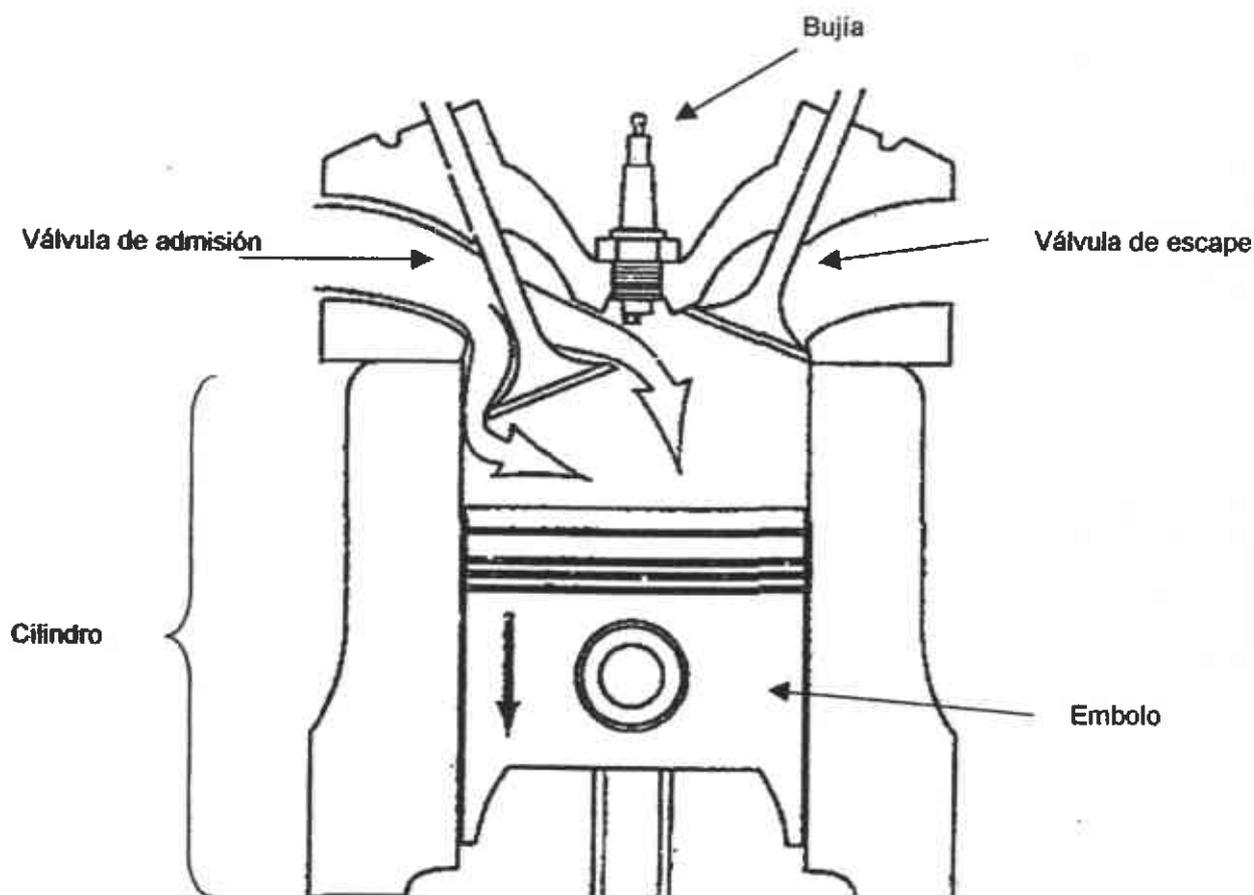
1. Cilindro
2. Embolo
3. Válvula de admisión
4. Válvula de Escape
5. Bujía (motores de encendido por chispa)
6. Inyector (motores de encendido por compresión)

### 2.3.1. Cilindro

El cilindro es un recipiente por lo general fijo, cerrado en un extremo y dentro del cual se desliza un pistón muy ajustado al interior, en el cual se lleva a cabo el proceso de combustión.

Los cilindros de muchos motores construidos recientemente, son de un material distinto de la fundición de hierro corriente, con objeto de evitar el desgaste todo lo posible. Cada día se emplean más las aleaciones al cromo y al níquel, con la finalidad de aumentar la duración de las piezas.

Fig. 2.1  
Cámara de combustión interna<sup>1</sup>



Representación de las partes de una cámara de combustión, durante el ciclo de admisión para un motor de encendido por chispa

### 2.3.2. Embolo

El émbolo ó pistón, es el elemento móvil del motor de combustión interna que se encarga de comprimir la mezcla, cerrar la cámara de combustión por la parte inferior y de transmitir la energía generada durante la expansión de los gases quemados.

El pistón trabaja a altas temperaturas al estar en contacto con los gases quemados y necesita ser refrigerado, normalmente a través del aceite del sistema de lubricación. En los motores de dos tiempos se refrigera con los gases frescos que vienen de la admisión

<sup>1</sup> Tomada del libro Manual para Ajuste de Motores y Control de Emisiones Cap. 2 Fig. 2-7

El émbolo se construye de aluminio, acero fundido ó hierro siendo su función principal, la de transmitir la fuerza originada en el proceso de la combustión. Este dispositivo se provee de cuando menos tres anillos.

Los anillos superiores se denominan anillos de compresión porque su función es la de detener los gases a alta presión dentro del cilindro, El anillo inferior generalmente es el controlador de aceite. El objeto de este anillo es el de quitar aceite sobrante de la pared del cilindro.

### **2.3.3. Válvula de Admisión**

Dispositivo que tiene la función de permitir la entrada de la mezcla aire-combustible en el caso del motor de encendido por chispa, y del aire a comprimir en el caso de los motores de encendido por compresión a la cámara de combustión.

Esta válvula permanece cerrada durante el ciclo de compresión. La válvula de admisión se hace de una aleación de acero al cromo-níquel,

### **2.3.4. Válvula de Escape**

La válvula de escape tiene la finalidad de permitir la salida de los gases generados durante la combustión. La válvula de escape realiza un trabajo particularmente severo porque se abre cuando los gases de combustión están arriba de 1650° C y esta corriente de gases pasa por su cara.

A diferencia de la válvula de admisión, la de escape trabaja a temperaturas más elevadas (aproximadamente 600 ° C). La válvula de escape, al igual que la válvula d admisión, permanece cerrada durante el ciclo de compresión. Se hace de una aleación de cromo-silicio (silchrome).

### **2.3.5. Bujía**

La bujía es el dispositivo utilizado por los *motores de combustión de encendido por chispa* para iniciar la combustión de la mezcla aire - combustible justo en el momento exacto es decir, cuando el pistón alcanza el límite superior de la cámara de combustión. La bujía se encuentra colocada en la parte superior del cilindro, al final de la *carrera de compresión* la cual se describirá más adelante.

### **2.3.6. Inyector**

En el caso de los *motores de encendido por compresión*, la bujía del motor es sustituida por el inyector el cual tiene la finalidad de introducir el combustible en la cámara de combustión en la cantidad adecuada, en el momento preciso y en las condiciones requeridas es decir; finamente pulverizado para su perfecta combustión.

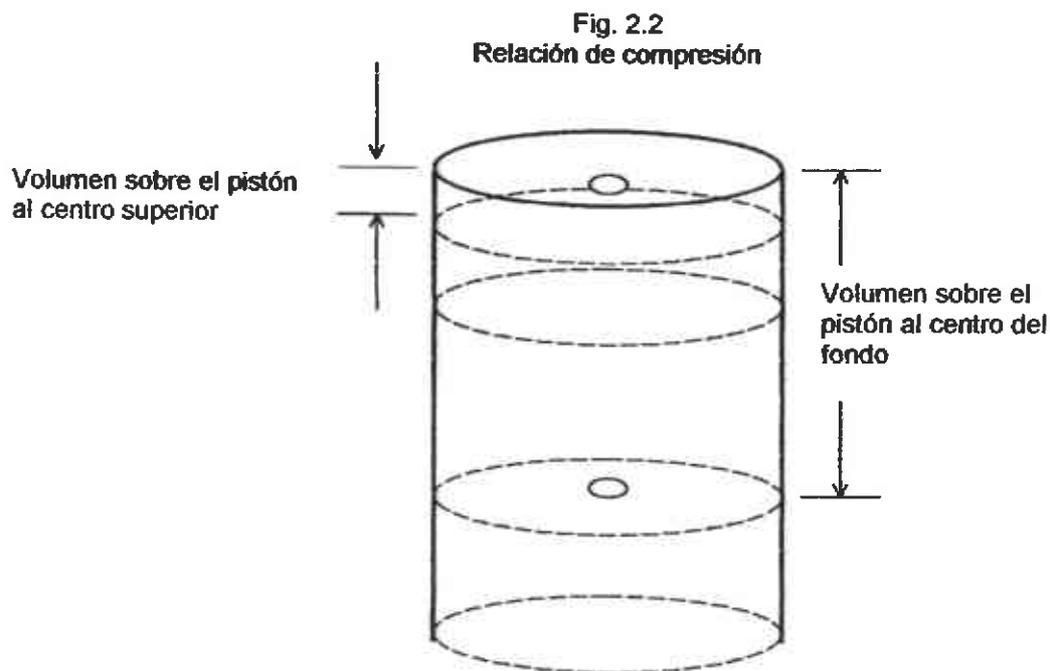
Una vez descritas las partes que conforman a la cámara de combustión, se procederá a describir la diferencia entre los motores de cuatro y dos tiempos.

#### 2.4. Relación de Compresión

La potencia que se puede obtener por la combustión de una mezcla de combustible y aire en un motor es mayor si se eleva a mayor presión la mezcla antes de someterla a ignición<sup>2</sup>.

La relación de compresión es la relación del volumen del cilindro sobre el pistón, cuando este está al principio de la carrera respecto al volumen en el cilindro sobre el pistón, cuando este se encuentra al final de la carrera (fig. 2.2).

$$\text{Relación de compresión} = \frac{\text{volumen en el cilindro (pistón al centro del fondo)}}{\text{volumen en el cilindro (pistón al centro superior)}}$$



<sup>2</sup> Enciclopedia Temática de Química Pág. 742

## 2.5. Motor de Encendido por Chispa

También conocido como *Motor de Ciclo Otto*, el motor de encendido por chispa transforma en energía mecánica, la energía calorífica contenida en el carburante al quemarse dentro de un cilindro, de esta manera la energía que se libera es transmitida a un pistón móvil el cual produce el trabajo mecánico que se usa para poner en movimiento a un vehículo.

Una de las principales características de este tipo de motor es que la combustión se inicia mediante el salto de una chispa proveniente de una bujía.

Los combustibles empleados por los motores de encendido por chispa deben tener cierta *capacidad antidetonante*, es decir, que estos no se enciendan antes de recibir la chispa.

El motor de gasolina común, tiene una relación de compresión de 5 ó 6 a 1.

En otras palabras, la mezcla de aire y combustible se halla, al fin de la carrera de compresión, en la cámara de combustión de un motor de gasolina, comprimida en un espacio de un quinto o de un sexto del que ocupaba al principio de la carrera.

Es por ello que para conseguir la ignición de la mezcla y la producción de energía dentro del cilindro, es necesaria una chispa eléctrica.

## 2.6. Motor de Cuatro Tiempos Encendido por Chispa

Un motor se llama de cuatro tiempos cuando tiene lugar la combustión cada cuatro carreras consecutivas, es decir, cada dos vueltas del eje cigüeñal. La secuencia del funcionamiento de este tipo de motores se describe a continuación<sup>3</sup>:

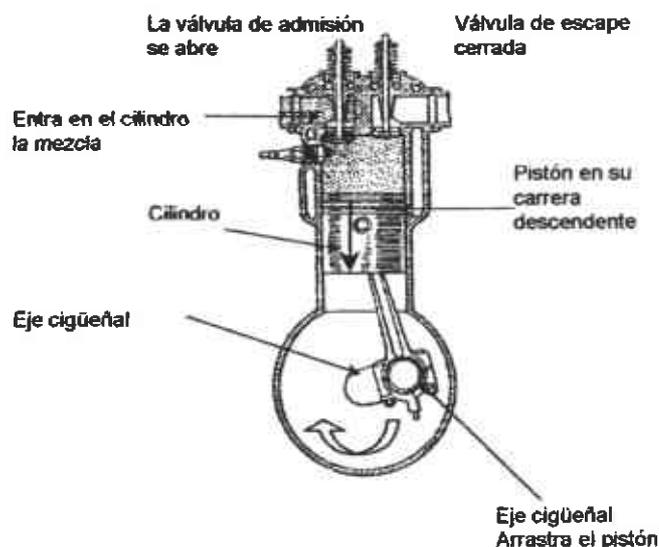
---

<sup>3</sup> Tomada del libro *Motores de Combustión Interna*; Obert fig. 28

### 1. Carrera de admisión (Fig. 2.3)

Consiste en el primer recorrido del émbolo desde la cámara de combustión, hasta el final de la carrera para inducir la admisión de la mezcla integrada por el combustible, y el aire hacia el interior del cilindro del motor. En este tiempo, la válvula de admisión se mantiene abierta mientras que la válvula de escape se mantiene cerrada.

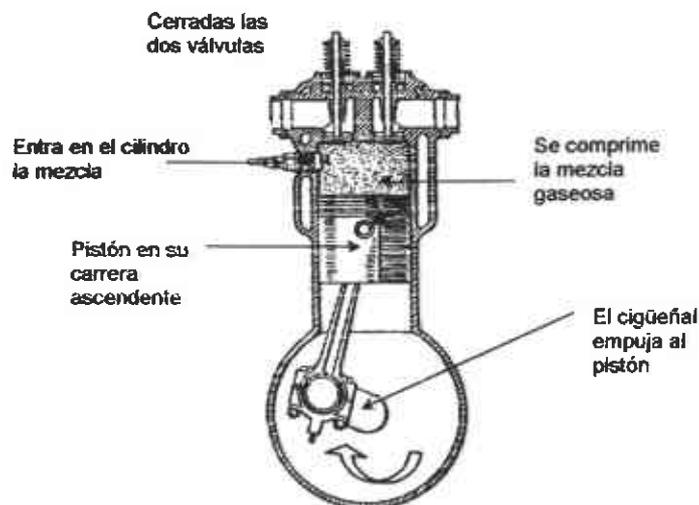
Fig. 2.3



### 2. Carrera de compresión (Fig. 2.4)

El segundo tiempo tiene la finalidad de elevar la temperatura de la mezcla aire-combustible, la cual se logra cuando el pistón se mueve ahora en sentido contrario, comprimiendo la mezcla. En el segundo tiempo, ambas válvulas permanecen cerradas.

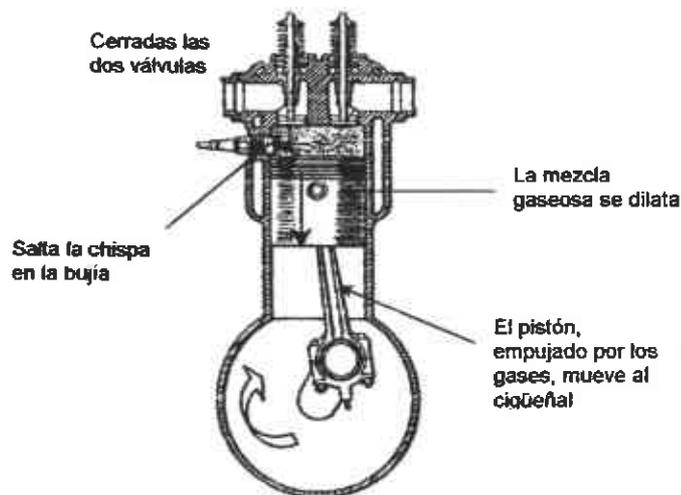
Fig. 2.4



### 3. Carrera de expansión ó de potencia (Fig. 2.5)

Al final de la carrera de compresión, al recibir la chispa, los gases se inflaman y ejercen una fuerte presión sobre el émbolo, empujándolo hasta el extremo de carrera. Se trata de la única carrera útil dentro del ciclo. En esta carrera, ambas válvulas continúan cerradas.

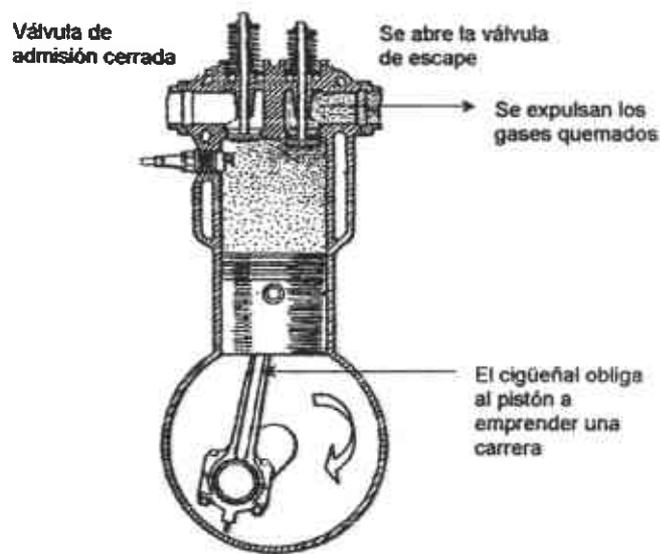
Fig. 2.5



### 4. Carrera de escape (Fig. 2.6)

El último tiempo tiene un recorrido igual a la compresión pero, al estar la válvula de escape abierta, se produce la expulsión de los gases ya quemados, dejando el interior del cilindro libre de los gases ya quemados.

Fig. 2.6



## 2.7. Motor de Encendido por Compresión

Un motor de encendido por compresión (también conocido como *motor diesel*), es un motor de combustión interna en el cual la ignición del combustible se produce por el calor de la compresión y no por la ignición de una chispa.

A diferencia del motor de gasolina, que tiene una relación de compresión de 5 a 1 ó 6 a 1, el motor Diesel tiene una relación de compresión alrededor de 15 a 1, es decir, el aire se ve reducido al final de la carrera de compresión a un espacio de solo un quinceavo del volumen a que llega al final de la carrera de admisión.

En consecuencia, en un motor diesel la compresión es del orden de 33 atmósferas ó mayor. El aire comprimido de esta manera se calienta hasta una temperatura de 500 o 600 °C, que es mayor que el *punto de ignición o de auto inflamación*<sup>4</sup> del combustible.

## 2.8. Motor de Cuatro Tiempos Encendido por Compresión

En este tipo de motores, El carburador y la bujía se sustituyen por la bomba de inyección de combustible y el inyector. En un motor diesel de cuatro tiempos, los fenómenos se suceden como sigue:

### 1. Carrera de admisión

La válvula de admisión se abre muy poco antes de que el pistón llegue al punto muerto superior, y continúa abriendo hasta que el émbolo pasa por el punto muerto inferior.

A medida que el pistón se mueve hacia abajo, absorbe aire puro en el interior del cilindro.

### 1. Carrera de compresión.

Todas las válvulas del cilindro están cerradas, y a medida que el émbolo asciende, comprime dicho aire, hasta llegar a un máximo al final de la carrera, siendo entonces mínimo el volumen encerrado entre el émbolo y la culata.

Debido a la compresión, la temperatura del aire llega a ser suficientemente alta para hacer entrar en ignición el combustible cuando este es inyectado.

### 3. Carrera de expansión ó de potencia

Al iniciarse, se inyecta combustible; la válvula y su mecanismo están proyectados para suministrar combustible durante un diez por ciento de revolución del cigüeñal. La combustión completa a presión constante durante

<sup>4</sup> Esta propiedad se describirá en el Capítulo III.

esta parte del ciclo. Los gases se expanden durante lo que queda de carrera, que es cuando se desarrolla la máxima potencia.

#### 4. Carrera de escape

Muy poco antes de alcanzar el punto medio inferior, se abra la válvula de escape. Los gases expandidos son expulsados al exterior, gracias al movimiento ascendente del émbolo. La válvula de escape continúa abierta un tiempo suficiente, para aprovechar la inercia del movimiento de salida de la columna de gases.

Debido a que la secuencia de funcionamiento de ambos motores es la misma, la secuencia ilustrada en el motor de encendido por chispa, también describe la secuencia llevada a cabo por el motor Diesel.

## 2.9. El Ciclo de Dos Tiempos

Los fenómenos esenciales son los mismos que los del motor de cuatro tiempos. Un motor de dos tiempos es aquel en el cual se presenta la combustión del combustible cada dos carreras consecutivas, es decir, cada revolución (figs. 2.7 y 2.8).

En ella se combinan dos carreras del pistón en una sola. Uno de los tiempos corresponde a la admisión y compresión, y el otro a la expansión y escape.

Debido a las características de este motor, la entrada de la mezcla combustible no se realiza por succión sino que previamente se comprime mediante un soplador.

La presión de la mezcla fresca que ingresa, se aprovecha para producir un barrido de los gases de escape. Los motores de dos tiempos se utilizan habitualmente en vehículos y maquinarias livianas: motocicletas, embarcaciones deportivas, motosierras y similares.

Si se emplea el ciclo de dos tiempos para un motor de gasolina, parte de la mezcla fresca será desalojada junto con los gases de escape. Es difícil conseguir una carga eficiente del cilindro sin grandes pérdidas de combustible.

Por esta razón, los motores de dos tiempos de encendido por chispa son poco usados. Excepto para motores pequeños de gasolina en los que la economía no es un factor vital; como en los motores fuera de borda para lanchas.

En los motores Diesel, no existe esta desventaja ya que solo se emplea aire, y, por lo tanto, solo se pierde aire en el barrido<sup>5</sup>.

<sup>5</sup>Motores de Combustión Interna ; Obert Pág. 30

Fig. 2.7  
Carreras potencia y escape

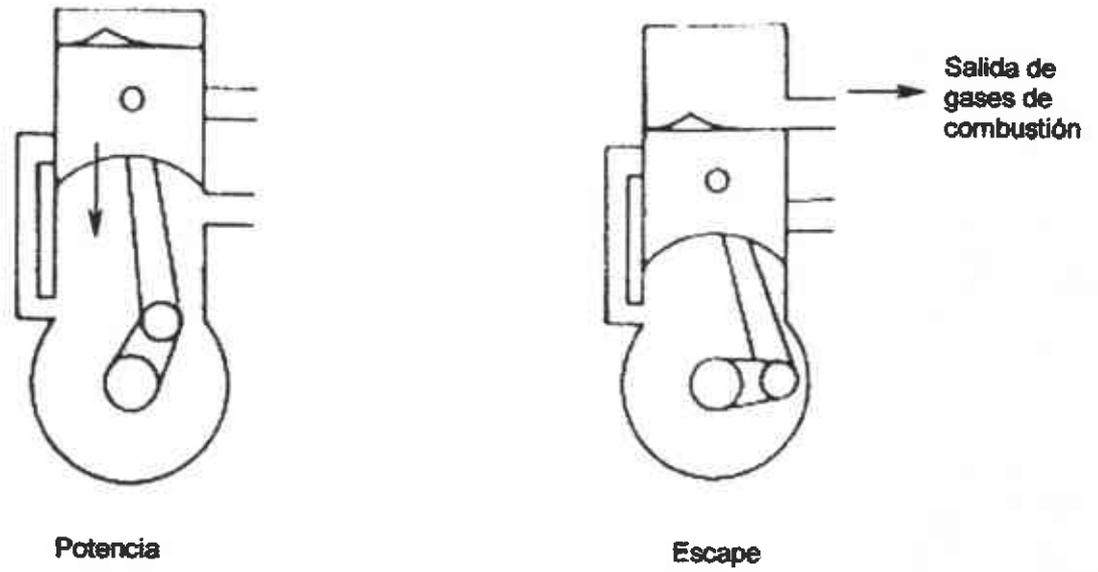
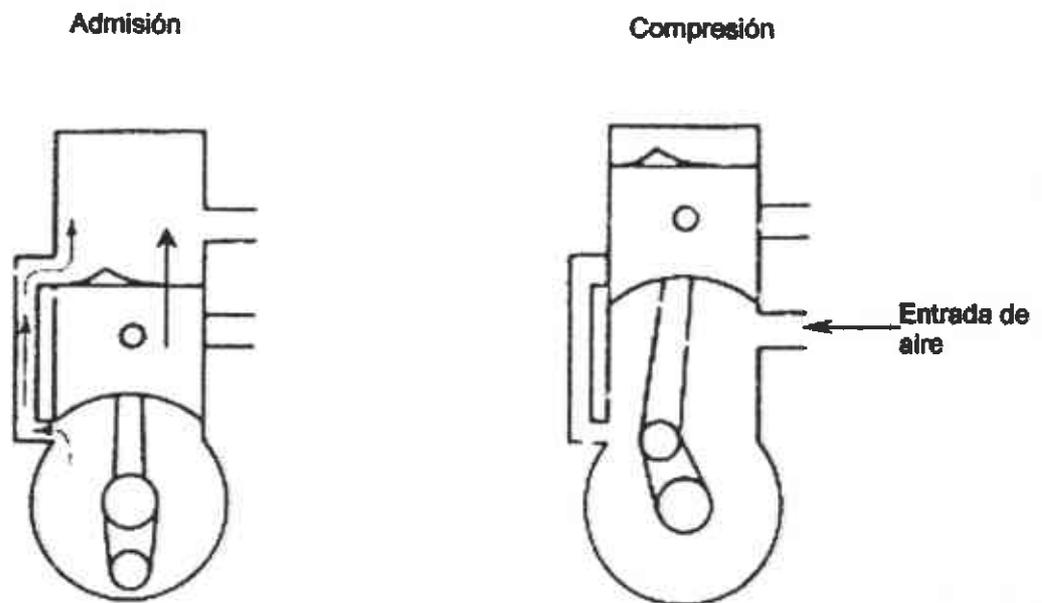


Fig. 2.8  
Carreras de admisión y compresión



## 2.10. Proceso de Combustión.

La reacción de los hidrocarburos con el oxígeno para formar dióxido de carbono y agua y, lo más importante, *calor*, es la reacción principal que se desarrolla en una máquina de combustión interna: su tremenda importancia práctica es evidente.

Este es un proceso exotérmico y, sin embargo, para su iniciación requiere de una temperatura muy elevada la cual puede ser alcanzada ya sea por medio de una chispa ó por medio de una compresión lo suficientemente grande como para alcanzar el *punto de autoinflamación* del combustible en cuestión.

La mayor parte de los combustibles y oxidantes no suelen mezclarse antes de entrar en la cámara de combustión o reacción debido al peligro que originaría un encendido accidental o espontáneo.

Los productos usuales de una combustión completa de hidrocarburos son  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . Sin embargo, si la combustión es incompleta entre los productos de la combustión estarán presentes  $\text{CO}$ , Hidrocarburos y  $\text{O}_2$ .

Las ecuaciones elementales de reacción para el carbono y el hidrógeno contenidos en las moléculas de hidrocarburos, combinándose con el oxígeno en proporción estequiométrica son las siguientes:



Bajo ciertas condiciones de combustión, parte del nitrógeno que hay en el aire se combina químicamente con una parte del oxígeno. Esto da como resultado la producción de varios óxidos de nitrógeno  $\text{NO}_x$

El nitrógeno necesita mucha energía para combinarse con otras moléculas. Cuando la temperatura de la combustión en el motor es muy elevada, pueden formarse óxidos de nitrógeno de acuerdo a la siguiente reacción:



## 2.11. El Convertidor Catalítico.

El convertidor catalítico es un dispositivo instalado luego del múltiple de escape, cuya función es la de disminuir las emisiones contaminantes producidas durante el proceso de combustión. Tiene una carcasa de acero inoxidable que contiene en su interior sustancias químicamente activas mejor conocidas como catalizadores, soportadas por una estructura cerámica recubierta por una capa amortiguadora que la protege de golpes.

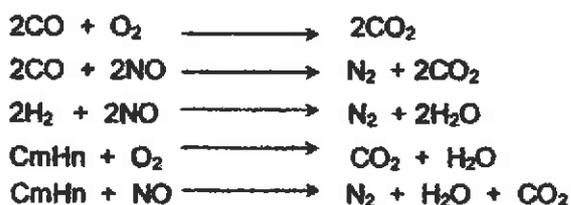
El convertidor trabaja sobre 3 subproductos entre muchos que se desechan a través del escape, ellos son el monóxido de carbono (CO), hidrocarburos sin quemar y óxidos de nitrógeno (NOx), motivo por el cual suelen clasificarse como *convertidores de tres vías* en referencia a la cantidad de gases, también existen *convertidores de 2 vías* que sólo funcionan sobre los 2 primeros gases en cuestión.

El convertidor catalítico transforma químicamente por oxidación estos componentes, en CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y N<sub>2</sub>

Internamente el convertidor posee una estructura con arquitectura similar a un panal de abejas, (*colmena*) usualmente de cerámica aunque existen diferentes variantes. Esta estructura posee un revestimiento catalítico compuesto por platino, paladio y rodio.

También pueden incluir otros elementos como rutenio e iridio. El costo de estos elementos así como de los respectivos procesos de manufactura se traduce en un elevado costo de reposición en caso de daño, llegando a tener precios prohibitivos.

Reacciones químicas: Estas son altamente exotérmicas (liberan calor). Un esquema simple de las mismas es:



Estas reacciones son la que tienen lugar en los catalizadores de oxidación, y mediante ellas se obtienen grandes reducciones de hidrocarburos no quemados y monóxido de carbono. Si el catalizador es de tres vías también se eliminan los óxidos de nitrógeno. El convertidor utiliza dos tipos de catalizadores, uno de reducción y otro de oxidación.

### *Catalizador de reducción*

El catalizador de reducción es la primera etapa del convertidor catalítico. Utiliza platino y rodio para disminuir las emisiones de NOx. Cuando una

molécula de monóxido o dióxido de nitrógeno entra en contacto con el catalizador, éste atrapa el átomo de nitrógeno y libera el oxígeno, posteriormente el átomo de nitrógeno se une con otro átomo de nitrógeno y se libera. Es decir, descompone los óxidos de nitrógeno en oxígeno y nitrógeno que son los componentes del aire.

#### *Catalizador de oxidación<sup>6</sup>*

El catalizador de oxidación es la segunda etapa del convertidor catalítico. Este catalizador de platino y paladio toma los hidrocarburos y monóxido de carbono que salen del motor y los hace reaccionar con el oxígeno que también viene del motor generando CO<sub>2</sub>.

La fig. 2.8. muestra la típica cama doble del sensor de control de un convertidor catalítico de tres vías.

**Fig. 2.8**  
Aspecto físico de un Convertidor Catalítico



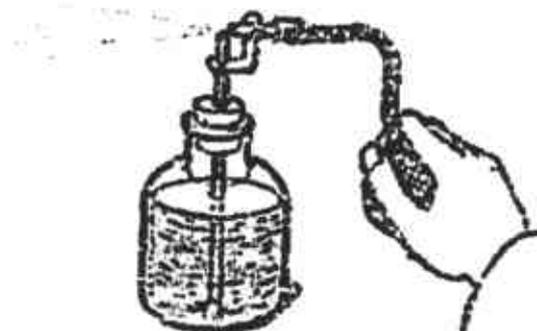
---

<sup>6</sup> <http://www.lubrimax.com.mx/recipes.ihhtml?s=2&menvar=26>

## 2.12. Fundamentos del Carburador

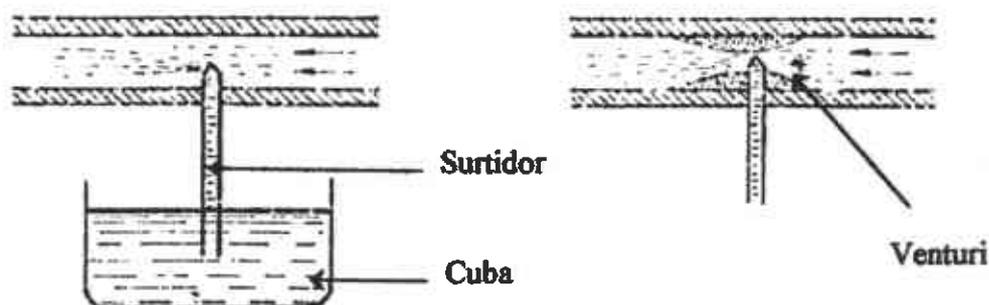
El fundamento del carburador, está basado en el mismo principio de los atomizadores, toda corriente de aire que pasa rozando un orificio, provoca sobre este una succión. Tal como ocurre en un atomizador ordinario (fig. 2.9), en el que una corriente de aire, pasa rozando el orificio del tubo sumergido, provocando en él la succión que hace subir el líquido, y lo lanza, atomizado, en el chorro de aire.

Fig. 2.9  
Atomizador ordinario



En el carburador, La corriente de aire es producida por la aspiración que ejercen los cilindros en la tubería del colector de admisión, a la cual asoma un tubito llamado **surtidor**, por el cual llega la gasolina proveniente del depósito denominado **cuba** (fig. 2.10). Para que la succión ó vacío provocado por las aspiración de los cilindros, en su movimiento descendente, sea mayor en la boca del surtidor, se coloca un **difusor** o **venturi**, que al estrechar el paso del aire, aumenta la velocidad de este sin variar su caudal y hace que "sorba" más energicamente, el líquido del surtidor, pulverizándolo de forma más eficaz.

Fig. 2.10  
Fundamentos del carburador



En consecuencia, la aspiración de la gasolina, queda asegurada por la velocidad del aire y por la depresión que resulta en el seno del mismo.

Para graduar la cantidad de mezcla que se quiere introducir en el cilindro, según la potencia que se necesite obtener del motor, se intercala la **válvula de mariposa** (fig. 2.11) la cual se abre más o menos, según la presión que ejerza el conductor sobre el pedal del acelerador.

Fig. 2.11  
Válvula de mariposa



De esta manera, el carburador debe de cumplir las siguientes funciones:

1. Dosificar el combustible para obtener la relación de mezcla aire-gasolina.
2. Pulverizar el combustible y mezclarlo homogéneamente con el aire.

### 2.13 Cárter

El cárter es la pieza que cierra la parte inferior del bloque-motor, sirviendo de depósito del aceite lubricante del motor, el cual se aspira mediante una bomba para impulsarlo a los elementos necesarios. Normalmente es de plancha de hierro, por lo que es ligero y fuerte a la vez. De este modo puede soportar, ocasionalmente, los golpes producidos por piedras que salten, sobre todo cuando se circula en malas carreteras.

**Capítulo III**

**Descripción e Interpretación  
de Propiedades**

### CAPÍTULO III

## Descripción e Interpretación de Propiedades

Para satisfacer las actuales demandas de calidad requeridas por los modernos automotores y la normatividad ambiental, los combustibles para automotores: Gasolinas y Diesel, deben de cumplir con toda una serie de *especificaciones* las cuales, generalmente exigen ciertos valores para aquellas propiedades químicas, físicas o fisicoquímicas, que están íntimamente relacionadas con la funcionalidad de dicho combustible, así como para aquellas que pueden tener algún efecto nocivo sobre el medio ambiente.

Al mismo tiempo, los requisitos exigidos para una gasolina son completamente diferentes a los exigidos para un combustible diesel. Mientras que en una gasolina, la capacidad antidetonante mejor conocida como *Índice de Octano* debe de ser lo más alta posible, en un combustible diesel se busca que su capacidad de autoinflamación sea relativamente baja, para evitar *retrasos* muy grandes en la combustión (*Índice de Cetano*). Esto es debido a que las condiciones de operación de los automotores para los cuales fueron elaborados, son diferentes entre sí.

El que cada una de las variables utilizada para determinar la calidad de estos combustibles, deba de estar en un determinado rango tiene una razón de ser, más aun; mas allá de ser un simple número, cada una de estas propiedades tiene un significado físico, tangible y de un importante valor.

En el presente capítulo se presentan la clasificación, definición y descripción de las variables más importantes utilizadas para determinar la calidad de las gasolinas y el diesel. Al mismo tiempo se presenta la interpretación dada a estos valores, por medio de la descripción de los problemas ocasionados cuando los valores establecidos para cada una de estas variables se encuentran fuera del rango establecido. Por último se hace mención de los métodos analíticos (ASTM) empleados para evaluar cada una de las propiedades involucradas.

En este capítulo, sólo se manejan rangos de valores para las propiedades de manera cualitativa, siendo en el siguiente capítulo *Especificaciones de Calidad*, donde se presentarán datos de manera cuantitativa.

En primer instancia se presenta la manera en la que serán interpretadas cada una de las propiedades de la gasolina y el diesel, seguida de una clasificación de estas propiedades en base a su función y efectos provocados. Posteriormente se muestra una lista con las variables o propiedades utilizadas para determinar la calidad de las gasolinas y diesel en México, así como el método empleado para realizar la prueba correspondiente en la actualidad.

## Interpretación de Propiedades

En términos generales, cualquier propiedad cuyo valor se encuentre fuera del rango o valor establecido, será interpretada desde los aspectos técnicos, sanitarios y ambientales, en función de los efectos provocados por dicha variación, como una propiedad inapropiada o indeseada en el combustible.

Cabe mencionar que tales efectos son descritos solo de manera cualitativa y no de manera cuantitativa y/o económica. Así por ejemplo, si el índice de octano de una gasolina es menor al especificado, la interpretación dada a este resultado, es que el uso de esta gasolina ocasionará problemas de *golpeteo* en el motor, disminuyendo el rendimiento de dicho combustible, viéndose esto reflejado en un aumento en el consumo del combustible, y una eventual degradación del motor. Sin embargo, el presente trabajo no está en posibilidad de predecir, en cuanto tiempo el motor se volverá prácticamente inservible, ni de describir la manera exacta en la que el motor se ve afectado al disminuirle un octano a la gasolina, dos, etc.

De esta manera, toda aquella propiedad que se encuentre dentro de especificaciones, se interpretará como una propiedad adecuada y deseable en el combustible.

Finalmente se describe cada una de las propiedades en orden alfabético de acuerdo al siguiente algoritmo:

1. Propiedad
2. Descripción
3. Método ASTM
4. Función
5. Efectos provocados

### **3.1. Clasificación**

Las características y propiedades de los combustibles para automotores pueden ser agrupadas en tres rubros<sup>1</sup>:

Manejo y almacenamiento  
Desempeño de los vehículos  
Protección al medio ambiente

#### **3.1.1. Características de manejo y almacenamiento**

Entre las principales podemos citar: la volatilidad (que incluye la curva de destilación y la presión de vapor Reid, PVR), el color, agua y sedimentos (estas últimas dos en el caso del Diesel) las gomas preformadas y el período de inducción.

#### **3.1.2. Características de desempeño en los vehículos**

Dentro de este rubro se ubican varias características que tienen un impacto importante en el correcto funcionamiento de los motores y los dispositivos anticontaminantes.

Entre otras se pueden citar: el índice de octano, el número o índice de cetano, temperatura de escurrimiento, temperatura de nublamiento y viscosidad (estas últimas cuatro en el caso del diesel), la corrosión a la lámina de cobre, las gomas preformadas, la volatilidad y los aditivos multifuncionales del tipo detergente dispersante.

#### **3.1.3. Características de protección al medio ambiente**

Entre éstas se pueden mencionar: el contenido de azufre, aromáticos, olefinas, benceno, oxigenados, plomo, la volatilidad y los aditivos multifuncionales.

---

<sup>1</sup> <http://www.ref.pemex.com/octanaie/nprod15.htm>

### 3.2. PROPIEDADES DE LA GASOLINA

Actualmente en México se aplican un total de 19 pruebas, a partir de las cuales se evalúa la calidad de las Gasolinas en nuestro país, dichas pruebas se presentan y describen en orden alfabético de acuerdo a la tabla 3.1.

Tabla 3.1  
Propiedades de las gasolinas

<b>GASOLINA</b>	
<b>No.</b>	<b>Prueba o propiedad</b>
1	Aditivo Detergente Dispersante
2	Aromáticos
3	Azufre Mercaptánico
4	Azufre Total
5	Benceno
6	Color
7	Contenido de Fósforo
8	Contenido de Plomo
9	Corrosión al Cu, 3h a 50 ° C
10	Destilación
11	Gomas Preformadas y Gomas no lavadas
12	Índice de Octano, (R+M) / 2
13	Olefinas
14	Oxigenados
15	Periodo de Inducción
16	Peso Específico
17	Presión de Vapor
18	Prueba Doctor
19	Temperatura de Prueba Mínima (V/L) = 20

### 3.2.1. Aditivo Detergente Dispersante

---

#### *Descripción*

Los aditivos detergentes dispersantes son compuestos tensoactivos los cuales, están conformados de moléculas cuyas cadenas presentan propiedades hidrofóbicas, con un grupo polar al final de las mismas.

Se denominan así por las siguientes razones:

**DETERGENTES:** Como su nombre lo indica, su función es *lavar* las partes interiores en el motor, carburador y sistemas de inyección.

**DISPERSANTES:** Este aditivo pone en suspensión las partículas que el aditivo detergente *lavó* y las disipa en millones de partes<sup>2</sup>.

Los primeros detergentes utilizados consistían en alquilamin fosfatos o amidas ácidas grasas, pero dispersantes poliméricos tales como polibutanoaminas y polieteraminas, son los más usados actualmente.

El reconocimiento, por parte de las autoridades ambientales y los fabricantes de automóviles, que los depósitos en los sistemas de admisión provocan mal funcionamiento en los vehículos, incremento en las emisiones de escape y disminución del rendimiento de combustibles, motivó el establecimiento de pruebas estándar para la evaluación del desempeño de los aditivos detergentes dispersantes. En EUA las agencias de protección ambiental EPA (*Environmental Protection Agency*) y CARB (*California Air Resources Board*) exigen las siguientes pruebas:

**BMW 318i-IVD.** Formación de menos de 100 mg de depósitos en válvulas de admisión después de un recorrido de 10,000 millas, utilizando la gasolina aditivada. **CHRYSLER 2.2L PFI.** Restricción de flujo en inyectores no mayor de 5%, después de un recorrido de 10,000 millas, utilizando la gasolina aditivada (keep-clean). En un auto con restricción de flujo mayor al 10%, el aditivo debe ser capaz de remover depósitos de tal manera que la restricción de flujo sea menor al 5% después de un recorrido de 10,000 millas (clean-up).

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos de Norteamérica, requiere que todas las gasolinas cumplan con las pruebas BMW 318i-IVD y Chrysler 2.2L PFI keep-clean. Por su parte, la Oficina Ambiental de California (CARB), además de las dos pruebas anteriores, también exigen que las gasolinas pasen la prueba Chrysler 2.2 L PFI clean-up.

En nuestro país, PEMEX Refinación, establece en sus especificaciones que el aditivo detergente/dispersante que se adicione a la gasolina cumpla con los

---

<sup>2</sup> Revista Octanaje No. 21

requerimientos que establece la EPA. De esta forma, en el Instituto Mexicano del Petróleo se han desarrollado aditivos detergentes para las gasolinas acordes a las necesidades de cada época.

Dado que en México no existen laboratorios aprobados por EPA y/o CARB para certificar el desempeño de los aditivos de acuerdo a la normatividad establecida, los aditivos desarrollados por el IMP son evaluados en las instalaciones del Southwest Research Institute de EUA.

Adicionalmente, los aditivos desarrollados, generalmente se evalúan en pruebas de flotillas, en la Ciudad de México, con el propósito de constatar los beneficios en la reducción de emisiones, manteniendo los sistemas de admisión libres de depósitos. La concentración de los aditivos en la gasolina debe ser definida con base a los resultados de las pruebas de evaluación del desempeño del mismo, y considerando el grado de limpieza que se desee obtener en los sistemas de inyección y admisión de combustible. La concentración de estos aditivos es de unas 450 ppm aprox.<sup>3</sup>

### **Origen**

Aditivos detergentes agregados a la gasolina después del proceso de obtención.

### **Función**

Impedir que se depositen en el cárter del cigüeñal, el carburador y en el escape impurezas resinosas.

El grupo polar al final de la cadena de los compuestos tensoactivos, se une a los depósitos que se pueden formar en el combustible, mientras que la cadena ó grupo hidrofóbico de la molécula se disuelve en el combustible. De esta forma, la capa mono molecular que se forma alrededor de las partículas, promueve la disolución de estas en el combustible previniendo así, la agregación de partículas y permitiendo que estas sean llevadas junto con el combustible hasta la cámara de combustión. Los tensoactivos también ofrecen una protección a las superficies metálicas del motor actuando de manera similar e impidiendo la formación de depósitos los cuales son continuamente removidos. Actualmente, los aditivos promueven la limpieza de zonas calientes del motor (400°C) como son las válvulas, además de presentar buen desempeño en la limpieza de inyectores o carburador.

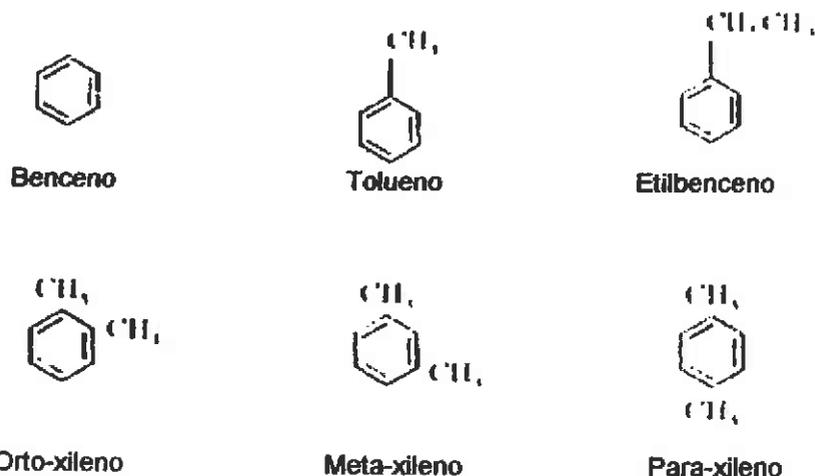
Los aditivos detergentes son normalmente considerados como aditivos multifuncionales ya que estos también, pueden ofrecer beneficios tales como propiedades anticorrosivas al combustible.

<sup>3</sup> <http://www.franquiciapemex.com/octanaje/17nuestros.htm>

### 3.2.2. Aromáticos

#### Descripción

Los compuestos aromáticos son un grupo de hidrocarburos cíclicos insaturados que contienen en sus moléculas uno o más anillos. Entre estos compuestos se encuentra el benceno, tolueno, cumenos y xilenos. El nombre se debe al fuerte y desagradable olor característico de la mayoría de las sustancias de esta naturaleza.



La determinación de estos compuestos se realiza por medio de una columna especial de vidrio empacada con sílica gel, la cual contiene una mezcla de tintes fluorescentes. Las familias de hidrocarburos presentes en el combustible son separados de acuerdo a su afinidad de adsorción en aromáticos, olefinas y compuestos saturados. Los tintes fluorescentes también son separados selectivamente con las familias de hidrocarburos y forman zonas para cada familia de estos compuestos cuyos límites son visibles bajo luz ultravioleta. El porcentaje en volumen se calcula de acuerdo a la extensión de cada zona.

Actualmente el contenido de compuestos aromáticos se determina por cromatografía en capa fina aplicando el **Método ASTM D1319-02a**

#### Origen

Los compuestos aromáticos contenidos en la gasolina, provienen del proceso de reformación catalítica.

## **Función**

Los compuestos aromáticos mejoran las propiedades antidetonantes de la gasolina. De hecho los compuestos aromáticos resisten el autoencendido severo y lo hacen reaccionando en la carrera de compresión del motor, aun mejor que el iso-octano (tabla 3.2). A pesar de la falta de saturación, los dobles enlaces de los compuestos aromáticos no son fijos con respecto a los átomos de carbono y sí son, en cambio, alternas. Debido a esta unión particular, los compuestos aromáticos son más estables químicamente en comparación a otros compuestos no saturados tales como las *olefinas*. Es por ello que estos compuestos pueden llegar a formar hasta el 38% del contenido de la gasolina sin plomo<sup>4</sup>.

## **Efectos Provocados**

### **Factores Sanitarios y Ambientales**

La toxicidad aguda de los compuestos aromáticos (alquilbencenos) inhalados se describe mejor como depresión del sistema nervioso central. El potencial de exposición de seres humanos, aunque a menudo cifras bajas, está expandido más allá de los trabajadores industriales a trabajadores de estaciones de gasolina y el público en general.

No se han informado de respuestas adversas de la función hematológica y hepática en trabajadores expuestos a etilbenceno y vigilados durante 20 años. Los trabajadores con más de 100 ppm suelen quejarse de alteraciones gastrointestinales. Se ha observado que los trabajadores con exposición repetida de 200 a 300 ppm de tolueno tienen alteraciones de un tiempo de reacción simple y de elección, y de la rapidez de percepción.

Se ha demostrado que el tolueno, xileno y cumeno no producen mutaciones en las diversas cepas de *Salmonella*.

No se han observado aberraciones cromosómicas en seres humanos expuestos a tolueno. La actividad débil o nula en pruebas de genotoxicidad sugiere que los alquilbenceno no son carcinogéicos, aunque no se han valorado de manera sistemática en pruebas en animales.

La toxicidad por muchas sustancias químicas requiere activación metabólica hacia especies reactivas, que puede causar entonces efectos adversos, Aun así, en el caso de los alquilbencenos, las principales vías metabólicas parecen ser hacia metabolitos que tienen baja toxicidad y que se excretan con facilidad<sup>5</sup>.

<sup>4</sup> Manual de Envenenamientos, Dr. Robert H. Dreisbach; El Manual Moderno S.A. Pág. 733

<sup>5</sup> Manual de Envenenamientos, Dr. Robert H. Dreisbach; El Manual Moderno S.A. Pág. 734

### **3.2.3. Azufre Mercaptánico**

---

#### ***Descripción***

Los *tiolos* son compuestos análogos a los alcoholes, es decir, el oxígeno de la molécula de alcohol está reemplazado en ellos por azufre. Hasta 1930 se conocía a estos compuestos como mercaptanos y, particularmente en la industria, aun se emplea el nombre de mercaptano. Estos compuestos son notorios por sus desagradables olores, estos olores pueden detectarse a concentraciones muy bajas.

El azufre mercaptánico se determina actualmente de manera cuantitativa, por medio de un método potenciométrico con nitrato de plata aplicando el **Método ASTM D3227-02**.

#### ***Origen***

Los combustibles hidrocarbурados suelen tener azufre libre, sulfuro de hidrógeno y otros compuestos de azufre tales como los mercaptanos en mayor o menor proporción, debido a que resulta muy difícil de eliminar totalmente en los procesos de purificación.

#### ***Efectos Provocados***

##### **Factores Sanitarios y Ambientales**

En general, la mayoría de los tiolos se consideran compuestos moderadamente tóxicos<sup>6</sup>. Sin embargo cuando estos se calientan hasta la descomposición, emiten humos tóxicos de óxido de azufre, los cuales son irritantes y depresivos del sistema nervioso central.

##### **Factores Técnicos**

Los mercaptanos son compuestos indeseables en la gasolina, entre otras razones, por el olor desagradable que le dan a la gasolina. En todas las formas el azufre se puede unir con oxígeno para formar bióxido de azufre que en presencia de agua a baja temperatura, tiende a formar ácido sulfuroso. Sin embargo los gases de escape del motor usualmente abandonan a éste y a los tubos de escape a altas temperaturas y, por lo tanto, no tiene lugar la formación de ácido. Por otra parte, los gases que permanecen en el cilindro o en las líneas de escape, al suspender el funcionamiento del motor, quedan expuestas a las condiciones necesarias para la formación del ácido: bajas temperaturas y agua. Pueden hacerse los mismos comentarios para el funcionamiento en invierno y para los productos infiltrados en el cárter.

<sup>6</sup> Enciclopedia de Tecnología Química; Kirk Othmer, Ed. Limusa Pág. 1381

### **3.2.4. Azufre Total**

---

#### **Descripción**

El azufre es un compuesto no metálico, número atómico 16, grupo VIA de la tabla periódica, peso atómico 32.6.

El azufre total contenido en un combustible, se reporta en % en peso ó en ppm y toma en cuenta la presencia del elemento sin importar si este se encuentra como azufre libre, sulfuro de hidrógeno o cualquier otro tipo de compuestos de azufre.

El contenido de azufre se determina por Espectroscopía de Fluorescencia con Dispersión de Rayos X aplicando el **Método ASTM D4294-02**.

#### **Origen**

El azufre se encuentra en todos los crudos en concentraciones que oscilan desde trazas al 8.0 %, la mayoría tiene concentraciones entre los límites de 0.5 a 1.5 %<sup>7</sup>. El azufre puede estar presente en el combustible como azufre elemental, sulfuro de hidrógeno, tiofenos, disulfuros, polisulfuros y en muchas otras formas oxidadas tales como sulfóxidos.

#### **Efectos Provocados**

##### **Factores Técnicos**

El azufre y sus compuestos son objetables por varias razones. En algunas formas, principalmente como azufre libre y como sulfuro de hidrógeno contenidos en el combustible, son elementos corrosivos que atacan a las tuberías, los cilindros y otras partes del motor.

Los vehículos con convertidor catalítico de tres vías (TWC) deben operar con una relación aire combustible muy exacta, permitiendo sólo el oxígeno suficiente para oxidar completamente el carbono y el hidrógeno en el combustible. Los TWC utilizan luego el NOx en el escape para oxidar el CO y los HC a CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O en tanto que el NOx se reduce a N<sub>2</sub>.

Los niveles de azufre en el combustible impactan el funcionamiento de los TWC en diferentes formas:

---

<sup>7</sup> Enciclopedia de Tecnología Química; Kirk Othmer, Ed. Limusa Pág. 1002

1. El azufre del combustible reduce la eficiencia de conversión del CO, los HC y el NOx. El azufre compite con estos gases por superficie de reacción en el catalizador. El azufre de la corriente de escape se acumula en el convertidor catalítico durante las condiciones de manejo normales y se libera como SO<sub>2</sub> durante los períodos de funcionamiento ricos en combustible y de alta temperatura, tales como la aceleración a fondo del vehículo.
2. La inhibición por azufre de los catalizadores no es completamente reversible. Aunque la conversión siempre mejorará con el uso de combustibles de bajo azufre, la eficiencia de los catalizadores no siempre regresa a su estado original después de la desulfuración.
3. El contenido de azufre en el combustible contribuye al envejecimiento del catalizador. Los niveles altos de azufre causan una degradación más seria con el tiempo y una recuperación menos completa del catalizador, aún con temperaturas de escape elevadas. Las temperaturas de regeneración elevadas también contribuyen al envejecimiento térmico del catalizador. El azufre eleva la temperatura de light-off, la temperatura a la cual la conversión catalítica tiene lugar, produciendo un incremento de las emisiones de encendido frío.
4. Los requerimientos de regeneración se añaden a las emisiones generales y reducen la eficiencia energética. Las fases de operación ricas en combustible necesarias para alcanzar las temperaturas de regeneración, producen incrementos significativos en las emisiones de CO y HC. Incluso las emisiones de PM, bajo estas circunstancias, pueden competir con emisiones de diesel. Adicionalmente, la combustión rica en combustible requiere mayor consumo del mismo. Los vehículos que operen a baja velocidad y baja carga tendrán menores temperaturas de escape, y en consecuencia menores oportunidades para la desulfuración y la regeneración del catalizador.

En virtud de que el azufre tiene una temperatura de encendido baja, la presencia de este tiende a reducir la temperatura de autoencendido, facilitando el golpeteo en el motor de encendido por chispa y tendiendo a disminuir el golpeteo en el motor de encendido por compresión.

Los combustibles con alto contenido de azufre pueden perjudicar y, en algunos casos, impedir el uso de tecnologías avanzadas para el control de la contaminación.

## **Factores Sanitarios y Ambientales**

La combustión de gasolinas y diesel con elevados contenidos de azufre provoca la emisión al aire de óxidos de azufre que son causantes directos de efectos adversos a la salud y contribuyen a la formación de partículas finas (PM2.5) considerados los contaminantes atmosféricos más peligrosos para la salud.

Existen estudios realizados en más de 50 ciudades alrededor del mundo, incluyendo la Ciudad de México, que han señalado la asociación entre dióxido de azufre, partículas y ozono con muerte prematura, enfermedades cardiovasculares y enfermedades respiratorias severas. Los gases del escape de los autos, taxis y microbuses de la Ciudad de México son responsables de que la calidad del aire de esta metrópoli se encuentre dentro de las peores del mundo. La norma de ozono se excede en 80 por ciento de los días del año, y muchos de estos días los niveles de contaminación se encuentran más de dos veces por arriba de las normas oficiales. Guadalajara y Monterrey también tienen problemas severos de contaminación atmosférica por emisiones vehiculares<sup>8</sup>.

El SO<sub>2</sub> reduce la visibilidad debido a que interfiere tomando parte en reacciones entre compuestos orgánicos y óxidos de nitrógeno para formar partículas. Al combinarse con agua se forma el correspondiente ácido H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> el cual es causante de la lluvia ácida.

Los problemas asociados al azufre contenido en los combustibles, se detallan más a fondo en el Capítulo V, Normatividad Ambiental.

---

<sup>8</sup> [www.cleantransportcouncil.org](http://www.cleantransportcouncil.org)

### 3.2.5. Benceno

#### Descripción

El benceno,  $C_6H_6$ , es un hidrocarburo aromático que tiene un anillo de seis carbonos con tres enlaces dobles, líquido, volátil, incoloro e inflamable de olor característico. El contenido de benceno se determina por medio cromatografía de gases aplicando el **Método ASTM D 3606-99**.



#### Origen

#### Benceno

El benceno generalmente forma parte de la mezcla de hidrocarburos contenidos en la gasolina y proviene de los procesos de reformación y desintegración catalítica.

#### Función

El benceno generalmente actúa como agente acondicionador para elevar el número de octano de los combustibles de bajo grado, debido a sus excelentes cualidades antidetonantes (tabla 3.2).

#### Efectos Provocados

#### Factores Sanitarios y Ambientales

La exposición crónica de seres humanos a benceno en el lugar de trabajo conduce a daño de la médula ósea, que puede manifestarse al principio como anemia. En estudios tanto en seres humanos como en animales, parece ser que la depresión de la médula ósea inducida por benceno es un fenómeno dependiente de la dosis<sup>9</sup>.

Los efectos a corto plazo de la inhalación, ingestión o contacto dérmico del benceno son evidentes de inmediato, pero los efectos de la exposición crónica a niveles inferiores de benceno no los son. La exposición crónica al benceno se ha asociado con leucemia.

Actualmente la concentración de benceno en gasolinas, está limitada por normas ambientales tanto nacionales como internacionales las cuales se verán en el Capítulo V.

<sup>9</sup> Manual de Envenenamientos, Dr Robert H. Dreisbach; El Manual Moderno S.A. Pág. 731.

### **3.2.6. Color**

---

#### **Origen**

El color presente en las Gasolinas proviene del empleo de aditivos colorantes. Su detección es por inspección visual.

#### **Función**

Identificar la presencia de compuestos antidetonantes, así como para identificar a los fabricantes y el tipo de gasolina.

### **3.2.7. Contenido de Fósforo**

---

#### **Descripción**

Elemento no metálico de número atómico 15; grupo VA de la tabla periódica; peso atómico 30.97. El contenido de fósforo en gasolina se determina empleando el **Método ASTM D3231-02**

#### **Origen**

El fósforo contenido en la gasolina proviene del uso de aditivos tales como agentes anti-preignición y agentes tensoactivos.

#### **Función**

Ver aditivos detergentes dispersantes y agentes antidetonantes.

#### **Efectos Provocados**

Junto con el plomo, actúa como un veneno de los convertidores catalíticos ya que este tiende a formar fosfuros con la mayoría de los metales y por lo tanto tiende a reaccionar con el platino de estos dispositivos inutilizándolos.

### **3.2.8. Contenido de Plomo**

---

#### **Descripción**

Elemento Metálico de número atómico 82, grupo IV A de la tabla periódica, peso atómico 207.2. El plomo es un sólido gris blando, pesado y dúctil. El plomo forma parte de numerosos compuesto inorgánicos y orgánicos como es el caso del tetraetilo de plomo. El contenido de plomo presente en la gasolina, se determina por Espectroscopía de Absorción Atómica empleando el **Método ASTM D3237-97**.

#### **Origen**

El plomo puede estar presente en la gasolina ya que este es incorporado a la misma como tetraetilo de plomo.

#### **Función**

El tetraetilo de plomo es adicionado a las gasolinas para aumentar su capacidad antidetonante. Cerca de 50 años de investigación han probado finalmente, que el tetraetilo de plomo probablemente funcione produciendo partículas minúsculas de óxido de plomo, sobre cuyas superficies se interrumpen ciertas cadenas de reacciones<sup>10</sup>.

El tetraetilo de plomo sube más el octanaje de las mezclas cuando éstas contienen mayor cantidad de hidrocarburos ramificados, por ejemplo las gasolinas provenientes de los procesos de isomerización y alquilación.

Las gasolinas con plomo, resultan más baratas que las que no lo llevan. Esto se debe a que el contenido de gasolina natural, cuyo proceso de obtención resulta más barato, es mayor en este caso. Además, tres mililitros por galón de TEP consiguen en algunos casos elevar el octanaje de las gasolinas hasta en 20 octanos.

Así por ejemplo, si tenemos una mezcla de gasolina con un índice de octano de 60, al agregarle el TEP puede llegar a tener un octanaje de 80. Si la mezcla original tenía 90 de octano, con el aditivo puede subir hasta 110<sup>11</sup>.

Cabe mencionar que en los vehículos fabricados antes de 1986, el plomo contenido en la gasolina aparte de incrementar el octanaje de la misma, protege a los motores de tecnología antigua contra el fenómeno denominado Recesión del Asiento de las Válvulas de Escape (Exhaust Valve Seat Recession, EVSR).

<sup>10</sup> Química Orgánica; Alan. S. Wingrove, Pág. 117

<sup>11</sup> [http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/39/html/sec\\_11.html](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/39/html/sec_11.html)

Este fenómeno (EVSR), es el resultado de la diferencia en las características de construcción de los metales de la válvula de escape y su asiento. Los vehículos elaborados antes de 1986 están fabricados con metales suaves a los cuales las sales de plomo formadas en el motor les aportan mayor resistencia mecánica (conocida como dureza del material), que al estar en contacto con la válvula (construida con un metal más duro) ocasiona el socavado del asiento (esto se conoce como recesión del asiento), si no se cuenta con el plomo en la gasolina o un sustituto de él, se ocasiona pérdida de compresión en la máquina, que se traduce en la generación de mayores emisiones contaminantes (principalmente hidrocarburos no quemados)<sup>12</sup>.

Las sales de plomo que se forman como resultado de la combustión de los aditivos a base de este metal y que se depositan en las paredes de la cámara de combustión, sirven como lubricante a los asientos de las válvulas de escape, previniéndolos de un desgaste excesivo.

### **Efectos Provocados**

#### **Factores Sanitarios**

El plomo es tóxico por ingestión e inhalación del polvo ó humo. *Es un veneno acumulativo*. El plomo es el metal tóxico más omnipresente, y es detectable en prácticamente todas las fases del ambiente. El principal riesgo es toxicidad para el sistema nervioso periférico y sobre el encéfalo. Las poblaciones más susceptibles son los niños, en particular lactantes mayores, durante el periodo neonatal, y el feto<sup>13</sup>.

Debido a la toxicidad de las emisiones producidas, por el uso de combustibles con plomo, se tiende a limitar y a eliminar por completo el uso de este tipo de aditivos en la gasolina. Esto se discutirá en el Capítulo V, Normatividad Ambiental.

#### **Factores Técnicos**

Los convertidores catalíticos son incompatibles con los aditivos antidetonantes que contengan plomo. Los convertidores catalíticos más activos para este propósito tienen una capa de metal noble por ejemplo platino o Rodio, los cuales se "envenenan" con el plomo, inutilizándolos. Es por esta razón que el empleo del plomo se ha ido eliminando, no en un principio con el fin de reducir la contaminación plúmbica, sino para permitir que funcionen los convertidores catalíticos. Por otra parte, los depósitos de sales de plomo pueden corroer las válvulas de admisión, y provocar ensuciamiento en las bujías, incrementando las emisiones de hidrocarburos no quemados y ocasionando un posible aumento en el desgaste de los anillos de los pistones<sup>14</sup>.

<sup>12</sup> Revista Octanaje No. 17

<sup>13</sup> Manual de Envenenamientos, Dr. Robert H. Dreisbach; El Manual Moderno S.A. Pág. 677

<sup>14</sup> Revista Octanaje No. 18

### 3.2.9. Corrosión al Cu, 3h a 50 °C

---

#### **Descripción**

Esta prueba tiene la finalidad de medir el *efecto corrosivo del combustible*, ocasionado por la presencia de compuestos azufrados, el contenido de agua u otros componentes oxigenados en la gasolina.

Independientemente del contenido de azufre reportado en las especificaciones, es necesario asegurar que el azufre corrosivo no esté presente en un grado total que ocasione corrosión.

El efecto corrosivo del combustible, se mide sumergiendo en una muestra de gasolina ó diesel, una tira pulida de cobre y calentándola a 50 °C (122 °F), durante 3 horas. Comparando la tira de cobre, con una semejante sin el tratamiento, no mostrará más que una decoloración extremadamente ligera.

Se advierte que un combustible puede pasar esta prueba y todavía contener una cantidad relativamente grande de azufre, en forma de compuestos no corrosivos.

Para determinar el efecto corrosivo del combustible, actualmente se aplica el **Método ASTM D130-94(2000)e1**.

#### **Efectos Provocados**

La corrosión a la lámina de cobre determina la característica del combustible al ataque de los materiales que contienen cobre; tal es el caso de las tuberías usadas para el manejo de combustible en los vehículos y de algunas alecciones empleadas en los componentes del sistema de combustión<sup>15</sup>.

La corrosión es un problema, no únicamente debido a los daños que esta ocasiona a los equipos, sino porque también los productos de la corrosión pueden bloquear filtros y orificios en el sistema del combustible del vehículo, e incrementar la rapidez de desgaste.

---

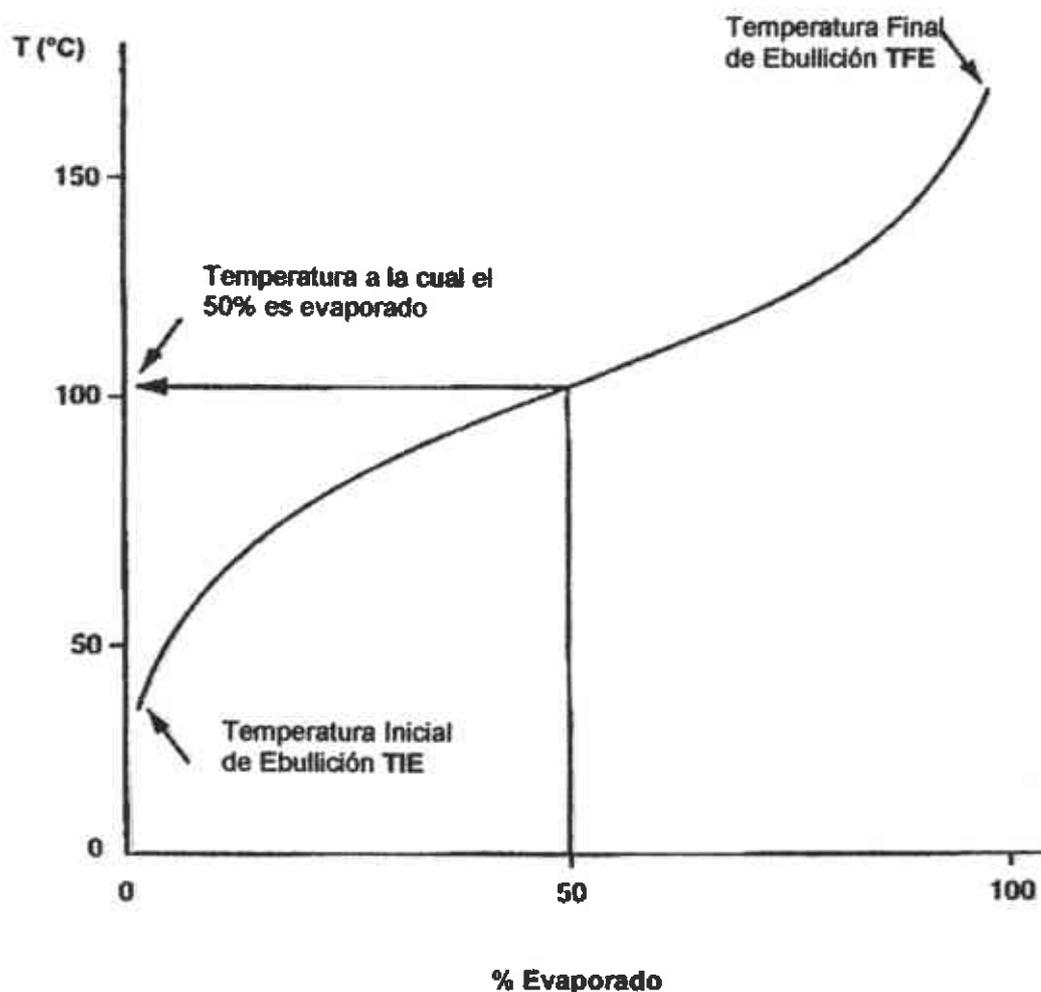
<sup>15</sup> <http://www.ref.pemex.com/octanaie/nprod15.htm>

### 3.2.10. Destilación

#### Descripción

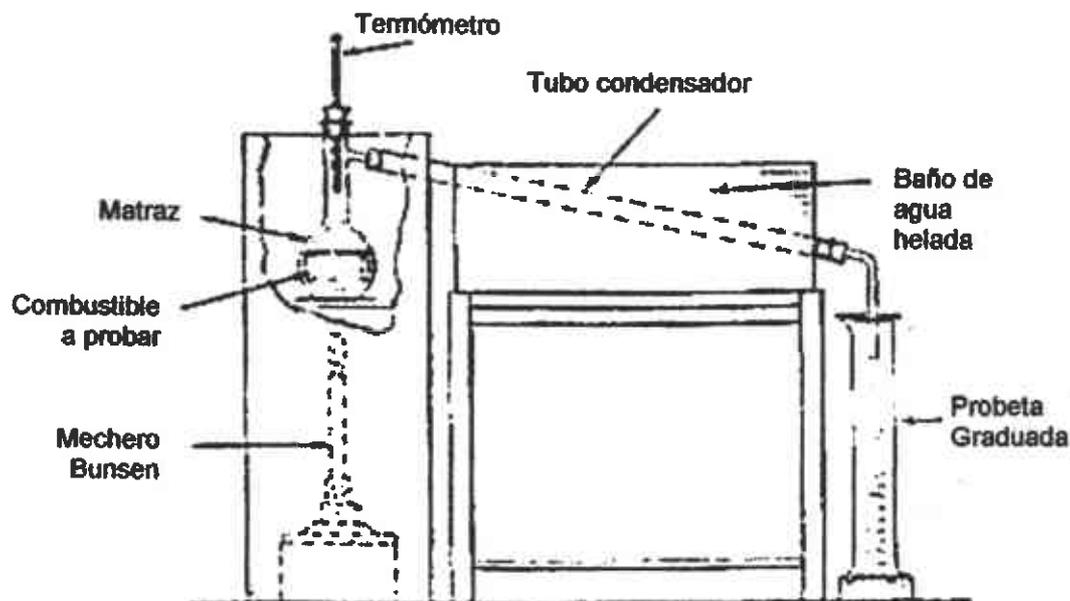
El proceso de separación denominado destilación, se basa en los diferentes puntos de ebullición de una mezcla homogénea, por medio de la aplicación de calor. Sin embargo, la finalidad de esta prueba no es la separación de los componentes de la mezcla en si, sino más bien **establecer el rango de ebullición de la gasolina** en cuestión, lo cual se representa por medio de la **curva de destilación** resultante. En la figura 3.1 se muestra una gráfica típica de la temperatura en función del porcentaje destilado.

Fig. 3.1  
Curva de destilación típica de una gasolina



El procedimiento para establecer la curva de destilación se lleva a cabo a presión atmosférica, introduciendo 100 mL de muestra en un matraz de destilación de laboratorio y aplicando calor (Fig. 3.2). Los vapores formados se condensan en un recipiente graduado y se mide simultáneamente la temperatura de ebullición, registrando las temperaturas a las cuales se condensa el 5, 10,15%, etc. del volumen inicial. La temperatura a la cual comienza a condensar la primera gota se designa como *temperatura inicial de ebullición*. En virtud de que los combustibles hidrocarbureados son mezclas de muchos componentes, la temperatura aumenta continuamente, a medida que se va evaporando la muestra analizada. La temperatura máxima alcanzada en el matraz al desaparecer el líquido se conoce como *temperatura final de ebullición*. Sin embargo, se encontrará que no todo el combustible ha salido del matraz, aun cuando este aparezca vacío y si, en cambio, se tiene un *residuo* condensado al enfriarse. También es de advertir que una parte del combustible se escapa inevitablemente, puesto que la suma de la parte condensada y el residuo no es igual a la cantidad original. A dicha porción se le llama *pérdida*. Se ha supuesto arbitrariamente, que la pérdida representa la parte más volátil del combustible y, por lo tanto, debe aparecer en el instante mismo de iniciar la destilación<sup>16</sup>.

Fig. 3.2



Unidad de destilación ASTM

Actualmente se emplea la destilación **ASTM D86-03** para llevar a cabo este procedimiento.

<sup>16</sup> Destilación y Rectificación, Dr. Ing. Emil Kirschbaum; Aguilar, S.A. de Ediciones Madrid. Pág. 46

## **Función**

En conjunto, la *presión de vapor*, la *curva de destilación* y la *relación vapor-líquido*, proporcionan datos sobre la volatilidad de una gasolina.

La **volatilidad** de una gasolina se define como la temperatura a la cual se forma una mezcla aire-vapor específica en condiciones de equilibrio a la presión de una atmósfera, cuando se evapora un porcentaje determinado. Según esta definición, una gasolina es más volátil que otra en un porcentaje dado cualquiera, si forma la mezcla aire-vapor a una temperatura más baja.

De esta manera, el rango de ebullición de una gasolina proporciona información con respecto a su composición, y sus efectos sobre el comportamiento del combustible durante su almacenamiento y utilización. Por ejemplo, se puede saber si tiene las características de evaporación adecuadas para el clima y la altitud a las que se empleará el combustible. Por otra parte, las características de destilación tienen un efecto importante en su seguridad y desempeño.

Para el comportamiento del motor son importantes tres zonas de la curva de destilación, que se caracterizan por la temperatura a la cual se evapora el 10, 50 y 90% del volumen inicial.

## **Características de arranque**

Una de las principales características de una gasolina, es su facilidad para permitir un arranque en frío. Así, la gasolina pondrá en movimiento al motor, rápidamente, siempre y cuando una parte de ella tenga bajo punto de ebullición, como para permitir que se forme la mezcla combustible a la temperatura ambiente. De esta manera, la gasolina debe de tener la menor temperatura del **10%** posible, para proporcionar un arranque más fácil en frío, sin que presente tendencia a generar obstrucciones por vapor, que impidan o limitan el flujo del combustible líquido, ocasionados por la formación de burbujas. Dicho de otra forma, el volumen evaporado a esta temperatura (70°C aprox.) debe ser lo suficientemente grande como para arrancar fácilmente el motor en frío, pero no demasiado grande para evitar burbujas de vapor con el motor caliente.

*Las temperaturas abajo del 10% son las deseables para mejorar las características de arranque del motor*

### **Obstrucción de vapor. (Vapor Lock)**

Se dice que un motor está obstruido por vapor cuando ocurre una interrupción ya sea parcial ó total en el flujo del combustible debida a la vaporización de este. El vapor ocupa un volumen mayor que el líquido y, consecuentemente, se reduce el flujo de combustible. Esta reducción ocasiona pérdidas de potencia o bien para el motor. Las tendencias de un combustible a la obstrucción por vapor están relacionadas directamente con la zona del 10% de destilado. En este caso, se requieren las características opuestas en perjuicio del arranque.

*Las temperaturas arriba del 10% son las deseables para evitar la obstrucción por vapor.*

### **Calentamiento y Aceleración**

Una vez que el motor ha sido puesto e marcha o arrancado, deberá proveerse de un periodo de calentamiento antes de que tenga un funcionamiento flexible. La extensión de este periodo está relacionada con la región del 50% de destilado. A medida que es más inferior la localización de esta región, será necesario menos tiempo para ahogar el motor y menos tiempo para acelerarlo.

La fracción del 50% del combustible destilado, determina junto con el comportamiento en caliente, principalmente la disponibilidad en servicio y disponibilidad en servicio y la capacidad de aceleración en caliente.

*Las temperaturas abajo del 50% son las deseables para mejorar el calentamiento del motor, aumentar la economía del combustible y mejorar la aceleración.*

Al mismo tiempo, los compuestos contenidos en esta región presentan un poder calorífico menor, en comparación a los componentes más pesados situados en la última región de la curva de ebullición.

*Las temperaturas abajo del 50% son las deseables para mejorar economía del combustible.*

### **Formación de hielo en el cárter**

Por medio de la vaporización del combustible, que al principio solo estaba nebulizado, se enfría la mezcla aire-combustible. El descenso de temperatura que tiene lugar en el carburador, con clima frío y húmedo (unos 2 a 8 °C y humedad del aire mayor al 65%) puede provocar la congelación del carburador; el vapor de agua del aire aspirado se condensa, se hiela e impide en forma de hielo o de escarcha el funcionamiento de la válvula de estrangulación.

Las tendencias de un combustible a la formación de hielo en el cárter, están relacionadas directamente con la zona del **50%** de destilado. En este caso, se requieren las características opuestas en perjuicio del comportamiento en la carrera.

*Las temperaturas arriba del **50%** son las deseables para evitar la formación de hielo en el cárter.*

### ***Dilución en el cárter***

Cuando penetra al cilindro del motor una mezcla aire-combustible, es completamente posible que ocurra la condensación de este último en las partes más frías del cilindro. La condensación tiene a quitar el aceite lubricante de las paredes del cilindro, a pasar por los anillos del émbolo y a reunirse en el depósito del aceite, aumentando así el desgaste y diluyendo también al lubricante. Como los *componentes menos volátiles* tienen mayor tendencia a condensarse, el grado de dilución del aceite en el cárter, estará relacionado directamente con las temperaturas finales de ebullición. El **90%** de la temperatura de la prueba ASTM, se emplea para evaluar la tendencia de dilución del combustible; a menor temperatura del 90% será menor la dilución en el cárter.

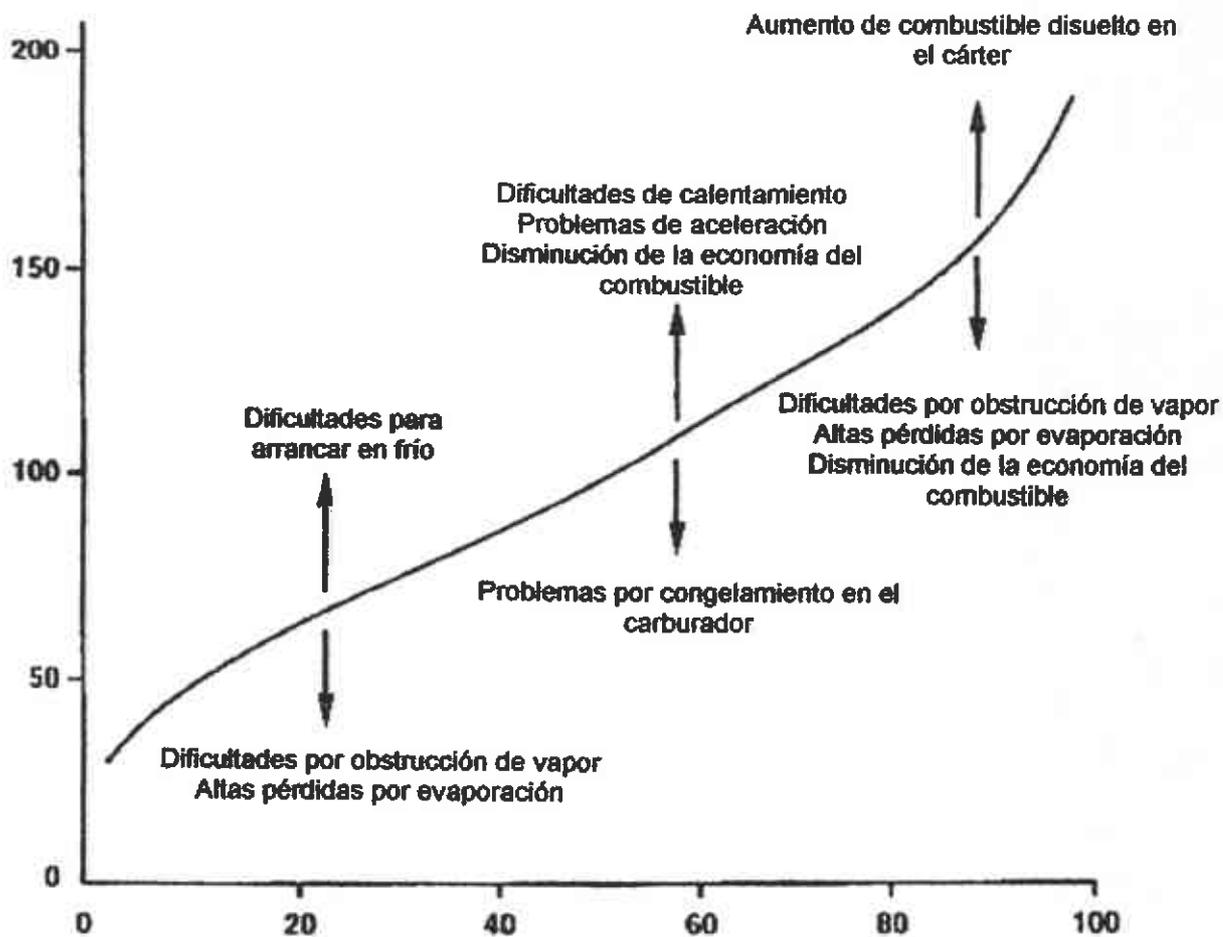
*Las temperaturas abajo del 90% son las deseables para evitar la tendencia a la dilución de compuestos pesados en el aceite lubricante.*

La región arriba del **90%** contiene los componentes mas pesados, con puntos de ebullición más altos. Estos compuestos son los que presentan los valores más altos de poder calorífico y por lo tanto resultan importantes para mejorar la economía del combustible cuando el motor esta completamente caliente.

*Las temperaturas arriba del 90% son las deseables para mejorar economía del combustible.*

En la figura 3.3 se muestra de manera gráfica las tendencias de cada una de estas situaciones, originadas por el aumento ó disminución de la temperatura, en cada una de las tres zonas ó regiones descritas.

Fig. 3.3



Comportamiento de algunas de las propiedades de la gasolina a lo largo de la curva de destilación.

### 3.2.11. Gomas Preformadas y Gomas no Lavadas

---

#### *Descripción*

Los hidrocarburos reactivos tales como las olefinas y las impurezas contenidas en el combustible, tienen tendencia a oxidarse y formar líquidos viscosos y sólidos, para los cuales buscando una mejor denominación, se les llama en forma descriptiva **goma**. La cantidad de goma presente en el combustible en el momento de la prueba, se denomina **goma real ó preformada**.

La goma preformada se determina evaporando 50 mL de gasolina en un plato de vidrio, a 154 °C (312 °F) aproximadamente y pasando aire caliente sobre la superficie líquida durante un periodo de 8 a 14 minutos. El residuo resultante es pesado y posteriormente lavado con n-heptano, secado a la temperatura de la prueba, enfriado y pesado nuevamente.

De esta manera, la **goma real o preformada** es la parte del residuo insoluble en el heptano. El residuo total, antes de la extracción, es conocido como **gomas no lavadas**.

Actualmente, el contenido de gomas presente en la gasolina se determina por medio del **Método ASTM D 381-01**.

Las gomas no lavadas proporcionan una idea de la cantidad de componentes no volátiles presentes en la gasolina y por supuesto, incluyen la existencia de goma. Estos componentes no volátiles pueden incluir aceites lubricantes entre otros aditivos, así como también contaminantes que pueden estar presentes como resultado del uso de prácticas pobres de manejo de los productos en la refinería<sup>17</sup>.

El contenido real de goma en el combustible, no es garantía de estabilidad del mismo, contra futura formación de goma. Para evaluar esta característica, el combustible es sometido a una prueba denominada **periodo de inducción**, la cual se describirá más adelante.

#### *Origen*

Los combustibles de reciente fabricación, presentan un contenido insignificante de gomas, pero al envejecer se les forman cantidades variables de ellas. **La cantidad de gomas aumenta con el aumento de la concentración de oxígeno**, con la elevación de la temperatura, con la exposición a los rayos solares y también con el contacto con los metales, ya que los metales principalmente el cobre, actúan como catalizadores induciendo el proceso de oxidación ocasionando la formación de gomas.

---

<sup>17</sup> Automotive Fuels Reference Book Second Edition; Keith Owen, Trevor Coley Published by Engineers, Inc. Pág. 203

Los hidrocarburos puros y estables de las familias de las parafinas, los naftenos y los aromáticos, presentan poca tendencia a formar gomas en tanto que las gasolinas provenientes del proceso de desintegración tales como las olefinas, son los peores transgresores. En general los depósitos de carbón, laca y goma resultan todos ellos, de las gomas contenidas en el combustible líquido.

Cuando las gomas se forman, inicialmente permanecen en solución pero, como esta cantidad aumenta, las gomas comienzan a separarse de la solución, generando un combustible sucio.

El mecanismo de oxidación de hidrocarburos para la formación de gomas, ocurre en diferentes etapas como se muestra a continuación:

Etapas de Iniciación: Involucra la formación de radicales libres.



Etapas de propagación: Un radical libre  $\text{R}^*$  puede combinarse con oxígeno para formar un radical peróxido  $\text{R-O-O}^*$  el cual, puede reaccionar con otra molécula de hidrocarburo generando otro radical libre y un hidroperóxido ( $\text{R-O-OH}$ ).



Los radicales libres pueden continuar creciendo y dar origen a una polimerización dando origen a materiales de alto peso molecular los cuales pueden depositarse en el sistema del combustible.

Etapas de finalización: La reacción termina solo a través de reacciones que dirijan a la formación de productos sin radicales libres.



## **Efectos Provocados**

Una gasolina con alto contenido de goma ocasiona dificultades de funcionamiento, tales como válvulas y anillos de émbolo atascados, depósitos de carbón en el motor producidos cuando las gomas presentes se inflaman, así como laqueado<sup>18</sup> de los vástagos de las válvulas y cilindro, situación que se traduce en una operación deficiente y por tanto, en un incremento en el consumo de combustible y en una mayor generación de emisiones contaminantes<sup>19</sup>.

Los depósitos ocasionados por la formación de gomas, afectan principalmente los sistemas de Carburadores/Inyectores y las válvulas de admisión.

Tenemos primeramente que para vehículos con carburadores convencionales los depósitos sobre el cuerpo y base de la válvula reguladora, ocasionan la restricción del suministro de aire cuando está cerca de la posición cerrada, esto nos trae como consecuencia un incremento del consumo de combustible, los depósitos ocasionan problemas operativos, económicos y ambientales de una manera adversa. En el caso de vehículos con inyectores, la operación es más crítica, siendo estos mecanismos muy delicados porque monitorean al sistema cantidades muy precisas de gasolina.

Es muy importante mantener toda su superficie limpia para que el flujo de vaporización combustible/aire sea total. Si esto no se consigue, se presentan problemas graves de disminución de flujo combustible/aire hasta en un 26 por ciento.

El segundo accesorio del vehículo, que comprende la válvula de admisión de la mezcla combustible/aire a la cámara de combustión, es el que tiene mayor oportunidad de formación de depósitos, esto es debido, principalmente, a las altas temperaturas del equipo.

La formación de depósitos en esta área nos causa pérdida de potencia, incrementos en los tiempos de aceleración, pérdida económica e incremento en los gases indeseables a la atmósfera<sup>20</sup>.

También se ha reportado que la oxidación de gasolinas durante el almacenamiento provoca una disminución de la calidad antidetonante del combustible. Lo más seguro es que esta disminución esté relacionada con el contenido de **peróxidos**, los cuales se encuentran presentes en una de las etapas de la formación de las gomas, ya que los peróxidos también inducen al fenómeno del golpeteo durante la combustión<sup>21</sup>.

<sup>18</sup> El nombre laca se asigna al residuo con aspecto de barniz que deja la goma cuando se le expone a altas temperaturas.

<sup>19</sup> <http://www.ref.pemex.com/octanaje/nprod15.htm>

<sup>20</sup> Revista Octanaje 19

<sup>21</sup> Motor Fuels, Performance and Testing; William A. Gruse. Reinhold Publishing Corp. Pág. 69

### 3.2.12. Índice de Octano

---

#### **Descripción**

Esta es la propiedad más importante de las gasolinas ya que esta altamente relacionada con el rendimiento del motor del vehículo. Se define como la tendencia antidetonante relativa de un combustible, al ser comprimida dentro del motor. Esta se mide por medio del *golpeteo* o *detonación* que produce la gasolina, comparada con los patrones de referencia establecidos.

Para ello se ha establecido una escala arbitraria que asigna al *n*-heptano, el cual posee cualidades antidetonantes muy bajas, un índice de octano de cero y al 2,2,4-trimetilpentano (*iso*-octano) un índice de 100. Mezclando ambos hidrocarburos se producen los combustibles de referencia que podrán ser comparados con cualquier gasolina a la que se le quiera determinar el número de octano.

Para determinar el número de octano de una gasolina se utiliza un motor especial de un cilindro llamado CFR (Cooperative Fuel Research) mostrado en la fig.3.4. La prueba de determinación del octanaje de una gasolina se efectúa aumentando progresivamente la compresión hasta que se manifiesten las detonaciones. Posteriormente, se hace funcionar el motor sin variar la compresión anterior, con una mezcla de *iso*-octano y una cantidad variable de *n*-heptano, que representará el octanaje o índice de octano de la gasolina para la cual se procedió a la prueba y que tiene, por lo tanto, el mismo funcionamiento antidetonante de la mezcla de hidrocarburos.

De esta manera, la gasolina en cuestión se compara en este motor con una combinación conocida de *iso*-octano y *n*-heptano. Por ejemplo, si la resistencia al golpeteo de un combustible es la misma que la de un combustible de prueba, en una relación de nueve partes de *iso*-octano y una de *n*-heptano, a la gasolina se le asigna un número de octano de 90.

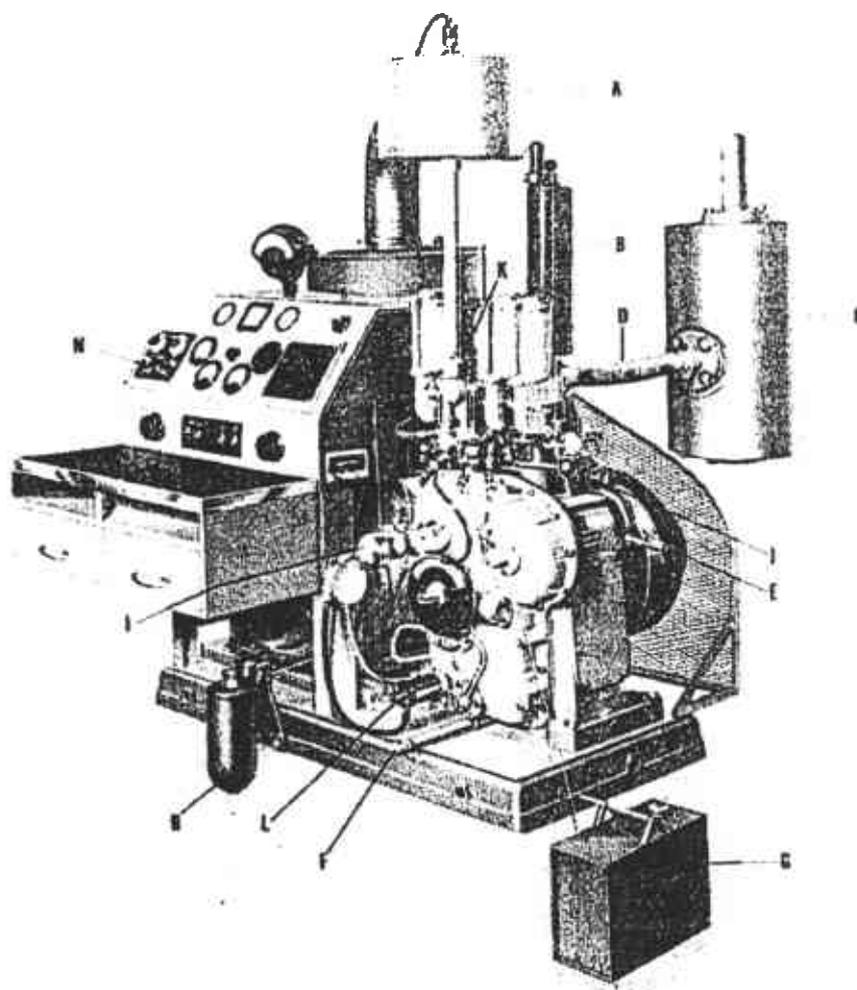
La fracción de gasolina obtenida por destilación directa del petróleo es mejorada por la adición de compuestos de mayor índice de octano; a veces, incluso, es reemplazada por estos combustibles. Por lo general, los alcanos ramificados, los alquenos (olefinas) y los hidrocarburos aromáticos tienen excelentes cualidades antidetonantes<sup>22</sup>.

En la tabla 3.2 se muestran las propiedades antidetonantes de los diferentes componentes de la gasolina.

---

<sup>22</sup> Química Orgánica, Solomons Pág. 117

Fig. 3.4  
 Motor CFR para determinar el número de octano  
 Unidad de Investigación



- |   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| A Tanque de arranque  | H Filtro de aceite                |
| B Condensador   | I Interruptor de ignición         |
| C Tanque de descarga  | J Abrazaderas del cilindro        |
| D Colector de escape  | K Termómetro del aire de admisión |
| E Manivela de ajuste para la relación de compresión             | L Bobina de ignición              |
| F Tapa de vaciado de aceite                                     | M Medidor de detonación           |
| G Contenedor de restos de combustible,<br>cerrado por seguridad |                                   |

Tabla 3.2<sup>23</sup>  
Propiedades antidetonantes de las diferentes familias de hidrocarburos

Familia	Compuesto	No. Octano MON
Parafinas	Pentano	61
	Hexano	25
	Heptano	0
Isoparafinas	Isopentano	90
	Isohexano	95
	Isooctano	100
Naftenos	Ciclopentano	83
	Ciclohexano	77
Olefinas	Penteno	77
	Hepteno	73
Aromáticos	Benceno	110
	Tolueno	104
	Xileno	105

Existen dos números de octano para los motores de encendido por chispa: los determinados por el **método del motor MON** (Motor Octane Number) y los determinados por el **método de investigación RON** (Research Octane Number). Ambos métodos utilizan el mismo ensayo básico del motor CFR, pero operan bajo condiciones distintas. La diferencia entre ambos números es un indicador de los cambios en el funcionamiento bajo ambas condiciones y se conoce como *sensibilidad*.

### No. de Octano RON

El RON es determinado por el Método **ASTM D2699-03a** y representa el funcionamiento del motor durante una condición a baja velocidad, es decir mide la tendencia de detonación a baja velocidad, cuando la aceleración es relativamente frecuente. El Research Octane Number se determina efectuando una velocidad de 600 revoluciones por minuto (rpm) y a una temperatura de entrada de aire de 125°F (51.7°C)<sup>24</sup>

### No. de Octano MON

El MON es determinado por el Método **ASTM D2700-03** y se diferencia del método de investigación por el precalentamiento de la mezcla, mayor número de revoluciones, con lo que se le da mayor sollicitación térmica al combustible analizado. El MON es tomado normalmente como una indicación de la habilidad del combustible para prevenir la detonación en motores de altas velocidades o bajo condiciones de carga elevada. El Motor Octane Number se obtiene mediante una corrida de prueba en una máquina operada a una velocidad de 900 revoluciones por minuto y con una temperatura de entrada de aire de 300°F (149°C).

<sup>23</sup> Motores de Combustión Interna; Obert, Pág. 283,291

<sup>24</sup> Revista Octanaje 2

Los índices MON son inferiores a los RON y son más indicativos del comportamiento del motor en carretera.

El índice de octano se determina a partir de de la siguiente ecuación:

$$\text{Índice de Octano} = \frac{\text{RON} + \text{MON}}{2}$$

El índice de octano, es el valor que proporciona un panorama más cercano a las condiciones de manejo.

### **Función**

La importancia del octanaje para la evaluación de las gasolinas, se debe a que provocan que aumente la **razón de compresión del motor**. La potencia que se puede obtener para la combustión de una mezcla de gasolina y de aire en un motor es mayor si se eleva a mayor presión la mezcla antes de someterla a ignición.

Cuanto mayor sea este índice, menor es la probabilidad de que el combustible produzca detonaciones previas al momento de la ignición provocada por la chispa, al final de la carrera de compresión, las cuales provocan *combustiones anormales*.

### **Efectos Provocados**

#### **Factores Técnicos**

El octanaje de una gasolina requerido por un determinado motor, depende del diseño del mismo; entre mayor sea la relación de compresión del motor, mayor debe ser el octanaje de la gasolina.

Con respecto a la combustión, esta, en *condiciones normales* se realiza de manera rápida y silenciosa. Un motor de combustión interna funciona adecuadamente cuando la onda de expansión iniciada por la chispa de la bujía, se mueve rápida y suavemente por la cámara de combustión. Esto se logra cuando el octanaje utilizado es el indicado para el motor utilizado o incluso mayor. Una gasolina con un número de octano inferior al requerido por el motor, no soporta las condiciones de presión y temperatura de la cámara, autoinflamándose antes de la aparición de la chispa de la bujía, lo que origina el fenómeno de golpeteo.

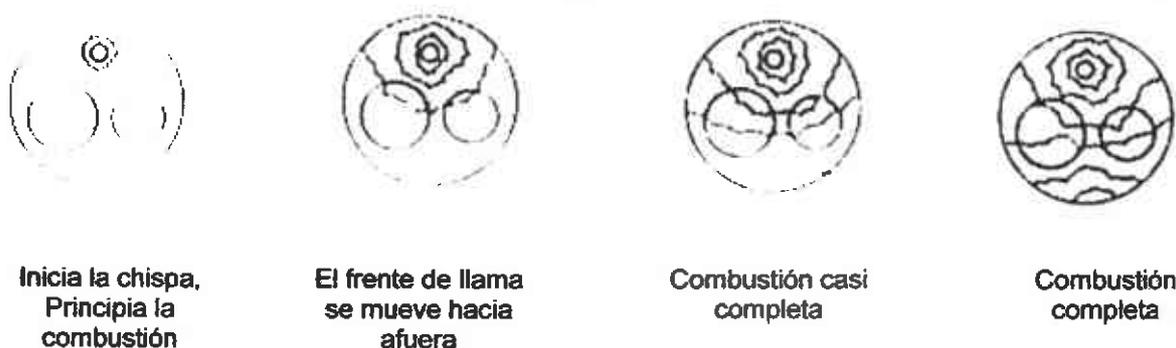
El *golpeteo* o *detonación* es generalmente producido por una inadecuada combustión en el motor, llamada autoignición, la cual se presenta cuando el octanaje de la gasolina utilizada es inadecuado para el funcionamiento del motor. Si la mezcla aire-gasolina se autoinflama en algún lugar del cilindro (no en la bujía) justo después de la ignición producida por la bujía, la onda de combustión producida por la autoignición puede interactuar con la onda de combustión iniciada por la bujía, causando la vibración que se escucha como

golpeteo. El golpeteo es puntual, un ruido metálico del motor como resultado de una combustión descontrolada, anormal.

### Combustión Normal

La combustión normal ocurre en forma suave y progresiva de un lado a otro de la cámara de combustión desde el punto de vista de encendido. (Fig. 3.5.) Similar a un incendio de pasto, la combustión del combustible avanza a lo largo de la orilla por donde todavía no se ha quemado.

Fig. 3.5

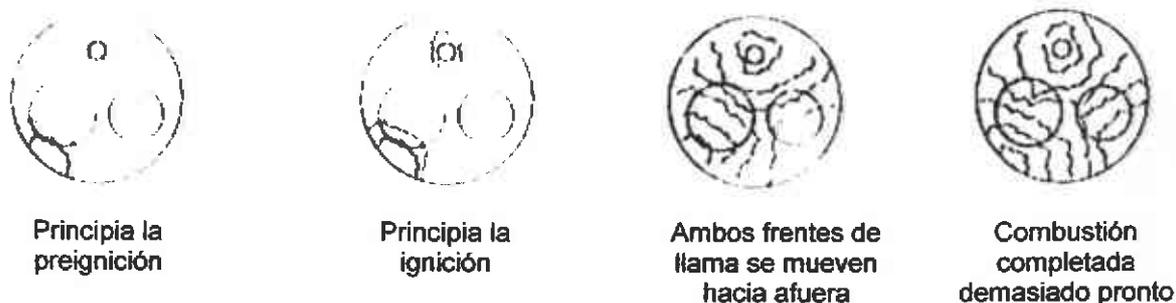


Movimiento de frente de llama durante la combustión normal

### Combustión Anormal

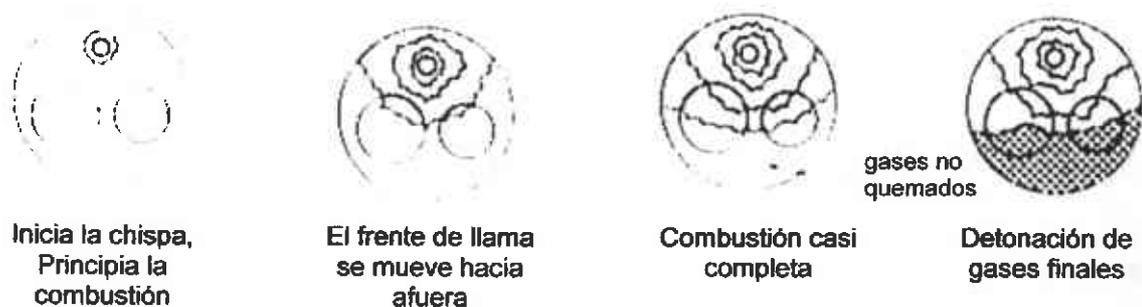
El *golpeteo* es la forma de combustión anormal más común. Se presenta cuando las reacciones de *autoinflamación* en el gas no quemado delante de la flama se desarrollan rápidamente. (Figs. 3.6 y 3.7) Ocurren tan rápido que alcanzan la temperatura de autoencendido y se encienden espontáneamente, antes de que el frente de flama barra a través de ellas. Esta repentina liberación de energía en el combustible causa el golpeteo y el calor. Esto aumenta la temperatura que a su vez aumenta la presión en la cámara de combustión antes de que el cigüeñal y la biela estén en posición para emplear la energía.

Fig. 3.6



Movimiento de frente de llama durante la preignición

Fig. 3.7



Inicia la chispa,  
Principia la  
combustión

El frente de llama  
se mueve hacia  
afuera

Combustión casi  
completa

Detonación de  
gases finales

Movimiento de frente de llama y reacción de gases finales durante el golpeteo o detonación

La propagación normal de la combustión está entre 72 a 145 km/h La velocidad del frente de llama depende de la relación aire/combustible, del diseño de la cámara de compresión, y de la temperatura.

Durante los periodos de golpeteo (detonación), la velocidad de la combustión aumenta hasta 10 veces, cercana a la velocidad del sonido. La velocidad aumentada de la combustión causa temperaturas y presiones aumentadas, que dañan pistones, empaques y cabezas de cilindros.

### 3.2.13. Olefinas

---

#### **Descripción**

Los compuestos hidrocarburos alifáticos insaturados que tienen uno o más enlaces dobles<sup>25</sup> en su estructura se denominan alquenos también conocidos como *olefinas*, que se deriva de un antiguo nombre del etileno, *gas olefiante* (gas que produce aceite).

Actualmente el contenido de olefinas se determina por cromatografía en capa fina, aplicando el **Método ASTM D1319-02a** (ver Aromáticos)

#### **Origen**

Las olefinas provienen del proceso de desintegración catalítica y pirólisis, aunque se encuentran en una mayor proporción en las corrientes derivadas de este último proceso.

#### **Función**

Aumentar las características antidetonantes de las gasolinas. Las olefinas presentan números de octano mayores en comparación a las parafinas (ver tabla 3.2).

#### **Efectos Provocados**

Como consecuencia del doble enlace, las olefinas son químicamente muy reactivas y se unen rápidamente con el hidrógeno para formar la parafina correspondiente, o en algunos casos con el oxígeno para formar un residuo indeseable: las gomas.

Por otra parte, las olefinas presentan en la atmósfera una alta capacidad para la formación de ozono, razón por la cual su control es necesario principalmente en aquellas regiones donde existen problemas de deterioro de la calidad del aire por la presencia de este contaminante<sup>26</sup>.

Debido a lo anterior, a pesar de que las olefinas le proporcionan un mayor octanaje a las gasolinas, se ha establecido un contenido máximo de estos compuestos en las gasolinas el cual se presenta en el siguiente capítulo.

---

<sup>25</sup> Diccionario de Química y Productos Químicos, HAWLEY, Ed. Omega S.A.

<sup>26</sup> <http://www.ref.pemex.com/octanaje/nprod15.htm>

### 3.2.14. Oxigenados

---

#### **Descripción**

Los compuestos oxigenados utilizados en la gasolina se dividen en dos grupos principales: alcoholes y éteres. Estos compuestos incluyen metanol, etanol, isopropanol, *n*-propanol, isobutanol, *ter*-butanol, *sec*-butanol, *n*-butanol, metilterbutileter (MTBE), etilbutileter teriario (ETBE) y amilmetileter terciario (TAME).

Los tipos y cantidad de compuestos oxigenados presentes en la gasolina, se determinan por cromatografía de gases, aplicando el **Método ASTM D4815-99**.

Independientemente del tipo de compuesto(s) oxigenado(s) empleado(s), al final del análisis se calcula el **contenido de oxígeno total** contenido en la gasolina analizada, reportado en % en peso.

#### **Origen**

Estos compuestos se agregan a la gasolina como aditivos en proporciones de hasta 15 % vol. en el caso de los compuestos éter, y en concentraciones de un 5% para los alcoholes.

#### **Función**

Aumentar las características antidetonantes de las gasolinas. Estos aditivos han desplazado casi en su totalidad a los aditivos a base de plomo, debido a los problemas técnicos, ambientales y de la salud, que presentan estos últimos.

Como su nombre genérico lo indica, estos compuestos tienen la característica de presentar átomos de oxígeno contenidos en sus moléculas los cuales ayudan a mejorar la combustión, contribuyendo a disminuir las emisiones contaminantes.

Los alcoholes tienen la ventaja de las buenas características antidetonantes. Por ejemplo, el metanol, etanol y butanol presentan números de octano de 98,99 y mayor de 100 respectivamente.

#### **Efectos Provocados**

#### **Factores Técnicos**

La cantidad de gomas aumenta con el aumento de la concentración de oxígeno.

## Alcoholes

Uno de los problemas que se presenta cuando se mezclan la gasolina y el alcohol, es la presencia de agua absorbida de la atmósfera por este último, separándose de la Gasolina. Además, como el alcohol requiere una relación aire-combustible diferente de la gasolina, tal separación tiende a provocar un mal funcionamiento.

Por otra parte, los combustibles mezclados con alcohol tienen a elevar la volatilidad del combustible propiciando la formación en tiempo cálido de *bolsas de vapor*.

Los alcoholes también reducen el poder calorífico de la mezcla resultante de combustible (Los alcoholes tiene casi la mitad de energía contenida en la gasolina: 60,000 a 75,000 Btu por galón para el alcohol, contra 130,000 Btu por galón de la gasolina)

## Éteres

El uso de compuestos como el MTBE no presenta esta desventaja ya que este compuesto no es miscible con el agua por lo que a diferencia del metanol, no es de temer la presencia de la segunda capa rica en agua el depósito de gasolina.

## Factores Sanitarios y Ambientales

Aunque algunos consumidores consideran que el olor del MTBE es desagradable, sin embargo, las investigaciones realizadas hasta ahora no han podido demostrar que la exposición al MTBE cause un perjuicio mayor que la exposición a muchos otros componentes de la gasolina o a la gasolina propiamente dicha. No hay datos objetivos provenientes de estudios clínicos de seres humanos para apoyar que los MTBE sean una causa de cefalalgias, náuseas u otros efectos sobre la salud afirmados<sup>27</sup>. Algunos estudios sugieren que los individuos frecuentemente expuestos a los vapores del MTBE y/o a las emisiones de escape de mezclas de gasolina con MTBE son más propensos a sufrir síntomas como dolores de cabeza, irritación de los ojos y náuseas.

En la eventualidad de una pérdida de gasolina con MTBE de un tanque subterráneo (o si hubiera un derrame), el MTBE tiende a separarse de la gasolina y a moverse más lejos y más rápido que otros de sus componentes, contaminando las aguas freáticas y potable.

---

<sup>27</sup> Manual de Envenenamientos, Dr Robert H. Dreisbach, El Manual Moderno S.A. Pág. 750

### **3.2.15. Periodo de Inducción**

---

#### ***Descripción***

La estabilidad de la gasolina al resistir la oxidación, es un indicio de la tendencia del combustible a formar gomas en el futuro. En la prueba de estabilidad, se colocan 50 mL de gasolina en una bomba forrada con vidrio, introduciendo oxígeno a una presión de 100 lb / in<sup>2</sup> y sumergiendo luego la bomba a agua hirviendo. La presión de la bomba se lee en un manómetro. El tiempo transcurrido antes de que la gasolina comience a absorber oxígeno en una escala definida (lo cual se demuestra por la disminución de presión), se llama ***periodo de inducción***.

Actualmente el periodo de inducción se determina utilizando el ***Método ASTM D525-01***.

#### ***Función***

Es admisible un periodo de inducción mayor de cuatro horas. En general, a mayor periodo de inducción mayor será la estabilidad de la gasolina en el almacenamiento. Sin embargo, como la prueba se hace a una temperatura mayor que la de almacenamiento, algunos combustibles exhibirán en la prueba periodos de inducción pequeños y aún así tendrán buena estabilidad en el almacenamiento a temperaturas bajas. El periodo de inducción, en combinación con el contenido de gomas presentes en el combustible, son las pruebas utilizadas para determinar la estabilidad de un combustible.

#### ***Efectos Provocados***

En general, periodos de inducción muy bajos, implican la formación de gomas en la gasolina durante el almacenamiento de la misma.

### 3.2.16. Peso Específico

---

#### **Descripción**

El peso específico se define como el peso de la unidad del fluido [por ejemplo, a 15 °C (60°F)], comparado con el mismo volumen de agua [a 15°C (60°F)]. La temperatura de los fluidos no necesita ser igual, indicándose mediante una abreviatura [15°C/15°C (60°F/60°F), para los datos anteriores].

Actualmente el peso específico de un combustible se determina por medio de un hidrómetro, utilizando el **Método ASTM D 1298-99**.

#### **Función**

Como la gasolina se vende en unidades de volumen, el peso específico es muy importante para determinar el peso del material comprado.

Variaciones en la densidad de los combustibles comerciales pueden por lo tanto, influir en la relación aire-combustible suministrada a la cámara de combustión.

Cuando se considera el flujo de combustible a través de la tobera del carburador, el coeficiente de descarga para la gasolina es virtualmente constante por encima de un valor crítico del número de Reynolds. Bajo estas condiciones, el flujo de masa es una función de la densidad del combustible así que, un aumento en la densidad, incrementa el flujo de masa y disminuye la relación aire combustible de la mezcla.

Al mismo tiempo el peso específico del combustible depende de los tipos de componentes usados en la mezcla de la gasolina. Los compuestos aromáticos presentan densidades altas mientras que las olefinas, presentan densidades intermedias y las parafinas tienen las densidades más bajas, estas comparaciones pueden llevarse a cabo siempre y cuando los componentes tengan el mismo número de átomos de carbono.

### 3.2.17. Presión de Vapor

---

#### *Descripción*

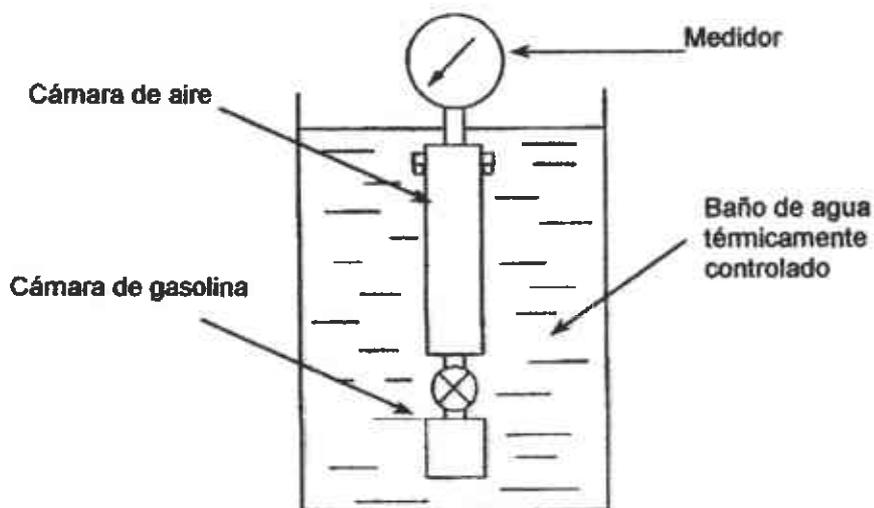
La presión de vapor se define como la presión que ejercen los vapores generados por un líquido, sobre la superficie del mismo. Esta propiedad está estrechamente relacionada con la volatilidad de la gasolina en cuestión.

La presión de vapor de la gasolina aumenta con la temperatura y, a la vez, depende de su composición. Cuando la gasolina es calentada, la composición del líquido cambia progresivamente a medida que tiene lugar la vaporización.

Por medio de la prueba Reid, se determina la presión de vapor de una gasolina, en presencia de un volumen de aire, que ocupa cuatro veces el volumen del combustible, esto normaliza la extensión de la vaporización.

La prueba se realiza colocando en la bomba Reid, fig. 3.8, una muestra fría de combustible y sumergiendo la bomba en un baño de agua mantenida a 38°C (100°F). El manómetro indicará la presión de vapor del combustible, más la elevación de presión de aire y vapor de agua, contenidos en la cámara del aire. El aumento de presión del aire y del vapor de agua, se podrá calcular y restarse en la lectura del manómetro, para tener la presión real del vapor del combustible a 38 °C , que se conoce como **Presión de Vapor Reid**.

Fig. 3.8



Esquema de una bomba Reid para la presión de vapor

Actualmente la presión de vapor de una gasolina se determina por medio del **Método ASTM D4953-99a** el cual es una variante del procedimiento descrito anteriormente.

La evolución de la curva de la presión de vapor respecto a la temperatura depende mucho de la composición de la gasolina. Así, las curvas de los combustibles que contienen alcoholes son bastante más pendientes que las mezclas puras de hidrocarburos. Esto lleva a que tales productos, a temperaturas más elevadas originan problemas de burbujas de vapor.

### **Función**

La presión de vapor Reid, indica la *tendencia inicial del combustible a la obstrucción por vapor*. Una gasolina podrá arrancar fácilmente a un motor, pero una vez que este alcanza la temperatura de funcionamiento, habrá completa libertad para la obstrucción de vapor. La presión de vapor de la gasolina aumenta con la temperatura y, a la vez, depende de su composición. Adviértase que cuando la gasolina es calentada, la composición del líquido cambia progresivamente a medida que tiene lugar la vaporización.

### **Efectos Provocados**

La volatilidad de una gasolina es crucial para su empleo, porque el carburador simplemente rocía una corriente de gasolina en el aire de admisión al pasar hacia los cilindros. Si la gasolina no se evapora fácilmente, alcanzará el cilindro en forma de gotas, las cuales no pueden quemarse con tanta eficiencia como en forma de vapor, en consecuencia, del motor escapará humo, y el rendimiento será bajo<sup>28</sup>. Por otra parte, cuando la volatilidad del combustible es muy baja, pueden presentarse bolsas de vapor. Una bolsa de vapor es una condición *pobre* causada por combustible evaporado en el sistema del mismo.

La bolsa de vapor es causada por burbujas que se forman en el combustible debido a temperaturas ambientales cálidas y evitan el buen funcionamiento de la bomba de combustible y del carburador. De esta manera, cuando hay exceso de burbujas, el motor no recibe suficiente combustible y trabaja mal. Un motor con una mezcla pobre vacila durante la aceleración, trabaja toscamente y se para<sup>29</sup>.

La volatilidad de las gasolinas tiene un control específico principalmente en las regiones donde existen altas concentraciones de ozono en la atmósfera, porque combustibles muy volátiles emiten elevadas cantidades de compuestos orgánicos volátiles (COV's), que reaccionan en la atmósfera produciendo ozono<sup>30</sup>.

<sup>28</sup> Química Orgánica; Alan. S. Wingrove, Pág. 90

<sup>29</sup> Manual para Ajuste de Motores y Control de Emisiones; Mitchel Int. Corp. Cáp. 5 Pág. 66

<sup>30</sup> <http://www.ref.pemex.com/octanaje/nprod15.htm>

### **3.2.18. Prueba Doctor**

---

#### ***Descripción***

Esta es una prueba cualitativa que está relacionada con la *detección de compuestos de azufre tales como los mercaptanos ó sulfuro de hidrógeno* presentes en la gasolina. La prueba consiste en agitar una muestra de gasolina con una solución alcalina (solución doctor), a la cual se le agrega una pequeña cantidad de azufre pulverizado agitando la mezcla nuevamente. La presencia de mercaptanos y/o sulfuro de hidrógeno es indicada por la decoloración del azufre flotante en la interfase gasolina-agua o por la decoloración de alguna de las fases.

Actualmente se aplica el **Método ASTM D4952-02** para llevar acabo la prueba doctor.

#### ***Función***

Esta prueba tiene la finalidad de determinar si la concentración de dichos compuestos, es lo suficientemente grande como para causar *problemas de corrosión* en los automotores. Un resultado negativo en la prueba doctor indica que la concentración de estos compuestos es insuficiente para causar problemas de corrosión (ver Azufre total y Azufre Mercaptánico).

Aunque un resultado positivo de la prueba doctor ya no se acepta como prueba suficiente para determinar los efectos corrosivos del combustible, esta prueba suele mantenerse dentro de las especificaciones de calidad, debido a que no se requiere un equipo caro ó complejo para llevarla a cabo.

### 3.2.19. Temperatura de Prueba Mínima (V/L) = 20

---

#### **Descripción**

Esta prueba tiene la finalidad de determinar la temperatura a la cual se obtiene una relación vapor-líquido 20:1 (V/L =20), a la presión atmosférica. La relación V/L es indicativa de la *tendencia de un combustible a la formación de burbujas*.

La prueba para determinar la relación V/L aplicando el Método ASTM 2533, mide el volumen de vapor formado a presión atmosférica a partir de un volumen líquido dado de gasolina, a una temperatura específica. En algunos casos se desea conocer la temperatura correspondiente para proporcionar una relación vapor-líquido (V/L) establecida para una gasolina en particular y, en estos casos, la relación V/L es determinada a diferentes temperaturas y la temperatura requerida es leída de una gráfica temperatura vs. V/L.

Esta prueba es llevada a cabo introduciendo un volumen medido de combustible líquido a unos 0 °C a través de un tapón de caucho hacia el interior de una bureta llena con glicerina. La bureta con glicerina es puesta en condiciones controladas de temperatura por medio de un baño de agua, entonces el volumen de vapor en equilibrio con el líquido es medido.

Sin embargo, resulta muy difícil llevar a cabo esta prueba en la práctica, debido a que las especificaciones para esta propiedad indican en prácticamente todos los casos una relación V/L =20.

Por otra parte, se ha encontrado que existe una buena correlación entre la relación V/L y una combinación de la presión de vapor Reid (RVP) y puntos de destilación conocidos. De esta manera, se han establecido procedimientos para estimar los valores V/L a partir de estos parámetros.

Actualmente esta propiedad se determina utilizando el **Método ASTM D5188-99** cuyos resultados para la relación V/L = 20, son comparables con los obtenidos con el Método ASTM 2533

#### **Función**

La cantidad de vapor producido, puede tener una influencia sobre el desempeño del vehículo, particularmente bajo condiciones de temperatura ambiente altas. La presión atmosférica de trabajo del combustible, juega un papel muy importante con respecto a esta propiedad, a poca presión, es decir, a grandes altitudes, a la misma temperatura aparece un mayor volumen de vapor que, por ejemplo, a nivel del mar, esto provoca perturbaciones por burbujas de vapor en los viajes por la montaña. Además la relación vapor-líquido se eleva por adición de alcoholes, especialmente metanol.

### 3.3. PROPIEDADES DEL COMBUSTIBLE DIESEL

Actualmente en México se aplican un total de 15 pruebas, a partir de las cuales se evalúa la calidad del combustible Diesel en nuestro país, dichas pruebas se presentan y describen en orden alfabético de acuerdo a la tabla 3.3

Tabla 3.3  
Propiedades del combustible diesel

<b>DIESEL</b>	
No.	Prueba ó Propiedad
1	Agua y Sedimento
2	Aromáticos*
3	Azufre Total*
4	Carbón Ramsbottom (en 10% de residuo)
5	Cenizas
6	Color ASTM
7	Corrosión al Cu, 3h a 50 °C**
8	Destilación*
9	Índice de Cetano y Número de Cetano
10	Peso Específico*
11	Temperatura de Esgurrimiento
12	Temperatura de Inflamación
13	Temperatura de Nublamiento
14	Viscosidad Cinemática a 37.8 °C

\* Para estas propiedades se aplican los mismos criterios aplicados a las gasolinas con respecto a su descripción, metodología ASTM empleada en su determinación, origen y efectos provocados, salvo el caso en el cual se complementa la información presentada.

\*\* Los criterios aplicados a esta propiedad, son idénticos a los ya descritos.

### **3.3.1. Agua y Sedimento**

---

#### **Descripción**

Es la *medida del grado de suciedad y otras materias extrañas, así como de dicho líquido*. El contenido de agua y sedimentos se determina por centrifugación de una muestra de combustible, aplicando el **Método ASTM D2709-96(2001) e1**.

#### **Origen**

Aunque en su origen el combustible no lleva agua, puesto que al destilar el petróleo el agua sale cuando se alcanzan los 100 °C y solo al llegar a los 190 °C comienza a destilar la fracción de gas-oil. En la práctica el combustible puede contener agua procedente de la condensación de la contenida en la propia atmósfera. En algunos casos, el combustible se impurifica durante su transporte de la refinería al distribuidor. Precisamente porque los combustibles para motores diesel son mucho más viscosos que la gasolina, y también mantienen las impurezas en suspensión durante un tiempo mayor.

#### **Efectos Provocados**

De todas las especificaciones para el aceite combustible, el factor limpieza, es probablemente el más importante, debido a la precisión de acoplamiento de las partes de la bomba del combustible y los inyectores. Han sido dañados más motores por la suciedad y el agua en el combustible, que por cualquier otra deficiencia en sus especificaciones. Ni el agua ni los sedimentos son desalojados de los aceites pesados, tan rápidamente como lo son en la gasolina. La presencia del agua salada es especialmente dañina y corrosiva.

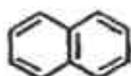
Además de desgastar los órganos principales del motor, los fangos y emulsiones formados por agua y residuos carbonosos del aceite quemado, obstruirán los conductos parando el motor y ocasionando serias averías al impedir una lubricación adecuada.

Todo lo que haya de agua en el combustible, lo hay de menos en cuanto a poder calorífico; además, dificulta el encendido y corroe los órganos internos del motor. Debido a la alta temperatura, ataca especialmente las válvulas de escape.

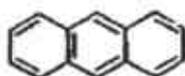
### 3.3.2. Aromáticos

#### Descripción

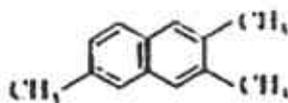
A diferencia de los compuestos aromáticos presentes en la gasolina, los compuestos aromáticos contenidos en el combustible diesel incluyen alquilbencenos, naftalenos, bifenilos, pirenos y en general compuestos policíclicos aromáticos.<sup>31</sup>



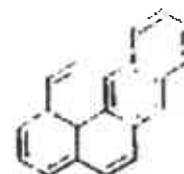
Naftaleno



Antraceno



2,3,6-trimetil naftaleno



benzo(α) pireno

Actualmente el contenido de compuestos aromáticos se determina por cromatografía en capa fina aplicando el **Método ASTM D1319-02a**.

#### Origen

Comúnmente, el combustible diesel producido por la simple destilación del petróleo crudo es bastante bajo en hidrocarburos aromáticos. Sin embargo, el fraccionamiento catalítico del petróleo residual para aumentar la producción de gasolina y diesel tiene como resultado un contenido aromático elevado. Un típico diesel obtenido por destilación puede contener 20% a 25% de aromáticos por volumen, mientras que una mezcla diesel catalíticamente fraccionado podría tener aromáticos en un 40% a 50%.

#### Función

El comportamiento del combustible Diesel a bajas temperaturas, está en función de la cantidad de compuestos de tipo parafínicos los cuales tienden a cristalizar y ocasionar problemas de funcionamiento en el motor (ver Temperatura de Nublamiento y Esgurrimiento). La presencia de compuestos aromáticos contrarresta este efecto.

<sup>31</sup> Chemistry of diesel Fuels Chun Song Chang S. Hsu. Applied Energy Technology Series Pág. 19

## ***Efectos Provocados***

### ***Factores Técnicos***

Los hidrocarburos aromáticos tienen cualidades de autoignición pobres, de modo tal que los combustibles diesel que contienen una alta fracción de aromáticos tienden a tener bajos números de cetano. Los valores típicos para el diesel puro están en el rango de 50-55; aquellos para los combustibles diesel altamente aromáticos están típicamente entre 40 a 45, y pueden ser incluso menores. Esto produce más dificultad en los arranques en frío debido al mayor atraso en la ignición. También hay algo de evidencia de que los combustibles más altamente aromáticos tienen una mayor tendencia a formar depósitos sobre los inyectores de combustibles y otros componentes importantes.

### ***Factores Sanitarios y Ambientales***

El contenido de aromáticos influye en la temperatura de la flama y, por lo tanto, en las emisiones de NO<sub>x</sub> durante la combustión. El incremento en el contenido de compuestos aromáticos contenidos en el combustible diesel, también está correlacionado con mayores emisiones de partículas contaminantes. Los hidrocarburos aromáticos tienen una mayor tendencia a formar hollín en la combustión, y la calidad de combustión más pobre también parece aumentar las emisiones de partículas contaminantes y las emisiones de este tipo de hidrocarburos en el tubo de escape.

Algunos de los hidrocarburos aromáticos policíclicos contenidos el combustible diesel tales como el Benzo( $\alpha$ )pireno, el cual puede estar presente en pequeñas cantidades en los gases de escape, son altamente carcinogénicos.

### 3.3.3. Azufre Total \*

---

#### **Efectos Provocados**

#### **Factores Técnicos**

Cuando un combustible con gran contenido de azufre se quema en un motor diesel, el azufre pasa a anhídrido sulfuroso, el cual puede oxidarse más y llegar a anhídrido sulfúrico; a las altas temperaturas que reinan en el interior de los motores diesel, los contenidos corrientes de azufre no llegan a atacar la fundición, ya que el gas sulfuroso producido en la combustión se sustituye por el aire de barrido impidiendo la formación de los correspondientes ácidos. Sin embargo, estos si se pueden formar en otras partes del sistema del combustible y disminuir la eficiencia de aditivos alcalinos utilizados para mejorar las propiedades lubricantes del combustible<sup>32</sup>.

Cuando se utilizan combustibles demasiado viscosos los cuales contienen una elevada proporción de azufre, no se lleva a cabo una combustión completa y parte de este aceite medio quemado se condensa sobre las paredes del cilindro propiciando la corrosión de los materiales del cilindro, generalmente acero. Como quiera que a cada carrera, el émbolo rasca hacia abajo los productos de la corrosión del cilindro, resulta que éste ofrece cada vez una superficie nueva al tanque y, por lo tanto, el desgaste de la camisa es muy grande.

#### **Factores Sanitarios y Ambientales**

El  $\text{SO}_2$  producto de la combustión del combustible Diesel, se oxida con facilidad hacia sulfatos en la atmósfera por medio de procesos fotoquímicos<sup>33</sup>. Por otra parte, en el escape rico en oxígeno de los vehículos diesel, un porcentaje de  $\text{SO}_2$  formado durante la combustión se oxida a  $\text{SO}_3$ , el cual se disuelve en el vapor de agua presente para formar vapor de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). El  $\text{H}_2\text{SO}_4$  es una de las pocas sustancias que son capaces de nucleación homogénea, lo que, además de la formación de hollín, parece ser el mecanismo primario para la iniciación de partículas ultra finas en el escape de diesel, produciendo partículas recién formadas de alrededor de 1 nm.

A pesar de que las partículas de sulfatos dan cuenta de sólo una pequeña fracción del volumen o masa de partícula, ella es responsable de una gran fracción de números de partículas. Las nanopartículas de sulfato proveen un área relativamente grande de superficie sobre la cual las especies de hidrocarburos se condensan, lo que provoca un crecimiento de partículas y también incrementa la toxicidad de ellas.

---

<sup>32</sup> Motor Fuels, Performance and Testing; William A. Gruse. Reinhold Publishing Corp. Pág. 57

<sup>33</sup> Manual de Envenenamientos, Dr. Robert H. Dreisbach; El Manual Moderno S.A. Pág. 822

### 3.3.4. Carbón Ramsbottom (en 10% de residuo)

#### **Descripción**

Prueba utilizada para determinar la *tendencia del combustible Diesel a formar depósitos carbonosos*. Como el nivel de residuos de carbón en el combustible Diesel es bajo, a menudo menor del 0.1% en peso, la prueba es aplicada al 10% de residuo de la prueba de destilación en laboratorio, con la finalidad de incrementar la exactitud de los resultados.

Para medir esta propiedad, se toma una muestra de 4 g del 10% de residuos de la destilación, y se coloca en un bulbo de vidrio previamente pesado. Posteriormente es calentado a 550 °C durante 20 min. Por último el bulbo es enfriado y vuelto a pesar para determinar la cantidad de residuo el cual se reporta como % en peso de residuo Ramsbottom en 10% de residuo de destilación<sup>34</sup>.

Actualmente, esta característica de los combustibles Diesel se determina por medio de **Método ASTM D524-00**.

#### **Efectos Provocados**

La tendencia del combustible Diesel a formar depósitos carbonosos está relacionada con el funcionamiento de los inyectores de combustible (Fig.3.9), ya que estos depósitos pueden afectar el funcionamiento de los mismos, impidiendo que estos cumplan adecuadamente su función la cual consiste en introducir el combustible diesel a la cámara de combustión finamente atomizado.

Fig. 3.9



En la Fig. de la izquierda se observa el adecuado funcionamiento de un inyector limpio; la figura de la derecha muestra los efectos provocados por los depósitos de carbón sobre el inyector.

<sup>34</sup> Automotive fuels reference Book second edition; Keith Owen, Trevor Coley Published by Engineers, Inc. Pág. 484

### 3.3.5. Cenizas

---

#### **Descripción**

Al hacer pruebas referentes a la ceniza, se calienta el combustible hasta que los vapores se incendian. Cuando se disipa la llama, cualquier material carbonoso es oxidado, calentándolo en una llama, o en un horno de mufla. El residuo que no se quema se llama **ceniza**. El contenido de ceniza es un *índice de lo abrasivo de los productos de la combustión*.

Actualmente el contenido de ceniza es determinado por el **Método ASTM D482-02**.

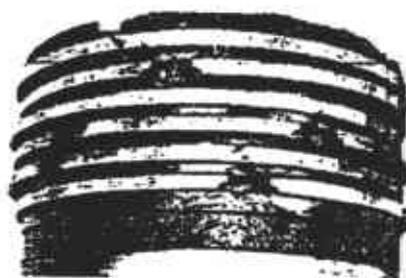
#### **Origen**

El combustible diesel puede contener pequeñas cantidades de materiales tales como sólidos suspendidos y compuestos organometálicos solubles en el combustible, los cuales permanecerán después de la combustión.

#### **Efectos Provocados**

El contenido de ceniza es un índice de lo abrasivo de los productos de la combustión que ocasionarán desgaste en el motor, principalmente en aquellos componentes que se encuentran en zonas de temperaturas elevadas dentro del motor tales como pistones y anillos (Fig. 3.10). Por otra parte, como los inyectores de combustible en los motores Diesel tienen un intervalo muy pequeño de tolerancia, suelen ser sensibles a cualquier sustancia abrasiva en el combustible. El porcentaje de cenizas es otro de los datos que figura con frecuencia en las especificaciones, y, dentro de ciertos límites, es una prueba importante.

Fig. 3.10



Efectos de ceniza y Carbón sobre los pistones del motor.

### 3.3.6. Color ASTM

---

#### **Descripción**

Debido a que la oxidación de algunos componentes del combustible diesel, generalmente va acompañada de un oscurecimiento del color, esta prueba nos da un indicio del desarrollo de gomas en el combustible<sup>35</sup>.

El color del combustible Diesel es examinado a través del método **ASTM 1500-98**, el cual emplea muestras estándar de color con las cuales es comparada la muestra analizada y se otorga un valor numérico que va de 0.5 a 8.0 de acuerdo a la escala de color ASTM utilizada para esta prueba.

#### **Función**

Una variación fuera del rango establecido, puede indicar degradación y/o contaminación del combustible con otros productos.

Por otra parte, en algunas ocasiones el color es especificado para evitar la incorporación de materiales tales como gasóleos pesados provenientes de los procesos de craqueo, así como la incorporación de residuos los cuales, le pueden otorgar una apariencia oscura al combustible.

---

<sup>35</sup> Motor Fuels, Performance and Testing, William A. Gruse. Reinhold Publising Corp. Pág. 67

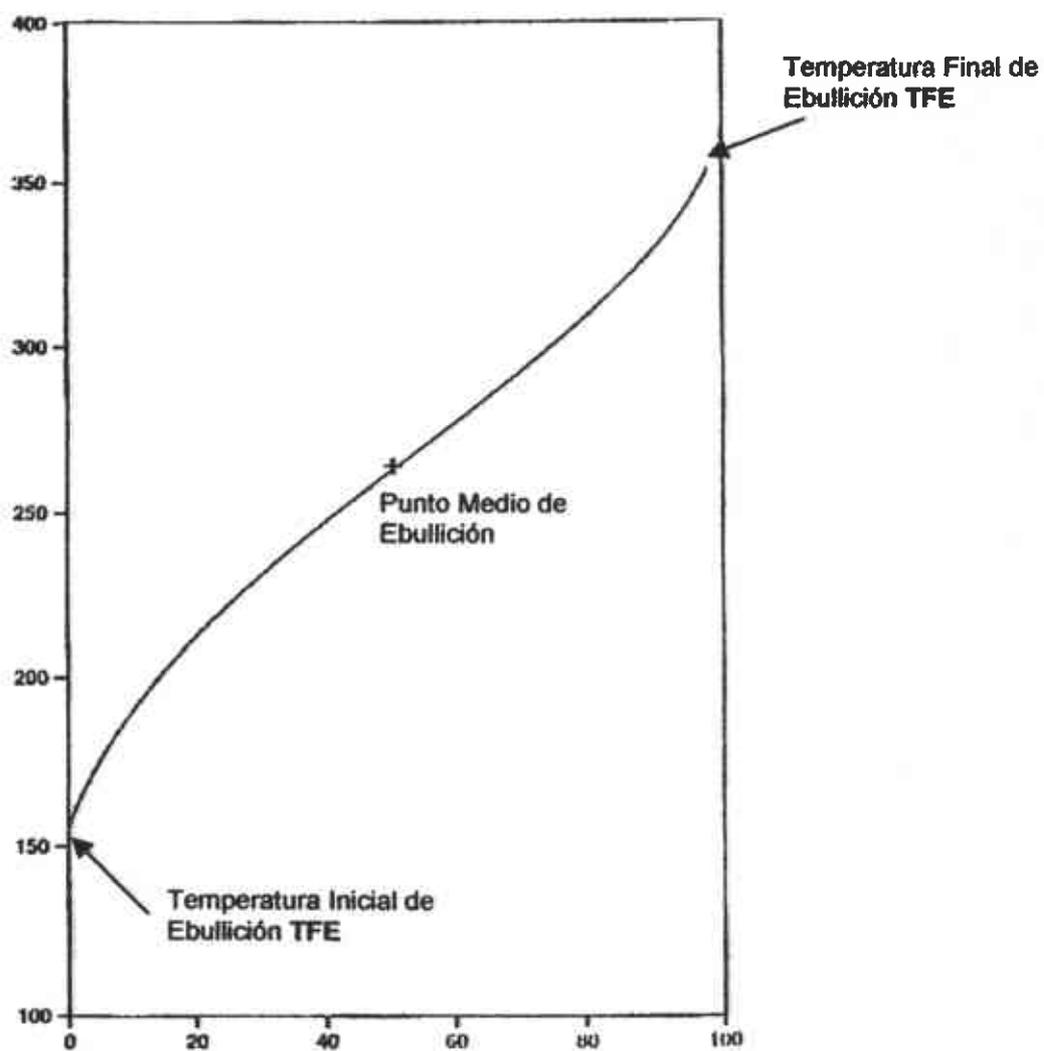
### 3.3.8. Destilación

---

#### *Función*

En el caso del combustible diesel, el rango de ebullición mostrado en la figura 3.11, puede influir en otras propiedades tales como la viscosidad, el punto de inflamación, la temperatura de autoignición, el número de cetano y la densidad del combustible.

Fig. 3.11



Curva típica de destilación de un combustible diesel

Al igual que en la gasolina, los componentes presentes en la región del 10% de destilado, están relacionados con la facilidad del combustible para vaporizarse.

Un bajo 10% de punto de ebullición se asocia con un contenido importante de hidrocarburos relativamente volátiles. Los combustibles con esta característica tienden a exhibir emisiones de HC un tanto mayores que otros.

La región del 50% de destilados, está relacionada con la tendencia del combustible a formar humos después de la combustión, con la facilidad del combustible para ser inyectado a la cámara de combustión y por último esta región es utilizada para calcular el índice de cetano.

Los componentes pesados con puntos elevados de ebullición, están asociados a la región del 90% de destilado. Algunos de estos compuestos pueden no quemarse por completo formando depósitos en el motor e incrementar los niveles de smog. . Los combustibles con una menor temperatura de destilación de punto final tienden a dar menores emisiones de masa de particulado, como lo hacen los contenidos reducidos de aromáticos y de poliaromáticos.

En algunos combustibles cuyo límite de destilación es muy alto, provocan un desgaste en las paredes del cilindro, debido a que la parte pesada no se ha quemado completamente cuando alcanza las paredes del cilindro relativamente frías.

Una proporción demasiado elevada de componentes en la gama de ebullición a baja temperatura, además de dar un índice de cetano desfavorable a causa de su baja viscosidad, tiene un efecto negativo en el desgaste del equipo de inyección. Para la mejor utilización del combustible diesel, se procura ampliar en lo posible el final de la ebullición. Para que en frío tengan la estabilidad necesaria, hay que eliminar las parafinas o transformarlas. Un punto final de ebullición tampoco es conveniente por carbonización de los inyectores y la emisión de humos negros (con hollín).

### **3.3.9. Número de Cetano ó Índice de Cetano**

#### ***Descripción***

#### **Número de Cetano**

Tanto el *número de cetano* como el *índice de cetano*, miden la facilidad con que se prepara a quemar un combustible, la diferencia radica en la forma en la que estos son calculados.

Al igual que las determinaciones de octanaje en el laboratorio, la determinación del número de cetano se efectúa en un motor CFR de encendido por compresión de un solo cilindro, en condiciones específicas, el cual tiene una razón de compresión variable.

Se ha establecido una escala para los combustibles diesel, con los mismos lineamientos que para los combustibles de encendido por chispa. Así el hexadecano (cetano), se incendia rápidamente en un motor diesel para relaciones de compresión muy bajas y por ello, se le asignó arbitrariamente un número de cetano de cien. El otro combustible primario, de referencia para la escala de cetano, es el alfa-metil-naftaleno, con un valor arbitrario de cero cetano. Las mezclas de cetano con alfa-metil-naftaleno representan la calidad intermedia de ignición.

El número de cetano de un combustible es el porcentaje en volumen de cetano que hay en una mezcla de cetano y alfa-metil-naftaleno, la cual iguala al combustible en calidad de ignición cuando un combustible y mezcla se comparan en el motor CFR de encendido por compresión.

Los valores del número de cetano se calculan hasta el número entero más próximo a partir de los porcentajes de cetano y alfa-metil-naftaleno en la mezcla. La ecuación empleada es la siguiente:

$$\text{Número de cetano} = \% \text{ de cetano} + 0.15 \% \text{ de alfa-metil-naftaleno}$$

Así, una mezcla de referencia que contenga 35% de cetano y 65% de alfa-metil-naftaleno tendrá un número de cetano de 45. Actualmente, el número de cetano se determina aplicando el **Método ASTM D613-95**

## Índice de Cetano

El índice de cetano es un valor calculado, derivado de los valores de densidad y volatilidad del combustible. El índice de cetano usualmente proporciona una aproximación bastante razonable del número de cetano real, y evita los gastos y el tiempo involucrados en la determinación del número de cetano calculado en el motor CFR. El índice de cetano es frecuentemente usado para monitorear la calidad de ignición del combustible diesel.

La fórmula original para determinar el índice de cetano se basaba en la gravedad API y la volatilidad de los destilados medios correspondientes a la región del 50% de destilados de la curva de destilación correspondiente a los combustibles diesel, los coeficientes usados por esta ecuación han sido modificados de vez en cuando, así como la composición involucrada, para mejorar la correlación con las series de datos actualizados.

De esta forma, el índice de cetano puede ser determinado por la siguiente ecuación:

$$\text{Índice de Cetano} = 454.74 - 1641.416 D + 774.74 D^2 - 0.554 B + 97.803 (\log B)^2$$

donde: D = densidad a 15 °C

B = temperatura del 50% de destilados, °C, corregida a la presión barométrica estándar.

Actualmente, el índice de cetano se calcula aplicando el **Método ASTM D976-91(2000)**.

### **Función**

Un mayor número de cetano implica menor retardo a la ignición, asegurando mejor arranque, una correcta combustión, disminución del ruido, andar más uniforme y menos toxicidad de los gases de emisión.

El índice de cetano puede servir como método alternativo para determinar las propiedades de ignición de un combustible diesel. De cualquier forma, el índice de cetano es incorporado dentro de las especificaciones del combustible diesel como una prueba adicional para controlar la calidad base del combustible y para limitar la existencia de aditivos mejoradores de cetano.

En contraposición a lo que ocurre con la gasolina, los combustible diesel tienen que ser tan propicios a la combustión como sea posible, con la finalidad de evitar el *encendido retardado*<sup>36</sup>.

Cuanto más elevado sea el índice de cetano más disminuye el *retardo* y, por consiguiente, requiere un avance más corto a igualdad de carga, régimen y demás condiciones. Dicho de otra forma, los combustibles con un número mayor de cetano se queman más fácilmente en los motores de ignición por compresión.

### ***Las Tres Fases de la Combustión***

El proceso de combustión en los motores se desarrolla de manera distinta a la forma en la que se lleva a cabo en los motores de encendido por chispa. En los motores diesel, la combustión se presenta en tres fases.

#### **Primera Fase**

La primera fase consiste en un periodo inicial durante el cual, la superficie de las gotas de combustible finamente atomizado e inyectado, comienza a vaporizarse gracias a la elevada temperatura al interior de la cámara de combustión y comienza a calentarse hasta el punto de ignición. Durante esta etapa, no se lleva a cabo ninguna combustión. A este periodo se le conoce también como *retardo*.

#### **Segunda Fase**

En la segunda fase, el combustible inyectado durante el primer periodo se quema rápidamente.

#### **Tercera Fase**

En la última fase, el resto del combustible se incendia rápidamente a medida que es inyectado en los gases inflamados.

La característica principal del motor diesel es quemar completamente todo el combustible inyectado, sin que la presión del cilindro se eleve excesivamente sobre la de compresión. Si se supone que la inyección comienza en un momento dado, la presión alcanzada durante la segunda fase de la combustión depende de la duración del periodo inicial, o sea del tiempo empleado en la primera fase de la combustión. Cuanto más largo sea el periodo inicial, más rápidos serán el ritmo y el aumento de presión y el valor de la presión final, puesto que se encontrará en el cilindro una mayor cantidad de combustible en el momento en el que empiece la segunda fase.

---

<sup>36</sup> Tecnología del Automóvil, Bohner Max, Editorial Reverté, S.A. Pág. 200

Es por lo tanto esencial, para obtener una buena combustión, reducir este periodo inicial, puesto que cuanto más corto sea, más largo será el periodo siguiente (durante el cual se puede regular mecánicamente la entrada del combustible, y en consecuencia, la marcha de la combustión).

La duración de este periodo inicial depende, en gran parte, del motor mismo y, por supuesto, de la naturaleza del combustible en particular, la facilidad con que se enciende. Esta propiedad desempeña un importante papel en la determinación del tiempo que dura el periodo inicial.

Las cualidades que en este aspecto convienen, para los combustibles diesel, son exactamente contrarias de las cualidades que convienen en los combustibles que se usan en los motores de gasolina.

### ***Efectos Provocados***

Los efectos provocados por el uso de un combustible diesel cuyo índice o número de cetano es diferente al indicado por el fabricante (a diferencia del índice de octano en la gasolina, el cual puede ser mayor sin ocasionar ningún problema de tipo técnico), son comparables con los efectos provocados por el empleo de una gasolina con un índice de octano menor al requerido, presentándose también problemas de golpeteo.

En este caso el golpeteo no es generado por una preignición de la mezcla aire-combustible debido a las características de operación de los motores diesel. El golpeteo es generado por un retardo en el avance en la primera etapa de la combustión.

### **3.3.10. Peso Específico**

---

#### ***Función***

El peso específico del combustible diesel, puede proporcionar información útil acerca de la composición y desempeño relacionadas con características tales como la calidad de la ignición, potencia, economía, propiedades del combustible a bajas temperaturas y tendencia a formar humos.

Resulta que el pistón que inyecta el combustible, lo que hace es desplazar hacia la cámara de combustión un volumen del combustible líquido, perfectamente bien definido. Si ese volumen es de bastantes más gramos, como por gramo hay más calorías, se introducirán más o menos calorías, que son las que se transforman en energía.

Al mismo tiempo un cambio en la densidad, al utilizar un combustible con un valor más elevado para esta, puede provocar la emisión de más smog.

Las variaciones en la densidad y viscosidad del combustible resultan en variaciones en la potencia del motor y, consecuentemente, en las emisiones y el consumo. Se ha encontrado, además, que la densidad influye en el tiempo de inyección de los equipos de inyección controlados mecánicamente.

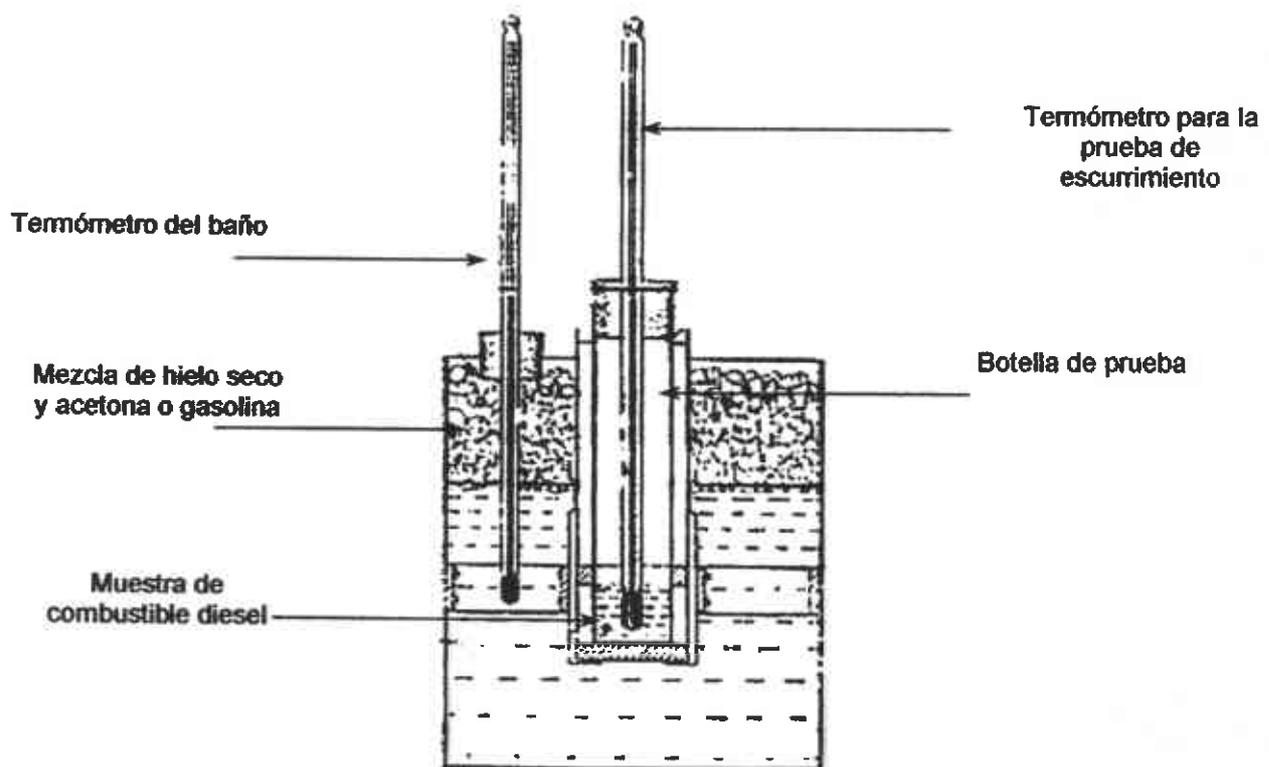
### 3.3.11. Temperatura de Ecurrimiento

#### Descripción

La temperatura de escurrimiento es una de las propiedades junto con la *temperatura de nublamiento*, relacionada con el **comportamiento del combustible Diesel a bajas temperaturas**. Se define como la temperatura más baja a la cual el combustible deja de fluir.

La temperatura de escurrimiento se determina bajo condiciones controladas de enfriamiento. La temperatura es registrada colocando el bulbo de un termómetro, justo en la superficie del combustible, el cual es colocado en un recipiente de pruebas hasta que, al pasarlo de la posición vertical a la horizontal (fig. 3.12), no ocurra ningún movimiento perceptible del combustible. La temperatura de escurrimiento se determina por medio del **Método ASTM D97-02**.

Fig. 3.12



Aparato para determinar el punto de fluidez

### ***Efectos Provocados***

El punto de fluidez es importante, solamente cuando se trabaja el motor a bajas temperaturas. El punto de fluidez es un indicativo de la temperatura debajo de la cual no es posible usar una alimentación del combustible por gravedad, desde el depósito de almacenamiento al motor; por supuesto que si se agita el combustible, si será posible bombearlo a temperaturas por debajo del punto de fluidez<sup>37</sup>.

Cuando el combustible diesel se enfría a una temperatura poco mayor que la de escurrimiento, se torna turbio formándose cristales de cera (parafina) y otros materiales sólidos que pueden obstruir los filtros de combustible y líneas de abastecimiento. La mayoría de los fabricantes de diesel recomiendan que los combustibles tengan temperatura de escurrimiento 6 a 8°C por debajo de la temperatura atmosférica más baja a la que vaya a funcionar el motor.

---

<sup>37</sup> Chemistry of diesel Fuels Chum Song Chang S. Hsu. Applied Energy Technology Series Pág. 33

### 3.3.12. Temperatura de Inflamación

---

#### *Descripción*

La temperatura de inflamación es la temperatura más baja del fluido, que permite se formen vapores sobre la superficie del combustible los cuales se inflamarán si se exponen a una llama abierta o una chispa. El punto de inflamación se determina calentando lentamente una porción de combustible a una rapidez constante en un recipiente cerrado, y a intervalos regulares, el recipiente es destapado rápidamente acercando una pequeña flama con unas pinzas, rozando la superficie del líquido apartándola enseguida. En el momento en el que se note una breve inflamación, parecida a una explosión, que se apaga rápidamente, se habrá llegado a la temperatura de inflamación. Esta propiedad se determina empleando el **Método ASTM D93-02**.

#### *Función*

La temperatura de inflamación es importante por motivos de seguridad y es un índice del riesgo de incendio. Es por ello que la temperatura de inflamación no debe ser menor de 45 °C. Por la mezcla que se le hace a menudo en invierno de petróleo y gasolina normal al combustible diesel, el punto de inflamación puede descender notablemente. Así, con un pequeño porcentaje de gasolina añadido al combustible diesel se puede hacer descender el punto de inflamación al campo de la temperatura ambiente y con ello llevar el combustible a ser una mezcla explosiva.

El punto de inflamación no afecta la operación del motor diesel. Sin embargo, un punto de inflamación más bajo de lo normal podría indicar contaminación del combustible diesel con gasolina o alguna otra sustancia similar<sup>38</sup>.

---

<sup>38</sup> Manual para Ajuste de Motores y Control de Emisiones; Mitchel International, Inc. Prentice Hall Pág.73

### 3.3.13. Temperatura de Nublamiento

---

#### *Descripción*

La temperatura de nublamiento del combustible diesel, también está relacionada con el *comportamiento del combustible a bajas temperaturas*. Se define como la temperatura a la cual aparecen los primeros precipitados visibles de cera en el combustible al ser enfriado.

La temperatura de nublamiento se determina enfriando una pequeña muestra de combustible en un recipiente de vidrio, el cual es enfriado a una rapidez específica a intervalos de 1 °C. Un termómetro es inmerso en el combustible para medir la temperatura en el fondo del recipiente, cuando aparecen los primeros precipitados de cera. La temperatura de nublamiento se determina por medio del Método **ASTM D2500-02**.

#### *Efectos Provocados*

El combustible diesel puede estar constituido hasta en un 20% de cadenas de hidrocarburos parafínicos relativamente pesados, los cuales tienen una solubilidad limitada en el combustible, el cual, al ser enfriado lo suficiente, puede comenzar a precipitar en forma de cera. Desafortunadamente estos componentes presentan las mejores cualidades de ignición requeridas por el combustible diesel, pero al mismo tiempo, presentan las propiedades de comportamiento a bajas temperaturas menos deseadas<sup>39</sup>.

La presencia de precipitados de cera en el sistema de combustible, es una fuente potencial de problemas de operación, ya que la cantidad de precipitados de cera puede llegar a ser lo suficientemente grande como para obstruir los filtros del combustible y restringir el flujo en el sistema de combustible del vehículo.

---

<sup>39</sup> Automotive Fuels Reference Book Second Edition; Keith Owen, Trevor Coley Published by Engineers, Inc.419-20

### 3.3.14. Viscosidad Cinemática a 40 °C

#### **Descripción**

La viscosidad de un fluido se define exactamente como la relación del esfuerzo cortante entre la velocidad de corte y es una medida de la resistencia que opone el fluido para fluir.

Como la viscosidad cambia rápidamente con la temperatura, un valor numérico de ella no tiene significado a menos que se especifique la temperatura de la prueba. La **viscosidad cinemática** es la viscosidad absoluta dividida entre la densidad en las unidades convenientes.

En el sistema métrico la unidad de medida de la viscosidad absoluta es el poise = 1 dina seg / cm<sup>2</sup> y el centipoise = 1 poise / 100.

Para la viscosidad cinemática el stoke = 1 cm<sup>2</sup> / seg y el centistoke = 1 stoke / 100

Hay que decir que la viscosidad que realmente interesa no es la viscosidad a 20 °C, que no es nunca la de trabajo, sino la viscosidad que presenta el combustible a la temperatura que trabajan los conductos de impulsión que suele ser de 40 a 60 °C.

Uno de los métodos ampliamente utilizados para determinar la viscosidad cinemática, consiste en medir el tiempo necesario para que una cantidad de volumen del combustible, sometido a la fuerza de gravedad, pase a través de un tubo capilar inmerso en un baño térmicamente controlado. Para determinar la viscosidad cinemática, actualmente se utiliza el **Método ASTM D445-01**.

#### **Función**

La viscosidad del combustible ejerce una gran influencia sobre la forma de rocío: por ejemplo, altas viscosidades producen poca atomización (gotas de gran tamaño) y mayor penetración del chorro

Este aparato, que tiene siempre las mismas dimensiones, consiste en un recipiente en cuyo fondo hay un orificio por el cual sale el combustible, cuando se saca el tapón de corcho y mediante un cronómetro se mide el tiempo que se necesita, para que una cantidad dada de combustible salga por el orificio.

La viscosidad es una de las propiedades más importantes del combustible diesel. Si se quiere graduar de una manera efectiva el momento de la inyección y la cantidad del combustible inyectada, su viscosidad debe de mantenerse dentro de límites prudentes.

## **Efectos Provocados**

### **Consecuencias del empleo de combustibles poco viscosos.**

Cuando se emplea un combustible de *poca viscosidad*, las pérdidas por el émbolo de la bomba y el inyector pueden ser considerables, y, en consecuencia, puede alterarse el momento de a inyección y la cantidad de combustible inyectada. Como los émbolos de las bombas de combustible y los órganos de trabajo de los inyectores se desgastan inevitablemente, estas pérdidas, que tienen lugar cuando se emplean combustibles poco viscosos, aumentarán con el tiempo y se llegará a un momento en que será enojosa la frecuencia con que deberán reajustarse los elementos del circuito de combustible del motor.

Por otra parte, los aceites de baja viscosidad no lubrican suficiente la bomba de combustible y el inyector, con lo cual aumenta el rozamiento y la rapidez de desgaste. Por esta razón, también con combustibles poco viscosos hay más pérdidas y estas aumentan más rápidamente.

### **Consecuencias del empleo de combustibles viscosos.**

Por el contrario, si en un motor se emplean combustibles muy espesos cuya viscosidad aumenta al disminuir la temperatura durante el invierno; en algunos casos la temperatura del ambiente puede llegara ser inferior al punto de solidificación del combustible, y entonces éste fluirá con dificultad a la aspiración de la bomba de alimentación.

Otra característica de los combustibles espesos es que su gran viscosidad proviene, por regla general, de que contienen residuos de combustibles más pesados y, por lo general, destilan a mayores intervalos de temperatura. Si el combustible contiene una proporción apreciable de aceite pesado, resulta que una gran cantidad de combustible retrasa su combustión durante la carrera de expansión. Si la combustión no ha terminado cuando se abre la válvula de escape, los gases expulsados serán muy sucios, y, lo que es peor, se depositará en las paredes del cilindro una gran cantidad de sustancias medio quemadas que pueden llegar a empastar los aros del émbolo si penetran en las ranuras.

**Capítulo IV**  
**Especificaciones de Calidad**

## **CAPÍTULO IV**

### **Especificaciones de Calidad**

En el capítulo anterior se han descrito las propiedades físicas y químicas correspondientes a un análisis típico a partir del cual se determina la calidad de los combustibles para automotores. Al hacerlo, se ha identificado la finalidad de estas propiedades, así como la importancia y el papel que juegan en cuanto al desempeño del combustible.

Simultáneamente se ha hecho énfasis en los problemas que se pueden presentar tanto en el motor como en algunas otras partes del vehículo, cuando algunos de estos valores quedan fuera del límite establecido para ello, hasta el momento, descrito solo de forma cualitativa.

También se ha hecho mención de los problemas de tipo sanitario y ecológico que pueden ocasionar algunos de los componentes de una gasolina o diesel y sus respectivos productos de combustión, cuando estos se encuentran en una proporción diferente a la establecida.

En el presente capítulo se presentan los valores establecidos actualmente en México para la gasolina y el diesel para cada una de sus respectivas propiedades.

Como se observará más adelante, las especificaciones de calidad para un mismo producto pueden variar de una región a otra del país, así como a lo largo del año. Esto depende en gran medida de las condiciones ambientales y climatológicas características de una determinada región.

Factores como la altitud, presión y temperatura entre otros, hacen necesaria la diferenciación de un mismo producto, para que este sea capaz de cumplir con los requerimientos de tipo funcional y/o ecológico en cada una de las distintas regiones del país.

De esta manera, y como resultado de los problemas ambientales característicos de las áreas urbanas densamente pobladas, las características de las gasolinas se deben establecer de tal manera que los productos de su combustión (emisiones), permitan reducir la presencia en la atmósfera de compuestos fotoreactivos y tóxicos.

Para lograr lo anterior, se han establecido valores máximos en cuanto al contenido de algunos de sus componentes tales como aromáticos, benceno, azufre y olefinas, así como limitaciones en cuanto a la volatilidad de estos combustibles.

Por otra parte, en regiones localizadas a grandes alturas sobre el nivel del mar donde los procesos de combustión son menos eficientes, la incorporación de compuestos oxigenados, ayudan al mejoramiento de la combustión en los vehículos.

Las condiciones geográficas del Valle de México le imparten características peculiares a la operación de los motores a gasolina o diesel. A la altura de la Ciudad de México (2,240 metros sobre el nivel del mar), el aire cuenta con un 23% menos de la cantidad de oxígeno disponible al nivel del mar.

Una menor disponibilidad de oxígeno repercute en una combustión menos eficiente de los componentes de las gasolinas, dando como resultado la formación, entre otros compuestos, de monóxido de carbono (CO) y de óxidos de nitrógeno (NOx) a partir del nitrógeno atmosférico, debido a las altas temperaturas de la cámara de combustión del motor. Los NOx y los hidrocarburos no quemados (HC) son los precursores del ozono. La problemática de contaminación por ozono también se presenta en otras grandes ciudades del país como es Guadalajara.

En el caso de la gasolina, se ha hecho necesaria una marcada diferencia relacionada con una de las principales características de este producto: el octanaje.

Actualmente en México, se tienen dos grupos de gasolinas caracterizados por la diferencia que presentan en cuanto a esta propiedad: **PEMEX MAGNA** y **PEMEX PREMIUM**.

La gasolina PEMEX Magna sin plomo, está formulada para automóviles con convertidor catalítico, y presenta un índice de octano de 87. La gasolina PEMEX Premium tiene como principal atributo su mayor índice de octano, conservando las demás características que actualmente ofrece PEMEX Magna; presenta un índice de octano de 92 libre de plomo. Por su parte **PEMEX DIESEL** es la única presentación de este producto que se maneja como combustible para los automotores diesel en el país.

Actualmente en México se tienen las siguientes **ESPECIFICACIONES**<sup>1</sup>:

### Gasolina

#### MAGNA

1. PEMEX Magna Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).
2. PEMEX Magna Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG).
3. PEMEX Magna Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM).
4. PEMEX Magna Resto del País.

<sup>1</sup> PEMEX REFINACIÓN a través de los vínculos:

[www.ref.pemex.com/files/content/SupTecCalidad.pdf](http://www.ref.pemex.com/files/content/SupTecCalidad.pdf)

[www.ref.pemex.com/index.cfm?action=statusfilecat&categoryfileid=70](http://www.ref.pemex.com/index.cfm?action=statusfilecat&categoryfileid=70)

[www.ref.pemex.com/index.cfm?action=statusfilecat&categoryfileid=71](http://www.ref.pemex.com/index.cfm?action=statusfilecat&categoryfileid=71)

[www.ref.pemex.com/index.cfm?action=statusfilecat&categoryfileid=72](http://www.ref.pemex.com/index.cfm?action=statusfilecat&categoryfileid=72)

**PREMIUM**

5. PEMEX Premium Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).
6. PEMEX Premium Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG).
7. PEMEX Premium Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM).
8. PEMEX Premium Resto del País.

**Diesel**

9. PEMEX Diesel

**PEMEX MAGNA**

**4.1.1. ESPECIFICACIONES PEMEX MAGNA  
ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO**

TABLA 4.1.

<b>PRUEBA</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>MÉTODO ASTM</b>	<b>ESPECIFICACIONES</b>
Peso Específico a 20/4 °C		D 1298-99	Informar
Destilación (1) El 10% destila a:			70 Máx.
El 50% destila a:			77-121
El 90% destila a:	°C	D 86-03	190 Máx.
Temperatura Final de Ebullición			225 Máx.
Residuo de la Destilación			2 Máx.
Presión de Vapor	kPa lb / in <sup>2</sup>	D 4953-99a	45-54 6.5-7.8
Temp. Relación (V/L = 20)	°C	D 5188-99	(2)
Azufre Total	mg / kg (ppm)	D 4294-02	500 Máx.
Prueba Doctor ó Azufre Mercaptánico	mg / kg (ppm)	D 4952-02 D 3227-02	Negativa 20 Máx.
Corrosión al Cu, 3h a 50 °C		D 130-94 (2000)	STD 1
Goma Preformada	kg / m <sup>3</sup> (mg / 100 mL)	D 381-01	0.04 Máx. 4.0 Máx.
Periodo de Inducción	min.	D 525-01	300 Mín.
Número de Octano, RON		D 2699-03a	Informar
Número de Octano, MON		D 2700-03	82 Mín.
Índice de Octano, (R+M) / 2			87 Mín.
Contenido de Fósforo	kg / m <sup>3</sup> (g / gal)	D 3231-02	0.001 Máx. 0.004 Máx.

Aromáticos	% Vol.	D 1319-02a	25 Máx.
Olefinas	% Vol.	D 1319-02a	10 Máx.
Benceno	% Vol.	D 3606-99	1.0 Máx.
Oxígeno (3)	% Vol.	D 4815-99	1.0-2.0
Oxigenados	% Vol.		Informar
Color		Visual	Rojo
Aditivo Detergente Dispersante	mg / kg	(4)	165 Mín.

### OBSERVACIONES

- (1) Las temperaturas de destilación están corregidas a 101.3 kPa (760 mm Hg).
- (2) Los valores de estos parámetros se establecen en las tablas 4.2, 4.3 y 4.4 anexas.
- (3) Informar además el tipo de compuesto oxigenante empleado. No utilizar compuestos de la familia de los alcoholes.
- (4) La concentración del aditivo detergente dispersante, se determina por cálculo en base a su adición.

TABLA 4.2  
ESPECIFICACIÓN DE LA PRESIÓN DE VAPOR Y DESTILACIÓN SEGÚN LA CLASE DE VOLATILIDAD (ZMVM)

Clase de Volatilidad	Presión de Vapor (lb / in <sup>2</sup> )	El 10% destila a: (°C)		El 50% destila a: (°C)		El 90% destila a: (°C)		Temperatura Final de Ebullición (°C)	Residuo de la destilación % Vol
		Máximo	Mínimo	Máximo	Máximo	Máximo	Máximo		
AA	6.5 a 7.8	70	77	121	190	225	2		

TABLA 4.3  
CLASE REQUERIDA PARA LA PROTECCIÓN CONTRA EL SELLO DE VAPOR (ZMVM)

Protección Contra el Sello de Vapor (Clasificación)	Relación Vapor / Líquido (V / L)	
	Temperatura de Prueba Mínima (°C)	Relación V / L Constante
2	56	20
3	51	20

TABLA 4.4  
 CARACTERÍSTICAS DE LA GASOLINA PEMEX-MAGNA REQUERIDA POR LA ZONA  
 METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO A LO LARGO DEL AÑO

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
AA-3	AA-3	AA-2	AA-2	AA-2	AA-2	AA-3	AA-3	AA-3	AA-3	AA-3	AA-3

Ejemplo:

Tipo AA-2: volatilidad clase AA y sello de vapor clasificación 2

**4.1.2. ESPECIFICACIONES PEMEX MAGNA  
 ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA**

TABLA 4.5

PRUEBA	UNIDADES	MÉTODO ASTM	ESPECIFICACIONES
Peso Específico a 20/4 °C		D 1298-99	Informar
Destilación (1)			
El 10% destila a:			70 Máx.
El 50% destila a:			77-121
El 90% destila a:	°C	D 86-03	190 Máx.
Temperatura Final de Ebullición			225 Máx.
Residuo de la destilación			2 Máx.
Presión de Vapor	kPa lb / in <sup>2</sup>	D 4953-99a	45-54 6.5-7.8
Temp. Relación (V/L = 20)	°C	D 5188-99	(2)
Azufre Total	mg / kg (ppm)	D 4294-02	1000 Máx.
Prueba Doctor ó Azufre Mercaptánico	mg / kg (ppm)	D 4952-02 D 3227-02	Negativa 20 Máx.
Corrosión al Cu, 3h a 50 °C		D 130-94 (2000)	STD 1
Goma Preformada	kg / m <sup>3</sup> (mg / 100 mL)	D 381-01	0.04 Máx. 4.0 Máx.
Periodo de Inducción	min.	D 525-01	300 Mín.
Número de Octano, RON		D 2699-03a	Informar
Número de Octano, MON		D 2700-03	82 Mín.
Índice de Octano, (R+M) / 2			87 Mín.
Contenido de Fósforo	kg / m <sup>3</sup> (g / gal)	D 3231-02	0.001 Máx. 0.004 Máx.
Aromáticos	% Vol.	D 1319-02a	30 Máx.

Olefinas	% Vol.	D 1319-02a	12.5 Máx.
Benceno	% Vol.	D 3608-99	2.0 Máx.
Oxígeno (3)	% Vol.	D 4815-99	1.0-2.0
Oxigenados	% Vol.		Informar
Color		Visual	Rojo
Aditivo Detergente Dispersante	mg / kg		165 Min.

## OBSERVACIONES

- (1) Las temperaturas de destilación están corregidas a 101.3 kPa (760 mm Hg).
- (2) Los valores de estos parámetros se establecen en las tablas 4.1.6, 4.1.7. y 4.1.8. anexas.
- (3) Informar además el tipo de compuesto oxigenante empleado. No utilizar compuestos de la familia de los alcoholes.

TABLA 4.6  
ESPECIFICACIÓN DE LA PRESIÓN DE VAPOR Y DESTILACIÓN SEGÚN LA CLASE DE VOLATILIDAD (ZMG)

Clase de Volatilidad	Presión de Vapor (lb / in <sup>2</sup> )	El 10% destila a:	El 50% destila a:		El 90% destila a:	Temperatura Final de Ebullición (°C)	Residuo de la destilación % Vol
		(°C)	Mínimo	Máximo	(°C)		
		Máximo			Máximo	Máximo	Máximo
AA	6.5 a 7.8		77	121	190	225	2

TABLA 4.7  
CLASE REQUERIDA PARA LA PROTECCIÓN CONTRA EL SELLO DE VAPOR (ZMG)

Protección Contra el Sello de Vapor (Clasificación)	Relación Vapor / Líquido (V / L)	
	Temperatura de Prueba Mínima (°C)	Relación V / L Constante
2	56	20
3	51	20

**TABLA 4.8**  
**CARACTERÍSTICAS DE LA GASOLINA PEMEX-MAGNA REQUERIDA POR LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA A LO LARGO DEL AÑO**

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
AA-3	AA-3	AA-2	AA-2	AA-2	AA-2	AA-3	AA-3	AA-3	AA-3	AA-3	AA-3

**4.1.3. ESPECIFICACIONES PEMEX MAGNA**  
**ZONA METROPOLITANA DE MONTERREY**

**TABLA 4.9**

PRUEBA	UNIDADES	MÉTODO ASTM	ESPECIFICACIONES
Peso Específico a 20/4 °C		D 1298-99	Informar
Destilación (1) El 10% destila a:  El 50% destila a:  El 90% destila a:  Temperatura Final de Ebullición  Residuo de la destilación	°C	D 86-03	(2)
Presión de Vapor	kPa lb / in <sup>2</sup>	D 4953-99a	(2)
Temp. Relación (V/L = 20)	°C	D 5188-99	(2)
Azufre Total	mg / kg (ppm)	D 4294-02	1000 Máx.
Prueba Doctor ó Azufre Mercaptánico	mg / kg (ppm)	D 4952-02 D 3227-02	Negativa 20 Máx.
Corrosión al Cu, 3h a 50 °C		D 130-94 (2000)	STD 1
Goma Preformada	kg / m <sup>3</sup> (mg / 100 mL)	D 381-01	0.04 Máx. 4.0 Máx.
Periodo de Inducción	min.	D 525-01	300 Mín.
Número de Octano, RON		D 2699-03a	Informar
Número de Octano, MON		D 2700-03	82 Mín.
Índice de Octano, (R+M) / 2			87 Mín.
Contenido de Fósforo	kg / m <sup>3</sup> (g / gal)	D 3231-02	0.001 Máx. 0.004 Máx.
Aromáticos	% Vol.	D 1319-02a	30 Máx.
Olefinas	% Vol.	D 1319-02a	12.5 Máx.
Benceno	% Vol.	D 3606-99	2.0 Máx.
Oxígeno (3)	% Vol.	D 4815-99	1.0-2.0

Oxigenados	% Vol.		Informar
Color		Visual	Rojo
Aditivo Detergente Dispersante	mg / kg		165 Mín.

## OBSERVACIONES

- (1) Las temperaturas de destilación están corregidas a 101.3 kPa (760 mm Hg).
- (2) Los valores de estos parámetros se establecen en las tablas 4.1.10, 4.1.11, 4.1.12. y 4.1.13. anexas.
- (3) Informar además el tipo de compuesto oxigenante empleado. No utilizar compuestos de la familia de los alcoholes.

**TABLA 4.10**  
**ESPECIFICACIÓN DE LA PRESIÓN DE VAPOR Y DESTILACIÓN SEGÚN LA CLASE DE VOLATILIDAD (ZMM)**

Clase de Volatilidad	Presión de Vapor (lb / in <sup>2</sup> )	El 10% destila a:	El 50% destila a:		El 90% destila a:	Temperatura Final de Ebullición (°C)	Residuo de la destilación % Vol
		(°C)	Mínimo	Máximo	Máximo	Máximo	Máximo
B	9.0 a 10.0	65	77	118	180	225	2
C	10.0 a 11.5	60	77	116	185	225	2

**TABLA 4.11**  
**CLASE REQUERIDA PARA LA PROTECCIÓN CONTRA EL SELLO DE VAPOR (ZMM)**

Protección Contra el Sello de Vapor (Clasificación)	Relación Vapor / Líquido (V / L)	
	Temperatura de Prueba Mínima (°C)	Relación V / L Constante
2	56	20
3	51	20

**TABLA 4.12**  
**CARACTERÍSTICAS DE LA GASOLINA PEMEX-MAGNA REQUERIDA POR LA ZONA METROPOLITANA DE MONTERREY A LO LARGO DEL AÑO**

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
C-3	C-3	B-2	C-3	C-3	C-3						

**TABLA 4.13**  
**RANGO DE PVR PARA CONTROL EN LA ELABORACIÓN DE GASOLINA PEMEX MAGNA**  
**POR LA REFINERÍA DE CADEREYTA**

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
69.0-79.0	69.0-79.0	62.9-69.0	62.9-69.0	62.9-69.0	62.9-69.0
10.0-11.5	10.0-11.5	9.0-10.0	9.0-10.0	9.0-10.0	9.0-10.0

JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
62.9-69.0	62.9-69.0	62.9-69.0	69.0-79.0	69.0-79.0	69.0-79.0
9.0-10.0	9.0-10.0	9.0-10.0	10.0-11.5	10.0-11.5	10.0-11.5

**4.1.4. ESPECIFICACIONES PEMEX MAGNA**  
**RESTO DEL PAÍS'**

**TABLA 4.14**

PRUEBA	UNIDADES	MÉTODO ASTM	ESPECIFICACIONES
Peso Específico a 20/4 °C		D 1298-99	Informar
Destilación (1)			
El 10% destila a:			
El 50% destila a:			
El 90% destila a:	°C	D 86-03	(2)
Temperatura Final de Ebullición			
Residuo de la destilación			
Presión de Vapor	kPa lb / in <sup>2</sup>	D 4953-99a	(2)
Temp. Relación (V/L = 20)	°C	D 5188-99	(2)
Azufre Total	mg / kg (ppm)	D 4294-02	1000 Máx.
Prueba Doctor ó Azufre Mercaptánico	mg / kg (ppm)	D 4952-02 D 3227-02	Negativa 20 Máx.
Corrosión al Cu, 3h a 50 °C		D 130-94 (2000)	STD 1
Goma Preformada	kg / m <sup>3</sup> (mg / 100 mL)	D 381-01	0.04 Máx. 4.0 Máx.
Periodo de Inducción	min.	D 525-01	300 Mín.
Número de Octano, RON		D 2699-03a	Informar
Número de Octano, MON		D 2700-03	82 Mín.
Índice de Octano, (R+M) / 2			87 Mín.
Contenido de Fósforo	kg / m <sup>3</sup> (g / gal)	D 3231-02	0.001 Máx. 0.004 Máx.
Aromáticos	% Vol.	D 1319-02a	Informar

Olefinas	% Vol.	D 1319-02a	Informar
Benceno	% Vol.	D 3608-99	4.9 Máx.
Oxígeno (3)	% Vol.	D 4815-99	1.0-2.0
Oxigenados	% Vol.		Informar
Color		Visual	Rojo
Aditivo Detergente Dispersante	mg / kg		165 Mín.

## OBSERVACIONES

- \* La presión de vapor de Marzo a Octubre se fijará en 8.5 Máx. y de Noviembre a Febrero en 11.5 no aplicando esta última consideración para las zonas geográficas de Minatitlán y Salina Cruz.

- (1) Las temperaturas de destilación están corregidas a 101.3 kPa (760 mm Hg).
- (2) Los valores de estos parámetros se establecen en las tablas 4.1.15. y 4.1.16. anexas.
- (3) En el periodo de Noviembre a Marzo para el suministro de Ciudad. Juárez, se deberá agregar el componente oxigenado aprobado e incluirse en el informe de resultados la concentración de oxígeno.  
No utilizar compuestos de la familia de los alcoholes

TABLA 4.15  
ESPECIFICACIÓN DE LA PRESIÓN DE VAPOR Y DESTILACIÓN SEGÚN LA CLASE DE VOLATILIDAD (RP)

Clase de Volatilidad	Presión de Vapor (lb / in <sup>2</sup> )	El 10% destila a:	El 50% destila a:		El 90% destila a:	Temperatura Final de Ebullición (°C)	Residuo de la destilación % Vol
		(°C)	Mínimo	Máximo	Máximo		
		Máximo			Máximo	Máximo	Máximo
A	7.8 a 9.0	70	77	121	190	225	2
B	9.0 a 10.0	65	77	118	190	225	2
C	10.0 a 11.5	60	77	116	185	225	2

TABLA 4.16.  
CLASE REQUERIDA PARA LA PROTECCIÓN CONTRA EL SELLO DE VAPOR (RP)

Protección Contra el Sello de Vapor (Clasificación)	Relación Vapor / Líquido (V / L)	
	Temperatura de Prueba Mínima (°C)	Relación V / L Constante
1	60	20
2	56	20
3	51	20

## 4.2 PEMEX PREMIUM

### 4.2.1 ESPECIFICACIONES PEMEX PREMIUM ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO

TABLA 4.17

PRUEBA	UNIDADES	MÉTODO ASTM	ESPECIFICACIONES
Peso Específico a 20/4 °C		D 1298-99	Informar
Destilación (1)			70 Máx.
El 10% destila a:			77-121
El 50% destila a:	°C	D 86-03	190 Máx.
El 90% destila a:			225 Máx.
Temperatura Final de Ebullición			2 Máx.
Residuo de la destilación			45-54
Presión de Vapor	kPa lb / in <sup>2</sup>	D 4953-99a	6.5-7.8
Temp. Relación (V/L = 20)	°C	D 5188-99	(2)
Azufre Total	mg / kg (ppm)	D 4294-02	250 Máx.
Prueba Doctor ó Azufre Mercaptánico	mg / kg (ppm)	D 4952-02 D 3227-02	Negativa 20 Máx.
Corrosión al Cu, 3h a 50 °C		D 130-94 (2000)	STD 1
Goma Preformada	kg / m <sup>3</sup> (mg / 100 mL)	D 381-01	0.04 Máx. 4.0 Máx.
Gomas no Lavadas	kg / m <sup>3</sup> (mg / 100 mL)	D 381-01	0.70 Máx. 70.0 Máx.
Periodo de Inducción	min.	D 525-01	300 Mín.
Número de Octano, RON		D 2699-03a	95.0 Mín.
Número de Octano, MON		D 2700-03	Informar
Índice de Octano, (R+M) / 2			92.0 Mín.
Contenido de Fósforo	kg / m <sup>3</sup> (g / gal)	D 3231-02	0.001 Máx. 0.004 Máx.
Aromáticos	% Vol.	D 1319-02a	25 Máx.
Olefinas	% Vol.	D 1319-02a	10 Máx.
Benceno	% Vol.	D 3606-99	1.0 Máx.
Oxígeno (3)	% Vol.	D 4815-99	1.0-2.7
Oxigenados	% Vol.		Informar
Color		Visual	Sin Anilina
Aditivo Detergente dispersante	mg / kg		165 Mín.

Nota: Las observaciones para la gasolina Magna, aplican también para la gasolina Premium en sus respectivas zonas.

**4.2.2. ESPECIFICACIONES PEMEX PREMIUM  
ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA  
TABLA 4.18**

PRUEBA	UNIDADES	MÉTODO ASTM	ESPECIFICACIONES
Peso Específico a 20/4 °C		D 1298-99	Informar
Destilación (1)			70 Máx.
EI 10% destila a:			77-121
EI 50% destila a:	°C	D 86-03	190 Máx.
EI 90% destila a:			225 Máx.
Temperatura Final de Ebullición			2 Máx.
Residuo de la destilación			45-54 6.5-7.8
Presión de Vapor	kPa lb / in <sup>2</sup>	D 4953-99a	(2)
Temp. Relación (V/L = 20)	°C	D 5188-99	
Azufre Total	mg / kg (ppm)	D 4294-02	300.0 Máx.
Prueba Doctor ó Azufre Mercaptánico	mg / kg (ppm)	D 4952-02 D 3227-02	Negativa 20 Máx.
Corrosión al Cu, 3h a 50 °C		D 130-94 (2000)	STD 1
Goma Preformada	kg / m <sup>3</sup> (mg / 100 mL)	D 381-01	0.04 Máx. 4.0 Máx.
Goma Preformada	kg / m <sup>3</sup> (mg / 100 mL)	D 381-01	0.70 Máx. 70.0 Máx.
Periodo de Inducción	min.	D 525-01	300 Mín.
Número de Octano, RON		D 2699-03a	95.0 Mín.
Número de Octano, MON		D 2700-03	Informar
Índice de Octano, (R+M) / 2			92.0 Mín.
Contenido de Fósforo	kg / m <sup>3</sup> (g / gal)	D 3231-02	0.001 Máx. 0.004 Máx.
Aromáticos	% Vol.	D 1319-02a	32 Máx.
Olefinas	% Vol.	D 1319-02a	12.5 Máx.
Benceno	% Vol.	D 3606-99	1.0 Máx.
Oxígeno (3)	% Vol.	D 4815-99	1.0-2.7
Oxigenados	% Vol.		Informar
Color		Visual	Sin Anilina
Aditivo Detergente Dispersante	mg / kg		165 Mín.

**4.2.3. ESPECIFICACIONES PEMEX PREMIUM  
ZONA METROPOLITANA DE MONTERREY  
TABLA 4.19**

PRUEBA	UNIDADES	MÉTODO ASTM	ESPECIFICACIONES
Peso Específico a 20/4 °C		D 1298-99	Informar
Destilación (1) El 10% destila a:  El 50% destila a:  El 90% destila a:  Temperatura Final de Ebullición	°C	D 86-03	(2)
Residuo de la destilación			(2)
Presión de Vapor	kPa lb / in <sup>2</sup>	D 4953-99a	(2)
Temp. Relación (V/L = 20)	°C	D 5188-99	(2)
Azufre Total	mg / kg (ppm)	D 4294-02	300.0 Máx.
Prueba Doctor ó Azufre Mercaptánico	mg / kg (ppm)	D 4952-02 D 3227-02	Negativa 20 Máx.
Corrosión al Cu, 3h a 50 °C		D 130-94 (2000)	STD 1
Goma Preformada	kg / m <sup>3</sup> (mg / 100 mL)	D 381-01	0.04 Máx. 4.0 Máx.
Gomas no Lavadas	kg / m <sup>3</sup> (mg / 100 mL)	D 381-01	0.70 Máx. 70.0 Máx.
Periodo de Inducción	min.	D 525-01	300 Mín.
Número de Octano, RON		D 2699-03a	95.0 Mín.
Número de Octano, MON		D 2700-03	Informar
Índice de Octano, (R+M) / 2			92.0 Mín.
Contenido de Fósforo	kg / m <sup>3</sup> (g / gal)	D 3231-02	0.001 Máx. 0.004 Máx.
Aromáticos	% Vol.	D 1319-02a	32.0 Máx.
Olefinas	% Vol.	D 1319-02a	12.5 Máx.
Benceno	% Vol.	D 3606-99	1.0 Máx.
Oxígeno (3)	% Vol.	D 4815-99	1.0-2.7
Oxigenados	% Vol.		Informar
Color		Visual	Sin Anilina
Aditivo Detergente Dispersante	mg / kg		165 Mín.

**4.2.4. ESPECIFICACIONES PEMEX PREMIUM  
RESTO DEL PAÍS\***  
TABLA 4.20

PRUEBA	UNIDADES	MÉTODO ASTM	ESPECIFICACIONES
Peso Específico a 20/4 °C		D 1298-99	Informar
Destilación (1) El 10% destila a:  El 50% destila a:  El 90% destila a:  Temperatura Final de Ebullición	°C	D 86-03	(2)
Residuo de la destilación			
Presión de Vapor	kPa lb / in <sup>2</sup>	D 4953-99a	(2)
Temp. Relación (V/L = 20)	°C	D 5188-99	(2)
Azufre Total	mg / kg (ppm)	D 4294-02	300 Máx.
Prueba Doctor ó Azufre Mercaptánico	mg / kg (ppm)	D 4952-02 D 3227-02	Negativa 20 Máx.
Corrosión al Cu. 3h a 50 °C		D 130-94 (2000)	STD 1
Goma Preformada	kg / m <sup>3</sup> (mg / 100 mL)	D 381-01	0.04 Máx. 4.0 Máx.
Gomas no Lavada	kg / m <sup>3</sup> (mg / 100 mL)	D 381-01	0.70 Máx. 70.0 Máx.
Periodo de Inducción	min.	D 525-01	300 Mín.
Número de Octano, RON		D 2699-03a	95 Mín.
Número de Octano, MON		D 2700-03	Informar
Índice de Octano, (R+M) / 2			(6)
Contenido de Fósforo	kg / m <sup>3</sup> (g / gal)	D 3231-02	0.001 Máx. 0.004 Máx.
Aromáticos	% Vol.	D 1319-02a	32.0 Máx.
Olefinas	% Vol.	D 1319-02a	15.0 Máx.
Benceno	% Vol.	D 3606-99	2.0 Máx.
Oxígeno (3)	% Vol.	D 4815-99	1.0-2.7
Oxigenados	% Vol.		Informar
Color		Visual	Sin anilina
Aditivo Detergente Dispersante	mg / kg	(4)	165 Mín.

**OBSERVACIONES**

(6) Para las zonas de influencia de las terminales de abastecimiento y distribución de Ensenada, Rosarito, Mexicali, Nogales, Magdalena de Kino, Cd. Juárez, Ávalos y Parral, el índice de Octano debe ser 91.0 Mín; para el resto del país el Índice de Octano debe ser 92.0 Mín.

## 4.3. PEMEX DIESEL

**ESPECIFICACIONES PEMEX DIESEL**  
**TABLA 4.21**

<b>PRUEBA</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>MÉTODO ASTM</b>	<b>ESPECIFICACIONES</b>
Peso Específico a 20/4 °C		D 1298-99	Informar
Destilación (1) El 10% destila a:			<b>Informar</b>
El 50% destila a:	°C	D 86-03	<b>275 Máx.</b>
El 90% destila a:			<b>Informar</b>
Temperatura Final de Ebullición			<b>345 Máx.</b>
Temperatura de Inflamación	°C	D 93-02	<b>45 Mín.</b>
Temperatura de Escurrimiento	°C	D 97-02	<b>(2)</b>
Temperatura de Nublamiento	°C	D 2500-02	Informar
Número de Cetano ó		D 613-95	48 Mín.
Índice de Cetano		D 976-91(2000)	48 Mín.
Azufre total	mg / kg (ppm peso)	D 4294-02	500 Máx.
Corrosión al Cu, 3h a 50 °C		D 130-94 (2000)	STD 1
Carbón Ramsbottom (en 10% del residuo)	% peso	D 524-00	0.25 Máx.
Agua y Sedimento	% vol.	D 2709-96(2001)	0.05 Máx.
Viscosidad Cinemática	mm <sup>2</sup> / s cSt	D 445-02	1.9-4.1
Cenizas	% peso	D 482-02	0.01 Máx.
Color ASTM		D 1500-98	2.5 Máx.
Aromáticos	% Vol.	D 1319-02a	30.0 Máx.

## OBSERVACIONES

- (1) Las temperaturas de destilación son corregidas a la presión atmosférica de 101.3 kPa (760 mm Hg)
- (2) De Marzo a Octubre a 0°C Máximo; de Noviembre a Febrero -5 °C Máximo.

**Capítulo V**  
**Normatividad Ambiental**

## **CAPÍTULO V**

### **Normatividad Ambiental**

La calidad de los combustibles juega un papel fundamental en el volumen de emisión de contaminantes. En este sentido, se han logrado avances importantes en la lucha contra la contaminación atmosférica, al producirse en los últimos años combustibles de mejor calidad.

Sin embargo los vehículos automotores continúan siendo la fuente principal de contaminación del aire, a pesar de los enormes avances en las tecnologías de motorización y control de la contaminación.

En los países industrializados, a medida que vehículos nuevos y más limpios reemplazan a los más viejos, las emisiones totales del sector transporte empiezan a declinar, sin que haya dejado de ser la fuente más importante de contaminación del aire. De la misma forma, en el mundo en desarrollo, el número de vehículos está creciendo exponencialmente, y en ausencia de normas estrictas de control, las emisiones de las fuentes móviles se están convirtiendo en una urgente preocupación. Adicionalmente, los automotores son una de las fuentes más importantes de  $\text{NO}_x$ , que junto con los HC, son los precursores esenciales del ozono troposférico ( $\text{O}_3$ ), el principal componente del smog fotoquímico.

Todos estos contaminantes convencionales tienen importancia local por sus efectos sobre la salud humana y sus impactos ambientales. Los vehículos también son una fuente importante y creciente de bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el más importante de los gases de efecto invernadero, que contribuyen al calentamiento global.

Para comprender el impacto ambiental provocado por las emisiones de los vehículos automotores, y en vista de que las tendencias en cuanto a la calidad de los combustibles gasolina y diesel, (como se verá en el siguiente capítulo) está orientada hacia la elaboración de combustibles cuyas características permitan disminuir los niveles actuales de contaminación, en el presente capítulo, se describen los principales contaminantes producidos por los vehículos automotores, el impacto que estos tienen sobre la salud y el medio ambiente, así como su estrecha relación con la calidad de los combustibles para automotores y las condiciones de operación involucradas.

Al final se mencionan las normas vigentes en México, asociadas a la protección ambiental relacionadas con las especificaciones de los combustibles, y los correspondientes productos de su combustión.

## 5.1 Efectos de los Productos de Combustión Sobre el Medio Ambiente y la Salud

La contaminación vehicular se distingue de otras fuentes de contaminación en que las emisiones de contaminantes se liberan en la inmediata cercanía de las personas expuestas. Las áreas urbanas y sus alrededores son más seriamente afectadas por la contaminación vehicular, con impactos en la salud humana, en la visibilidad, y daños ambientales y sobre diferentes materiales.

Además de los impactos locales, el transporte es una de las fuentes más importantes y crecientes de gases de efecto invernadero responsable del calentamiento global. A continuación se hace una breve descripción de los contaminantes principales asociados con los vehículos automotores, incluyendo los aspectos que requieren mayor atención y sus mecanismos químicos de formación<sup>1</sup>.

### 5.1.1. Monóxido de Carbono (CO)

El monóxido de carbono es un producto de la combustión incompleta que ocurre cuando no existe suficiente oxígeno para completar la oxidación del carbono de los combustibles y formar bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Incluso si existe suficiente oxígeno, el CO se formará en las regiones ricas en combustible de la flama (regiones donde no existe suficiente oxígeno para permitir una combustión completa).

A las temperaturas de combustión, el CO normalmente se oxidará hasta CO<sub>2</sub> en presencia de oxígeno, sin embargo el CO puede mantenerse en concentraciones muy elevadas si los gases de escape se enfrían rápidamente, como ocurre en los vehículos, a pesar de la disponibilidad de oxígeno.

El transporte es la mayor fuente de CO en el mundo industrializado, representando más del 70% de las emisiones en Estados Unidos (EPA 2001). En las zonas urbanas, los vehículos son incluso una fuente de mayor importancia, representando hasta el 95% de las emisiones (EPA 2002a). En los países en desarrollo, las fuentes del sector transporte son menos importantes, si bien sus emisiones en algunas regiones crecen hasta en un 9% anual .

El monóxido de carbono es un gas incoloro, inodoro que se enlaza fuertemente a la hemoglobina en los glóbulos rojos, bloqueando la capacidad de la sangre para transportar oxígeno. La exposición a elevadas concentraciones de CO es por ello más peligrosa para aquellos que tienen enfermedades cardiovasculares. A niveles elevados, la exposición al CO puede bloquear la percepción visual, la capacidad de trabajo y la destreza manual en individuos sanos.

---

<sup>1</sup> Gasolina y Diesel de Bajo Azufre: La Clave Para Disminuir Las Emisiones Contaminantes, Katherine O. Blumberg, Michael P. Walsh, Charlotte Pera. Apéndice A. Fundación Hewlett

En áreas no ventiladas, el envenenamiento por CO puede ser fatal. En forma adicional a los impactos directos, el CO influye indirectamente en el calentamiento global por competir con el metano en la oxidación por radicales de OH presentes en la atmósfera.

Con mayores concentraciones de CO, hay una disponibilidad menor de OH para oxidar el metano, un potente gas de efecto invernadero, lo que conlleva a mantener elevadas las concentraciones de este contaminante en la atmósfera (Bruhl and Crutzen 1999).

### **5.1.2. Hidrocarburos (HC)**

Los HC son también conocidos como compuestos orgánicos volátiles. Los vehículos son una fuente de emisiones evaporativas de HC y de emisiones del escape que resultan de la combustión incompleta. Las emisiones evaporativas de HC ocurren cuando los vapores escapan durante la recarga de combustible o de componentes de los vehículos no sellados herméticamente.

Algunas especies de hidrocarburos también provienen de la combustión incompleta, que ocurre en las regiones de mezcla rica en la flama, o bien cuando la flama está limitada por bajas temperaturas en las paredes de los pistones. Tal como ocurre con el CO, las emisiones de HC pueden ser reducidas en forma importante en condiciones de operación de mezcla pobre, (cuando un exceso de oxígeno esta disponible).

Las fuentes de transporte son responsables de aproximadamente el 25% de las emisiones de HC causadas por actividades humanas y de más del 35% en el caso de los países industrializados (EDGAR 2001; EPA 2001).

Los hidrocarburos son problemáticos, tanto porque son precursores del ozono a nivel del suelo como porque algunas especies de hidrocarburos por sí mismas son tóxicas o carcinogénicas. Los principales mecanismos de reacción de hidrocarburos (fotólisis con la luz del sol y la reacción con OH) conducen a la generación de ozono mediante reacciones con los óxidos de nitrógeno.

Las fuentes de transporte son responsables por la emisión del 50 al 75% de las especies de hidrocarburos que han sido reconocidas como probables carcinógenos: benceno, acetaldehído, 1,3-butadieno, y formaldehído (EPA 2000). Los efectos de exposiciones elevadas a emisiones de HC pueden incluir efectos en el desarrollo neurológico y reproductivo, impactos respiratorios y cáncer.

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

El monóxido de nitrógeno (NO), es la principal forma de emisiones de NO<sub>x</sub> del vehículo, y se oxida rápidamente a bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), que es el principal precursor de la formación de ozono en la atmósfera. En los vehículos, los NO<sub>x</sub> se forman principalmente en un proceso térmico que se incrementa de

acuerdo a la temperatura de combustión. A temperaturas más elevadas y en la presencia de oxígeno, el nitrógeno ( $N_2$ ) del aire reacciona con radicales de oxígeno, formando NO. Al contrario del CO y de los HC, la formación de  $NO_x$  es favorecida durante condiciones de mezcla pobre.

La temperatura de combustión, de cualquier forma, se reduce con el incremento de la relación aire combustible, resultando en una reducción en los niveles de  $NO_x$  que se forma en los motores que funcionan con mezclas pobres, como es el caso de los motores diesel. El sector transporte es la principal fuente de  $NO_x$  en el mundo industrializado, representando más del 50% de las emisiones (EPA 2001; Gugele and Ritter 2002; EDGAR 2001).

El bióxido de nitrógeno es un irritante respiratorio y una exposición crónica a elevados niveles de este contaminante puede incrementar la incidencia de enfermedades respiratorias agudas en los niños y disminuir la resistencia de los adultos a las enfermedades respiratorias.

El  $NO_2$  absorbe la luz azul, lo que da como resultado el tinte terroso-rojizo, característico de las atmósferas contaminadas. El  $NO_x$  es un precursor esencial que determina la generación del ozono a nivel del suelo. El NO se oxida para formar  $NO_2$  en la atmósfera mediante reacciones con diferentes especies de HC. Entonces el  $NO_2$  se fotoliza en presencia de luz solar, y los radicales del oxígeno liberado reaccionan rápidamente con el oxígeno molecular del aire ( $O_2$ ) para formar ozono ( $O_3$ ).

El mecanismo principal de reacción de  $NO_x$  en la atmósfera es su oxidación para formar ácido nítrico,  $HNO_3$ . Debido a que este último es altamente soluble en agua, el  $HNO_3$  es lavado por precipitación a los pocos días. El  $HNO_3$  es una de las dos especies críticas de la lluvia ácida, y de esta forma se dispersa ampliamente en la naturaleza causando extensos daños en ecosistemas como lagos, bosques y ríos.

Los nitratos ( $NO_3^-$ ) son una fuente de nitrógeno fácilmente asimilable y constituyen una contribución importante para la eutroficación, o sea la excesiva fertilización de lagos, estuarios y bahías. La eutroficación produce un crecimiento excesivo de algas que dañan otras plantas acuáticas y a los peces. El nitrato puede también reaccionar en la atmósfera para formar partículas de aerosol, que causan impactos en la visibilidad y en la salud humana

#### **5.1.4. Ozono ( $O_3$ )**

El ozono a nivel del suelo no tiene fuentes de emisión directas; es enteramente un contaminante secundario que se forma a través de reacciones fotoquímicas en la atmósfera. Como se ha descrito en las secciones previas, el  $NO_x$  y las diferentes especies de HC, en presencia de la luz solar, son los precursores esenciales de la formación del ozono a nivel del suelo. La producción de ozono puede estar limitada entonces por las concentraciones de HC o bien de  $NO_x$ . Los principales mecanismos de extinción del ozono son reacciones con NO o

con las superficies de distintos materiales. El tiempo de vida del ozono a nivel del suelo es de menos de un día; este contaminante puede alcanzar fuertes picos de concentración durante las horas del día y luego extinguirse a niveles de cero durante la noche.

En la estratósfera, el ozono es un componente natural y proporciona una capa de protección contra la dañina radiación ultravioleta. A nivel del piso, sin embargo el ozono es un peligroso contaminante que constituye el principal componente del smog fotoquímico.

Los incrementos en admisiones hospitalarias y visitas de emergencia debidas a afecciones respiratorias han sido vinculadas con altas concentraciones ambientales de ozono. La exposición de corto plazo puede agravar enfermedades respiratorias preexistentes (como el asma) y provocar dolor de pecho, tos, náuseas e inflamación pulmonar. La exposición crónica puede causar daños permanentes en los pulmones.

#### **5.1.5. Óxidos de Azufre (SO<sub>x</sub>)**

Los óxidos de azufre, emitidos principalmente como bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), se forman por la oxidación de azufre del combustible durante la combustión. Normalmente cerca del 100% del contenido de azufre en el combustible se emitirá como SO<sub>2</sub>.

Una fracción del SO<sub>2</sub> en la corriente de escape del diesel puede ser oxidada para formar trióxido de azufre (SO<sub>3</sub>). El SO<sub>3</sub> reacciona fácilmente con el agua para formar ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) y sulfatos en forma de partículas. En la corriente de escape del diesel, los aerosoles de sulfato son iniciadores de la formación de partículas, proporcionando un núcleo para que otros gases se condensen (Shi and Harrison 1999; Tobías et al, 2001).

El SO<sub>2</sub> también puede ser oxidado en la atmósfera para formar SO<sub>3</sub> principalmente por reacción con otros componentes de una atmósfera urbana contaminada. El bióxido de azufre es un irritante respiratorio que puede agravar las condiciones cardiopulmonares y contribuir a enfermedades respiratorias y a la dificultad para respirar.

El ácido sulfúrico es la otra especie crítica en la formación de la lluvia ácida, que contribuye a un amplio daño en los ecosistemas. Los sulfatos en forma de partículas son una preocupación significativa en la salud pública así como uno de los grupos de contaminantes responsables de la disminución de la visibilidad.

#### **5.1.6. Partículas (PM)**

El término partículas es generalmente aplicado a partículas sólidas o líquidas suspendidas en el aire. Las partículas incluyen cualquier cosa, desde una

mezcla compleja de ácidos y hidrocarburos pesados hasta granos de polvo. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos ha desarrollado dos categorías para medir la concentración de las partículas en el aire PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>. Las PM<sub>2.5</sub> incluyen todas las partículas de menos de 2.5 µm de diámetro (partículas finas, ultrafinas y nanopartículas).

Estas partículas pueden formarse en la atmósfera a través de la condensación y pueden crecer en tamaño con una mayor condensación o por colisiones con otras partículas existentes. Partículas de este rango de tamaño pueden también ser emitidas como contaminantes primarios ya sea como polvos formados por la combustión incompleta o por las partículas de ácidos que se forman en la corriente de escape.

La persistencia atmosférica de las PM<sub>2.5</sub> puede variar de sólo unos pocos días a varias semanas. Las nanopartículas, con un diámetro menor a los 0.05 µm, tienen un tiempo de vida más corto, de minutos a horas, por la coagulación con otras partículas. Las PM<sub>10</sub> incluyen todas las partículas con un diámetro menor a 10 micrómetros.

Las partículas gruesas son formadas principalmente por procesos mecánicos de generación, incluyendo fuentes como partículas derivadas de las llantas de los automóviles y el polvo que arrastra el viento. Debido a su sedimentación, el tiempo de vida atmosférica de una partícula relativamente grande es de menos de un día.

El transporte es una fuente importante de PM<sub>2.5</sub>. Cerca de una cuarta parte de estas emisiones se deben a las emisiones de vehículos a diesel, en tanto que los motores de máquinas y vehículos estacionarios a diesel representa la otra mitad.

Las partículas derivadas del diesel caen dentro del rango de las PM<sub>2.5</sub> y su fuente primaria es el hollín del escape, partículas sólidas de carbón formadas durante una combustión de mezcla rica que se combinan con compuestos orgánicos volátiles y de azufre.

Una pequeña proporción del combustible y de los lubricantes escapa a la oxidación y terminan como compuestos orgánicos en la corriente de escape; esto es lo que se conoce como fracción orgánica soluble, *soluble organic fraction (SOF)*. El azufre en el combustible es en su mayor parte oxidado a SO<sub>2</sub>, aunque una pequeña proporción es oxidada a SO<sub>3</sub>, que después se convierte en ácido sulfúrico y se condensa para formar nanopartículas de sulfato.

Conforme la corriente de escape se enfría, el hollín y los sulfatos se convierten en núcleos para la condensación y la absorción de otros gases de HC. La composición de la partícula es un factor importante en los impactos potenciales a la salud de las PM, donde la SOF imparte mayor toxicidad y mutagenicidad.

Las nanopartículas suelen representar del 1-20% de la masa de las emisiones vehiculares de PM, pero generalmente contribuyen con más del 90% del número de partículas. Las partículas más pequeñas son respirables y pueden depositarse profundamente en los pulmones, lo que resulta en impactos mayores a la salud que los asociados a partículas más grandes, que tienden a ser exhaladas o capturadas por los filtros y las defensas naturales del cuerpo en la cabeza o la garganta.

Mientras que la masa de emisiones no controladas de PM en un vehículo diesel es de 10 a 100 veces superior a la de los vehículos a gasolina, cuando se considera el número o el tamaño de las partículas, los vehículos a gasolina también pueden ser preocupantes. Los niveles ambientales de PM<sub>2.5</sub> han sido asociados con muerte prematura, bronquitis crónica, enfermedades cardiovasculares y pulmonares, y asma.

### **5.1.7. Gases de Efecto Invernadero (GEI)**

Parte de la radiación solar se absorbe en la capa de ozono en la atmósfera superior, pero buena parte de ella alcanza la superficie de la tierra. La radiación solar es balanceada por la radiación de calor que la tierra emite al espacio. Las concentraciones de gases de efecto invernadero que absorben la radiación que emite la tierra se han incrementado, debido principalmente a las actividades humanas, reduciendo la eficiencia con la que la tierra emite radiación al espacio.

Una mayor proporción de la radiación terrestre de calor está siendo absorbida por estos gases en la atmósfera, lo que resulta en el calentamiento de la baja atmósfera y de la superficie de la tierra. El bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), y el metano (CH<sub>4</sub>), son componentes naturales de la atmósfera que se han incrementado significativamente a lo largo del último siglo debido a las actividades humanas.

La investigación científica reciente ha determinado que también los contaminantes de vida corta como el O<sub>3</sub> y las PM, que han sido generalmente consideradas como un problema de contaminación local, podrían también impactar poderosamente el cambio climático. El bióxido de carbono es el principal gas de efecto invernadero responsable del cambio climático. El CO<sub>2</sub> se forma por la combustión completa en presencia de oxígeno suficiente para oxidar completamente el carbono de los combustibles. El transporte es una fuente significativa y creciente de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, representando poco más del 20% de las emisiones antropogénicas a nivel global (EDGAR 2001).

Las emisiones de óxido nitroso y sus concentraciones en la atmósfera son mucho más bajas que las del CO<sub>2</sub>, pero el N<sub>2</sub>O es considerado 275 veces más potente para atrapar calor en la atmósfera dentro de un marco de tiempo de 20 años.

El  $N_2O$  tiene un ciclo de vida atmosférico de 114 años y, como el metano, es formado principalmente por fuentes naturales y agropecuarias (Albritton et al, 2001). El transporte es responsable por cerca del 1% de las emisiones globales de  $N_2O$  pero es más importante como fuente en los países industrializados, donde llega a representar el 5% de las emisiones.

Como se ha mencionado, las partículas también pueden tener un impacto en el clima, ya que se han demostrado efectos de enfriamiento y de calentamiento, dependiendo de su composición. Las partículas de negro de carbón calientan la atmósfera mediante la absorción de radiación solar, en tanto que los aerosoles de sulfato tienen un impacto de enfriamiento debido a su capacidad para provocar la dispersión de la radiación solar de regreso al espacio. Los modelos recientes han determinado un efecto mucho mayor del carbono del que se había anticipado previamente.

Los nuevos estudios sugieren que el efecto de calentamiento del negro de carbón balancea el efecto de enfriamiento de otros aerosoles atmosféricos y que en el corto plazo, la magnitud del calentamiento directo por negro de carbón puede exceder el efecto de calentamiento del metano. Esto provocaría que el material constituyente del negro de carbón en las partículas sea el segundo componente de mayor importancia en el cambio climático (Jacobson 2002).

Debido a su tiempo de vida atmosférico de semanas, el impacto de calentamiento del negro de carbón podría ser revertido conforme sus emisiones disminuyan.

## **5.2 Regulación de Emisiones en Vehículos Automotores**

Haciendo una breve reseña histórica, las primeras acciones para controlar las emisiones vehiculares surgieron en 1970 en Estados Unidos con la aprobación del llamado "Decreto de Aire Limpio", bajo el cual entraron en vigencia en 1975 las regulaciones que limitaban el CO, los HC y los  $NO_x$ . Para este último contaminante por ejemplo, se obligaba a los fabricantes de autos a producir vehículos capaces de no descargar más de 3.1 gramos por milla recorrida, sin hacer distinción entre autos de pasajeros y camiones.

En 1977 se bajan los límites a 2 gramos/milla para  $NO_x$ . Luego en 1981 se hace la separación de estándares para vehículos de pasajeros y para camiones, quedando al final de 1998 los valores límites de 1gramo/milla para los primeros, y 1.2-1.7 gramos/milla para los segundos de acuerdo al peso. Puede afirmarse que el cumplimiento de estas normas impuestas desde 1981, fue posible en gran medida gracias al surgimiento de la entonces novedosa tecnología de los catalizadores de tres vías y de los sistemas de inyección electrónica.

En 1990 se modifican nuevamente los límites permisibles de emisiones, pero esta vez creándose la norma llamada **TIER I** (*Time of Implementation for Emission Regulations*), la cual llevaría a una reducción del 40% de las emisiones en comparación con las normas vigentes hasta el momento.

Bajo Tier 1, los fabricantes debían a partir de entonces producir autos que fueran capaces de ser utilizados hasta cierto kilometraje, con la garantía de que durante ese período de tiempo descargarían no más de cierta cantidad de contaminantes estipulada.

A pesar de que TIER I era obligatoria para todo Estados Unidos, el Estado de California en dicho país, había invertido desde hace mucho tiempo, grandes esfuerzos en búsqueda de medidas que llevarán a la reducción de la contaminación atmosférica.

Tras haber llevado su legislación de aire a ser probablemente la más estricta del mundo, en este sentido, y en proyección a un plazo inmediato, se creó en su legislación en 1990 el concepto de "Vehículos de Bajas Emisiones", **LEV** (Low Emission Vehicle). Estos vehículos, a pesar de poseer motores de combustión interna, debían cumplir con restricciones de emisiones gaseosas más estrictas que las empleadas en el resto de Estados Unidos, es decir, más estrictas que Tier 1.

Posterior a este concepto, también se crearon los conceptos de "Vehículos de Ultra-Bajas Emisiones", **ULEV** (Ultra-Low Emission Vehicle), "Vehículos de Super-Ultra-Bajas Emisiones", **SULEV** (Super-Ultra-Low Emission Vehicle), y "Vehículos con Cero Emisiones", **ZEV** (Zero Emission Vehicle).

En 1998, el gobierno de Estados Unidos y la industria automotriz de dicho país, llegaron a un acuerdo voluntario sobre una nueva reducción a los límites de emisiones de escape; los autos fabricados bajo este acuerdo son llamados "National Low Emission Vehicle" (**NLEV**), o vehículos de bajas emisiones nacional. En relación a la adopción de estas normas por parte de otros países, los principales bloques de fabricantes de autos operan bajo diferentes restricciones, así la Unión Europea y Japón poseen sus propias normas de emisiones, pero que son equivalentes a las TIER y NLEV aunque no exactamente iguales.

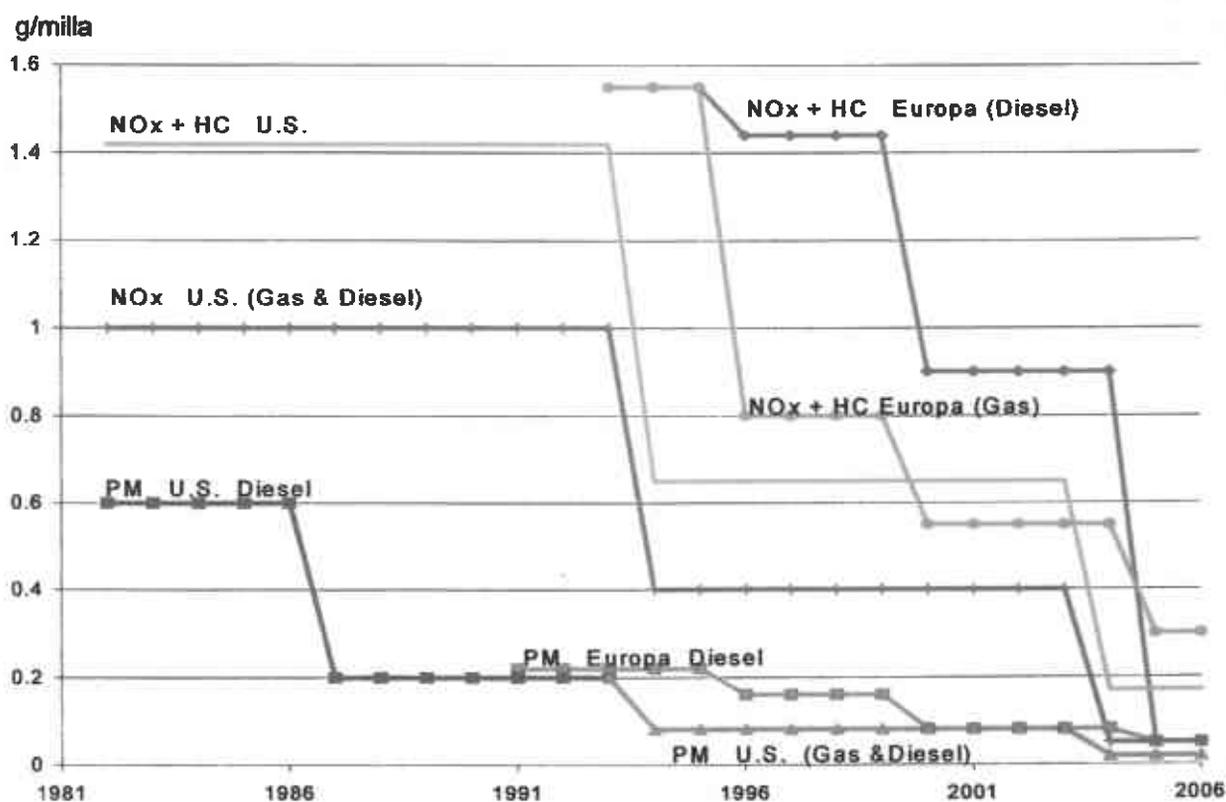
Debe aclararse que la posibilidad de cumplir con las normas TIER I y NLEV de Estados Unidos y LEV de California (y cualquier otra norma), va estrechamente ligada a normas que también regulan la calidad de los combustibles, tal como ocurrió con el caso de los aditivos con plomo y los convertidores catalíticos de tres vías; estos últimos no se hubieran podido emplear, y por consiguiente no se hubiera podido cumplir la norma de 1981, si no se eliminaba el uso del plomo en la gasolina.

De esta misma manera, el contenido de azufre, benceno, compuestos oxigenados, y otros, influye decisivamente en la efectividad de la tecnología

empleada actualmente, que es la que permite el cumplimiento de normas tan estrictas. El hecho es que todo programa de vehículos de bajas emisiones debe ir obligatoriamente acompañado de un programa de "combustibles limpios" que hagan realmente funcionales este tipo de motores y sus accesorios de control de emisiones.

La Unión Europea, los Estados Unidos, y otros países industrializados han luchado por mantener el paso del control de la contaminación del aire, ante el impacto de un número creciente de vehículos, mediante controles cada vez más estrictos de las emisiones. Como se muestra en la figura 5.1, una serie de pasos regulatorios han reducido dramáticamente las emisiones permitidas de contaminantes convencionales en vehículos de pasajeros.

Fig. 5.1  
Normas para Emisiones de NO<sub>x</sub>, HC y PM en Vehículos Ligeros en Estados Unidos y Europa



La Agencia de Protección Ambiental, EPA (Environmental Protection Agency) es la encargada de establecer los estándares de emisiones de escape para vehículos en planta de Estados Unidos.

Estados Unidos continúa reduciendo aún más sus niveles máximos de emisiones de escape bajo el proyecto Tier II el cual, agrega requisitos más estrictos a los automóviles al mismo tiempo que demanda una reducción significativa en los niveles de azufre de la gasolina.

Cabe mencionar que las empresas automotrices estadounidenses voluntariamente se están sumando al proyecto de vehículos de bajas emisiones (Low Emissions Vehicles o LEV), surgido en California (CAL LEV) por acuerdo de las empresas automotrices y autoridades de ese estado. Los automóviles LEV son 70% menos contaminantes que los modelos actuales. Se obtienen reducciones significativas de óxidos de nitrógeno y gases orgánicos no relacionados con el metano (*non methanic organic gases*, NMOG). También se reduce la proporción de benceno, formaldehído, y acetaldehído, considerados como carcinogénicos.

El Tier II inició en el 2004, al mismo tiempo que los niveles de azufre en la gasolina comenzaron a decaer, las normas estarán completamente en efecto hacia el 2009, cuando los combustibles de bajo azufre sean obligatorios. En todos estos casos, la clave para cumplir con las nuevas regulaciones son el diesel y la gasolina de bajo azufre.

El Tier II ofrece un conjunto de normas que los productores de autos pueden seleccionar, permitiendo que su promedio corporativo de emisiones de NOx sea igual o menor a 0.07 g/mi. (En la tabla 2.1, los bins 8 y 10 son las normas temporales y finales.)

Tabla 5.1  
Normas pre-control de emisiones para vehículos de pasajeros

gramos/milla	PM		NOx		HC		NOx + HC		CO	
	Gasolina	Diesel								
pre-control (~1965)	0.041	0.655	3-4		7-11		10-15		80-120	
U.S. TIER II bin 10	0.08		0.6		0.23		-		6.4	
U.S. TIER II bin 8	0.02		0.2		0.125		-		4.2	
U.S. TIER II bin 5	0.01		0.07		0.061		-		2.6	
EURO III 2000	-	0.08	0.24	0.80	0.32	-	-	0.90	3.70	1.03
EURO IV 2005	-	0.04	0.13	0.40	0.16	-	-	0.48	1.61	0.81
JAPON 2003	-	0.023	0.08	0.24	0.08	0.04	-	-	1.85	1.01

Las normas TIER II que se están introduciendo actualmente en los Estados Unidos reducirá las emisiones de NOx en aproximadamente 80 por ciento por debajo de las normas TIER I. Además las normas TIER II también obliga a los camiones ligeros y a las camionetas de pasajeros a alcanzar los mismos niveles de emisión que los automóviles. Adicionalmente estas normas requieren que los vehículos diesel cumplan con los mismos niveles de emisión que los vehículos a gasolina.

### 5.3. Normatividad en México

A pesar de los severos problemas de calidad del aire en la ZMVM que se manifestaron desde fines de los años setenta, no fue sino hasta la década de los ochenta que se empezó a construir una infraestructura normativa y regulatoria para combatirla.

En esos años se definen las llamadas normas ecológicas de emisiones para vehículos nuevos y en circulación, las cuales desde su origen mostraron rezagos importantes con respecto a la normatividad establecida en Estados Unidos.

En 1994 se aprobaron en México límites de emisión de contaminantes para los autos nuevos similares a los adoptados en los Estados Unidos en 1981, lo que significaba un retraso tecnológico de 13 años. Posteriormente, en 1999, se logró que todos los vehículos vendidos en nuestro país cumplieran con estándares internacionales vigentes, que operan desde 1994 (TIER I), con lo que se cerraba la brecha de cinco años creada a partir de 1994.

A finales del año 2000, la Comisión Ambiental Metropolitana firmó un acuerdo con la Asociación Mexicana de la Industria Automotriz para garantizar que, en el futuro, no podrá haber un desfase mayor a dos años para la introducción de las nuevas tecnologías vehiculares en México.

A partir de la creación de la Ley de Metrología y Normalización estas normas se convirtieron en **Normas Oficiales Mexicanas (NOM)**, y posteriormente fueron modificadas en función de las nuevas posibilidades tecnológicas de las empresas automotrices en México.

De esta manera, se crearon las normas que regulan actualmente las emisiones de los automotores, así como las especificaciones para los combustibles gasolina y Diesel en México las siguientes, se mencionan a continuación:

#### 5.3.1. Norma Oficial Mexicana NOM-042-ECOL-1999 (Anexo II)

Esta norma establece los niveles de emisión que deben cumplir los vehículos nuevos que se comercializan en el país, los cuales son idénticos a los normados por la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos de Norteamérica y son acreditados a través de pruebas en laboratorios de emisión bajo la supervisión de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente.

Sin embargo, en el país vecino se han modificado los límites de emisión permisible para las unidades que se comercialicen a partir del año 2004, mismos que aplicarán gradualmente hasta que, en el año 2009, el 100% de la

flota vehicular tenga que cumplir con los estrictos niveles de emisión denominados "Tier II".

La Norma Oficial Mexicana 042 establece los valores de emisión que deben observar los vehículos que se comercializan como nuevos en el país, dichos límites de emisión son idénticos a los establecidos en la norma denominada "Tier I" que aplica en los Estado Unidos de Norteamérica.

Sin embargo, y a diferencia de la norma mexicana, los criterios normativos americanos establecen otro límite de emisión, el cual debe cumplirse al recorrer 160 mil kilómetros o diez años, es decir, en el país vecino se norma un "desgaste máximo" de los vehículos que allá se comercializan.

Considerando que los vehículos americanos fueran los mismos que se venden en nuestro país, situación que en principio no parece que así ocurra, y que el mantenimiento que aplica en las unidades es impecable, situación poco probable, entonces, a partir del décimo año o de los 160 mil kilómetros, los vehículos presentarían valores de emisión fuera de norma.

Por otra parte, de acuerdo con los estudios realizados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, al analizar el comportamiento de las emisiones conforme envejece un vehículo, se ha encontrado que la emisión de contaminantes se deteriora a una tasa constante, hasta llegar a 80 mil kilómetros acumulados, y posteriormente, la tasa de deterioro se duplica.

De esta forma, en el caso del monóxido de carbono la emisión del contaminante se cuadruplica y casi quintuplica en los primeros ochenta mil kilómetros, y a partir de ahí, aumenta la tasa de deterioro hasta el punto en que las emisiones se elevan hasta 15 veces con respecto a cuando el vehículo era nuevo<sup>2</sup>.

Dadas las diferencias ambientales entre los vehículos que cumplen con las normas "Tier I" las cuales son idénticas a las establecidas en México, y sus similares "Tier II", es indispensable que en México se adopten estas normas para asegurar que los vehículos nuevos que se comercialicen en nuestro país presenten niveles de emisión hasta 4 veces más bajos a los actuales.

Actualmente, esta norma oficial se encuentra en revisión, toda vez que las autoridades ambientales desean que en un futuro próximo cercano se adopten en México los mismos límites de emisión que en su momento aplicarán en los Estados Unidos de Norteamérica.

Cabe mencionar que para lograr lo anterior se debe reducir el contenido de azufre en la gasolina para lo cual se trabaja, bajo la coordinación de la SEMARNAT, en la actualización de la norma NOM-086-ECOL-1994 que se refiere a la calidad ecológica de los combustibles y sus características.

---

<sup>2</sup> Secretaría del Medio Ambiente, Dirección General de Gestión Ambiental del Aire

### **5.3.2. Norma Oficial Mexicana NOM-086-ECOL-1994 (Anexo III.)**

Esta norma establece los parámetros de composición y características que deben cumplir los combustibles que se distribuyen a nivel nacional, de tal forma que sean los idóneos para la protección y mejora del medio ambiente, de acuerdo al avance tecnológico de los procesos productivos y las máquinas en donde son empleados.

En particular se establecen las especificaciones de las gasolinas y del diesel que se consumen en los vehículos automotores. Las primeras han sido mejoradas para disminuir su reactividad y hacerlas adecuadas a los sistemas de control de emisiones (convertidores catalíticos) y el segundo se ha mejorado para hacerlo comparable a las tecnologías automotrices más recientes.

Sin embargo, la inminente entrada de tecnologías automotrices de nueva generación hacen necesario que ambos combustibles sean mejorados, en particular en lo que se refiere a disminuir su contenido de azufre. Así el proyecto de Norma Oficial Mexicana (el cual se presenta en el siguiente capítulo), establece que la gasolina Premium y Magna reducirán este contenido hasta 30 ppm en promedio, hacia el año 2006- 2008, y el diesel hasta un contenido máximo de 15 ppm en el 2008.

El poder contar con estos combustibles en los próximos años hará factible que los automóviles que se comercialicen en el país puedan cumplir con los niveles de emisión conocidos como "Tier II" y que los vehículos a diesel puedan incorporar sistemas avanzados de control de emisiones de óxidos de nitrógeno y partículas finas.

### **5.4. Comparación de la Normatividad Entre México y Estados Unidos**

A pesar de los avances en los últimos años, las normas mexicanas presentan rezagos importantes en relación con las norteamericanas, más aún si se considera que son las mismas empresas automotrices las que fabrican e importan vehículos aquí y en ese país. Cabe destacar algunos de estos rezagos<sup>3</sup>.

#### **1. Periodos mínimos de cumplimiento**

En primer lugar, en México no existen periodos mínimos de cumplimiento de los niveles máximos permisibles de emisiones. En Estados Unidos, mediante estos periodos mínimos, (que varían entre 5 años- 50 mil millas o 10 años

<sup>3</sup> [http://www.cce.org.mx/cespedes/publicaciones/otras/No\\_Amb/cap\\_5.html](http://www.cce.org.mx/cespedes/publicaciones/otras/No_Amb/cap_5.html)

100/120 mil millas) se garantiza que los automóviles en planta y después en circulación cumplan con una regulación estricta durante un intervalo considerable de tiempo.

## 2. Niveles de emisión de gases contaminantes

Por otro lado, algunos estándares establecidos en las normas son más laxos. En la tabla 5.2 se pueden observar las diferencias entre los niveles máximos permisibles (expresados en gramos por kilómetro para facilitar la comparación) de la norma mexicana NOM 042 para vehículos nuevos y la norma Tier I, los programas voluntarios y la norma Tier II de Estados Unidos.

Tabla 5.2

**VEHÍCULOS NUEVOS**  
Normas de México y Estados Unidos para regular emisiones  
de escape de automóviles de pasajeros  
(gramos/Km.)

País	Norma	THC	CO	NOx
México	NOM 042	0.25	2.11	0.62
Estados Unidos	TIER I	0.25	2.11	0.25
	TLEV	0.25	2.11	0.25
	LEV	0.25	2.11	0.12
	ULEV	0.25	1.05	0.12
	TIER II	0.25	2.11	0.06

Para la legislación norteamericana sólo se muestran los límites de los primeros 5 años u 80 mil Km. (50 mil millas)

Fuente: NOM 042 en DOF y el resto EPA.

En lo que se refiere a automóviles, los límites de la NOM 042 son iguales a los de Tier 1 para hidrocarburos y monóxido de carbono, **no así para los óxidos de nitrógeno, donde esta norma permite emitir casi tres veces más.** Los máximos permisibles de este último contaminante también difieren de los otros programas voluntarios norteamericanos. Destacan los límites de monóxido de carbono de ULEV y de NOx de Tier II, mucho más estrictos que los de la NOM 042 (tabla 5.3).

Tabla 5.3

**VEHÍCULOS NUEVOS**  
Normas de México y Estados Unidos para regular emisiones de escape  
vehículos de hasta 3 825 kg de peso bruto vehicular (camionetas y camiones ligeros)  
(gramos/Km.)

País	Norma	THC	CO	NOx
México	NOM 042	0.63	8.75	1.44
Estados Unidos	Tier I	0.50	3.10	0.68
	Tier II	0.50	2.11	0.062

Para la legislación estadounidense sólo se muestran los límites de los primeros 5 años u 80 mil Km. (50 mil millas)

Fuente: DOF y EPA, op. cit.

Los máximos permisibles establecidos para camionetas y camiones ligeros de hasta 3 825 kg de peso entre la normatividad mexicana y norteamericana difieren significativamente. En este caso la NOM 042 es considerablemente más laxa que Tier I y desde luego que Tier II. En hidrocarburos la diferencia es de 0.13 gr/Km., **pero en monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno la NOM 042 permite emitir más del doble de estos contaminantes con respecto a Tier I y tiene valores superiores de emisión en varios órdenes de magnitud a Tier II, por ejemplo.**

Como se puede observar en la tabla 5.4, con respecto al Diesel, en cuanto al contenido de azufre, este es el equivalente al permitido en California en 1996, lo que significa un rezago de casi 10 años. Con respecto a la EPA 2005, el actual contenido de azufre de PEMEX Diesel es 6 veces mayor.

Tabla 5.4  
Comparación Estándares Diesel<sup>4</sup>

Lugar	Concentración Azufre (ppmm)
<b>PEMEX Diesel - México</b>	300
Usa - EPA (1998)	500
Usa - EPA (2005)	50
Usa - California (2000)	120/15
CARB (1996)	300
Brasil (Sao Paulo, 1998)	2000
Promedio Europa (1996)	900
Norma europea (1998)	500

<sup>4</sup> <http://www.conama.cl/rm/568/article-1189.html>

**Capítulo VI**

**Tendencias en la Calidad de la  
Gasolina y el Diesel**

## CAPÍTULO VI

### Tendencias en la Calidad de la Gasolina y el Diesel

La gasolina por ser el combustible para vehículos automotores más efectivo hasta el momento, es utilizada en prácticamente todo el mundo. Este combustible es el más demandado entre los productos derivados de la refinación del petróleo. La gasolina comenzó a formar parte de nuestra vida desde que empezó la producción en serie de los automotores, esto ocurrió por ahí de la década de los 20.

Resultaría difícil comprender la evolución de las características de las gasolinas en México y en el mercado internacional, sin hacer referencia a los avances logrados por la industria automotriz a través del tiempo. De hecho, las actividades de refinación de petróleo y de manufactura de automotores han mantenido una estrecha interrelación en el transcurso del siglo.

Desde la década de los años treinta, hasta la década de los sesenta, el énfasis de la industria automotriz consistió en elevar la eficiencia térmica de los motores para lograr un mayor aprovechamiento de la energía empleada. Los motores se caracterizaron por detentar mayores relaciones de compresión y ello exigió de la industria petrolera producir gasolinas con números de octano cada vez mayores.

En consecuencia, durante esos años se hizo uso extensivo de fuentes económicas de octano, particularmente de tetraetilo de plomo. Asimismo, fue necesario sofisticar la configuración de los procesos de refinación, alejándose cada vez más de la simple destilación del petróleo crudo.

A partir de los ochenta, los efectos de la combustión sobre el medio ambiente empezaron a cobrar una importancia creciente, hasta entonces difíciles de imaginar.

Se procede a eliminar el empleo del plomo como fuente de octano y, más recientemente, en los noventa, las autoridades ambientales tanto en las economías industrializadas como en México, imponen restricciones sobre otros parámetros que contribuyen al deterioro de la calidad del aire.

Estas restricciones han dado lugar a reformular las gasolinas, lo que significa limitar el uso de algunas fuentes de octano que derivan en modificaciones indeseables en algunas de las propiedades de las gasolinas.

En el mundo desarrollado, los fabricantes de autos y las empresas de refinación han tenido que aplicar sus importantes capacidades técnicas y administrativas para cumplir con regulaciones ambientales crecientemente estrictas.

Los resultados han sido niveles de azufre menores en los combustibles y normas de emisión cada vez más bajas para todo tipo de vehículos. De igual

forma, los retos ambientales de largo plazo y los requerimientos más estrictos que se esperan en el futuro, están impulsando la investigación científica y el desarrollo tecnológico.

En los países en desarrollo, los combustibles con alto contenido de azufre continúan siendo la norma, impidiendo la introducción de nuevas tecnologías vehiculares.

Mediante el establecimiento de políticas para bajar los niveles de azufre y aplicar normas de emisión más estrictas, estos países pueden aliviar los impactos en la salud humana derivados del número creciente de vehículos y disminuir el esfuerzo social y tecnológico necesario para hacer más limpios sus parques vehiculares.

De esta forma, los países relativamente nuevos en este campo, podrán retomar la experiencia de los países que han logrado ventajas con los combustibles de bajo azufre.

Es imposible limpiar el aire, o en particular reducir la contaminación del aire generada por el sector transporte, sin eliminar el azufre de los combustibles. El azufre es por sí mismo un contaminante, pero más importante aún es que el azufre impide la adopción de las principales tecnologías para el control de la contaminación.

Ninguna estrategia de reducción significativa de la contaminación del aire puede dar resultado sin reducir el azufre de los combustibles a niveles cercanos a cero.

El azufre impide el uso de muchas tecnologías convencionales y avanzadas para el control de contaminantes vehiculares, incluyendo monóxido de carbono (CO), partículas (PM), óxidos de nitrógeno (NOx) e hidrocarburos (HC). Los combustibles de bajo azufre son la clave para reducir las emisiones vehiculares, mediante la introducción de tecnologías avanzadas de control y nuevos vehículos con diseños más eficientes.

El azufre es un componente natural del petróleo crudo y en consecuencia se encuentra tanto en la gasolina como en el diesel. Cuando estos combustibles son quemados, el azufre se emite como bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) o como partículas de sulfatos.

Cualquier reducción en el contenido de azufre en los combustibles disminuye las emisiones de estos compuestos y cuando este contenido disminuye más allá de cierto punto, el beneficio aumenta hasta una disminución importante de las emisiones totales de contaminantes.

Como puede observarse, los combustibles para automotores gasolina y Diesel, han ido evolucionando y lo seguirán haciendo afortunadamente, con

el objetivo principal de disminuir de manera considerable, el impacto ambiental provocado por las emisiones de los automotores.

En el presente capítulo se exponen los antecedentes históricos en México referentes a este tema, la situación actual y las tendencias en la calidad de las gasolinas y diesel tanto en México como en el ámbito internacional, contemplando principalmente a los Estados Unidos.

También se presentan las inversiones requeridas en nuestro país para mejorar la calidad de nuestros combustibles, haciendo énfasis en lo que respecta al contenido de azufre en la gasolina y diesel.

Por último se presentan los resultados de un análisis costo-beneficio en México, derivado de la reducción del contenido de azufre en estos combustibles.

### **6.1. Antecedentes Históricos en México.**

Fue hasta 1940, dos años después del nacimiento de Petróleos Mexicanos tras la expropiación del 18 de marzo de 1938, que apareció la primera gasolina mexicana, Mexolina, con un octanaje de 70. Diez años después, obligados por los requerimientos automotrices, se mejoró la gasolina para ofrecer la Supermexolina de 80 octanos. Le siguieron, en 1956, Gasolmex de 90 octanos y PEMEX 100, de 100 octanos, una década después.

Hasta 1973 se mantuvieron en el mercado estas cuatro gasolinas. Todas contenían tetraetilo de plomo.

Gracias a estudios de mercado realizados en ese mismo año, se definió que el promedio de octanaje que el país requería era de 85, por lo que todas las gasolinas anteriores fueron sustituidas por la Nova, con 81 octanos y la Extra con Plomo de 94 octanos, las cuales, según la sugerencia que les daban a los consumidores de aquellos años debían ser combinadas para satisfacer las necesidades de sus autos; sin embargo, el público prefirió utilizar la Nova.

Por eso, a partir de 1982, la gasolina Nova experimentó cambios en su composición básica para disminuir el uso de tetraetilo de plomo, lo que permitió un avance significativo en contra del impacto ambiental.

Y es que la década de los ochenta estuvo marcada por la preocupación sobre el daño que estábamos produciendo a la atmósfera: el hecho de que, en 1985, una estación de sondeo británica detectara que en la Antártida la concentración del manto de ozono prácticamente había desaparecido, fue una evidencia que no se pudo soslayar más.

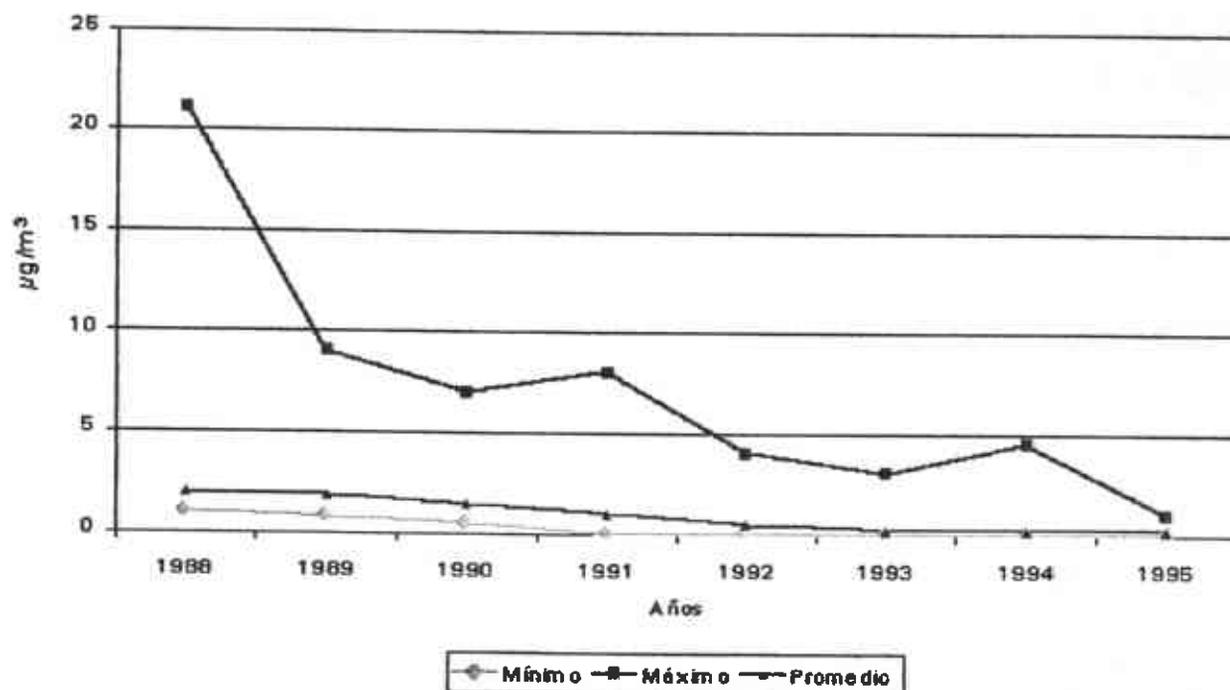
A finales de la década de los ochentas, Petróleos Mexicanos inició en conjunto con las autoridades ambientales un programa de mejoramiento de combustibles, el cual en fechas recientes se ha hecho intensivo y permanente, con el objetivo primordial de coadyuvar en el mejoramiento y preservación de la calidad del aire en las zonas urbanas del país en especial la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).

Así entonces, en 1986, como resultado de los estudios hechos para reducir la contaminación ambiental, se crearon las gasolinas Nova Plus y Extra Plus. De forma gradual, las gasolinas fueron disminuyendo sus niveles de plomo hasta que en 1990 apareció la gasolina Magna Sin, un combustible sin plomo.

Los convertidores catalíticos, introducidos en 1991, fueron parte importante para reducir los daños al medio ambiente causados por los autos (Fig. 6.1).

El plomo es un "veneno" para el catalizador de los convertidores, llegando a estropearlos, por lo que se hizo indispensable el uso de gasolinas libres de plomo. En México, el contenido de plomo en la gasolina Nova disminuyó considerablemente entre 1986 y 1992, variando de 0.98 g/l a 0.07 g/l, lo cual significó una reducción del 92 por ciento.

Figura 6.1  
Comportamiento histórico de los niveles de plomo en la ZMVM



Fuente: Instituto Nacional de Ecología, 1997.

A partir de 1991 se introdujo el convertidor catalítico en los automóviles en México, como resultado de una concertación entre las autoridades

gubernamentales ambientales y las empresas de automóviles, a la vez que la agencia paraestatal PEMEX introdujo la gasolina sin plomo Magna Sin.

El primero de octubre de 1996 salió a la venta una nueva gasolina reformulada denominada *PEMEX Magna*, con especificaciones más estrictas que la anterior *Magna Sin*.

Esta gasolina es actualmente la de mayor consumo en el país y la ZMVM y sustituyó en su totalidad desde 1998 a la gasolina *Nova* con plomo. En la actualidad las gasolinas con plomo han salido del mercado en México<sup>1</sup>.

Con el mismo propósito de satisfacer los requerimientos y características de las gasolinas que demandan los automóviles de tecnología reciente, se incorporó al mercado de la ZMVM el 6 de diciembre de 1996 la gasolina sin plomo denominada *PEMEX Premium*, con mayor índice de octano y características de composición similares a la *PEMEX Magna*.

Así fue como desapareció la gasolina *Nova* para dar paso a una nueva generación de gasolinas: PEMEX Magna con 87 octanos y PEMEX Premium que tiene 92.

---

<sup>1</sup> [http://www.ine.gob.mx/ueajet/publicaciones/libros/314/aspectosrelevantes.html?id\\_pub=314](http://www.ine.gob.mx/ueajet/publicaciones/libros/314/aspectosrelevantes.html?id_pub=314)

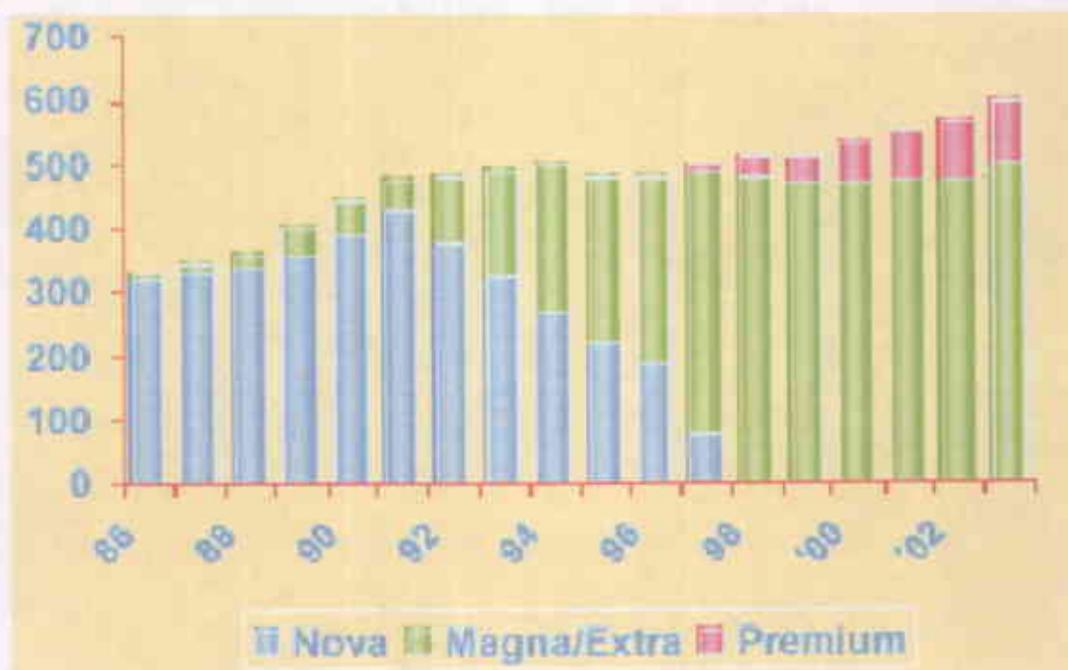
## 6.2. Situación Actual en México.

Como sería de esperarse, los países industrializados fueron los primeros en adherirse a especificaciones cada vez más estrictas. Sin embargo, México no se ha rezagado significativamente en esta práctica. En este sentido, desde 1995 se ha desarrollado un programa intenso de estudios para lanzar al mercado gasolinas reformuladas acordes con los requerimientos de los vehículos que circulan en la zona metropolitana y los avances tecnológicos de la industria automotriz<sup>3</sup>.

Los logros alcanzados a la fecha son significativos; las gasolinas que se consumen hoy día no tienen plomo (Fig. 6.2) y su octano es igual al de las gasolinas *Regular* y *Premium* norteamericanas. Desde hace más de diez años se aplican aditivos para controlar la formación de depósitos en los sistemas de admisión de combustible y a partir de 1996 se introdujeron especificaciones estrictas para limitar el contenido de olefinas, aromáticos, benceno y menor presión de vapor.

Fig. 6.2  
Sustitución gradual de la gasolina con plomo en México

Ventas Internas  
(mbd)



Durante el periodo 1994-2002, PEMEX Refinación realizó inversiones por 1,268 MMUSD para mejorar la calidad de las gasolinas. Con estas inversiones se logró eliminar el plomo y se ha reducido el contenido de azufre en las gasolinas.

<sup>3</sup> <http://www.ref.pemex.com/octanaje/25magna.htm>

Gracias fundamentalmente al mejoramiento paulatino de los combustibles y a la adopción de tecnologías vehiculares modernas (inyección electrónica de combustible e incorporación de los convertidores catalíticos de tres vías), hoy las concentraciones de bióxido de azufre y de plomo se mantienen permanentemente dentro de la norma, y las de monóxido de carbono y bióxido de nitrógeno sólo la rebasan de manera muy esporádica. La disminución considerable del contenido de azufre en los combustibles, ha contribuido a los avances referentes a las PM10, con lo cual se han reducido de manera notable los niveles de sulfatos que se forman en la atmósfera.

Actualmente México tiene algunos de los combustibles vehiculares de la más alta calidad en América latina. Con respecto al diesel, desde 1986, PEMEX Refinación ha venido elevando la calidad del Diesel, reduciendo gradualmente los niveles de azufre, hasta llegar en la actualidad a un contenido máximo de 500 ppm, con un contenido de aromáticos del 30 por ciento y con un índice de cetano desde 52 hasta 55, superando a las especificaciones de este combustible producido en otros países, colocándose a la vanguardia del mercado mundial.

Adicionalmente, en pruebas de laboratorio, la empresa Ethyl Petroleum Additives, certificó que la calidad del PEMEX Diesel no requiere del uso de aditivos<sup>3</sup>. La reducción de los niveles promedio de azufre en la gasolina Premium de 500 ppm a 250 ppm ha sido un paso significativo. Sin embargo, todavía el contenido de azufre se encuentra a un nivel 10 veces superior al necesario para introducir tecnologías de control avanzadas, como filtros y catalizadores los cuales pueden reducir las emisiones de partículas de los vehículos Diesel hasta en un 95%.

Es por esta situación que en la actualidad, irónicamente en México, las compañías automotrices ya están produciendo algunos automóviles que cumplen con las muy estrictas normas TIER II, pero la mayoría de ellos son exportados para su venta a los Estados Unidos, debido a que los filtros y trampas avanzados utilizados para cumplir con estas normas estrictas, serían destruidos por la cantidad de azufre que contienen los actuales combustibles mexicanos<sup>4</sup>.

Actualmente, el 67% de la flota vehicular en la ZMVM no cuenta con convertidor catalítico y sus emisiones representan cerca del 90% de las emisiones generadas por las fuentes móviles<sup>5</sup>. Por otra parte la flota vehicular a diesel que circula en la ZMVM está integrada por más de 180 mil vehículos de los cuales más del 40% tienen más de 20 años de antigüedad.

<sup>3</sup> Pemex Refinación

<sup>4</sup> Instituto Nacional de Ecología

<sup>5</sup> [http://yosemite.epa.gov/OAR/globalwarming.nsf/UniqueKeyLookup/SBRT5KORDN/\\$File/Mexico\\_Co-control\\_Final\\_Appendices2.pdf](http://yosemite.epa.gov/OAR/globalwarming.nsf/UniqueKeyLookup/SBRT5KORDN/$File/Mexico_Co-control_Final_Appendices2.pdf)

### **6.3. Tendencias Generales en la Composición de las Gasolinas y el Diesel.**

#### **6.3.1. Gasolinas**

La tendencia de la calidad de los combustibles en el mundo está dirigida a la reducción de emisiones contaminantes, producto de la combustión en fuentes móviles y fijas. En los combustibles para uso automotor, específicamente gasolinas, las tendencias internacionales apuntan hacia la reducción en el contenido de aromáticos, olefinas y azufre, con la finalidad de disminuir la contaminación atmosférica por ozono, partículas y tóxicos en las zonas urbanas.

También se presenta una tendencia a disminuir el valor T 90, esto es, la temperatura a la cual se destila el 90% de la gasolina. La adición de componentes oxigenados para mantener el octano y reducir el nivel de monóxido de carbono, pero esta acción parece no ofrecer beneficios con respecto a la reducción de ozono.

La disminución de la presión de vapor tiene un efecto directo en la disminución de las emisiones evaporativas. La tendencia actual apunta hacia carburantes de cada vez menor volatilidad para reducir las emisiones evaporativas.

Con respecto al MTBE en las gasolinas, recientemente, las preocupaciones se han centrado sobre el potencial efecto contaminante del MTBE en las aguas freáticas y potable. Mientras que el MTBE podría ser menos dañino que otros componentes de la gasolina, es capaz de contaminar el agua subterránea con mayor rapidez.

Estos últimos descubrimientos con respecto al MTBE, hacen incierto el futuro del uso de este compuesto en la gasolina. Mientras que su utilización en la gasolina ha proporcionado rendimiento vehicular satisfactorio y ha ayudado a limpiar la contaminación del aire, la preocupación relativa al agua subterránea llevará, muy posiblemente, a una reducción en la utilización del MTBE.

Bajo las reglamentaciones actuales, la prohibición del MTBE obligaría a los refinadores a utilizar etanol para cumplir con el requisito de contenido de oxígeno de la RFG. Con el etanol, no se han experimentado problemas de esta naturaleza, aunque presenta otros inconvenientes de tipo técnico (ver capítulo 3, oxigenados).

Estas observaciones nos indican que será necesario llevar a cabo estudios y análisis específicos para definir las especificaciones y calidad de las gasolinas

idóneas para una zona determinada, de tal forma que se logre llegar a un equilibrio en términos de su costo-beneficio<sup>6</sup>.

### 6.3.2. Diesel

Con respecto al diesel las tendencias internacionales muestran una disminución en el contenido de aromáticos y azufre, y un incremento en el índice de cetano, para establecer el rango óptimo. Estas especificaciones obedecen a requerimientos tecnológicos y ambientales de los nuevos vehículos operados con diesel en Estados Unidos y Europa. La situación en México es radicalmente diferente con respecto al índice de cetano, ya que la calidad del diesel nacional es superior al promedio internacional<sup>7</sup>.

En cuanto a los vehículos a diesel, también vienen en camino nuevas tecnologías de control gracias a las cuales se producirán autobuses a diesel para transporte público de pasajeros que tendrán emisiones de partículas tan bajas como las de un autobús a gas natural. También estas unidades requerirán de un diesel con menos de 15 ppm de azufre, comparado con el contenido actual en México y en muchos otros países, de 500 ppm. Esta calidad de combustible será necesaria a fin de lograr un óptimo desempeño de las trampas de partículas de tipo regenerativo y en los convertidores catalíticos con las que vendrán equipadas de fábrica las unidades a diesel a partir del 2006 o 2007.

### 6.4. Introducción de Nuevas Tecnologías

Con el apoyo de la EPA se evalúan tecnologías RETROFIT (rampas de partículas y convertidores catalíticos con diesel de muy bajo azufre -15 ppm) que permitan reducir las emisiones de vehículos de transporte público de pasajeros y de carga.

En los lugares donde los combustibles de bajo azufre ya están disponibles, las tecnologías de *retrofit* pueden reducir drásticamente las emisiones de los vehículos existentes. Los catalizadores de oxidación y los filtros de partículas para vehículos pesados a diesel son las tecnologías de *retrofit* más comunes.

Existen experiencias internacionales que muestran la viabilidad de insertar sistemas de control en vehículos carentes de convertidores catalíticos y sistemas electrónicos de control de la mezcla aire-combustible<sup>8</sup>.

La Introducción en México de estas tecnologías hace indispensable ofrecer en el mercado gasolina con bajo contenido de azufre.

<sup>6</sup> [http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/236/cap5.html?id\\_pub=236](http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/236/cap5.html?id_pub=236)

<sup>7</sup> Tendencias Pemex

<sup>8</sup> [http://yosemite.epa.gov/OAR/globalwarming.nsf/UniqueKeyLookup/SBRT5KORDN/\\$File/Mexico\\_Co-control\\_Final\\_Appendices2.pdf](http://yosemite.epa.gov/OAR/globalwarming.nsf/UniqueKeyLookup/SBRT5KORDN/$File/Mexico_Co-control_Final_Appendices2.pdf)

#### 6.4.1. Sistemas de diagnóstico a bordo y recuperación de vapores

Como muestra de la tecnología más avanzada, cabe mencionar a los vehículos de combustión interna de baja y ultrabaja emisión de contaminantes que poseen computadoras capaces de diagnosticar el comportamiento del motor y sus partes periféricas, y llevar además un registro del mismo.

Este sistema, llamado de autodiagnóstico a bordo I (*on board diagnostics; OBD I*) proporciona información acerca del estado mecánico del vehículo, de la eficiencia del convertidor catalítico, y también si el automóvil se encuentra dentro de las especificaciones del fabricante, a través de un interrogatorio electrónico vía computadora sin necesidad de utilizar analizadores de gases o dinamómetro en procesos de verificación vehicular.

Recientemente el desarrollo tecnológico llevó a la creación del *OBD II*, más sofisticado y que monitorea virtualmente todos los sistemas de control y los componentes que pueden afectar las emisiones. Los sistemas de diagnóstico a bordo son obligatorios en Estados Unidos país para todos los vehículos de menos de 2 721 kg de peso bruto vehicular.

Las emisiones que se generan cuando se llena el tanque de los automóviles de combustible están reguladas por estándares que dependen del tipo de vehículo. Los nuevos avances tecnológicos permiten disminuir estas emisiones evaporativas a través de un sistema de recuperación de vapores (*On board Refueling Vapor Recovery, ORVR*) que comprende modificaciones a componentes de los filtros y a la capacidad del tanque<sup>9</sup>.

#### 6.4.2. Filtros de particulado diesel

El filtro de particulado diesel de regeneración continua (CR-DPF) y el filtro de particulado diesel catalizado (CDPF) son dos ejemplos del control de partículas con regeneración pasiva. Los dispositivos CR-DPF y CDPF pueden lograr 95% de eficiencia para el control de emisiones de MP con combustible de azufre de 3 ppm. Pero la eficiencia baja a cero con combustible azufre 150 ppm y las emisiones de MP en realidad más que se duplican sobre la línea básica del combustible azufre 350 ppm.

Las emisiones de hollín también aumentan con el combustible de mayor azufre, pero incluso con el combustible de 350 ppm de azufre los DPFs mantienen cerca de un 50% de eficiencia para el MP de no-sulfato. Los sistemas finalmente pueden recuperar la eficiencia de control de MP original con un retorno al uso de combustibles de azufre bajo, pero la recuperación demora un tiempo, debido al almacenamiento de sulfato sobre el catalizador.

<sup>9</sup> [http://www.cce.org.mx/cespedes/publicaciones/otras/No\\_Amb/cap\\_4.html](http://www.cce.org.mx/cespedes/publicaciones/otras/No_Amb/cap_4.html)

Con el uso de combustible de azufre bajo, los filtros de particulado diesel proveen efectivos controles de partículas a través del rango de tamaño de estas, incluso para las más pequeñas, consideradas las más peligrosas para la salud humana.

Los diesel con filtros de particulado generan emisiones de partículas comparables a los vehículos a gas natural comprimido (GNC) los que a menudo son promocionados como una alternativa de bajas emisiones respecto del diesel. Un vehículo que usa un combustible de bajo azufre y un DPF puede, de hecho, reducir las emisiones de MP totales por debajo de las de un vehículo GNC. Además, el carbón elemental, también conocido como carbón negro, es virtualmente eliminado por un DPF.

El carbón elemental parece ser responsable de más del 90% de la absorción de luz de los aerosoles atmosféricos, y recientemente ha sido implicado como un factor importante en el calentamiento global, lo que resalta el potencial para los DPFs, con uso de un combustible de bajo azufre, para reducir de forma importante el impacto en el calentamiento por parte de los vehículos diesel.

Además, los filtros de particulado proveen un efectivo control de las emisiones de CO y HC, el cual es menos impactado por el azufre del combustible. Los DPFs reducen en gran medida las emisiones de benceno, hidrocarburos aromáticos policíclicos, alkenos, tales como el butadieno 1,3 y otros contaminantes gaseosos dañinos y no regulados. La eficiencia medida para el control de CO fue entre 90 y 99%, y para el HC fue entre 58 y 82.

#### **6.4.3. Trampas de Captura de NOx**

Los vehículos a gasolina están bajo una presión creciente para aumentar su rendimiento energético, y por tanto reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. Los diseños de mezcla pobre de gasolina reducen el consumo de combustible en un 15-20% .

Para evitar que la mayor eficiencia energética se contraponga con una mayor emisión de contaminantes, estos motores de mezcla pobre requerirán nuevas tecnologías de postratamiento para el control de emisiones de NOx.

Las trampas de NOx que son la tecnología más eficiente para el control de NOx en motores de mezcla pobre son impactadas mucho más severamente que los TWC por el azufre del combustible. Dado que los niveles elevados de azufre reducen la efectividad de las trampas y provocan incrementos en el consumo del combustible, la gasolina de ultra bajo azufre es el factor clave para incrementar la eficiencia de los vehículos a gasolina. Los motores de mezcla pobre incrementan la relación aire combustible, y por tanto reducen el consumo de combustible. Los motores de mezcla pobre proveen un beneficio automático para el control de CO y HC, que se forman en

cantidades menores y pueden ser fácilmente oxidados en la mezcla rica en oxígeno del escape.

Las trampas de captura de NOx proporcionan eficiencias por encima de 90% en la captura y conversión de NOx a N<sub>2</sub>, pero exigen combustibles virtualmente libres de azufre para un uso eficiente.

#### **6.4.4. Catalizadores de Oxidación para Vehículos a Diesel**

Aunque los Catalizadores de Oxidación para Vehículos a Diesel (*Diesel oxidation catalysts, DOC*) son la tecnología de postratamiento de control de emisiones más común en los vehículos diesel actuales. Estos no se encuentran tan ampliamente extendida como los TWC en vehículos a gasolina, Sin embargo, los DOC son muy similares a los primeros catalizadores usados para motores de gasolina.

Los catalizadores de oxidación trabajan oxidando el CO, los HC y la fracción orgánica soluble de las PM a CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, en la corriente de escape rica en oxígeno de los motores diesel.

Cuando el azufre se encuentra presente en el combustible, los DOC también incrementan la tasa de oxidación del SO<sub>2</sub>, dando lugar a un aumento drástico en las emisiones de nanopartículas de sulfatos. La conversión de sulfatos depende de la eficiencia general del catalizador, los catalizadores más eficientes son capaces de convertir cerca del 100% de SO<sub>2</sub> en el gas de escape a sulfatos.

Con combustibles de bajo azufre, un DOC puede llevar a una reducción del 15-31% en emisiones de PM (con niveles de azufre reducidos del 368 a 54 ppm) el doble del beneficio de las emisiones con combustible de bajo azufre por sí solo (CARB 2000).

#### **6.4.5. Sistemas de Control del NOx**

Se han desarrollado una variedad de tecnologías de control de NOx para permitir a los motores diesel cumplir con normas venideras más estrictas. Las reducciones de NOx de hasta 12% que han sido medidas con DPF no resultan confiables ni suficientes para cumplir regulaciones más exigentes (NYCTA 2001; Smith 2002). Se espera que la recirculación de los gases de escape (*Exhaust Gas Recirculation, EGR*) juegue un rol prominente en las estrategias a corto plazo para el control de NOx, ya que solamente es influida en forma indirecta por el azufre del combustible. Dos tecnologías muy diferentes: los adsorbedores de NOx y los sistemas de reducción catalítica selectiva (*selective catalytic reduction, SCR*) parecen ser las alternativas preferentes para un control adicional de NOx.

**6.4.6. Recirculación de Gases de Escape:** los principales avances en el control de NOx de vehículos a diesel se han logrado con la recirculación de gases de escape o *EGR*, la cual disminuye la temperatura de combustión y por tanto reduce la formación térmica de NOx.

El azufre del combustible no impacta las emisiones de los sistemas de recirculación de gases de escape en los motores diesel, pero si daña la durabilidad del sistema y su confiabilidad, dada la formación de ácido sulfúrico.

Se espera que la recirculación de gases de escape sea la tecnología líder utilizada para cumplir con las normas del *Tier 2* con objetivos intermedios para el 2007 en los Estados Unidos, y también con las normas emergentes para vehículos de pasajeros en Europa y Japón (Johnson 2003). En este caso, modificaciones relativamente simples del motor han permitido alcanzar reducciones de 40-60% de las emisiones de NOx en vehículos existentes (Chatterjee 2002).

**6.4.7. Adsorbedores de NOx:** los adsorbedores de NOx también se conocen como catalizadores de acumulación de NOx o trampas para mezclas pobres de NOx. Estos sistemas de adsorción de NOx han demostrado una eficiencia de 95% en la conversión de NOx a N<sub>2</sub>, con una falla nominal de rendimiento del 1.5%.

Desafortunadamente, las trampas de NOx también almacenan eficientemente el azufre. A través de una ruta de reacción básicamente idéntica a la del nitrógeno, las emisiones de SO<sub>2</sub> son acumuladas como sulfatos sólidos y se adhieren más fuertemente a substrato, por lo que requieren temperaturas mayores para removerse.

Después de un período de tiempo, los combustibles con azufre, aún a bajos niveles, saturan la capacidad de la trampa, causando que el almacenamiento de NOx y la eficiencia de conversión decaigan significativamente.

La regeneración de la trampa y la liberación del azufre acumulado presentan un impedimento técnico adicional, dado que las temperaturas de escape son menores y menos controlables que en motores de gasolina.

**6.4.8. Reducción Catalítica Selectiva SCR (*Selective Catalytic Reduction*,):** La reducción catalítica selectiva ha surgido en Europa como la tecnología líder de reducción de NOx para cumplir las normas Euro IV y Euro V para vehículos diesel de carga pesada.

Eficiencias de remoción de NOx del 80 al 90% han sido demostradas para sistemas SCR basados en urea tanto en vehículos de carga ligera como de carga pesada en un amplio rango de condiciones de prueba (Hammerle 2002). Se ha logrado un buen progreso en alcanzar con eficiencia las normas

del *Tier 2* de los Estados Unidos para camiones y vehículos deportivos usando sistemas SCR.

Normalmente el motor está afinado para mantener bajas emisiones de PM y alto rendimiento energético. Debido a normas menos estrictas en Europa, no se necesita un DPF, pero en cambio se requieren controles adicionales para NOx. Esta regulación puede cumplirse con un sistema SCR con una eficiencia de conversión de NOx del 65- 80%.

El azufre no reduce la eficiencia de conversión en sistemas SCR tan drásticamente como en otras tecnologías avanzadas de control, sin embargo las emisiones son impactadas de dos maneras. El azufre del combustible incrementará las emisiones de PM corriente abajo del catalizador de oxidación. Las reacciones del azufre en sistemas SCR basados en el uso de urea pueden dar lugar al bisulfato de amonio, un irritante respiratorio severo (EPA 2000b; Khair 2002).

### **6.5. Impacto del Azufre Sobre las Emisiones Vehiculares**

El impacto del azufre es más severo conforme los vehículos están diseñados para alcanzar estándares más estrictos. Los niveles actuales de azufre en el combustible son el obstáculo primario para introducir tecnologías más avanzadas de control de emisiones en el mercado.

Estas tecnologías reducirían dramáticamente los contaminantes convencionales e incluso promoverían el diseño de motores más eficientes en el uso del combustible.

Inicialmente los productores de vehículos pudieron cumplir las normas de emisión con convertidores catalíticos simples en vehículos a gasolina y mejoramientos del motor en los vehículos a diesel. Ahora, las normas más estrictas requieren catalizadores más activos, tecnologías avanzadas, y funcionamiento completo de los controles de emisión en todo momento. Asimismo avances ulteriores en las tecnologías de control conducirán a reducciones substanciales en las emisiones de CO<sub>2</sub>, mediante el uso de motores más eficientes que reduzcan el consumo de combustible entre un 15-45%, (König et al 2001). La factibilidad de exportar estas tecnologías avanzadas hacia países en desarrollo, dependerá naturalmente de la disponibilidad de combustibles de bajo azufre.

Los combustibles pobres en azufre (~150 ppm) hacen a los vehículos existentes más limpios. Estos combustibles reducen las emisiones de CO, HC, y NOx de los vehículos a gasolina equipados con catalizadores, y las emisiones de PM de vehículos a diesel, con o sin catalizadores de oxidación. Estos beneficios se incrementan cuando los vehículos están diseñados para alcanzar normas de emisión más elevadas y los niveles de azufre bajan aún más.

Los combustibles de bajo azufre (~50 ppm) permiten mayores beneficios al incorporar tecnologías avanzadas de control para vehículos diesel. Los filtros de partículas del diesel pueden usarse con combustibles de bajo azufre pero sólo alcanzan un 50% de eficiencia de control, aproximadamente. La reducción catalítica selectiva puede aplicarse en este caso para lograr un control de emisiones de NOx superior al 80%.

Combustibles de ultra bajo azufre (~10 ppm) permiten el uso de equipo de absorción de NOx, incrementando su control hasta niveles superiores al 90%, tanto en vehículos a diesel como de gasolina. Esto permite diseños de motores más eficientes, que son incompatibles con los actuales sistemas de control de emisiones. Los filtros de partículas alcanzan su máxima eficiencia con combustibles de ultra bajo azufre, cerca del 100% de reducción de PM.

### **6.6. Tendencias Globales hacia Combustibles de Bajo Azufre**

Líderes en el tema de contaminación atmosférica y expertos en tecnología a nivel internacional publicaron el 3 de junio del 2003 una declaración que califica al azufre en los combustibles como "el plomo del nuevo siglo" advirtiendo a los gobiernos que el azufre amenaza con convertirse en el mayor obstáculo para alcanzar un aire limpio. El Consejo Internacional para el Transporte Limpio (ICCT, por sus siglas en inglés) llamó a los países a instrumentar medidas costo efectivas para reducir significativamente los niveles de azufre en los combustibles.

Las emisiones de compuestos de azufre causan serias preocupaciones en la salud humana y el ambiente. Más importante aún, el azufre inhibe el uso de tecnologías avanzadas para controlar las emisiones de otros contaminantes, incluyendo NOx, HC, CO y partículas (PM).

La reducción de los niveles de azufre en los combustibles hará disminuir las emisiones vehiculares de los precursores del smog fotoquímico y otros contaminantes que ensucian nuestro aire y taponan nuestros pulmones. Los combustibles de bajo azufre representan una nueva herramienta para crear un aire más limpio, mejorando la salud pública y reduciendo los problemas ambientales. Los beneficios presentes y futuros de los combustibles de bajo azufre son substanciales y cada vez más necesarios en un mundo con un número creciente de vehículos y mayores promedios de distancia por viaje.

Cualquier reducción del azufre disminuye las emisiones de bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y de sulfatos, y conforme los niveles de azufre disminuyen más allá de cierto punto, los beneficios aumentan para incluir la emisión total de los diferentes contaminantes.

La reducción de niveles de azufre en combustibles puede disminuir las emisiones vehiculares en tres formas generales:

- 1) Mediante la reducción directa de SO<sub>2</sub> y partículas de sulfatos.
- 2) Logrando un mejor funcionamiento de los sistemas de control de emisiones en los vehículos existentes.
- 3) Impulsando nuevas tecnologías de control y diseños vehiculares más eficientes.

### **6.7. Normatividad Futura para Vehículos y Combustibles**

Todas las normas futuras: europeas, japonesas y de los Estados Unidos, dependen de la disponibilidad de combustibles de bajo azufre. Las normas de emisiones europeas y japonesas distinguen entre vehículos a gasolina y diesel, permitiendo a los vehículos a diesel emitir cantidades superiores de NO<sub>x</sub> y PM y a los vehículos a gasolina emitir cantidades superiores de CO y HC. (Las normas de vehículos de pasajeros hasta el 2005 están incluidas en la tabla 2.1.).

Se espera que las normas Euro 5 comiencen a cerrar la diferencia entre diferentes tipos de vehículos, exigiendo reducciones substanciales de NO<sub>x</sub> y PM para modelos del año 2010<sup>10</sup>.

Las normas futuras para vehículos de carga a diesel en Europa, Japón y los Estados Unidos dependen de la disponibilidad de combustibles de bajo azufre. Las normas de Estados Unidos para vehículos de carga a diesel están programadas para iniciar en el 2007, poco después de que sea introducido un límite de 15 ppm de azufre en el diesel, y deberá llegarse a su pleno cumplimiento hacia el 2010.

Los combustibles con niveles de azufre de 50 ppm serán obligatorios en Europa y Japón en el 2005 (Tabla. 6.1), cuando las normas de emisión entren en efecto, en tanto que se espera que combustibles con niveles de 10 ppm se encuentren ampliamente disponibles para entonces. Las regulaciones establecen prácticamente una reducción de un orden de magnitud en las emisiones de PM para camiones de carga.

---

<sup>10</sup> <http://www.jornada.unam.mx/2001/mar01/010326/eco-aire.html>

Tabla 6.1  
Normas Internacionales de azufre  
para gasolina y diesel

País	Regulación	Fecha	Límite de Azufre (ppm)
E.U.A.	TIER II Gasolina	2006	80 (30 ppm promedio)
Unión Europea	Vehículos pesados diesel	2006	15
	98/70/EC/	2007 ó 2010	50
	incentivos en Bélgica, Dinamarca, Finlandia, Alemania. Países bajos, Suecia, y el Reino Unido para la introducción temprana de combustibles de bajo y ultra bajo azufre		10 & 50
Japón	Regulaciones Nacionales	2004	50
	Debido a incentivos, combustibles de bajo azufre ya están disponibles en Tokio		50
Hong Kong	Incentivos nacionales para diesel de bajo azufre	2000	50
	Regulación gasolina	2001	150
Australia	Regulación gasolina	2005	150
	Regulación diesel	2006	50

En México, de acuerdo a las proyecciones del parque vehicular, se estima que en el año 2010 circularán en la Zona Metropolitana del Valle de México aproximadamente 4.3 millones de vehículos particulares. De éstos, 1.7 millones (casi el 40%) serán vehículos con cuatro años de edad o menos (años-modelo 2006 y posteriores).

Dichos vehículos cumplirán con niveles de emisión similares a los establecidos en los Estados Unidos, denominados TIER II, y contarán con sistemas de diagnóstico a bordo (OBDII), además de cumplir con estándares de durabilidad de por lo menos 80 mil kilómetros.

La introducción de vehículos TIER II está contemplada entre 2004 y 2007, a una tasa de anual de 25%, así para el año 2008 se espera que el 100% de los vehículos nuevos en el país cumplan con estas características.

Para ello, con la actualización de la NOM-086, PEMEX suministrará una gasolina con un contenido de azufre de 50 partes por millón, lo cual es necesario para que la tecnología vehicular alcance y mantenga los niveles de emisión mencionados. En el año 2010 los vehículos modelo 2006 y posteriores constituirán el 40% del parque vehicular en circulación (Proaire 2002-2010).

No obstante, los límites de emisión específicos a ser aplicados en México serán establecidos en la actualización de la Norma Oficial Mexicana NOM-042-ECOL-1999, la cual será publicada por la SEMARNAT.

La **NOM-042** debe buscar definir límites para emisiones de vehículos en planta homologados con los establecidos en Estados Unidos.

Si las empresas automotrices existentes en México fabrican autos y camionetas para exportación a Estados Unidos con todos los requisitos que ese país fija, entonces existe la capacidad y la factibilidad para que en México se produzcan automóviles de bajas emisiones que deterioren en menor medida la calidad del aire.

En lo que respecta a los vehículos de bajas emisiones y ultra bajas emisiones, es necesario estimular programas voluntarios similares a los estadounidenses Low Emission Vehicles (LEV) y Ultra Low Emission Vehicles (ULEV) y homologar los estándares entre los mismos<sup>11</sup>.

### 6.8. Introducción de Combustibles de Ultra Bajo Azufre en México.

Para el óptimo desempeño de la nueva generación de vehículos, será necesario el suministro de gasolina con bajo contenido de azufre (menor a 50 ppm). Para ello, PEMEX tiene un plan en dos etapas que pudiera llevarse de ocho a 10 años y que requiere de recursos de más de 3 mil millones de dólares.

La primera etapa del plan consiste en fabricar y comercializar gasolina con 300 ppm de azufre en todo el país. Esto requiere de cerca de mil millones de dólares de inversión y pudiera completarse en cuatro o cinco años.

La segunda y última etapa exige una inversión ligeramente superior a la primera y permitiría producir gasolina de bajo azufre (30-50 ppm) en todo el país hacia el 2010 (Tabla. 6.2).

Tabla 6.2.  
Proyecto SEMARNAT-SENER para Reducción de Azufre  
en Gasolina y Diesel en México

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
PEMEX PREMIUM	300/500								
		250/300							
PEMEX Magna ZMVM						30/80			
							30/80		
PEMEX Magna RP	1000								
				500					
PEMEX Diesel								80	
		500							
				300					
								15	

Fuente: Instituto Nacional de Ecología

<sup>11</sup> Comisión de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable (CESPEDES),

Al final los combustibles de azufre ultra bajo permitirán a México, una vez más, estar a la par con las normas vehiculares de los Estados Unidos, y flexibilizará las barreras para el comercio y las industrias de la refinación de combustibles y de la fabricación de automóviles y vehículos pesados.

La programación en el tiempo es crítica: una vez que arranque el proceso para ir introduciendo los combustibles de ultra bajo azufre, deberá establecerse también el programa para la introducción acelerada de normas de emisiones vehiculares más estrictas, consecuentemente con los nuevos combustibles.

### 6.9. Inversiones y Financiamiento Requerido.

Reducir el azufre de los combustibles no es fácil y tiene sus costos. A diferencia del plomo, que es un aditivo del combustible, el azufre es un componente natural del petróleo crudo y ciertos compuestos azufrados pueden ser removidos más fácilmente y con menores costos que otros. Las mejoras que se necesitan para remover el azufre son caras.

PEMEX estima que costará más de **3 mil millones de dólares** norteamericano el modernizar las 6 refinerías de México para la producción de gasolina con un contenido de azufre ultra bajo; esto incluye la instalación de equipo de control de la contaminación al que obligan las normas de emisión para fuentes industriales (NOM-085).

De acuerdo a datos proporcionados por un estudio realizado por PEMEX refinación:

- Para cumplir con la especificación en gasolina se requiere de **1,300 MMUSD**.
- Para cumplir con la especificación en diesel se requiere de **750 MMUSD**.
- Al cumplir con la **NOM-086**, se generaría una concentración de azufre, en las seis refinerías del Sistema Nacional de Refinación. Para cumplir con la **NOM-085**, manejo y disposición del azufre en las refinerías se deben invertir del orden de **1504 MMUSD** adicionales. Además se deben realizar estudios para el uso final del azufre.

En sus análisis más recientes, PEMEX sugiere que la producción de gasolina y diesel de ultra bajo azufre, implicaría un costo incremental de **17 centavos de peso mexicano por litro**.

Sin duda se requiere una inversión de capital importante para modernizar las refinerías mexicanas. Para lograr los objetivos de esta medida es necesaria la participación de la SHCP para que autorice las inversiones necesarias para que PEMEX modernice su infraestructura y pueda producir el combustible con

las características requeridas, como en su momento cuando se llevo acabo la transición hacia la gasolina sin plomo en México.

Arreglos financieros similares son necesarios para la siguiente etapa, a fin de que México realice la transacción hacia normas vehiculares y combustibles, al nivel de las más avanzadas en el mundo<sup>12</sup>,

Sin embargo, cuando se comparan estos costos contra el potencial de los beneficios en la reducción de emisiones vehiculares empleando combustibles de bajo azufre, los estudios muestran que los beneficios rebasan con mucho a los costos.

#### **6.10. Costo-Beneficio de la Reducción de Azufre en los Combustibles en México**

El Premio Nóbel en Química, Dr. Mario Molina del Instituto Tecnológico de Massachusetts; comentó ante el Consejo Internacional para el Transporte Limpio (ICCT), que "la producción de combustibles con "cero azufre" en México es una medida costo-efectiva con la que se producirían inmediatamente mejoras significativas en el aire que respiramos y en la salud de nuestros conciudadanos. Por supuesto, que ésta tendría que ser parte de una estrategia integrada para un aire limpio."

La tecnología necesaria para reducir el azufre a niveles ultra bajos se utiliza actualmente en muchos lugares en todo el mundo. Los costos actuales son razonables y la industria de refinación continúa desarrollando catalizadores más activos y nuevos procesos para la remoción del azufre y reducir aún más los costos. Los estudios muestran que los beneficios de la reducción de azufre rebasan con mucho los costos, si bien la inversión requerida en refinación sigue siendo significativa.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos encontró que los beneficios ambientales y en la salud humana asociados a la reducción de azufre fueron diez veces más elevados que los costos (este estudio consideró normas de emisión contingentes más estrictas para combustibles de bajo azufre).

Más aún: un estudio europeo demostró que los combustibles de ultra bajo azufre reducen significativamente los costos totales, incidiendo directamente en un mayor rendimiento del combustible.

El considerable potencial para reducir emisiones de gases de efecto invernadero es un beneficio adicional a los impactos positivos sobre la salud, sobre el ambiente y otros, derivados de la reducción del azufre.

---

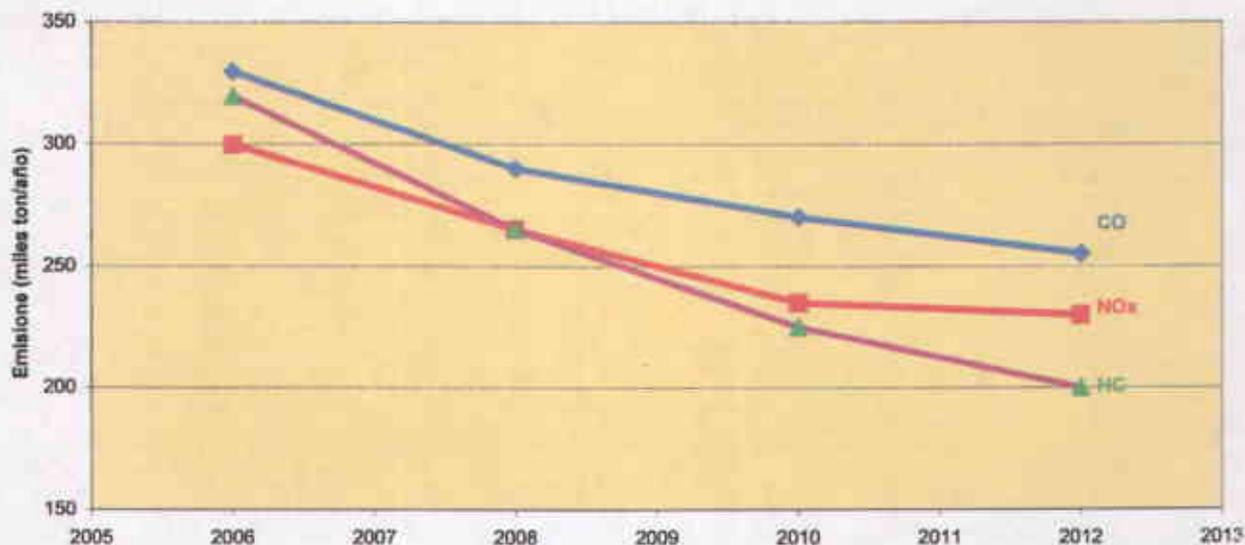
<sup>12</sup> INE: Propuesta para Limpiar el Aire en México en 10 años, Reporte del Taller sobre Contaminación del aire en México. 13 de abril 2004

Con los combustibles de bajo azufre, los filtros pueden también instalarse en muchos vehículos que ya están en circulación, y pueden reducir sus emisiones de un 80 a 95 por ciento, haciendo de ésta una de las formas de mayor costo-beneficio para limpiar el aire en el corto plazo.

### 6.10.1. Reducción de emisiones

La reducción de emisiones estimada en la ciudad de México, considerando la introducción de vehículos menos contaminantes, con respecto a la línea base de autos particulares al año 2010 será de 11,006 ton/año de NO<sub>x</sub>; 3,564 ton/año de HC; 10,482 ton/año de CO; 159 ton/año de SO<sub>2</sub> y 426 ton/año de PM10<sup>13</sup> (figs. 6.3 y 6.4)

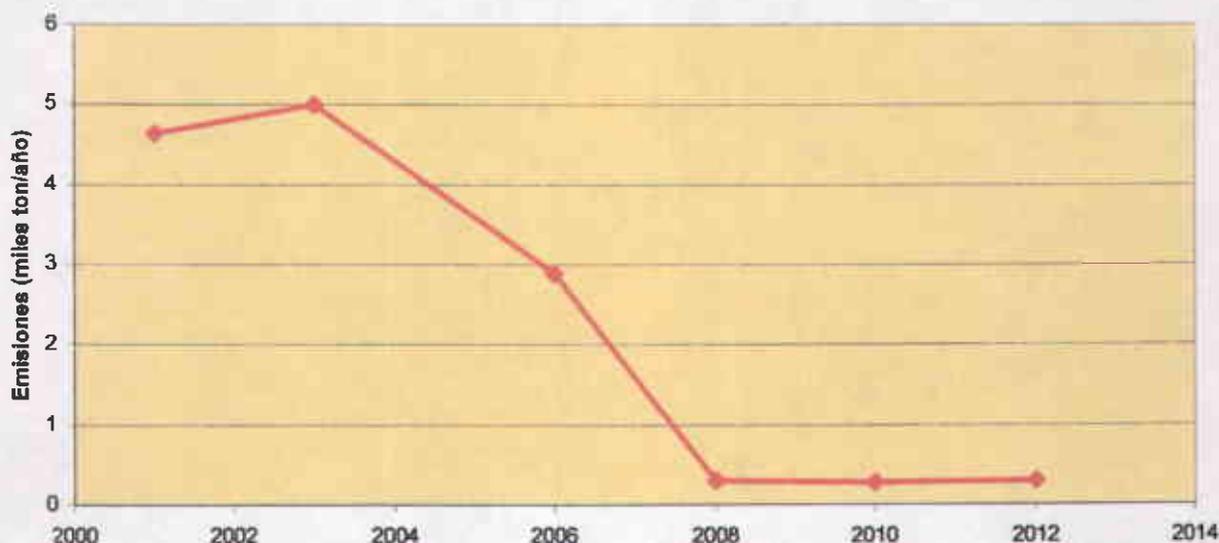
Fig. 6.3.  
Proyección de Emisiones de Autos Particulares en la ZMVM  
por la Introducción de Gasolina de Bajo Azufre



Fuente: Instituto Nacional de Ecología

<sup>13</sup> [http://yosemite.epa.gov/OAR/globalwarming.nsf/UniqueKeyLookup/SBRT5KORDN/\\$File/Mexico\\_Co-control\\_Final\\_Appendices2.pdf](http://yosemite.epa.gov/OAR/globalwarming.nsf/UniqueKeyLookup/SBRT5KORDN/$File/Mexico_Co-control_Final_Appendices2.pdf)

Fig. 6.4.  
Proyección de Emisiones de SO<sub>2</sub>  
por la Introducción de Gasolina de Bajo Azufre



Fuente: Instituto Nacional de Ecología

De acuerdo al Instituto Nacional de Ecología en la presentación " *Evaluación de la calidad del aire y normatividad en México*" presentada durante el XI Congreso de Investigación en Salud Pública, celebrada el 3 de marzo del 2005 en la Cd. de México, los beneficios obtenidos por la reducción de emisiones de HC, NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub> del 2006 al 2012, como consecuencia de la reducción del contenido de azufre en la gasolina y el diesel tan solo en la ZMVM son los siguientes:

- 400 casos de muerte/año
- 2760 casos de bronquitis crónica/año
- 81,717 días de trabajo al año

Lo que representa un ahorro de 651 millones de dólares al año.

Los beneficios a la salud al introducir un sistema de combustibles limpios y de normas para vehículos más estrictas, serían enormemente favorables, tanto para la ciudad de México como para la nación entera. Incluso con la estimación más conservadora de costos, México podría esperar una cosecha de al menos 8 mil millones de dólares en beneficios netos anuales, una vez que los vehículos y combustibles limpios estén en operación.

Existe la probabilidad de tener costos más bajos (dadas las experiencias que ya han probado ser realistas en otras partes del mundo), empujando los beneficios netos hasta 11 mil millones de dólares anuales o incluso más altos. Los beneficios son mucho más grandes para la ciudad de México, donde los altos niveles de partículas están muy relacionados con la

mortalidad prematura, junto con otros impactos crónicos a la salud y su debilitamiento.

En la ciudad de México la introducción de vehículos diesel avanzados, puede contribuir a reducir las concentraciones ambientales de partículas finas en alrededor de  $10 \mu/m^3$  con respecto a los promedios actuales (alrededor de  $35 \mu/m^3$ ), es decir, casi una reducción del 60 por ciento.

Se esperaría que este nivel de mejoramiento en la calidad del aire, resulte en aproximadamente 4 mil muertes prematuras menos cada año en la ciudad de México. Monetizando lo anterior y otros beneficios a la salud, y utilizando valores desarrollados específicamente para México esto se traduce en beneficios anuales a la salud entre 3 a 5 mil millones de dólares para la ciudad de México únicamente

A nivel nacional, los vehículos y combustibles limpios ofrecerán reducciones de emisiones mucho más significativas. Los vehículos diesel avanzados reducirán emisiones directas de partículas por 150 toneladas cada día en todo el país, de las cuales solamente 17 son emitidas en la ciudad de México. Los óxidos de azufre, ambos precursores de partículas, serán reducidos en 60 y 70 toneladas por día en todo el país. Utilizando valores de beneficio desarrollados por la EPA. **Las reducciones de emisiones nacionales representarían un beneficio anual de 10 mil millones de dólares<sup>14</sup>.**

Los vehículos avanzados y los combustibles limpios reducirán enormemente las emisiones de partículas provenientes del diesel en todo México, resultando en un gran beneficio para la salud humana a un costo razonable.

De hecho, los beneficios anuales a la salud son de aproximadamente 10 a 20 veces más altos que los costos esperados, y hasta 40 veces más altos para la altamente contaminada ciudad de México.

---

<sup>14</sup> INE: Propuesta para limpiar el aire en 10 años

## **Capítulo VII**

# **Conclusiones**

## CAPÍTULO VII

### Conclusiones

Las especificaciones de calidad para los combustibles de automotores gasolinas y diesel, son el conjunto de características que les confiere la aptitud de satisfacer las necesidades automotrices para las cuales fueron elaborados, y que les permite cumplir con la normatividad ambiental establecida en una determinada región ó país. Si alguna de las propiedades utilizadas para determinar la calidad de un combustible para automotor se encuentra fuera de especificación, definitivamente traerá como consecuencia problemas relacionados directamente con el desempeño del automóvil, así como también problemas de tipo ambiental los cuales, tendrán un impacto mayor o menor dependiendo de cuan disparados se encuentren estos valores o conjunto de valores con respecto a los previamente establecidos.

La correcta interpretación de estas características resulta de suma importancia e interés, principalmente para aquellas personas que deseen incorporarse al área de calidad de los combustibles para automotores.

En base a esta investigación, podemos afirmar que este conjunto de características esta integrado por una serie de propiedades físicas y químicas cuya especificación, valor, intervalo de valores, máximos ó mínimos, está determinado por los siguientes factores:

#### *1. Tecnología automotriz empleada.*

Motores de encendido por chispa en el caso de las gasolinas y, motores de encendido por compresión para el diesel, sistemas del combustible, sistemas de inyección, carburador, filtros y dispositivos anticontaminantes tales como el convertidor catalítico y filtros de partículas.

#### *2. Condiciones locales en las cuales será empleado el combustible.*

Factores como la altitud, temperatura, presión atmosférica y condiciones ambientales regionales, juegan un papel importante en la definición de las características de los combustibles para automotores. De esta manera se observan controles más estrictos en cuanto a las características de protección al medio ambiente y la salud, en aquellas zonas que presentan problemas de contaminación mayores.

#### *3. Epoca del año.*

Debido a que las condiciones climatológicas varían a lo largo del año, las propiedades de los combustibles también lo hacen. Las principales diferencias se presentan en el caso de las gasolinas en cuanto a los valores de volatilidad,

utilizándose valores mayores en invierno en comparación a los utilizados en verano.

#### *4. Normatividad ambiental*

Los estándares establecidos involucran no únicamente la composición de los combustibles para automotores sino también sus respectivos productos de combustión.

La composición de las gasolinas y diesel está íntimamente relacionada con los problemas de contaminación ambiental, principalmente con la contaminación del aire. Sin embargo la tecnología automotriz empleada juega un papel muy importante en este aspecto. Los productos de la combustión de estos combustibles siempre van a estar presentes, por lo que el contar con combustibles de una excelente calidad ambiental, no serviría de mucho si no se cuenta con dispositivos anticontaminantes cada vez más eficientes y sofisticados. Al mismo tiempo la tecnología automotriz ha ido evolucionando a la par de los combustibles, siendo estos en determinado momento los que han marcado la pauta del desarrollo e implementación de nuevas tecnologías. Debido a esto la calidad de los combustibles para automotores y la tecnología automotriz, están asociados de tal manera que no es posible pensar en el desarrollo de uno de estos dos elementos sin dejar a un lado al otro.

#### *5. Procesos de refinación*

El desarrollo de los combustibles está en función de los procesos de refinación empleados para su obtención. Por ejemplo, la obtención de combustibles con *cero azufre*, no sería posible sin los correspondientes procesos de desulfuración implicados.

#### *6. Desarrollo económico*

El desarrollo económico de un país es quizás el más importante de todos los factores que repercuten en la calidad de los combustibles. El desarrollo económico de un país es el que establece cuan sofisticados son los procesos de refinación utilizados, es el que permite el desarrollo de nuevas y mejores tecnologías en la industria automotriz y, en consecuencia, permite la implementación de normas más estrictas asociadas a la composición de los combustibles y el control de emisiones contaminantes, lo que a su vez desemboca en una mejor calidad del aire reflejándose en una mejor calidad de vida. El desarrollo económico es el que justifica las enormes diferencias encontradas actualmente entre los países desarrollados y los países en vías de desarrollo en cuanto a la calidad de sus respectivos combustibles.

Por lo tanto, al pensar en la calidad de un combustible, implícitamente se está contemplando al mismo tiempo la tecnología automotriz, los procesos de

refinación involucrados, la normatividad ambiental en cuestión, condiciones locales de uso, época del año y por supuesto, en el desarrollo económico de un determinado país.

El petróleo seguirá siendo la energía de transporte con la mejor relación costo-efectividad por muchas décadas más. A medida que aumenta la demanda de energía, la industria enfrenta el reto de desarrollar nuevos combustibles que se quemen liberando menor contaminación y brindando mayor rendimiento. Para lograr esto, las refinerías se están perfeccionando continuamente con nuevas tecnologías orientadas a mejorar los procesos de fabricación. Estos procesos y productos nuevos beneficiarán tanto a los consumidores como al medio ambiente.

Los combustibles de bajo azufre son la clave para reducir las emisiones vehiculares, mediante la introducción de tecnologías avanzadas de control y nuevos vehículos con diseños más eficientes. De igual forma, los retos ambientales de largo plazo y los requerimientos más estrictos que se esperan en el futuro, están impulsando la investigación científica y el desarrollo tecnológico.

Las nuevas tecnologías de fabricación de combustible y automóviles que apuntan a reducir la contaminación ambiental y aumentar el rendimiento del combustible tienen un costo alto, de modo que es probable que los precios del combustible aumenten en los próximos años.

México deberá incrementar sus esfuerzos de cooperación para rebasar la barrera de calidad en los combustibles y moverse hacia los vehículos de baja emisión. Los beneficios locales de salud y ambientales son, por sí mismos, una razón suficiente para requerir combustibles más limpios, sin embargo no son el único punto, ya que las emisiones vehiculares han adquirido una importancia significativa a nivel global. Es un hecho, por ejemplo, que los contaminantes que tradicionalmente han sido de preocupación exclusivamente local, como las PM y el ozono a nivel del suelo, pueden tener impactos importantes en el cambio climático global. La reducción de los niveles de azufre en los combustibles del sector transporte y el impulso al control de emisiones y a los vehículos con tecnologías de uso eficiente del combustible, son los primeros pasos para reducir el impacto local y global de las emisiones vehiculares.

Dadas las diferencias ambientales entre los vehículos que cumplen con las normas "Tier I" las cuales son idénticas a las establecidas en México, y sus similares "Tier II", es indispensable que en México se adopten estas normas para asegurar que los vehículos nuevos que se comercialicen en nuestro país presenten niveles de emisión hasta 4 veces más bajos a los actuales.

El mercado mexicano ilustra los retos de la transición hacia el uso universal de combustibles con "cero azufre". Mientras México no cuente únicamente con combustibles conocidos como con "cero azufre" a nivel nacional, será muy difícil que la calidad del aire en nuestras ciudades no represente riesgos inaceptables para la salud de la población.

## Bibliografía

**ASTM Manual for Rating Motor Fuels  
By Motor and Research Methods**

**Automotive fuels Reference Book  
Keith Owen, Trevor Coley.  
Second Edition  
Published by Engineers, Inc**

**Chemistry of Diesel Fuels  
Chun Song Chang S. Hsu  
Applied Energy Technology Series**

**Compendio de Toxicología Tomo I  
Rene Fabre  
Universidad Central de Venezuela  
Edic. de la BiblioTeca de Caracas**

**Construcción y Manejo de Combustibles Diesel  
Miranda  
Primera Edición**

**Destilación y Rectificación  
Dr. Ing. Emil Kirschbaum  
Aguilar, S.A. de Ediciones Madrid**

**Diccionario de Química y Productos Químicos  
HAWLEY  
Ed. Omega S.A**

**Diario Oficial de la Federación  
DOF**

**Diesel Inyección y Combustión  
Juan Miralles de Imperial  
Ed. CEAC**

**El Mecánico de Automóviles  
Cuarta Edición  
F. Aparicio Izquierdo  
Ed. Paraninfo**

**El Motor de Explosión  
E. Petit  
Editorial Gustavo Gili**

**Enciclopedia de Tecnología Química**  
Kirk Othmer  
Ed. Limusa.

**Gasolina y Diesel de Bajo Azufre: La Clave Para Disminuir Las Emisiones Contaminantes,**  
Katherine O. Blumberg, Michael P. Walsh, Charlotte Pera.  
Fundación Hewlett

**Manual de Automóviles**  
Arias Paz  
Quinta Edición  
Ed. CIE

**Manual Cambios en la gasolina III, Suplemento / actualización 2000**  
Propiedad Intelectual 1999  
Publicada por Downstream Alternatives Inc.

**Manual de Envenenamientos**  
Dr Robert H. Dreisbach  
El Manual Modemo S.A.

**Manual de la Técnica del Automóvil**  
Robert Bosch  
Ed. Reverte.

**Manual del Ingeniero Químico**  
Perry

**Manual de Toxicología Industrial**  
E.R. Plunkett, M.D.  
Ed. URMO

**Manual para Ajuste de Motores y Control de Emisiones**  
Mtchel Int.  
Corp. Cáp. 5  
Motores de Combustión Interna  
Obert.

**Motor Fuels, Performance and Testing**  
William A. Gruse.  
Reinhold Publising Corp.

**Propuesta para Limpiar el Aire en México en 10 años, Reporte del Taller sobre Contaminación del  
aire en México. 13 de abril 2004**  
Coordinador: Dr. Mario Molina  
(INE)

Química Orgánica Industrial  
Productos de Partida e Intermedios Más Importantes  
Klaus Weisseemel, Hans-Jurgen Arpe  
Ed. Reverte S.A.

Química Orgánica  
Alan. S. Wingrove.  
Harla México

Química Orgánica  
Solomons

Refino del Petróleo Tecnología y Economía  
James H. Gary

Revista Octanaje Pemex Refinación No. 2, 15, 17, 18, 19, 21, 25

Revista de la Procuraduría Federal del Consumidor julio de 2004  
Gasolinas ¿Cuál para su Auto?  
Por José Armando Aguilar

Tecnología del Automóvil  
Bohner Max  
Editorial Reverté, S.A. Pág. 200

Tecnología del Petróleo  
David P. Thornton, Jr.  
Universal Oil Products Company  
Ed. McGraw-Hill

Tratado Sobre Automóviles Tomo 1  
José Font Mezquita  
Alfaomega

### Sitios Internet

**PEMEX**  
(Petróleos Mexicanos)

[www.ref.pemex.com/files/content/SupTecCalidad.pdf](http://www.ref.pemex.com/files/content/SupTecCalidad.pdf)

[www.ref.pemex.com/index.cfm?action=statusfilecat&categoryfileid=70](http://www.ref.pemex.com/index.cfm?action=statusfilecat&categoryfileid=70)

[www.ref.pemex.com/index.cfm?action=statusfilecat&categoryfileid=71](http://www.ref.pemex.com/index.cfm?action=statusfilecat&categoryfileid=71)

[www.ref.pemex.com/index.cfm?action=statusfilecat&categoryfileid=72](http://www.ref.pemex.com/index.cfm?action=statusfilecat&categoryfileid=72)

**CESPEDES**

(Comisión de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable)

[www.cce.org.mx/cespedes/publicaciones/otras/No\\_Amb/cap\\_3.html](http://www.cce.org.mx/cespedes/publicaciones/otras/No_Amb/cap_3.html)

[www.cce.org.mx/cespedes/publicaciones/otras/No\\_Amb/cap\\_4.html](http://www.cce.org.mx/cespedes/publicaciones/otras/No_Amb/cap_4.html)

[www.cce.org.mx/cespedes/publicaciones/otras/No\\_Amb/cap\\_5.html](http://www.cce.org.mx/cespedes/publicaciones/otras/No_Amb/cap_5.html)

[www.cce.org.mx/cespedes/publicaciones/otras/No\\_Amb/cap\\_7.html](http://www.cce.org.mx/cespedes/publicaciones/otras/No_Amb/cap_7.html)

**INE**

(Instituto Nacional de Ecología)

[www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/314/aspectosrelevantes.html?id\\_pub=314](http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/314/aspectosrelevantes.html?id_pub=314)

[www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/236/cap5.html?id\\_pub=236](http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/236/cap5.html?id_pub=236)

[www.ine.gob.mx/download/1PropuestaCalidadAireMexico%2010A.pdf](http://www.ine.gob.mx/download/1PropuestaCalidadAireMexico%2010A.pdf)

[www.jornada.unam.mx/2001/mar01/010326/eco-aire.html](http://www.jornada.unam.mx/2001/mar01/010326/eco-aire.html)

**ICCT**

(International Council for Clean Transport)

[www.cleantransportcouncil.org](http://www.cleantransportcouncil.org)

**EPA**

(Environmental Protection Agency)

[yosemite.epa.gov/OAR/globalwarming.nsf/UniqueKeyLookup/SBRT5KQRDN/\\$File/Mexico\\_Co-control\\_Final\\_Appendices2.pdf](http://yosemite.epa.gov/OAR/globalwarming.nsf/UniqueKeyLookup/SBRT5KQRDN/$File/Mexico_Co-control_Final_Appendices2.pdf)

**Otros Sitios**

[www.repsolypf.com/esp/chile/bienvenidoalinfinito/manualcombustible/capitulo6.html](http://www.repsolypf.com/esp/chile/bienvenidoalinfinito/manualcombustible/capitulo6.html)

[www.cleanairnet.org/infopool\\_es/1525/article-55074.html](http://www.cleanairnet.org/infopool_es/1525/article-55074.html)

[www.pnuma.org/redes\\_ambientales\\_cd/capacitacion/Capitulo10/10\\_2.htm](http://www.pnuma.org/redes_ambientales_cd/capacitacion/Capitulo10/10_2.htm)

[www.sma.df.gob.mx/sma/Politicasy%20Calidad%20Aire%20CD%20Mexico\\_\(Claudia%20Sheinbaum\).pdf](http://www.sma.df.gob.mx/sma/Politicasy%20Calidad%20Aire%20CD%20Mexico_(Claudia%20Sheinbaum).pdf)

[www.catedraams.org/catedra/PPTCursos/Catedra\\_Curso\\_ATMOSFERA2.pdf](http://www.catedraams.org/catedra/PPTCursos/Catedra_Curso_ATMOSFERA2.pdf)

Appendix A Calculation notes on the costs and emissions reductions

[http://yosemite.epa.gov/OAR/globalwarming.nsf/UniqueKeyLookup/SBRT5KQRDN/\\$File/Mexico\\_Co-control\\_Final\\_Appendices2.pdf](http://yosemite.epa.gov/OAR/globalwarming.nsf/UniqueKeyLookup/SBRT5KQRDN/$File/Mexico_Co-control_Final_Appendices2.pdf)

[www.cleanairnet.org/infopool\\_es/1525/article-55074.html](http://www.cleanairnet.org/infopool_es/1525/article-55074.html)

[www.omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/39/html/sec\\_11.html](http://www.omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/39/html/sec_11.html)

[www.conama.cl/rm/568/article-1189.html](http://www.conama.cl/rm/568/article-1189.html)

[http://ecomundo.com.mx/imprimir/aire\\_08\\_print.htm](http://ecomundo.com.mx/imprimir/aire_08_print.htm)

# ANEXOS

## ANEXO I

### ACEITES COMBUSTIBLES

La ASTM ha dado especificaciones para seis clases de aceites combustibles (*fueloils*).

#### Número 1

Producto de destilación directa, algo más pesado que la kerosina, utilizado casi exclusivamente para uso doméstico.

#### Número 2 (*fueloil diesel*)

Es un producto de destilación directa o cracking utilizado como combustible de uso general en aplicaciones domésticas ó comerciales e quemadores de tipo atomizador.

#### Numero 4

Producto de la destilación directa ó del craqueo el cual es usado en instalaciones quemadoras comerciales o industriales que no están equipadas con dispositivos precalentadores.

Los fueloils residuales, viscosos, número 5 y 6, a menudo llamados combustibles de caldera (barcos), suelen precisar calentamiento antes de ser quemados.

Las especificaciones de la ASTM dan dos calidades del número 5, una de las cuales es más ligera, y bajo ciertas condiciones climáticas, pueden quemarse sin precalentamiento. Estos fueloils se usan en hornos y calderas de plantas generadoras de energía eléctrica, barcos, locomotoras, operaciones metalúrgicas y plantas de engría con usos industriales.

**ANEXO II**  
**Norma Oficial Mexicana NOM-042-ECOL-1999**

Que establece los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y partículas suspendidas provenientes del escape de vehículos automotores nuevos en planta, así como de hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y diesel de los mismos, con peso bruto vehicular que no exceda los 3,856 kilogramos.

**T A B L A 5.1**  
**Límites Máximos Permisibles de Emisión para vehículos que utilizan gasolina, gas natural, gas L.P.**

Tipo de vehículo	Año-modelo	HCT g/Km	HCNM(1) g/Km	CO g/Km	NOx g/Km	HCev (2) g/prueba
VP	1999-2000	0.25		2.11	0.62	2.0
	2001 y posteriores		0.156	2.11	0.25	2.0
CL1 y VU	1999-2000	0.63		8.75	1.44	2.0
	2001 y posteriores		0.156	2.11	0.25	2.0
CL2 y VU	1999-2000	0.63		8.75	1.44	2.0
	2001 y posteriores		0.20	2.74	0.44	2.0
CL3 y VU	1999-2000	0.63		8.75	1.44	2.0
	2001 y posteriores		0.20	2.74	0.44	2.0
CL4 y VU	1999-2000	0.63		8.75	1.44	2.0
	2001 y posteriores		0.24	3.11	0.68	2.0

(1) A partir del año modelo 2001 se medirán HCNM en vez de HCT

(2) Para vehículos que utilizan gas natural y gas L.P., se aceptará el certificado de origen en tanto no se cuente con las instalaciones adecuadas para medición de HCev en nuestro país.

**T A B L A 5.2**  
**Límites Máximos Permisibles de Emisión para vehículos que utilizan diesel**

Tipo de vehículo	Año-modelo	HCT g/Km	HCNM (1) g/Km	CO g/Km	NOx g/Km	PS g/prueba
VP	1999-2000	0.25		2.11	0.62	0.07
	2001 y posteriores		0.156	2.11	0.62	0.07
CL1 y VU	1999-2000	0.63		8.75	1.44	0.07
	2001 y posteriores		0.156	2.11	0.62	0.07
CL2 y VU	1999-2000	0.63		8.75	1.44	0.07
	2001 y posteriores		0.20	2.74	0.62	0.07
CL3 y VU	1999-2000	0.63		8.75	1.44	0.07
	2001 y posteriores		0.20	2.74	0.62	0.07
CL4 y VU	1999-2000	0.63		8.75	1.44	0.10
	2001 y posteriores		0.24	3.11	0.62	0.10

(1) A partir del año modelo 2001 se medirán HCNM en vez de HCT

**Definiciones:****Vehículo de pasajeros (VP)**

Automóvil, o su derivado, excepto el vehículo de uso múltiple o utilitario y remolque, diseñado para el transporte de hasta 10 personas.

**Camiones ligeros (CL1)**

Camiones ligeros (grupo uno) cuyo peso bruto vehicular es de hasta 2,722 Kg. y con peso de prueba (PP) de hasta 1,701 kg.

**Camiones ligeros (CL2)**

Camiones ligeros (grupo dos) cuyo peso bruto vehicular es de hasta 2,722 kg. y con peso de prueba (PP) mayor de 1,701 y hasta 2,608 kg.

**Camiones ligeros (CL3)**

Camiones ligeros (grupo tres) cuyo peso bruto vehicular es mayor de 2,722 y hasta 3,856 kg y con peso de prueba (PP1) de hasta 2,608 kg.

**Camiones ligeros (CL4)**

Camiones ligeros (grupo 4) cuyo peso bruto vehicular es mayor de 2,722 y hasta 3,856 kg y con peso de prueba (PP1) mayor de 2,608 y hasta 3,856 kg.

**Vehículo automotor nuevo en planta**

Automóvil o camión antes de ser enajenado por primera vez por el fabricante, distribuidor o importador.

**Vehículo de uso múltiple o utilitario (VU)**

Vehículo automotor diseñado para el transporte de personas y/o productos, con o sin chasis o con equipo especial para operar ocasionalmente fuera del camino. Para efectos de prueba se clasificarán igual que los camiones ligeros.

**Gases, los que se enumeran a continuación:**

Hidrocarburos evaporativos no quemados (HCev).

Hidrocarburos totales (HCT).

Mezcla de Hidrocarburos que excluye al metano (HCNM).

Monóxido de Carbono (CO).

**Óxidos de Nitrógeno (NOx).****Partículas suspendidas (PS)**

Son los residuos de una combustión incompleta, que se compone en su mayoría de carbón, cenizas y de fragmentos de

**ANEXO III**  
**Norma Oficial Mexicana NOM-ECOL-086-1999**

TABLA 1

NOMBRE DEL PRODUCTO		MAGNA SIN (1)	
Propiedad	Unidad	Método	Especificación
Peso específico a 20/4 °C	-	ASTM-D-287-87 ó 1298-90	Informar
Destilación : el 10% destila a el 50% destila a el 90% destila a Temperatura final de ebullición Residuo de la destilación	°C °C °C °C % volumen	ASTM-D-86-90	65 máximo 77 a 118 190 máximo 221 máximo 2 máximo
Presión de vapor Reid	kPa (lb/pulg <sup>2</sup> )	ASTM-D-323-90	45 a 66 (6.5-9.5)
Azufre	% peso	ASTM-D-1266-91 ó 2622-87	0.10 máximo
Prueba Doctor o azufre mercaptánico	% peso	ASTM-D-235-87 ASTM-D-3227-89	negativa 0.002 máximo
Corrosión al Cu, 3 horas a 50 °C	-	ASTM-D-130-88	estándar no.1 máximo
Goma preformada	kg/m <sup>3</sup>	ASTM-D-381-86	0.040 máximo
Período de inducción	minuto	ASTM-D-525-88	300 mínimo
Contenido de plomo	kg/m <sup>3</sup> (g/gal)	ASTM-D-3237-90, 3116-89, 3229-88 ó 3348-91	0.0026 (0.010) máximo
Número de octano, (RON)	-	ASTM-D-2699-88	informar
Número de octano, (MON)	-	ASTM-D-2700-88	82 mínimo
Índice de octano (R+M)/2	-	ASTM-D-2699-88 ó 2700-88	87 mínimo
Contenido de fósforo	kg/m <sup>3</sup> (g/gal)	ASTM-D-3231-89	0.001 (0.004) máximo
Aromáticos	% volumen	ASTM-D-1319-89	informar
Olefinas	% volumen	ASTM-D-1319-89	informar
Benceno	% volumen	Cromatográfico	4.9 máximo
Color	-	Visual	verde
Aditivo detergente dispersante	kg/Ton	IMP-RP-QA-613*	0.280 mínimo

## OBSERVACIONES:

(1) A partir de 1998, estas especificaciones regirán en todo el país excepto en las Zonas Metropolitanas de las ciudades de México, Guadalajara y Monterrey y en la ZFN.

\* El aditivo detergente dispersante utilizado en la actualidad es el IMP-DG-15.

TABLA 3

NOMBRE DEL PRODUCTO		MAGNA SIN-ZONAS METROPOLITANAS (1)	
Propiedad	Unidad	Método	Especificación
Peso específico a 20/4 °C	-	ASTM-D-287-87 ó 1298-90	informar
Destilación (2): el 10% destila a el 50% destila a el 90% destila a Temperatura final de ebullición Residuo de la destilación	°C °C °C °C % volumen	ASTM-D-86-90	65 máximo 77 a 118 190 máximo 221 máximo 2 máximo
Presión de vapor Reid	kPa (lb/pulg <sup>2</sup> )	ASTM-D-323-90	45 a 59 (6.5-8.5) ZMCM
			45 a 68 (6.5-9.5) Guadalajara y Monterrey
Azufre	% peso	ASTM-D-1266-91 ó 2622-87	0.10 máximo
Prueba Doctor o Azufre Mercaptánico	% peso	ASTM-D-235-87 STM-D-3227-89	negativa 0.002 máximo
Corrosión al Cu, 3 horas a 50 °C	-	ASTM-D-130-88	estándar no. 1 máximo
Goma preformada	kg/m <sup>3</sup>	ASTM-D-381-86	0.040 máximo
Período de inducción	minuto	ASTM-D-525-88	300 mínimo
Contenido de plomo	kg/m <sup>3</sup> (g/gal)	ASTM-D-3237-90, 3116-89, 3229-88 ó 3348-91	0.0026 (0.010) máximo
Número de octano (RON)	-	ASTM-D-2699-88	informar
Número de octano (MON)	-	ASTM-D-2700-88	82 mínimo
Índice de octano (R+M)/2	-	ASTM-D-2699-88 ó 2700-88	87 mínimo
Contenido de fósforo	kg/m <sup>3</sup> (g/gal)	ASTM-D-3231-89	0.001 (0.004) máximo
Aromáticos	% volumen	ASTM-D-1319-89	30 máximo
	% volumen	ASTM-D-1319-89	12.5 máximo a partir de 1998
Benceno	% volumen	Cromatográfico	2 máximo
Oxígeno	% peso	Cromatografía de gases o Infrarrojo	1 mínimo 2 máximo
Color	-	Visual	verde claro
Aditivo detergente dispersante	kg/m <sup>3</sup>	IMP-RP-QA-613	0.28 mínimo

## OBSERVACIONES:

(1) Sólo obliga en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) hasta 1997. A partir de 1998, estas especificaciones regirán en las Zonas Metropolitanas de las ciudades de México, Guadalajara y Monterrey.

\* El aditivo detergente dispersante utilizado en la actualidad es el IMP-DG-15.

TABLA 6

NOMBRE DEL PRODUCTO		DIESEL SIN (1)	
Propiedad	Unidad	Método	Especificación
Peso específico a 20/4°C	-	ASTM-D-1298-90	informar
Destilación (2) temperatura inicial de ebullición	°C	ASTM-D-86-90	informar
el 10 % destila a	°C		275 máximo
el 50 % destila a	°C		informar
el 90 % destila a	°C		345 máximo
temperatura final de bullición	°C		informar
Temperatura de inflamación	°C	ASTM-D-93-90	45 mínimo
Temperatura de escurrimiento	°C	ASTM-D-97-87	(3)
Temperatura de nublamiento	°C	ASTM-D-2500-91	informar
Número de cetano o	-	ASTM-D-613-86	48 mínimo
Índice de cetano		ASTM-D-976-81	48 mínimo
Azufre total	% peso	UOP-357-80 ó ASTM-D-4294-90	0.05 máximo
Corrosión al Cu, 3 horas a 50°C	-	ASTM-D-130-88	estándar no. 1 máximo
Carbón Ramsbottom (en 10% del residuo)	% peso	ASTM-D-524-88	0.25 máximo
Agua y sedimento	% volumen	ASTM-D-1796-90	0.05 máximo
Viscosidad cinemática a 40°C	mm <sup>2</sup> /s	ASTM-D-445-88	1.9 a 4.1
Cenizas	% peso	ASTM-D-482-91	0.01 máximo
Color	-	ASTM-D-1500-91	2.5 máximo
Aromáticos	% volumen	ASTM-D-1319-89, 2549-91 ó 5186-91	30 máximo

## OBSERVACIONES:

(1) Obligatoria en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) a partir de 1994 y para las Zonas Metropolitanas de las ciudades de Guadalajara y Monterrey a partir de 1995.