



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

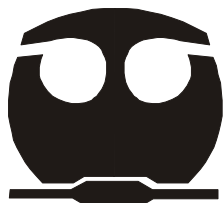
FACULTAD DE QUIMICA

**EL CONTENIDO DE AZUFRE COMO ESPECIFICACIÓN
DE CALIDAD EN LOS COMBUSTIBLES LÍQUIDOS
PARA AUTOMOTORES USADOS EN LA ZMVM**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERA QUIMICA

PRESENTA:
MARICELA ZAPATA ARROYO



MÉXICO, D.F.

2006



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. JAIME MEDINA OROPEZA
Vocal	Prof. BALDOMERO PEREZ GABRIEL
Secretario	Prof. MARIA EUGENIA LUGO LOPEZ
1er. Suplente	Prof. ERNESTO RIVERA GARCIA
2do. Suplente ARGOMEDO	Prof. GRACIELA GUADALUPE DEL CARMEN DIAZ

Sitio en donde se desarrolló el tema:

Facultad de Química UNAM

Asesor: MARIA EUGENIA LUGO LOPEZ

Sustentante: ZAPATA ARROYO MARICELA

Agradecimientos

A mi familia porque siempre me han apoyado.

A mi mamá porque sin ti no lo hubiera logrado, por estar siempre conmigo en todo momento, te quiero mucho.

A mi papá, a mi hermanito, a mi tía Martha, a mi tío Antonio, a mi Abuelita porque han sido un apoyo muy importante para mi.

A mis amigos:

Jenny, Lalito, Cintia, Anaid, Bety, Clau, David y Fer.

Gracias por haberme brindado su apoyo y su amistad en todo momento, por haber estado siempre conmigo, es algo que nunca olvidare.

A mi asesora:

Muchas gracias por su apoyo, por su disposición así como por sus consejos. Realmente la aprecio y la valoro muchísimo, muchas gracias por todo lo que hizo por mi.

En el IMP:

Ing. Gonzalo Hernández Tapia

Químico. Carlos Neri

Gracias por su apoyo, su tiempo y su dedicación brindada.

Lista de Tablas

Tabla	Descripción	Pág.
1.1	Materias primas y productos características del reformado catalítico.	15
3.1.	Especificaciones PEMEX Premium Zona Metropolitana del Valle de México. ...	32
3.2.	Especificaciones PEMEX Magna Zona Metropolitana del Valle de México.	33
3.3	Especificaciones PEMEX Diesel Zona Metropolitana del Valle de México. ..	34
5.1	Superficie de la ZMVM por delegación y municipio.	45
5.2	Tasa de morbilidad de los principales casos de enfermedades, 2000 a 2004.	47
5.3	Efectos fisiológicos de acuerdo a concentraciones de Monóxido de Carbono. ...	59
5.4	Inventario de emisiones de la ZMVM 1998.	60
5.5	Flota Vehicular circulante en la ZMVM por tipo de combustible.	62
6.1	Límites Máximos Permisibles de Emisión para vehículos que utilizan gasolina, gas natural, gas L.P.	67
6.2	Límites Máximos Permisibles de Emisión para vehículos que utilizan diesel.	68
6.3	Especificaciones Generales de las Gasolinas.	70
6.4	Especificaciones del Diesel.	71
6.5	VEHÍCULOS NUEVOS Normas de México y Estados Unidos para regular emisiones de escape de automóviles de pasajeros (gramos/km.)	75
6.6	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)	75
6.7	Consumo de combustibles en la ZMVM.	76
6.8	Proyección del consumo de combustibles para la ZMVM, 2001-2010.	76

Lista de Figuras

Figura	Descripción	Pág.
1.1	Obtención de la Gasolina. Representación de los procesos de refinación asociados a la producción de gasolinas.	9
1.2	Columna de Destilación Fraccionada para la separación de los componentes del petróleo crudo.	11
2.1	Compuestos de azufre presentes en el petróleo crudo.	27
4.1	Proceso de Excitación y Emisión del Átomo.	37
4.2	Analizador de Fluorescencia por Energía Dispersiva de Rayos X.	38
4.3	Longitud de Onda de los Rayos X.	40
5.1	Mapa de la Zona Metropolitana del Valle de México.	44
5.2.	Ciclo del Azufre en el Medio Ambiente.	54
6.1	Reducción de Azufre en Combustibles Mexicanos.	73

Lista de Graficas

Gráfica	Descripción	Pág.
5.1	Flota vehicular porcentual de la de la ZMVM por tipo de combustible.	63

Indice

	Pág.
Agradecimientos	I
Indice	II
Lista de Tablas	VI
Lista de Figuras	VII
Lista de Graficas	VII
Justificación	1
Introducción	2
Objetivos	4
Capítulo I	
Antecedentes	5
1.1. Antecedentes de la Gasolina	5
1.1.1. Definiciones	5
1.1.2. Composición	6
1.1.2.1. Hidrocarburos saturados ó parafinas normales	6
1.1.2.2. Isoparafinas	6
1.1.2.3. Olefinas ó Alquenos	6
1.1.2.4. Cíclicos	7
1.1.2.5. Aromáticos	7
1.1.3. Elaboración de la gasolina	8
1.1.3.1. Destilación	10
1.1.3.2. Desintegración Catalítica Fluida (FCC)	12
1.1.3.3. Hidroisomerizado	13
1.1.3.4. Alquilación	13
1.1.3.5. Isomerización	14
1.1.3.6. Reformación Catalítica	15
1.1.4. Procesos de Purificación	17
1.1.4.1. Hidrotratamiento	17
1.1.4.2. Hidrodesulfuración	18
1.1.5. Aditivos	19
1.1.5.1. Metil ter-butil éter (MTBE)	19
1.1.5.2. Ter-amil metil éter (TAME)	20
1.2. Antecedentes del Diesel	21
1.2.1. Definición	21
1.2.2. Composición	21
1.2.3. Elaboración	21
1.2.4. Usos	22
1.2.5. Procesos de Purificación	22
1.2.6. Catalizadores	23
1.2.7. Aditivos	23

Capítulo II	
Descripción e Interpretación del Azufre como parámetro en Gasolinas y Diesel	24
2.1. Azufre	24
2.1.1. Identificación del Azufre	25
2.1.2. Factores Sanitarios	25
2.1.3. Riesgos para la Salud	25
2.1.4. Primeros Auxilios	26
2.1.5. Estado Natural y Obtención	26
2.1.6. Tipos básicos de Petróleos Crudos	27
2.1.7. Compuestos Sulfurados	27
2.1.8. Efectos provocados en Gasolinas por su contenido de Azufre	28
2.1.8.1. Factores Técnicos	28
2.1.8.2. Factores Ambientales	28
2.1.9. Efectos provocados en el Diesel por su contenido de Azufre	29
2.1.9.1. Factores Técnicos	29
2.1.9.2. Factores Ambientales	29

Capítulo III	
Especificaciones de Calidad	30
3.1. Tipos de Combustibles	31
3.2. Especificaciones	31
3.2.1. PEMEX Premium	32
3.2.1.1. Especificaciones PEMEX Premium Zona Metropolitana del Valle de México	32
3.2.2. PEMEX Magna	33
3.2.2.1. Especificaciones PEMEX Magna Zona Metropolitana del Valle de México	33
3.2.3. PEMEX Diesel	34
3.2.3.1. Especificaciones PEMEX Diesel	34

Capítulo IV

Método para determinar la cantidad de Azufre en combustibles líquidos para automotores por Espectroscopía de Fluorescencia con Dispersión de Rayos X

4.1. Uso del Método	35
4.2. Resumen del Método	35
4.3. Principio de la Espectroscopía Fluorescente de Rayos X	36
4.4. Fundamentos del Método	36
4.5. Información Técnica	38
4.6. Ventajas de los Analizadores de Espectroscopía de Fluorescencia de Rayos X	40
4.7. Naturaleza de los Rayos X	40
4.8. Propiedades de los Rayos X	41
4.9. Unidades de Medida de los Rayos X	41

Capítulo V

Azufre en el Medio Ambiente y su participación como Contaminante Atmosférico

5.1. Medio Ambiente	43
5.2. Contaminación Atmosférica	43
5.2.1. Regiones de la Atmósfera	43
5.3. Zona Metropolitana del Valle de México	44
5.3.1. Situación Geográfica	44
5.3.2. Situación Demográfica	45
5.3.3. Situación Fisiográfica	45
5.3.4. Contaminación y Clima	46
5.3.5. Salud	47
5.4. Indicadores de la Calidad del Aire	48
5.4.1. Partículas Suspendidas, PM _{2.5} y PM ₁₀	48
5.4.2. Ozono O ₃	49
5.4.3. Óxidos de Nitrógeno, NO _x	50
5.4.3.1. Óxido Nítrico, NO	50
5.4.3.2. Dióxido de Nitrógeno, NO ₂	50
5.4.4. Hidrocarburos, HC	51
5.4.5. Monóxido de Carbono, CO	51
5.4.6. Azufre y sus Compuestos	52
5.4.6.1. Dióxido de Azufre, SO ₂	52
5.4.6.2. Trióxido de Azufre, SO ₃	52
5.4.6.3. Ciclo del Azufre	53
5.4.7. Lluvia Ácida	55
5.4.7.1. Origen de la Lluvia Ácida	55
5.4.7.2. Daños originados por la Lluvia Ácida	56
5.5. Efectos en la Salud por Contaminación	57
5.5.1. Visión General	57

5.5.2. Impacto a la Salud por los Contaminantes Atmosféricos en la ZMVM	57
5.5.2.1. Efectos en la salud debidos a las partículas menores a 10 y 2.5 micrómetros	57
5.5.2.2. Efectos a la salud debidos al Ozono	58
5.5.2.3. Efectos en la salud debidos a los Óxidos de Nitrógeno	58
5.5.2.4. Efectos en la salud debidos a los Hidrocarburos	58
5.5.2.5. Efectos en la salud debidos al SO ₂	58
5.5.2.6. Efectos en la salud debidos al Monóxido de Carbono	59
5.5.3. Inventario de Emisiones	60
5.5.3.1. Inventario de Emisiones de la ZMVM 1998	60
5.5.3.2. Proyección del Inventario de Emisiones de la ZMVM al año 2010	62
5.5.3.3. Fuentes Móviles	62
Capítulo VI	
Normatividad	64
6.1. Estrategias para la Reducción de Emisiones	65
6.2. Legislación Ambiental en Materia de Aire	66
6.3. Normatividad Mexicana	67
6.3.1. Norma Oficial Mexicana NOM-042-ECOL-1999	67
6.3.2. Norma Oficial Mexicana NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005	69
6.4. Normatividad en Estados Unidos TIER 1, TIER 2 y vehículos de bajas emisiones	73
6.5. Evaluación Comparativa de la Normatividad entre México y Estados Unidos	74
6.6. Consumo de Combustibles y Proyecciones al 2010	76
6.7. Financiamiento Requerido	77
Capítulo VII	
Discusión	78
Capítulo VIII	
Conclusiones	81
Bibliografía	83
Anexos	
Anexo I Inventario de emisiones desagregado en toneladas por año, 1998	
Anexo II Inventario de emisiones porcentual desagregado, 1998	

Justificación

En los últimos años, la tendencia en todo el mundo de producir gasolinas con menor contenido de azufre muestra un incremento importante, ya que se buscan combustibles de mayor calidad.

Para satisfacer las actuales demandas de calidad de las gasolinas requeridas por las industrias automotrices y por la legislación ambiental, los combustibles líquidos para automotores deben cumplir con toda una serie de especificaciones.

Para definir la calidad de las gasolinas, se deben conocer los efectos que producen los combustibles fuera de especificación así como las normas que rigen a dichos productos, los problemas relacionados con el medio ambiente y la salud originados por la presencia de azufre en combustibles líquidos para automotores.

Dada la importancia del contenido de azufre tanto en gasolina como en el diesel, es importante que se conozcan las tendencias futuras con respecto al contenido del mismo en estos combustibles.

Introducción

La gasolina por ser el combustible para vehículos automotores más efectivo hasta el momento, es utilizada prácticamente en todo el mundo. Este combustible es el más demandado entre los productos derivados de la refinación del petróleo y comenzó a formar parte de nuestra vida desde los años veinte, época en que se inició la producción en serie de los vehículos automotores.

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 dióxido de azufre (SO_2) o como partículas de sulfatos en el ambiente.

El alto contenido de azufre en los combustibles líquidos para automotores representa un serio problema para la humanidad, ya que provoca daños a la salud y al ambiente, debido a esto; en los próximos años la gasolina y el diesel que se comercializarán en nuestro país deberán contener una cantidad mucho menor a la que ahora se especifica en Norma Oficial Mexicana NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005 para la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).

La calidad asociada a los combustibles líquidos para automotores, es la que permite determinar si las gasolinas y diesel empleados, cumplen con los requisitos necesarios para garantizar su desempeño y funcionalidad. Así también permite saber, si se está utilizando un producto seguro y los daños que provocará a la salud humana y al medio ambiente.

Si al evaluar la calidad de acuerdo al contenido de azufre, 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/o ecológico.

Para tener una visión más amplia de las gasolinas y el diesel es necesario, en primera instancia conocer los procesos utilizados para obtener la gasolina, así como también los aditivos empleados para mejorar su calidad. Los aditivos son productos químicos que se añaden a la gasolina, con la finalidad de mantener y/o mejorar su calidad.

El azufre presente en la gasolina, trae como consecuencia problemas en el medio ambiente ya que reacciona químicamente con el oxígeno del aire durante la combustión para formar óxidos de azufre (SO_x). La presencia de estos compuestos de azufre en la atmósfera trae como consecuencia la formación de la llamada "lluvia ácida" provocando daños como: la corrosión de metales, deterioro de estructuras arquitectónicas, severos daños al medio ambiente, y sobre todo, graves daños a la salud de los seres humanos.

El azufre presente en los combustibles líquidos para automotores disminuye la eficiencia y durabilidad de un convertidor catalítico. El convertidor catalítico es un accesorio que se ha incorporado al automóvil para abatir la concentración de algunos contaminantes y acelera el proceso de conversión de gases nocivos a gases inofensivos.

Los beneficios presentes y futuros de los combustibles de bajo azufre son sustanciales y cada vez más necesarios en un mundo con un número creciente de vehículos, y representan una nueva herramienta para crear un aire más limpio.

Estos combustibles han ido evolucionando y lo seguirán haciendo con el objetivo principal de disminuir de manera considerable el impacto ambiental, provocado por las emisiones de los automotores.

El conocer la situación actual de México, y la tendencia de las especificaciones para los combustibles líquidos automotores, permitirá contar con elementos para la toma de decisiones pertinentes con el fin de cumplir con los requerimientos de calidad demandados por la industria automotriz y la, cada vez más estricta legislación ambiental.

Objetivos

- Comprender la importancia y significado del contenido de azufre en combustibles líquidos en la ZMVM como un parámetro importante para determinar su calidad y los efectos sobre la salud.
- Ilustrar la problemática originada por el uso de combustibles líquidos fuera de especificación de calidad.
- Reconocer las consecuencias del uso de gasolinas y diesel, con un alto contenido de azufre en el medio ambiente y en la salud, la concentración de este contaminante atmosférico no debe rebasar el límite máximo de $341\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 24 horas una vez al año y $79\mu\text{g}/\text{m}^3$ en una media aritmética anual, para protección a la salud de la población susceptible.

Capítulo I

Antecedentes

1.1. Antecedentes de la Gasolina

En el inicio de la era del transporte automotriz, la gasolina usada para el transporte era una mezcla relativamente simple de fracciones de petróleo derivadas de crudos sometidos a destilación directa y pirólisis. La calidad de la gasolina no era un factor determinante para lanzar al mercado el producto, pues el problema en aquel tiempo era únicamente producir cantidades suficientes para satisfacer la demanda.

Hoy en día los productos deben cumplir con una serie de especificaciones que aseguren su calidad. Esto se logra con una serie de transformaciones químicas que ocurren en los diversos procesos que constituyen una refinería, en donde se modifica la estructura de los hidrocarburos.

Actualmente, la gasolina es una mezcla compleja de combinaciones derivadas de la desintegración catalítica, alquilación, reformación catalítica, isomerizaciones, mas pequeñas cantidades de aditivos destinadas a mejorar aún más la eficiencia total.

El presente capítulo, tiene la finalidad de proporcionar la información que servirá como fundamento para la posterior descripción del azufre como parámetro para determinar la calidad de los combustibles para automotores.

1.1.1. Definiciones

- ❖ La gasolina es un producto derivado de la refinación del petróleo crudo, compuesta principalmente por cadenas de hidrocarburos de cinco a nueve átomos de carbono, con un intervalo de ebullición comprendido entre los 100 y 400 °F. Opera en un motor de combustión interna con encendido de chispa.¹
- ❖ La gasolina es una mezcla de hidrocarburos volátiles útiles para operar en un motor de combustión interna con encendido de chispa, y que tiene un número de octano no inferior a 60.²
- ❖ La gasolina es un combustible utilizado en el motor de Otto o de encendido de chispa. Es el producto más importante del petróleo y consiste en una mezcla de hidrocarburos que destila entre la temperatura ambiente y los 220°C. Uno de sus requisitos funcionales es que se queme rápidamente con uniformidad y de manera total en la cámara de combustión.³
- ❖ Líquido inflamable y volátil obtenido del petróleo, con un margen de puntos de ebullición aproximadamente de 29°C a 216°C, utilizado como combustible en los motores de combustión interna con encendido por chispa.⁴

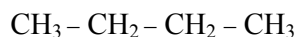
1.1.2. Composición

La gasolina está compuesta por una mezcla de hidrocarburos parafínicos, isoparafínicos, olefínicos, nafténicos y aromáticos, principalmente contiene moléculas con cadenas de cinco a nueve carbonos, obtenidos de diversos procesos de refinación. Adicionalmente, pasa por procesos para mejoramiento de sus características, así como de eliminación de compuestos contaminantes como el azufre.

1.1.2.1. Hidrocarburos saturados ó parafinas normales

La familia más sencilla de este grupo es la de los alcanos que se caracteriza por la fórmula general (C_nH_{2n+2}). Por su estructura los alcanos se denominan también hidrocarburos saturados. En este caso se trata de cadenas continuas de carbonos.⁵

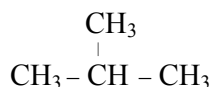
A manera de ilustración se presenta al butano, alcano de cuatro carbonos lineales.



Butano

1.1.2.2. Isoparafinas

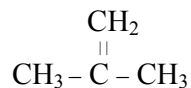
Las cadenas de hidrocarburos son ramificadas como se muestra a manera de ejemplo para el isobutano.⁵



Isobutano

1.1.2.3. Olefinas ó Alquenos

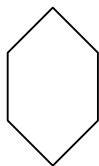
Contienen ligaduras de carbono dobles. Las olefinas no existen de forma natural en el petróleo crudo pero se forman durante el procesado. Son muy similares en la estructura a las parafinas pero como mínimo dos de los átomos de carbono están unidos por un doble enlace.⁵



Isobuteno

1.1.2.4. Cíclicos

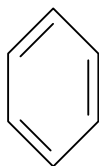
Los hidrocarburos de este tipo, también llamados naftenos, son ciclos de carbonos como se puede observar en el caso del ciclohexano.⁵



Ciclohexano

1.1.2.5. Aromáticos

La serie aromática de hidrocarburos es muy diferente de las parafinas y naftenos. Los hidrocarburos aromáticos contienen un anillo bencénico.⁵



Benceno

1.1.3. Elaboración de la gasolina

Como puede observarse en la Fig. 1.1, actualmente los procesos de refinación se pueden agrupar de la siguiente manera:²⁶

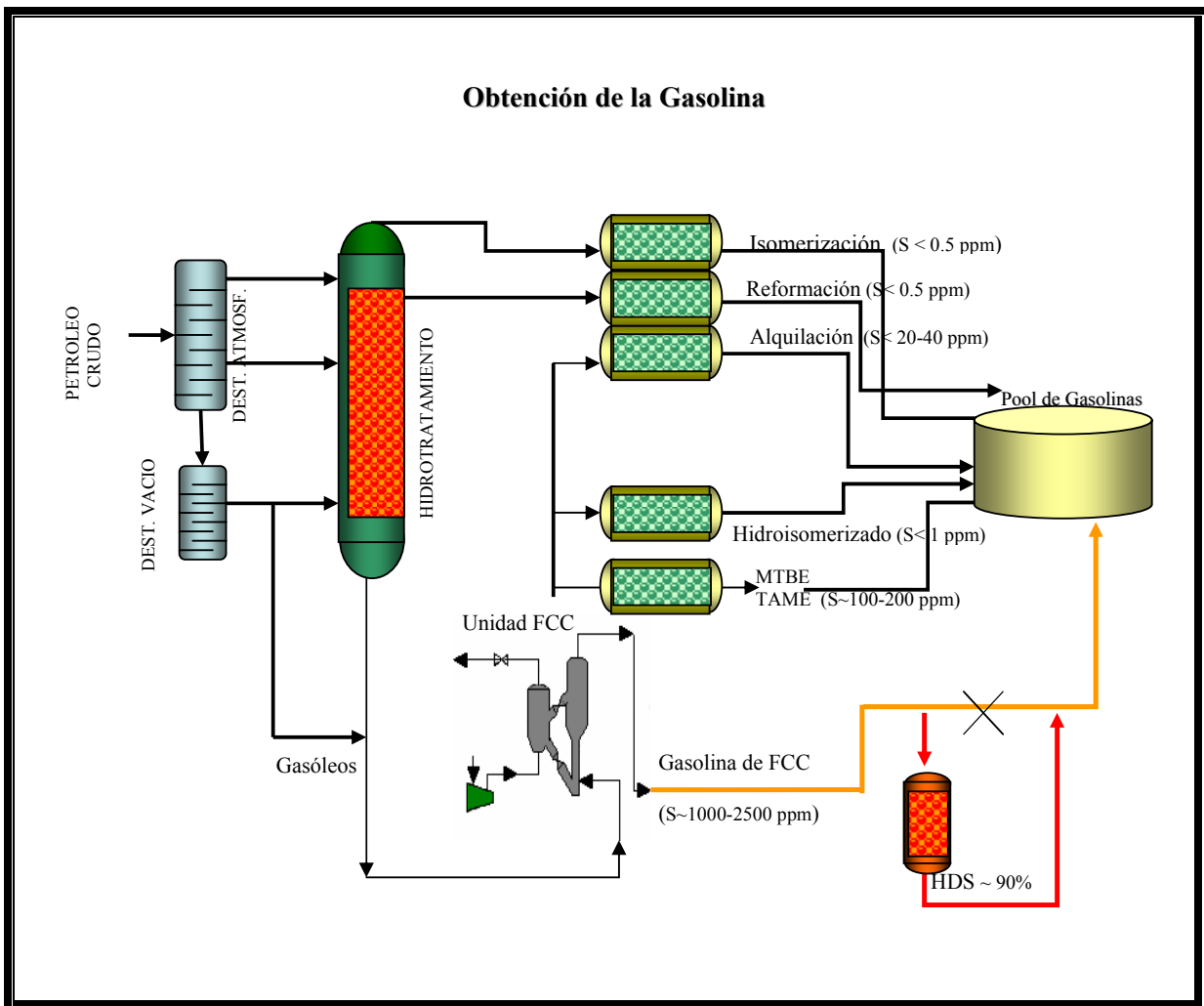
- **Destilación:** Proceso en el cual los componentes del petróleo crudo pueden ser separados, de acuerdo a sus temperaturas de ebullición. Este proceso consiste en dos etapas: la primera a presión atmosférica y la segunda a presión a vacío.

En la destilación a presión atmosférica, se logra una separación del petróleo crudo en diversas fracciones, debido a la volatilidad de los componentes.

En la destilación a vacío, se trabaja a presiones inferiores a la atmosférica para evitar la descomposición térmica de los hidrocarburos más pesados del petróleo crudo.

- **Proceso de Desintegración (Desintegración Catalítica Fluida):** Proceso por el cual los componentes pesados del petróleo crudo se descomponen en hidrocarburos más pequeños.
- **Proceso de Combinación (Alquilación):** Proceso que consiste en unir moléculas pequeñas en otras más grandes, por medio de un catalizador de naturaleza ácida fuerte, como lo es el ácido sulfúrico.
- **Proceso de Reagrupación (Reformación e Isomerización):** Proceso que tiene como finalidad reagrupar las estructuras de las moléculas mejorando sus propiedades, formando productos de alto índice de octano. El octanaje en la gasolina es la medida de su calidad antidetonante, es decir, su habilidad para quemarse sin causar detonación en los motores de los automóviles. La detonación es el ruido en el motor, que se da como resultado de la combustión descontrolada. Usando una gasolina de alto número de octano, se asegura la combustión sin causar detonación en los motores de los automóviles.
- **Proceso de Purificación (Hidrosulfuración e Hidrotratamiento):** Tiene como objetivo principal reducir los compuestos de azufre, así como también purificar, limpiar y mejorar la calidad de las materias primas.
- **Procesos para mejorar las características de las gasolinas:** Proceso por el cual se adicionan compuestos oxigenados a la gasolina. La materia prima para producir estos compuestos se obtiene del proceso de Desintegración Catalítica Fluida (FCC), las olefinas C4 se hacen reaccionar con el metanol y se obtiene el Metil ter-butil éter, las olefinas C5 se hacen reaccionar con el metanol para producir Ter-amil metil éter. La adición de estos compuestos a la gasolina aumenta su octanaje.

Fig. 1.1
Obtención de la Gasolina.
Representación de los procesos de refinación asociados a la producción de gasolinas.



1.1.3.1. Destilación

El petróleo crudo contiene millones de hidrocarburos, sus componentes se pueden clasificar de acuerdo con el intervalo de sus puntos de ebullición que van desde los 30°C para productos de cabeza, como son los gases combustibles y una gasolina ligera, hasta los 400°C para un producto de residuo.

Para separar el petróleo crudo en diferentes fracciones uno de los procesos más utilizados es el uso de columnas de crudo quienes son las unidades de mayor tamaño en la refinería; llamadas Columnas de Destilación Fraccionada.

El petróleo crudo se calienta a una temperatura en la que se evapora parcialmente y después se introduce a una columna de destilación. El proceso de separación se lleva a cabo por medio de la destilación primaria a condiciones de presión atmosférica, la temperatura de la parte inferior de la columna se limita a temperaturas entre 370 y 400°C para evitar la descomposición térmica.

La unidad destiladora esta equipada con numerosos platos entre los cuales los vapores de hidrocarburos pueden ascender, conforme ascienden por los platos los vapores se hacen más ligeros (de menor peso molecular y más volátil) y el líquido que fluye hacia abajo se hace progresivamente más pesado (de mayor peso molecular y menos volátil).⁷

El primer material destilado a partir del petróleo crudo, es la fracción de gasolina seguida por la nafta y finalmente el queroseno.

La nafta, que es la fracción extraída en la parte superior de la columna de destilación, se usa principalmente en motores de gasolina y es procesada para mejorar el índice de octano por medio de una reformación catalítica. El producto destilado medio incluye al diesel, el queroseno y ciertos disolventes. Las fracciones de las partes inferiores, pueden usarse como aceite combustible, pero generalmente se destilan al vacío para aumentar el rendimiento de aceite destilado de alto valor.⁶

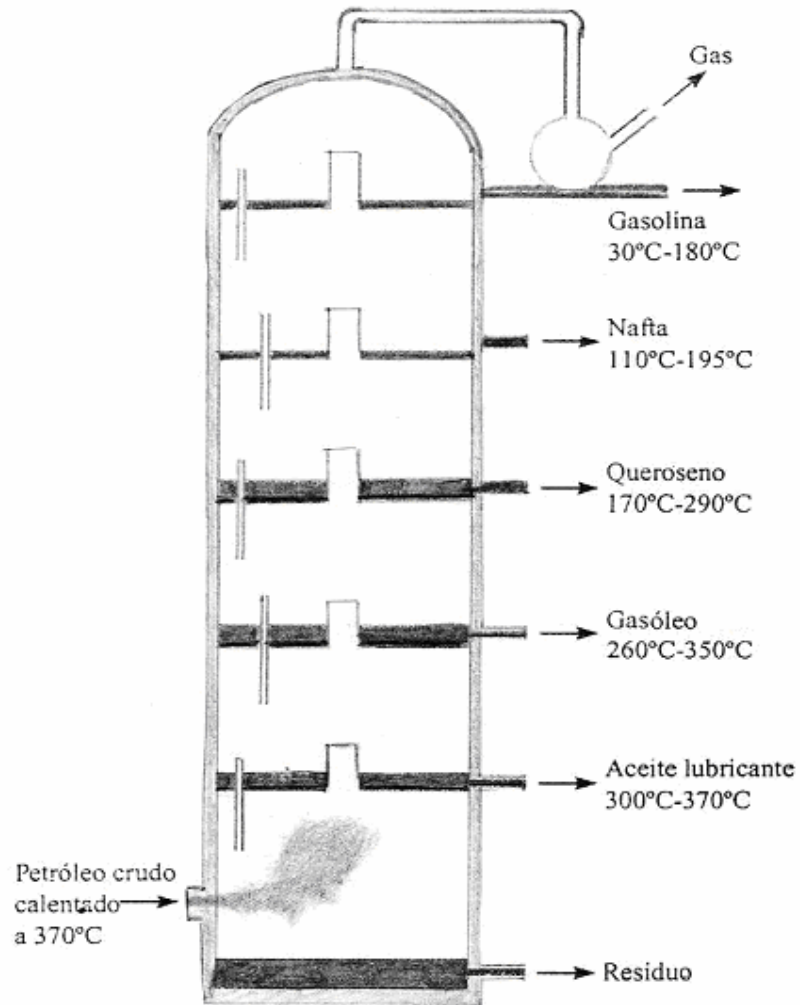
El contenido de azufre en las distintas fracciones del petróleo crudo aumenta con el punto de ebullición, así la fracción de combustible diesel contiene porcentajes superiores de azufre que la gasolina.

La columna de vacío se emplea para separar la porción más pesada del petróleo crudo en fracciones, ya que las altas temperaturas necesarias para vaporizar el crudo de cabeza a la presión atmosférica darían lugar al craqueo térmico y por consiguiente la pérdida y decoloración del producto, así como también ensuciamiento del equipo debido a la formación de coque.⁷

En la columna de vacío se obtiene el gasóleo pesado.⁸

En la Fig. 1.2 se puede observar el proceso de destilación para la separación de los componentes del petróleo crudo.⁹

Fig. 1.2
Columna de Destilación Fraccionada para la separación
de los componentes del petróleo crudo.



1.1.3.2. Desintegración Catalítica Fluida (FCC)

Este es un proceso de conversión de hidrocarburos pesados presentes en los gasóleos, que permite producir gasolina y en consecuencia aumentar el rendimiento de este combustible en las refinerías, disminuyendo la producción de residuales.

El proceso de Desintegración Catalítica Fluida (por sus siglas en inglés Fluid Catalytic Cracking, FCC), se alimenta de una corriente de gasóleos de vacío mezclados con gasóleo pesado. A una temperatura de 515°C se da el rompimiento de las moléculas de hidrocarburo.²⁶

El proceso FCC se basa en la descomposición o rompimiento de moléculas de alto peso molecular; esta reacción se promueve por un catalizador sólido con base en zeolitas pulverizadas, que se incorpora a los hidrocarburos de carga en un reactor de tipo tubular con flujo ascendente.

En el proceso se producen además de gasolina, productos más ligeros como gas seco (metano y etano) y fracciones de 3 a 5 átomos de carbono, de carácter olefínico, que se utilizan como materia prima en la producción de éteres y gasolina alquilada en procesos subsecuentes de la refinería.

En el proceso, se rompen los hidrocarburos de cadena larga que componen el gasóleo pesado, generándose gasolina que contiene 30% de aromáticos y de 20 a 30% de olefinas, además de compuestos más ligeros.⁵

Los catalizadores permiten aumentar la velocidad de la reacción y además hacen que las moléculas se rompan de cierta manera, los pedazos se unen y forman un determinado tipo de hidrocarburos.

Las reacciones principales en la desintegración catalítica son las siguientes:⁷

Parafina \longrightarrow Parafina + Olefina

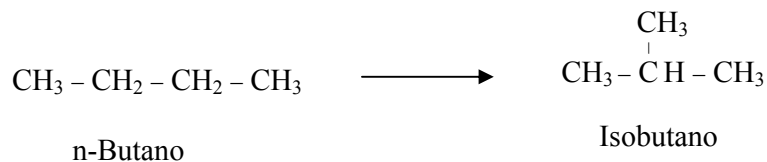
Alquil nafteno \longrightarrow Nafteno + Olefina

Alquil aromático \longrightarrow Aromático + Olefina

1.1.3.3. Hidroisomerizado

Para mejorar la calidad del producto, se utiliza un proceso en el que las parafinas normales se convierten en isoparafinas. Este proceso está basado en el uso de hidrógeno.

Con la conversión de parafinas normales a hidrocarburos ramificados, se obtiene un mayor octanaje.



1.1.3.4. Alquilación

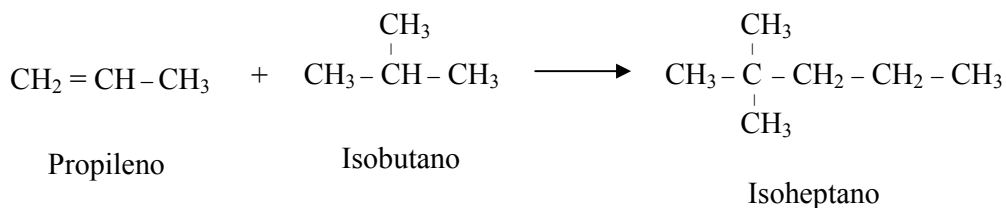
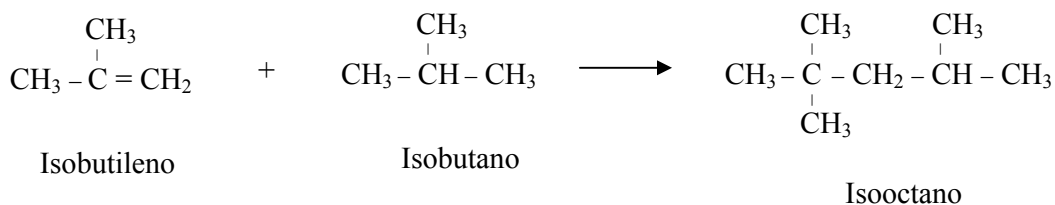
La demanda de carburantes con alto número de octano para aviones durante la Segunda Guerra Mundial, fué un estimulante para el desarrollo del proceso de alquilación para producir gasolinas isoparafínicas de alto número de octano.⁷

La alquilación consiste en la combinación química de isobutano ya sea con propileno o butileno, para hacer crecer la cadena de hidrocarburos y formar una mezcla de parafinas muy ramificadas (isoparafinas) con alto índice de octano y un mayor peso molecular.⁸

La alquilación es un proceso catalítico que requiere de un catalizador de naturaleza ácida fuerte, y se utilizan para este propósito ya sea ácido fluorhídrico o ácido sulfúrico.

El proceso de alquilación con ácido sulfúrico opera entre 4 y 15°C y a una presión ligeramente superior a la atmosférica.⁶

Las principales reacciones que tienen lugar en la alquilación son la combinación de las olefinas con las isoparafinas, como se muestra a continuación:⁷



1.1.3.5. Isomerización

La isomerización, puede definirse como el rearrreglo de la configuración estructural de una molécula sin cambiar su peso molecular.

Los isómeros son moléculas que tienen el mismo tipo y cantidad de átomos, pero con diferente estructura en su conformación. En el caso particular de las parafinas, que son hidrocarburos constituidos por cadenas de átomos de carbono asociados a hidrógeno, se tienen para una misma fórmula general ($C_nH_{(2n+2)}$) una gran variedad de estructuras; cuando la cadena de átomos de carbono es lineal, el compuesto se denomina parafina normal, y si la cadena es ramificada, el compuesto es una isoparafina.

En el grupo de parafinas que forman parte de las gasolinas, las isoparafinas tienen número de octano superior a las parafinas normales, de tal manera que para mejorar la calidad del producto se utiliza un proceso en el que las parafinas normales se convierten en isoparafinas a través de reacciones de isomerización.

Los catalizadores utilizados están constituidos por metales como el platino, paladio y níquel soportados en alúmina activada con zeolitas.²⁵

Las condiciones de operación características en este proceso son:⁷

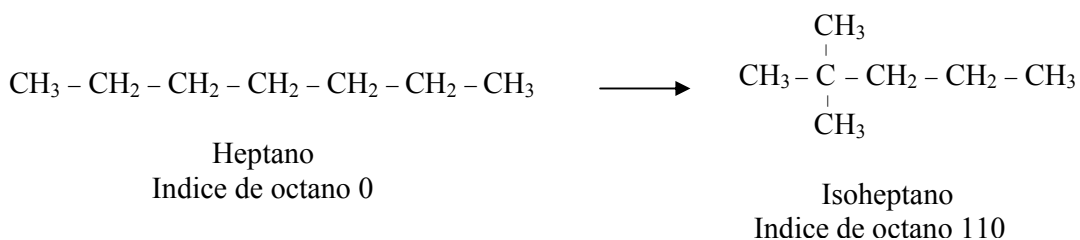
Temperatura 250 - 350°F

Presión 250 - 400 psig

Los procesos de isomerización, se utilizan en la industria del petróleo para cambiar la configuración estructural de las parafinas C4 (n-butano) a isobutano.

Las parafinas C5 y C6 se convierten por isomerización en estructuras más ramificadas del mismo peso molecular a fin de mejorar sus índices antidetonantes.⁸

Por ejemplo, con el heptano normal, que tiene siete átomos de carbono formando una cadena lineal, su índice de octano es de cero. Pero al isomerizarlo se hace altamente ramificado y se obtiene el isoheptano, que tiene índice de octano de 110.¹⁰



Modificación de los hidrocarburos para elevar octanajes.

1.1.3.6. Reformación Catalítica

El proceso de reformación tiene por objetivo, el reordenamiento de la estructura molecular de ciertas cadenas de hidrocarburos, particularmente de las naftas con características antidetonantes deficientes. En este proceso es necesario elevar la temperatura hasta 480°C.²⁶

Los cortes de nafta que se obtienen por destilación directa del petróleo crudo presentan un número de octano muy bajo. Es necesario entonces modificar la estructura química de los compuestos que integran las naftas, y para ello se utiliza el proceso de reformación en el que a condiciones de presión moderada y alta temperatura, se promueven reacciones que conducen a la generación de compuestos de mayor octano como son los aromáticos y las isoparafinas.

Prácticamente toda la nafta introducida a las unidades de reformación catalítica es hidrotratada para eliminar sustancias distintas de hidrocarburos, que afectarían negativamente la estabilidad de los catalizadores de la reformación. Algunas de las sustancias eliminadas son azufre, nitrógeno, oxígeno y compuestos orgánicos de arsénico y paladio.⁸

Todos los catalizadores de reformado de uso general hoy en día contienen platino (Pt), soportados sobre una base de sílice o de alúmino-sílice. En muchos casos el renio (Re) se combina con el platino (Pt), para formar un catalizador más estable.⁷

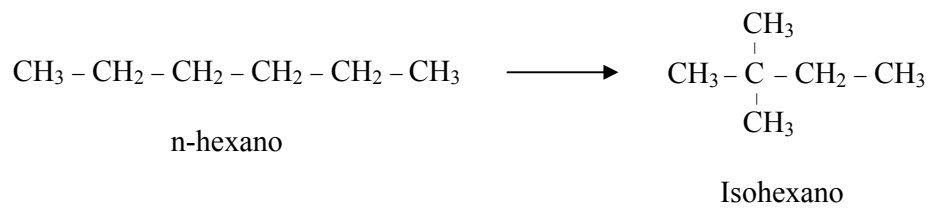
Las materias primas características de los reformadores catalíticos se componen de cuatro grupos de hidrocarburos principales⁷, y se presentan en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1
Materias primas y productos características del reformado catalítico

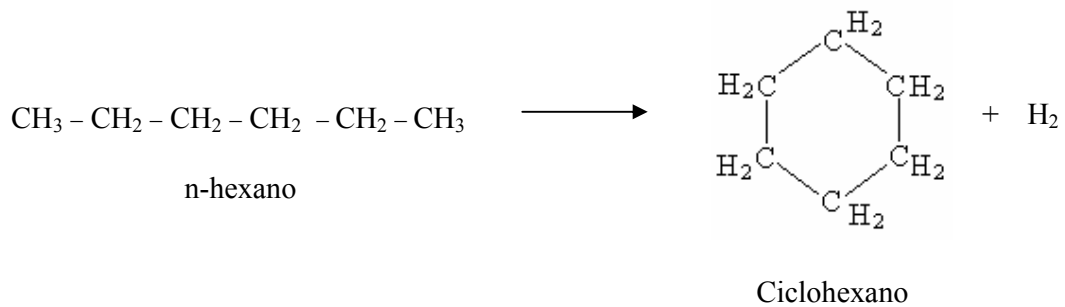
Componente	% Vol.	
	Alimento	Producto
Parafinas	45-55	30-50
Olefinas	0-2	0
Naftenos	30-40	5-10
Aromáticos	5-10	45-60

Las reacciones típicas que se suceden en el proceso de reformación catalítica, se muestran a continuación:⁵

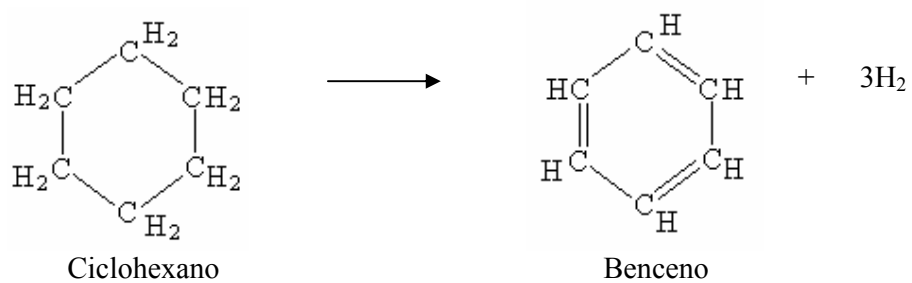
Isomerización: de Parafinas a Isoparafinas



Formación de estructuras cíclicas: de Parafinas a Naftenos



Deshidrogenación: de Naftenos a Aromáticos



1.1.4. Procesos de Purificación

El tratamiento con hidrógeno es un proceso para eliminar los elementos inaceptables en las materias primas o en los productos haciéndolos reaccionar con hidrógeno.⁷

Los procesos de Purificación se pueden clasificar en:

- Hidrotratamiento.
- Hidrodesulfuración.

1.1.4.1. Hidrotratamiento

Se le denomina hidrotratamiento por estar basado en el uso de hidrógeno que reacciona con los compuestos de azufre presentes en los hidrocarburos para formar ácido sulfhídrico.

El hidrotratamiento tiene numerosas aplicaciones en las refinerías, donde su principal función es purificar, limpiar y mejorar la calidad de las materias primas.⁸

Los elementos eliminados mediante tratamiento con hidrógeno incluyen al azufre, el nitrógeno y las trazas de metales, entre otros.

Este proceso se aplica a un amplio sector de materias primas que abarca desde la nafta hasta el crudo reducido.⁷

Los intervalos característicos de las condiciones de operación son las siguientes:⁷

Temperatura	600 - 800°F
Presión	100 - 3,000 psig

La conversión se realiza en un reactor químico con catalizador sólido constituido por alúmina impregnada con molibdeno (Mo), níquel (Ni) y cobalto (Co).

Las fracciones de bajo punto de ebullición, como las naftas, tienen bajo contenido de azufre.

En los objetivos del hidrotatamiento se incluyen:⁸

- Pretratamiento de nafta para unidades de reformación catalítica.
- Desulfuración de combustibles destilados.
- Mejoramiento de la calidad de combustibles.
- Pretratamiento de materia prima para desintegración catalítica por eliminación de metales, azufre y nitrógeno.
- Mejoramiento de color, olor y estabilidad en almacenamiento de diversos combustibles.

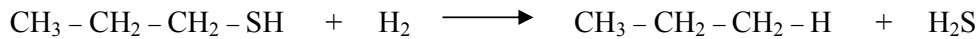
1.1.4.2. Hidrodesulfuración (HDS)

Cuando el proceso que se emplea es específicamente para la eliminación del azufre, se denomina hidrodesulfuración (HDS).⁷

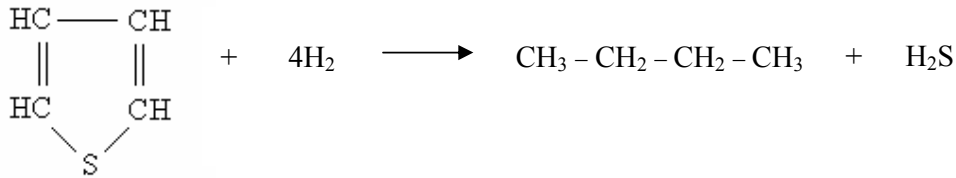
La hidrodesulfuración, es un proceso catalítico por medio del cual una carga de alimentación de hidrocarburo e hidrógeno pasa por el lecho de un catalizador a temperaturas y presiones elevadas (730°F y 196 psia).

Las principales reacciones que se llevan a cabo en este proceso son las siguientes:⁷

Mercaptanos:



Tiofenos:



Aumentando la temperatura y la presión parcial del hidrógeno, aumenta la eliminación de azufre.

Los catalizadores para la hidrodesulfuración consisten en metales apoyados en una base de alúmina. El cobalto y molibdeno son los dos metales más utilizados como catalizadores.

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

Las fracciones de alto punto de ebullición, como los residuos de destilación al vacío, tienen alto contenido de azufre.

La eliminación de compuestos de azufre se lleva a cabo en las refinerías por las siguientes razones:⁸

- Hacen disminuir la calidad de algunos productos refinados.
- Contaminan la atmósfera en forma de óxidos de azufre cuando se les quema.
- Causan corrosión en el equipo de procesamiento de la refinería.
- Envenenan los catalizadores empleados en algunos procesos de refinación.

1.1.5. Aditivos

Los aditivos son productos químicos que se añaden a la gasolina, con la finalidad de mantener y/o mejorar su calidad.

Uno de ellos, el tetraetilo de plomo, se había venido utilizando para aumentar la calidad de combustión de la gasolina, sin embargo, el plomo es un metal muy tóxico, y la descarga constante de las emisiones de los automóviles a la atmósfera se ha convertido en un serio problema ambiental.⁹

Con el propósito de reducir las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos no quemados de los vehículos con motor a gasolina, se agregan a este combustible componentes que contienen oxígeno en su molécula, como es el caso de los éteres.²⁶

Los éteres se obtienen en las refinerías a partir del metanol, producido en los complejos petroquímicos, y de las olefinas ligeras producidas en los procesos de desintegración catalítica FCC.

Estos componentes se dosifican en la gasolina para obtener un contenido de oxígeno de 1 a 2% en peso y, en virtud de su alto número de octano, contribuyen al buen desempeño de este combustible en los motores. Los componentes oxigenados utilizados en la formulación de gasolinas son el MTBE (Metil ter-butil éter) y en menor grado el TAME (Ter-amil metil éter).²⁶

Para reducir la detonación, las gasolinas contienen una mayor proporción de hidrocarburos de cadena ramificada como el MTBE y el TAME. Estos productos impiden que la gasolina "explote" dentro de los cilindros del motor con demasiada rapidez.⁹

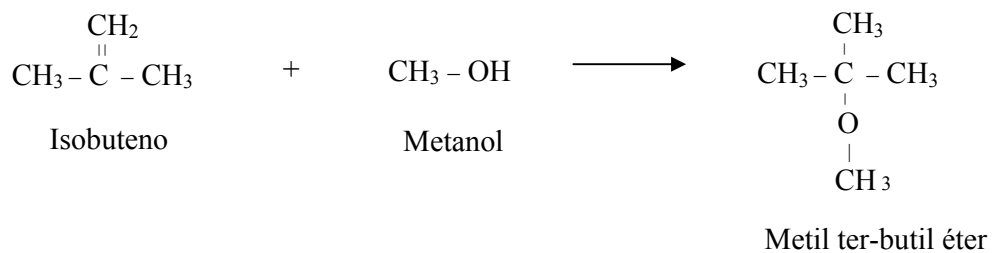
1.1.5.1. Metil ter-butil éter (MTBE)

El MTBE se agrega a la gasolina, para aumentar el octanaje², mejorar la calidad del aire reforzando la combustión y reduciendo emisiones de monóxido de carbono.

El MTBE empleado en altas concentraciones puede aumentar el octano hasta en tres números.

La síntesis del éter se realiza en las refinerías, mezclando el isobuteno con el metanol.⁵

La reacción que se lleva a cabo es la siguiente:

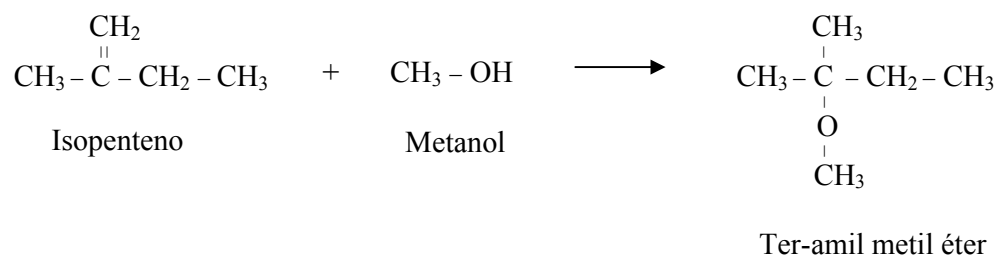


1.1.5.2. Ter-amil metil éter (TAME)

A raíz de la eliminación del plomo como incrementador de octano en las gasolinas, se tuvo la necesidad de buscar otros compuestos que cumplieran tal función y fue así como llegaron a formar parte de las gasolinas los compuestos oxigenados llamados TAME.

Las olefinas C5 se hacen reaccionar con metanol, produciéndose así el Ter-amil metil éter conocido más comúnmente como TAME.²⁶

La reacción que se lleva a cabo es la siguiente:



1.2. Antecedentes del Diesel

Después de la Primera Guerra se propagó la utilización del diesel, debido a la escasez de gasolinas en Alemania y Europa en su conjunto. Así se crearon plantas motrices capaces de impulsar automotores, en especial de gran tamaño. En general, en los motores diesel, este combustible es inyectado directamente en el cilindro y quemado en la cámara de combustión.

Para el diesel el contenido de azufre es un parámetro importante, ya que con la presencia de altas concentraciones se manifiesta un desgaste de la máquina, principalmente en las paredes de la camisa del cilindro, en los asientos de las válvulas y en los anillos de compresión, lubricación y arrastre. A menor contenido de este elemento, el combustible es más limpio y menos contaminante.

1.2.1. Definición

El diesel es una mezcla compleja de hidrocarburos de 12 a 20 átomos de carbono compuesto principalmente de parafinas y aromáticos. Obtenido de la destilación de petróleo entre los 200 y 380°C. Opera en los motores diesel de encendido por compresión.¹¹

1.2.2. Composición

El diesel está constituido principalmente por cadenas de hidrocarburos de tipo alifático, así como por cadenas de hidrocarburos de tipo aromático.²

1.2.3. Elaboración

A diferencia de la gasolina, los procesos de refinación para obtener el combustible diesel son solamente una porción alta de destilados provenientes de la destilación atmosférica con cantidades menores de fracciones obtenidas por desintegración catalítica.⁶

El primer proceso al que se somete el petróleo crudo en la refinería, es la destilación para separarlo en diferentes fracciones.

Dentro de las Columnas de Destilación Fraccionada, los líquidos y los vapores se separan en fracciones de acuerdo a su peso molecular y temperatura de ebullición. Las fracciones más ligeras se vaporizan y suben hasta la parte superior de la columna de destilación donde se condensan. Los líquidos medianamente pesados, como la querosina y la fracción diesel, se quedan en la parte media. Los líquidos más pesados y los gasóleos ligeros primarios, se separan más abajo, mientras que los más pesados en el fondo.

Las gasolinas contienen fracciones que ebullen aproximadamente a los 220°C mientras que en el caso del diesel sus fracciones tienen un límite de 380°C. Este último contiene moléculas de entre 12 y 20 átomos de carbono, mientras que los componentes de la gasolina se ubican en el orden de 5 a 9 átomos de carbono.

El combustible diesel, también se manufactura, en muchos casos a partir de aceite cíclico ligero, el cual es producto del proceso de desintegración catalítica fluida.

En un tiempo, la manufactura de diesel involucró utilizar lo que quedaba después de remover productos valiosos del petróleo. Hoy en día el proceso de fabricación del diesel es muy complejo ya que comprende escoger y mezclar diferentes fracciones de petróleo para cumplir con especificaciones precisas.²⁷

1.2.4. Usos

El combustible diesel tiene aplicaciones muy diversas entre las que se pueden citar:¹¹

- Camiones de servicio ligero y pesado.
- Autobuses de servicio urbano y de pasajeros.
- Locomotoras.
- Propulsión de motores de embarcaciones.
- En maquinaria agrícola, industrial y de la industria de la construcción (trascabos, grúas, tractores, aplanadoras, entre otros).

En general, en cualquier actividad en donde se demande una máquina de potencia eficiente. Esto se debe a que es la máquina de combustión interna que más aprovecha la energía, así como la de mayor durabilidad y confiabilidad comparada con otras de su tipo.

1.2.5. Procesos de Purificación

Actualmente, el proceso más usado para el mejoramiento de la calidad del diesel en lo relativo a su contenido de azufre es el hidrotratamiento.

El hidrotratamiento, juegan un papel importante en la industria de la refinación del petróleo crudo, ya que permite eliminar compuestos no deseables como el azufre, el nitrógeno y los hidrocarburos aromáticos presentes en las diferentes corrientes empleadas en la formulación de productos como el diesel. Así de esta manera, se logra la obtención de combustibles limpios o bien de cargas a procesos posteriores evitando el envenenamiento de los catalizadores usados.

En este proceso se reduce el contenido de azufre y se eleva a niveles satisfactorios la calidad, a fin de obtener combustibles más limpios.

Los combustibles diesel se desulfuran para reducir la contaminación por óxido de azufre y así mejorar la estabilidad.⁸

1.2.6. Catalizadores

Los catalizadores están compuestos por dos partes: el soporte y los metales activos, los primeros son materiales cuya base son las alúminas.

Los metales, son utilizados para hidrotratar las corrientes usadas en la formulación del diesel, estos son Molibdeno, Cobalto o Níquel.

Actualmente, se busca incrementar la cantidad de metal base hasta niveles que van del 12 al 16% para el Molibdeno y el 4 a 6% para el Cobalto, éste último usado para eliminar azufre; mientras que el Níquel favorece la reducción del nitrógeno y presenta una eliminación moderada de azufre.³²

1.2.7. Aditivos

Los aditivos agregados al diesel han favorecido la prevención del desgaste de los componentes del motor, en el mejoramiento de sus propiedades de fluidez a baja temperatura en regiones con condiciones climatológicas adversas. Todo esto da como resultado final una operación eficiente de la máquina, y causa un mínimo impacto al medio ambiente.

Entre los aditivos empleados en los combustibles diesel se encuentran:

- Los que mejoran el índice de cetano, principalmente los nitratos de alquilo, y se usan para aumentar la calidad de ignición del combustible diesel. Influye en la facilidad de encendido y en la suavidad de marcha.
- Los aditivos detergentes, principalmente aditivos poliméricos, tienen la capacidad de mantener las toberas de inyección de combustible limpias e incrementar notablemente el tiempo de vida del filtro de combustible.⁸
- Aditivos depresores del punto de fluidez, en el cual varias sustancias poliméricas tienen la capacidad de reducir los puntos de fluidez, causando una mejora sustancial en el flujo a través de los sistemas de distribución.

Capítulo II

Descripción e Interpretación del Azufre como parámetro en Gasolinas y Diesel

En el presente capítulo se presenta la descripción de algunos de los compuestos de azufre que se encuentran presentes en el petróleo crudo.

Se hace mención del método analítico llamado por sus siglas en inglés American Society for Testing and Materials (ASTM) empleado para evaluar el azufre presente en estos combustibles.

Al mismo tiempo se presenta la descripción de los problemas ocasionados cuando los valores establecidos para el azufre se encuentran fuera del rango establecido.

Cualquier propiedad cuyo valor se encuentre fuera del rango o valor establecido, será interpretada en función de los efectos provocados por dicha variación, como una propiedad indeseada en el combustible.

De esta manera, todo parámetro que se encuentre dentro del rango de especificaciones, se interpretará como una propiedad adecuada en el combustible.

2.1. Azufre

El azufre (S), es un elemento no metálico, número atómico 16, del grupo VI-A de la tabla periódica, su peso atómico es 32.06.²

La calidad de muchos productos del petróleo crudo, esta relacionada con la acumulación del azufre presente.

El azufre contenido en un combustible, se reporta en % en peso o en ppm. El método de prueba que se utiliza para medir la cantidad de azufre presente, es el de **Espectroscopía de Fluorescencia con Dispersión de Rayos X (ASTM D4294)**.

2.1.1. Identificación del Azufre ²⁸

Estado físico: sólido

Color: amarillo claro

Olor: débil olor característico

El azufre puro es inodoro, pero niveles trazas de impurezas pueden causar un olor a huevo podrido.

Arde con llama de color azul desprendiendo dióxido de azufre.

Es insoluble en agua pero se disuelve en disulfuro de carbono.

Valencias: +2, +4 y +6.

Punto de fusión: 113 - 119°C

Temperatura de ignición: 235°C

Punto de inflamación: 160°C

Densidad a 20°C: 1.96 - 2.07 g/cm³

Insoluble en agua

En el punto normal de ebullición (444.60°C) el azufre gaseoso presenta un color amarillo naranja. Cuando la temperatura aumenta, el color se torna rojo profundo y después se aclara, aproximadamente a 650°C y adquiere un color amarillo paja.

Es un elemento activo que se combina con la mayor parte de los elementos químicos conocidos. Sus funciones se limitan principalmente a la producción de compuestos de azufre. Sin embargo, grandes cantidades de azufre elemental se utilizan en la vulcanización del caucho, en atomizadores con azufre para combatir parásitos de las plantas, en la manufactura de fertilizantes artificiales, en ciertos tipos de cementos y aislantes eléctricos, en algunos ungüentos y medicinas, en la manufactura de pólvora y fósforos, etc.

2.1.2. Factores Sanitarios ⁶

El azufre elemental sólido no es tóxico y puede ingerirse sin daño.

El principal riesgo cuando se maneja azufre líquido incluye su punto de ignición relativamente bajo.

2.1.3. Riesgos para la Salud ²⁹

El azufre se puede encontrar frecuentemente en la naturaleza en forma de sulfuros. Los compuestos del azufre a menudo son altamente tóxicos. En general las sustancias sulfurosas pueden tener los siguientes efectos en la salud humana:

- El azufre puede afectar al inhalarlo y al pasar a través de la piel.
- El contacto puede producir graves irritaciones y quemaduras en la piel y los ojos, con la posibilidad de dañar al ojo.
- Respirar azufre puede irritar la nariz, la garganta y los pulmones.
- Puede causar una alergia parecida al asma. La exposición posterior puede causar ataques asmáticos, con la falta de aire, respiración con silbido, tos.
- La exposición alta y repetida puede causar salpullido en la piel.

- Puede producir efectos neurológicos y cambios comportamentales.
- Puede producir alteración de la circulación sanguínea.
- Puede provocar daños cardiacos.
- Puede provocar desordenes estomacales y gastrointestinales.
- Puede originar daños en las funciones del hígado y los riñones.
- Puede producir efectos en la audición.
- Puede alterar el metabolismo hormonal.
- Puede causar efectos dermatológicos.
- Puede producir irritación de vías respiratorias, bronquitis, asfixia, embolia pulmonar.
- Puede provocar ronquera y presión en el pecho.
- Puede provocar asfixia y embolia pulmonar.
- Puede causar dolores de cabeza.

2.1.4. Primeros Auxilios ²⁸

- Tras inhalación: Aire fresco.
- Tras contacto con la piel: Aclarar con abundante agua. Eliminar ropa contaminada.
- Tras contacto con los ojos: Aclarar con abundante agua, mantenido abiertos los párpados. En caso necesario, llamar al oftalmólogo.
- Tras ingestión. Beber abundante agua. En caso de malestar, consultar al médico.

2.1.5. Estado Natural y Obtención

El Azufre ocupa el lugar 16 en abundancia entre los elementos químicos de la corteza terrestre, está distribuido en la naturaleza ya sea como azufre libre o combinado y constituye casi el 0.052% en peso de la corteza terrestre.⁶

Existen depósitos de azufre libre o nativo, en sitios volcánicos. Igualmente existen depósitos subterráneos muy importantes. Son relativamente abundantes los sulfuros metálicos, tales como la pirita (FeS_2), pirita cúprica o calcopirita (CuFeS_2), sulfuro de plomo o galena (PbS), la esfalerita (ZnS), la calcopirita (CuFeS_2), el cinabrio (HgS), la estibina (Sb_2S_3).

Como elemento se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza, presente en H_2S y SO_2 , en numerosos metales de sulfuros y sulfatos tales como la anhidrita (CaSO_4), la baritina (BaSO_4), la celestina (SrSO_4), y el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), etc.

El azufre se extrae de los depósitos subterráneos mediante el proceso Frasch, que consiste en la inyección de agua sobrecalentada para fundir el azufre, este se extrae inyectando aire a presión. En seguida el azufre es bombeado a depósitos de madera donde se solidifica en bloques, el azufre obtenido es de una pureza de hasta 99.5% debido a que las impurezas quedan en el yacimiento.⁹

2.1.6. Tipos básicos de Petróleos Crudos

El azufre se encuentra en todos los petróleos crudos en concentraciones que oscilan desde trazas hasta el 8.0%, la mayoría tiene concentraciones entre los límites 0.5 al 1.5%.⁶

De acuerdo al contenido de azufre, los crudos de petróleo se pueden clasificar de la siguiente manera:⁸

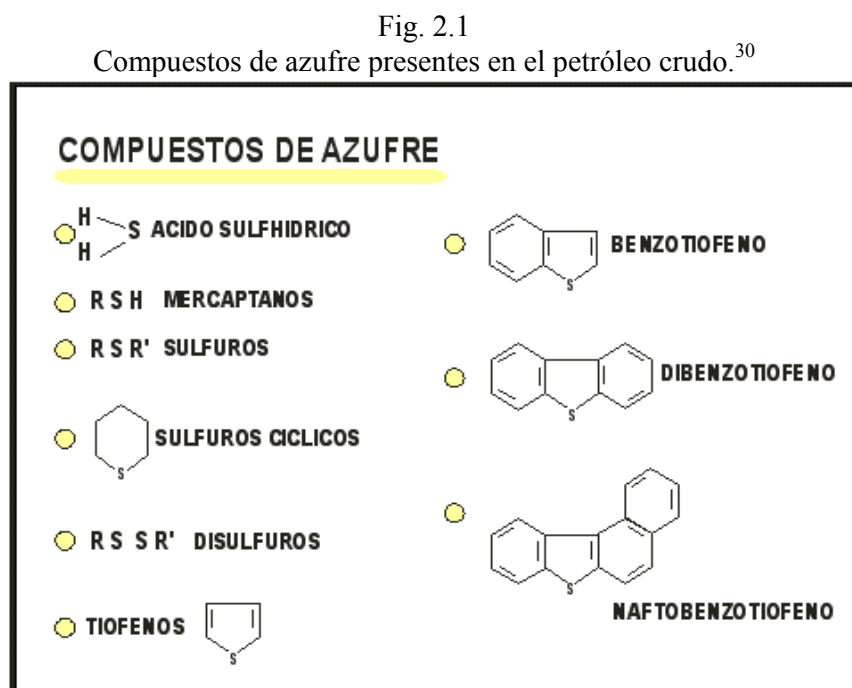
- Los crudos dulces contienen muy poco azufre y tienen olores comparativamente agradables.
- Los crudos agrios o ácidos contienen mayores cantidades de azufre, presentan un desagradable y a veces un repugnante olor a huevo podrido.

2.1.7. Compuestos Sulfurados

Los compuestos de azufre tienen diferentes estructuras y pesos moleculares. El sulfuro de hidrógeno es un subproducto de muchas operaciones industriales, por ejemplo, la hidrodesulfuración de petróleo crudo. Muchos de los olores desagradables de la materia orgánica se deben a este compuesto.⁸

Los óxidos más importantes son el dióxido de azufre (SO₂), que en agua forma una solución de ácido sulfuroso y el trióxido de azufre (SO₃), que en solución forma el ácido sulfúrico; siendo los sulfitos y sulfatos las sales respectivas.⁶

La Fig. 2.1 contiene una lista parcial de algunos de los tipos de compuestos de azufre existentes en el petróleo crudo



2.1.8. Efectos provocados en Gasolinas por su contenido de Azufre

2.1.8.1. Factores Técnicos

A continuación se mencionan algunas de las razones por las cuales el azufre y sus compuestos son objetables en las gasolinas:

El azufre libre y el sulfuro de hidrógeno contenidos en el combustible, son elementos corrosivos que atacan a las tuberías, los cilindros y otras partes del motor.

El contenido excesivo de azufre puede generar compuestos ácidos que reducen la eficiencia del aceite lubricante y sus aditivos, con lo cual se disminuye la vida del motor y corroe el sistema de escape.

Muchos de los compuestos de azufre envenenan a los catalizadores en el proceso de refinación, por ello se han diseñado diversos procesos para eliminar los compuestos azufrados.⁶

Se presenta una disminución en la eficiencia y durabilidad del convertidor catalítico. El azufre del combustible reduce la eficiencia de conversión del CO, los HC y el NOx, y este se libera como SO₂.

Los combustibles con alto contenido de azufre pueden perjudicar e impedir el uso de tecnologías avanzadas para el control de la contaminación.

2.1.8.2. Factores Ambientales

Desde el punto de vista del usuario, la gasolina con un alto contenido de azufre, tiene un olor desagradable, además de incrementar las emisiones nocivas al ser expulsados los gases y así contaminar a la atmósfera después de ser quemada.⁸

Los compuestos de azufre se emiten como óxidos de azufre, y estos son sumamente nocivos al medio ambiente, así como también son causantes directos de efectos adversos a la salud.

El azufre presente en los combustibles se convierte, generalmente, a dióxido de azufre durante la combustión, el cual es un serio contaminante cuando es liberado.¹²

Cuando los combustibles se queman, producen grandes cantidades de gases de efecto invernadero.

2.1.9. Efectos provocados en el Diesel por su contenido de Azufre

2.1.9.1. Factores Técnicos

Durante la operación intermitente del motor o si funciona a bajas temperaturas, los compuestos azufrados del combustible pueden provocar aumento en el desgaste del motor.⁶

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; el contenido de azufre disminuye la eficiencia de aditivos alcalinos utilizados para mejorar las propiedades del combustible.¹³

En el caso de las nuevas tecnologías, sus sistemas de control de emisiones como son los convertidores catalíticos, son muy sensibles al contenido de azufre.

2.1.9.2. Factores Ambientales

Los vehículos que utilizan combustible diesel, constituyen una de las principales fuentes de contaminación del aire generada por el transporte.

Durante la combustión, el azufre presente en las moléculas de diesel se transforma generando productos ácidos que afectan el rendimiento del aceite lubricante, y promueven la formación de particulado u hollín que afecta las emisiones.

El uso del diesel tiene entre sus desventajas los impactos producidos en el aire. Los gases de combustión del diesel contienen cientos de compuestos en fase gaseosa, integrados a partículas, y en organismos semivolátiles incluyendo los compuestos típicos generados en una combustión, tales como dióxido de carbono, vapor de agua, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y compuestos orgánicos volátiles.¹¹

La nueva tendencia de combustibles diesel, está unida fundamentalmente al cumplimiento de los lineamientos ambientales y comprende un menor contenido de azufre.

La reducción de azufre en el diesel contribuirá a una reducción a las emisiones de dióxido de azufre, lo cual significará a su vez, una reducción adicional de la concentración de partículas en la atmósfera, reduciendo las emisiones formadoras de la lluvia ácida.³¹

Capítulo III

Especificaciones de Calidad

En el capítulo anterior se describió el azufre como parámetro, a partir del cual se determina la calidad de los combustibles para automotores.

Se mencionaron los problemas tanto técnicos como ecológicos, ocasionados por el contenido de azufre en la gasolina y diesel.

En el presente capítulo se presentan los valores establecidos actualmente en México para la gasolina y el diesel, en relación con el azufre.

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. Así mismo permite saber, si se está utilizando un producto seguro y si éste uso provocará daños a la salud y al medio ambiente.

Las especificaciones, son las propiedades o características que deben reunir los productos, los cuales determinan su calidad. Estas han ido cambiando a través de los años para cumplir con las restricciones cada vez más severas que impone el entorno ecológico.

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 tóxicos.

Para lograr lo anterior, se han establecido valores máximos en cuanto al contenido de azufre.

3.1. Tipos de combustibles

Actualmente en México, se tienen los siguientes tipos de combustibles líquidos para automotores: PEMEX Premium, PEMEX Magna y PEMEX Diesel.

La gasolina **PEMEX Premium** de bajo azufre, de 92 octanos, con lo que se contribuye a abatir las emisiones contaminantes a la atmósfera en cumplimiento con las más estrictas normas ambientales.

PEMEX Magna, formulada para automóviles con convertidor catalítico, de 87 octanos. Es un producto con calidad internacional, que no contiene plomo y que ofrece alto rendimiento y protección al motor.

PEMEX Diesel, con bajo contenido de azufre y es la única presentación de este producto que se maneja como combustible para los automotores diesel en el país.

3.2. Especificaciones

Actualmente en el Área Metropolitana de la Ciudad de México, se emplean las siguientes especificaciones de acuerdo con sus características particulares, como se muestra a continuación.³³

3.2.1. PEMEX Premium

3.2.1.1. Especificaciones PEMEX Premium Zona Metropolitana del Valle de México

Tabla 3.1

PRUEBA	UNIDADES	MÉTODO ASTM	ESPECIFICACIONES
Peso Específico a 20/4 °C		D 1298-99	Informar
Destilación			
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 ²	D 4953-99a	45-54 6.5-7.8
Temp. Relación (V/L = 20)	°C	D 5188-99	
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 ³ (mg / 100 mL)	D 381-01	0.04 Máx. 4.0 Máx.
Gomas no Lavadas	kg / m ³ (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 ³ (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	% Vol.		1.0-2.7
Oxigenados	% Vol.	D 4815-99	Informar
Color		Visual	Sin Anilina
Aditivo Detergente dispersante	mg / kg		165 Mín.

3.2.2. PEMEX Magna

3.2.2.1. Especificaciones PEMEX Magna Zona Metropolitana del Valle de México

Tabla 3.2

PRUEBA	UNIDADES	MÉTODO ASTM	ESPECIFICACIONES
Peso Específico a 20/4 °C		D 1298-99	Informar
Destilación			
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 ²	D 4953-99a	45-54 6.5-7.8
Temp. Relación (V/L = 20)	°C	D 5188-99	
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 ³ (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 ³ (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	% Vol.		1.0-2.0
Oxigenados	% Vol.	D 4815-99	Informar
Color		Visual	Rojo
Aditivo Detergente dispersante	mg / kg		165 Mín.

3.2.3. PEMEX Diesel

3.2.3.1. Especificaciones PEMEX Diesel

Tabla 3.3

PRUEBA	UNIDADES	MÉTODO ASTM	ESPECIFICACIONES
Peso Específico a 20/4 °C		D 1298-99	Informar
Destilación El 10% destila a: El 50% destila a: El 90% destila a: Temperatura Final de Ebullición	°C	D 86-03	Informar 275 Máx. Informar 345 Máx.
Temperatura de Inflamación	°C	D 93-02	45 Mín.
Temperatura de Ecurrimiento	°C	D 97-02	
Temperatura de Nublamiento	°C	D 2500-02	Informar
Número de Cetano ó Índice de Cetano		D 613-95 D 976-91(2000)	48 Mín. 48 Mín.
Azufre total	mg / kg (ppm)	D 4294-02	500 Máx.
Corrosión al Cu, 3h a 50 °C		D 130-94 (2000)	STD 1
Carbón Rambottom (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 ² / 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.

Capítulo IV

Método para determinar la cantidad de Azufre en combustibles líquidos para automotores por Espectroscopía de Fluorescencia con Dispersión de Rayos X.

Bajo el método de prueba estándar **Espectroscopía de Fluorescencia con Dispersión de Rayos X**, se efectúa el correspondiente análisis de la cantidad de azufre presente en gasolinas y diesel.

Los rayos X característicos de cada elemento químico pueden ser producidos irradiando a una muestra con radiación X de una energía igual o mayor que la de éstos. Los rayos obtenidos por este procedimiento, denominado fluorescencia por rayos X, permiten cuantificar elementos químicos, aún los que se encuentran en una concentración muy baja.

La Espectroscopía de Fluorescencia de Rayos X es la técnica empleada, cuando se quiere conocer con rapidez la composición elemental exacta de una sustancia.

4.1. Uso del Método

La calidad de algunos productos de petróleo se relaciona con la cantidad de azufre presente, por lo que es necesario conocer el contenido de azufre con fines de proceso y para cumplir con las especificaciones de calidad.

4.2. Resumen del Método

La muestra se coloca en el rayo emitido de una fuente de Rayos X. La energía de excitación puede derivarse de un tubo de rayos X. La excitación característica resultante de la radiación X es medida y la cuenta acumulada se compara con la cuenta de los estándares de calibración previamente cuantificados, obteniéndose así la concentración de azufre en % en peso.

El rango de concentración es de 0.05 a 5% en peso.

4.3. Principio de la Espectroscopía Fluorescente de Rayos X

La espectroscopía fluorescente de rayos X, es un método analítico no destructivo que se puede usar para hacer análisis de azufre en hidrocarburos tales como gasolinas y diesel.

Teóricamente cualquier elemento de la tabla periódica puede emitir rayos X. Cada elemento emite un juego de rayos X fluorescente que se pueden usar para identificar a ese elemento. La cantidad de rayos X característicos emitidos indica la cantidad del elemento presente.

El análisis elemental por espectroscopía de fluorescencia de rayos X involucra irradiar la muestra con rayos X de baja energía, provocando que los elementos en la muestra produzcan sus rayos X característicos. Los rayos X usados para irradiar la muestra se producen de un tubo de rayos X.

Los rayos X de la muestra son captados por un detector de rayos X para ser identificados y cuantificados.¹⁵

4.4. Fundamentos del Método

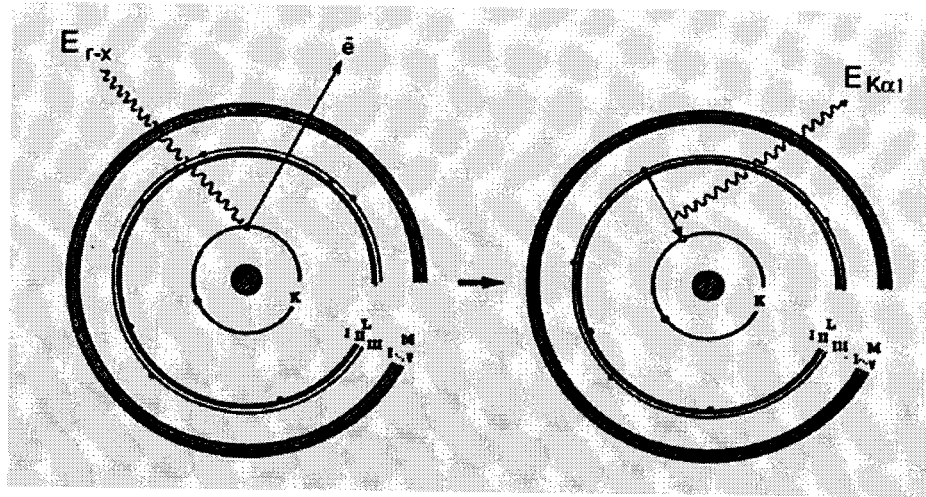
Los electrones se encuentran en el átomo distribuidos en los distintos niveles y subniveles de energía. Los electrones se sitúan en estos niveles ocupando primero aquéllos de menor energía hasta colocarse todos. A este estado de mínima energía del átomo se le denomina estado fundamental.

Si se bombardean estos átomos con rayos X primarios, una pequeña parte de la energía se invierte en la producción del espectro característico de rayos X de los elementos que componen la muestra bombardeada.

El proceso de producción de este espectro característico puede esquematizarse del modo siguiente:

- **Excitación:** El choque de rayos X primarios con un electrón de las capas internas del átomo, produce la expulsión de dicho electrón quedando el átomo en estado de excitado.¹⁸
- **Emisión:** Este átomo en estado excitado tiende a volver inmediatamente a su estado fundamental, para lo cual se producen saltos de electrones de niveles más externos para cubrir el hueco producido. En este proceso hay un desprendimiento de energía, en forma de radiación electromagnética correspondiente a la región de rayos X.

Fig. 4.1
Proceso de Excitación y Emisión del átomo.



A la excitación producida por el bombardeo de electrones se le denomina excitación primaria, y a la radiación así obtenida se le llama radiación X primaria. Los tubos de rayos X son fuentes de la radiación X primaria.

Al proceso de excitación con otra radiación X primaria se le denomina excitación secundaria, y a la radiación así obtenida se le denomina radiación X secundaria o radiación de fluorescencia.

La radiación X primaria promueve la salida de electrones atómicos desde los niveles electrónicos internos; a medida que los electrones de niveles más externos caen a los niveles internos vacantes, se emite así la radiación X.¹⁶

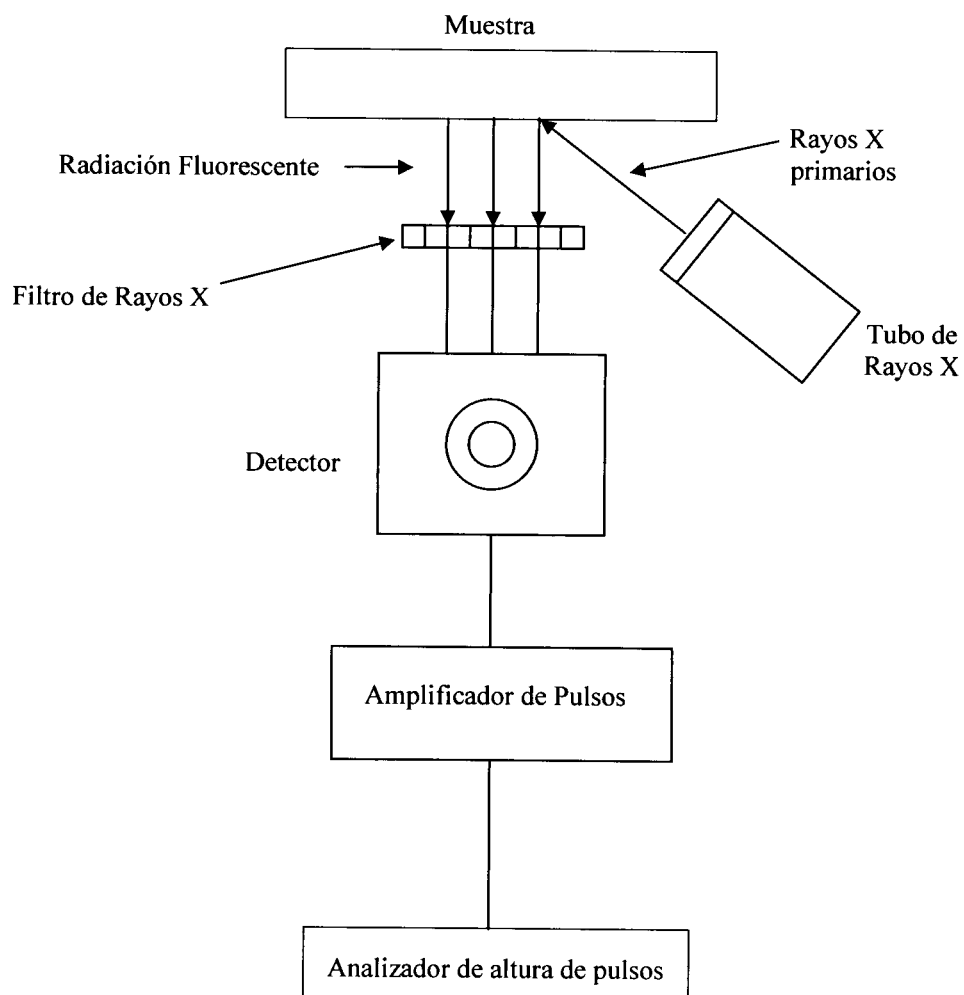
Es la radiación X secundaria característica la que se utiliza para el análisis químico en los espectrómetros de fluorescencia de rayos X.

Al ser, las energías de los distintos niveles electrónicos características para cada tipo de átomos, la radiación X emitida será característica para cada elemento. Estas radiaciones son originadas por transiciones entre los niveles electrónicos internos.

Los rayos X son radiaciones electromagnéticas que se caracterizan por su longitud de onda.⁶

4.5. Información Técnica ¹⁷

Fig. 4.2
Espectrómetro de Fluorescencia por Energía Dispersiva de Rayos X.



Es común llevar a cabo la excitación irradiando la muestra con un haz de rayos X que proviene de un tubo de rayos X. Así, los elementos de la muestra se excitan por absorción del haz primario y emiten sus propios rayos X de fluorescencia característica. Este procedimiento se denomina entonces emisión o fluorescencia de rayos X.

Cuando el poder de alto voltaje es enviado al tubo de rayos X, los rayos X primarios son radiados del tubo de rayos X a la muestra. Algunos de los rayos X emitidos excitan ciertos átomos, generando rayos X fluorescentes.

Esos rayos X fluorescentes son detectados por el detector de rayos X. El filtro de rayos X esta localizado justo antes del detector. Este filtro es usado para permitir a los rayos X fluorescentes de azufre pasar a través del selectivo.

En el detector de rayos X, los pulsos eléctricos son generados en proporción a la energía de los rayos X entrantes. Esos pulsos eléctricos son amplificados por el amplificador de pulsos y después enviados como pulsos de voltaje al analizador de altura de pulsos.

El analizador incorpora sensores para temperatura y presión atmosférica por lo tanto las medidas pueden ser corregidas a la influencia del aire.

4.6. Ventajas de los analizadores de Espectroscopía de Fluorescencia de Rayos X

Los analizadores de Espectroscopía de Fluorescencia de Rayos X ofrecen simplicidad en su manejo, no destruyen la muestra, la medición es directamente a la muestra, su velocidad de análisis es en segundos, ofrece límites de detección en concentraciones de porcentaje en peso, no usa reactivos para desarrollar la prueba y son equipos portátiles con bajo mantenimiento.³⁴

4.7. Naturaleza de los Rayos X

Actualmente se sabe que los rayos X pertenecen a un grupo de radiaciones electromagnéticas, llamadas así, debido a que constituyen una combinación de energía eléctrica y magnética. Estas radiaciones no poseen partículas o masa, sino que son energía pura.

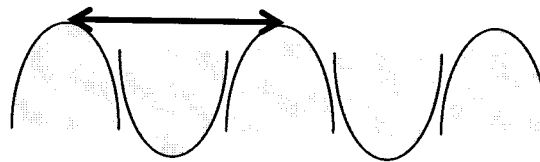
Cada radiación tiene una longitud de onda característica que determina su frecuencia, esto se puede observar en la Fig. 4.3.

Fig. 4.3
Longitud de onda de los rayos X

Longitud de onda larga =
menor de frecuencia.



Longitud de onda corta =
mayor frecuencia.



La longitud de onda se define como la distancia entre la cresta de una onda y la cresta de la siguiente. Determina la energía y poder de penetración de la radiación. Mientras más corta sea la distancia entre las crestas menor es la longitud de onda, y mayor la energía y capacidad de penetrar la materia. La longitud de onda se mide en nanómetros (1×10^{-9} metros).

La frecuencia se refiere al número de longitudes de onda que pasan en un punto determinado en cierta cantidad de tiempo. Si la longitud de onda es larga, la frecuencia es menor, y si la longitud de onda es corta, la frecuencia es mayor.

4.8. Propiedades de los Rayos X

Entre las propiedades de los rayos X se tienen las siguientes:

- Capacidad para causar fluorescencia en ciertas sustancias.
- Son capaces de atravesar el cuerpo humano, tanto más fácilmente cuanto más penetrantes son (más alto voltaje).
- Son invisibles y no se pueden detectar con ninguno de los sentidos.
- No tienen masa ni peso.
- Viajan a la velocidad luz. (300,000 km/seg).
- Los rayos X no tienen carga.
- Viajan en ondas y tienen longitudes de onda corta con una frecuencia alta.
- Pueden causar cambios biológicos en las células vivas.

4.9. Unidades de Medida de los Rayos X ¹⁸

Roentgen (R)

Es una medida de exposición a la radiación usada tanto en rayos X.

Un R produce 2.08×10^9 iones pares por 1 mm de aire. El miliroentgen (mR) es la unidad usual en radiación de bajo nivel.

RAD

Es la unidad de energía absorbida. Dicho de otra manera es la suma de la energía depositada en un volumen determinado de un rayo. El termino RAD ha sido reemplazado por el de GRAY (Gy), donde un Gy equivale a un joule por kilogramo, que también equivale a 100 rad.

Factor de Calidad (QF) y Eficacia Biológica Relativa (RBE)

Son medidas de daño biológico producidas por diferentes tipos de radiación, usando el efecto de energía media de rayos X como patrón.

REM

El producto de QF multiplicado por la dosis absorbida (rad) constituye la unidad de dosis equivalente a un rem.

Capítulo V

Azufre en el Medio Ambiente y su participación como Contaminante Atmosférico.

El problema de la contaminación del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), es particularmente difícil de resolver pues se encuentra rodeada de montañas y por lo tanto, esta cuenca se encuentra sujeta a condiciones que no favorecen con una adecuada ventilación a la atmósfera.

Como se mencionó anteriormente, la contaminación es originada principalmente por la combustión de las gasolinas y el diesel de los automotores, por tanto la calidad de estos combustibles, así como la reducción de los contaminantes emitidos como producto de su combustión, permiten el control y la prevención de la contaminación.

Los productos de combustión se arrojan a la atmósfera en forma de polvo, humo y gases. Los gases, son inevitables y pueden causar la lluvia ácida, así como el incremento en los niveles del ozono y el monóxido de carbono que son altamente tóxicos para los seres humanos.

Las principales causas de lluvia ácida son los óxidos de nitrógeno y azufre que se generan al momento de la combustión. Estos contaminantes se elevan a la atmósfera y con la lluvia, se convierten en ácidos.

En el presente capítulo se hace una descripción de los principales indicadores de la calidad del aire, así como el impacto que los contaminantes atmosféricos tienen sobre la salud. Los principales síntomas que se manifiestan son dolores de cabeza, malestares en la garganta, irritación en los ojos, problemas respiratorios, por mencionar algunos.

A su vez también se presentan los inventarios de emisiones que son considerados como uno de los pilares de la política de calidad del aire, ya que proporcionan un análisis detallado de los agentes contaminantes emitidos a la atmósfera, fortaleciendo y proporcionando una plataforma que sirva de herramienta para la toma de decisiones contribuyendo a establecer políticas para mejorar la calidad del aire y proteger la salud de los habitantes.

5.1. Medio Ambiente

Se entiende por ambiente el entorno o suma total de aquello que nos rodea, que afecta y condiciona especialmente las circunstancias de vida de las personas o la sociedad en su conjunto. Comprende el conjunto de valores naturales, sociales y culturales existentes en un lugar y un momento determinado, que influyen en la vida del hombre y en las generaciones venideras. Es decir, no se trata sólo del espacio en el que se desarrolla la vida sino que también abarca seres vivos, objetos, agua, suelo y aire.

5.2. Contaminación Atmosférica

La contaminación atmosférica se define como “la presencia en la atmósfera de uno o más contaminantes, en cantidad y duración tales, que sea perjudicial para el hombre, la vida vegetal o animal y las construcciones”.

La contaminación atmosférica tiene tres componentes:⁶

- La fuente emisora, el transporte y el receptor.

En la fuente emisora, los contaminantes pueden emitirse como gases (por ejemplo, óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno) o como aerosoles (por ejemplo, niebla humo, hollín, vapor y polvo). Una vez en la atmósfera, el contaminante primario sufre transformaciones que lo convierten en un contaminante secundario (por ejemplo, el dióxido de azufre en sulfatos).

El transporte controla el destino de los contaminantes emitidos. Los factores que determinan el transporte atmosférico incluyen la fuerza del viento, así como la dirección.

Los receptores son los humanos, los animales, la vegetación y los materiales de construcción.

5.2.1. Regiones de la Atmósfera

Los principales componentes de la atmósfera terrestre son nitrógeno diatómico (N_2 , un 78% de las moléculas), el oxígeno diatómico (O_2 alrededor de 21%), el argón (Ar, un 1%), y el dióxido de carbono (CO_2 , en la actualidad a un 0.04%).¹²

La **troposfera** es la región de la atmósfera que se extiende desde el nivel del suelo hasta unos 15 kilómetros de altitud.

La **estratosfera** es aquella parte de la atmósfera comprendida entre los 15 y los 50 kilómetros de altitud, y que se encuentra justo encima de la troposfera.¹²

Esta capa es una especie de escudo que protege a la Tierra de radiaciones solares letales, conocidas como rayos ultravioleta.

La **ionosfera** se extiende hasta unos 500 kilómetros hacia arriba, está retiene además de ondas ultravioletas, los rayos X enviados por el Sol, que si llegaran a la superficie de la tierra destruirían todos los organismos.

5.3. Zona Metropolitana del Valle de México

5.3.1. Situación Geográfica

El Valle de México, se ubica sobre los 19°20' de Latitud Norte y 99°05' de longitud Oeste, formando parte de una cuenca, la cual tiene una elevación promedio de 2,240 metros sobre el nivel del mar, presenta valles intermontañosos, mesetas y cañadas, así como terrenos semiplanos, en lo que alguna vez fueron los lagos de Texcoco, Xochimilco y Chalco; está integrada por una parte del Estado de México, el sur del Estado de Hidalgo, el sureste de Tlaxcala y casi la totalidad del Distrito Federal.

Dentro del Valle se ubica la ZMVM (16 delegaciones y 18 municipios del Estado de México, Figura 5.1 y Tabla 5.1), con una superficie de 3,540 km², cuenta con prominencias topográficas aisladas como el Cerro de la Estrella, el Peñón y el Cerro de Chapultepec, entre otros; su ubicación geográfica y su entorno característico ejercen una influencia determinante sobre la calidad del aire existente en esta zona.

El área urbana se extiende en una cuenca semicerrada, en la porción suroeste del Valle de México, la cual está sujeta de manera natural a condiciones que no favorecen con una adecuada ventilación de la atmósfera.

Figura 5.1
Zona Metropolitana del Valle de México

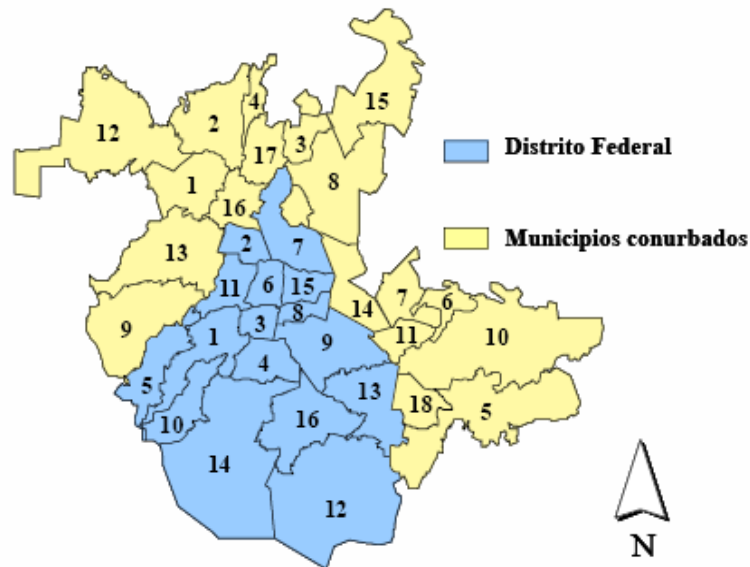


Tabla 5.1 Superficie por delegación y municipio.

Delegación		Superficie* (km ²)	Municipio	Superficie** (km ²)	
1	Alvaro Obregón	95.9	1	Atizapán de Zaragoza	89.8
2	Azcapotzalco	33.7	2	Cuautitlán Izcalli	109.9
3	Benito Juárez	26.5	3	Coacalco	35.4
4	Coyoacán	53.9	4	Cuautitlán	37.3
5	Cuajimalpa	70.8	5	Chalco	234.71
6	Cuauhtémoc	35.5	6	Chicoloapan	60.8
7	Gustavo A. Madero	88.1	7	Chimalhuacán	46.6
8	Iztacalco	23.2	8	Ecatepec	155.4
9	Iztapalapa	113.5	9	Huixquilucan	143.5
10	M. Contreras	63.5	10	Ixtapaluca	315.1
11	Miguel Hidalgo	46.3	11	La Paz	26.7
12	Milpa Alta	287.5	12	Nicolás Romero	233.5
13	Tláhuac	86.3	13	Naucalpan	149.8
14	Tlalpan	308.7	14	Nezahualcóyotl	63.4
15	Venustiano Carranza	33.8	15	Tecámac	153.4
16	Xochimilco	119.2	16	Tlalnepantla	83.4
	Total	1,486.4	17	Tultitlán	71.08
			18	Valle de Chalco	44.5
			Total	2,054.3	

Fuentes: *INEGI, Censo de población y vivienda, Tabulados Básicos.

**Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México, 1999.

5.3.2. Situación Demográfica

De acuerdo con las estadísticas del INEGI, la ZMVM es el hogar de alrededor de 18.1 millones de personas, siendo la segunda ciudad más poblada del mundo. De esta manera, la ZMVM constituye uno de los centros urbanos de mayor dimensión y ritmo de crecimiento en el mundo.

En los últimos veinte años, el ritmo de crecimiento de la población ha disminuido significativamente en la Zona Metropolitana; sin embargo, de continuar las tendencias actuales, la población de la ZMVM pasará de 18.1 millones de habitantes a aproximadamente 20.5 millones en el año 2010 y unos 22.5 millones en el año 2020.¹⁹

5.3.3. Situación Fisiográfica

Entre los principales factores fisiográficos que afectan la calidad del aire destacan los siguientes:

- El entorno montañoso que rodea la cuenca constituye una barrera natural que dificulta la libre circulación del viento y la dispersión de los contaminantes. Por ello, es un medio propicio para la acumulación de los contaminantes atmosféricos. Las montañas que delimitan la cuenca alcanzan una altitud promedio de 3,200 metros, con elevaciones que superan los 5,400 metros.
- La altitud a la que se ubica el Valle de México (2,240 metros sobre el nivel del mar), determina que el contenido de oxígeno sea 23% menor que a nivel del mar, lo cual tiende a hacer más contaminantes los procesos de combustión.

5.3.4. Contaminación y Clima

Entre los principales factores climáticos que afectan la calidad del aire destacan los siguientes:

- La ZMVM presenta con frecuencia inversiones térmicas que provocan el estancamiento de los contaminantes. Por las mañanas la capa de aire que se encuentra en contacto con la superficie de los suelos adquiere una temperatura menor que las capas superiores, por lo que se vuelve más densa y pesada. Las capas de aire que se encuentran a mayor altura y que están relativamente más calientes actúan entonces como una cubierta que impide el movimiento ascendente del aire contaminado. El estancamiento perdura hasta que, al transcurrir el día y de manera gradual, la inversión térmica se rompe debido al calentamiento de la atmósfera, entonces los contaminantes se dispersan.
- Los sistemas anticiclónicos que se registran frecuentemente en la región centro del país, tienen la capacidad de generar cápsulas de aire inmóvil en áreas que pueden abarcar regiones mucho mayores que el Valle de México.
- La intensa y constante radiación solar que se registra en el Valle de México a lo largo de todo el año, favorece la formación del ozono.
- Uno de los impactos que el uso de combustibles automotores ha producido sobre el medio ambiente ha sido el aumento de la concentración de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera, provocando un aumento en la temperatura de la tierra.
- Un calentamiento global significativo de la atmósfera tendría graves efectos sobre el medio ambiente:
 - Los hielos polares comenzarían a derretirse.
 - Alteraría la vegetación natural y afectaría a las cosechas.
 - Aumento constante de la temperatura de la Tierra.
 - Cambios climáticos.
 - Cambios en el sistema de lluvias.
 - Elevación del nivel del mar, inundaciones.

5.3.5. Salud ³⁵

De acuerdo al período de exposición y a la concentración de contaminantes, la exposición aguda se presenta a concentraciones elevadas de contaminantes y con una duración de corto tiempo, puede ocasionar daños sistémicos al cuerpo humano.

La morbilidad está asociada con la exposición aguda a los contaminantes, las enfermedades del tracto respiratorio superior e inferior, bronquitis, neumonía y enfermedades pulmonares obstructivas, son un ejemplo de la morbilidad asociada a este tipo de exposición.

Como se observa en la Tabla 5.2, las infecciones respiratorias agudas presentan el mayor índice en cuanto los principales casos de enfermedades.

Tabla 5.2
Tasa de morbilidad de los principales casos de enfermedades, 2000 a 2004

(Por 100 mil habitantes)

Enfermedad	2000	2001	2002	2003	2004
Infecciones respiratorias agudas	29 427.3	27 980.5	28 874.3	25 948.9	24 581.3
Infecciones intestinales por otros organismos y las mal definidas	5 203.3	5 283.3	5 250.2	4 684.0	4 535.5
Infección de vías urinarias	2 967.1	3 240.5	3 276.0	3 154.2	3 228.2
Úlceras, gastritis	1 284.1	1 393.5	1 413.6	1 281.7	1 365.7
Amebiasis intestinal	1 353.4	1 237.8	1 124.8	972.6	792.2
Hipertensión arterial	401.4	407.8	418.8	478.2	529.8
Otras helmintiasis	735.2	646.5	580.6	524.4	498.0
Diabetes mellitus no insulino dependiente (Tipo II)	287.2	291.3	308.6	365.0	384.0
Varicela	377.1	235.5	282.7	307.0	365.8
Gingivitis y enfermedad periodontal	ND	ND	ND	276.0	350.0
Asma y estado asmático	261.0	275.2	274.6	289.1	289.5
Intoxicación por picadura de alacrán	ND	221.7	231.7	233.4	218.5
Faringitis y amigdalitis	ND	ND	ND	573.9	201.7
NOTA:	Se consideran los principales casos de enfermedades.				
ND:	No disponible.				
FUENTE:	Fuente: INEGI (febrero 2006)				

5.4. Indicadores de la Calidad del Aire

5.4.1. Partículas Suspendidas, PM_{2.5} y PM₁₀

El nombre de partículas suspendidas, se refiere a una diversidad de sustancias que existen en forma de material sólido o líquido finamente dividido suspendido en el aire, la mayoría de estas no pueden ser vistas.

Las partículas son generadas por una gran variedad de fuentes antropogénicas y naturales. Pueden ser emitidas directamente a la atmósfera (partículas primarias) o formarse por la transformación de emisiones gaseosas (partículas secundarias).

Cuando se monitorea la calidad del aire, la medida más común en relación a la concentración de partículas suspendidas es el índice PM, el cual corresponde a la materia particulada que está presente en un volumen dado.

Las concentraciones se dan en términos de masa de partículas, las unidades usuales son microgramos de materia particulada por metro cúbico de aire ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).¹²

Las partículas se dividen en dos grupos principales: las más grandes son las PM₁₀ y las más pequeñas son las PM_{2.5}.

Las partículas PM_{2.5} incluyen todas las partículas iguales o menores a 2.5 micrómetros de diámetro. Estas partículas son más ligeras que las PM₁₀, pueden permanecer en el aire por días o semanas y viajan más lejos.

Las PM_{2.5} pueden 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.

Las partículas PM₁₀ incluyen todas las partículas cuyo diámetro es igual o inferior a 10 micrómetros, pueden permanecer en el aire por minutos u horas.

Las emisiones del transporte, la actividad industrial y la suspensión de polvos por la circulación de vehículos, se encuentran entre las principales causas de la presencia de PM₁₀ en la atmósfera de la ZMVM.

Entre los componentes de las partículas PM₁₀ y PM_{2.5} se encuentran compuestos orgánicos (como benceno, 1-3 butadieno, hidrocarburos aromáticos policíclicos, dioxinas, etc.) y compuestos inorgánicos (como carbono, sulfatos y nitratos), entre otros.¹⁹

5.4.2. Ozono O₃

El ozono es una molécula formada por 3 átomos de oxígeno, es un gas de color azul pálido y al licuarse forma un líquido azul oscuro.² Químicamente es muy activo.

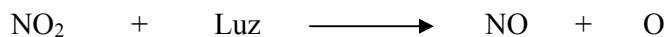
Se produce cuando los hidrocarburos reaccionan con los óxidos de nitrógeno bajo la influencia de la luz solar.

Muchas áreas urbanas en el mundo sufren episodios de contaminación del aire, durante los cuales se incrementa la cantidad de ozono en la troposfera y contribuye a la formación del smog fotoquímico.

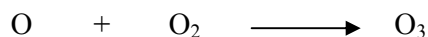
El smog fotoquímico se emplea para designar la existencia de contaminantes generados por la acción solar.

Para que una ciudad esté sometida a un episodio de smog fotoquímico, deben darse diversas condiciones. En primer lugar, debe haber un tráfico importante que emita al aire suficiente NO; hidrocarburos y otros compuestos orgánicos volátiles. En segundo lugar, el tiempo debe ser cálido y lucir mucho Sol. Finalmente, debe haber, relativamente poco movimiento de masas de aire de manera que los reactivos no se diluyan.¹²

En la atmósfera contaminada ocurren reacciones fotoquímicas, las que forman productos muy irritantes. Los más peligrosos se forman a partir de óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y la acción de la luz.²⁰



Este átomo de oxígeno liberado es muy reactivo, y forma ozono en presencia del oxígeno molecular:



A diferencia del ozono que existe en la troposfera. La presencia de ozono en la estratosfera absorbe las ondas ultravioleta enviadas por el sol. La llamada capa de ozono, protege a la tierra de los rayos ultravioletas.

5.4.3. Óxidos de Nitrógeno, NOx

Se producen en todos los procesos de combustión por la oxidación del nitrógeno del aire o de un hidrocarburo nitrogenado que tenga la gasolina.⁵

En la Ciudad de México las concentraciones de los óxidos de nitrógeno son atribuibles tanto a la industria como al transporte.

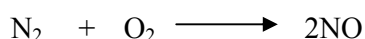
Los óxidos de nitrógeno más usuales se presentan como óxido nítrico (NO) y como dióxido de nitrógeno (NO₂).

5.4.3.1. Óxido Nítrico, NO

Es un gas incoloro, inerte en temperatura normal pero oxidante en temperaturas altas. Se produce por oxidación del nitrógeno atmosférico.²¹

El óxido nítrico es la principal forma de emisiones de NOx del vehículo, se oxida rápidamente a dióxido de nitrógeno (NO₂).

A las elevadas temperaturas en las que ocurre la combustión, los gases nitrógeno y oxígeno del aire se combinan entre ellos en parte para formar óxido nítrico (NO), la reacción es la siguiente:



Se estima que el 10% del óxido nítrico es originado en procesos industriales, mientras que el 90% restante proviene de la combustión del petróleo y sus derivados.²¹

5.4.3.2. Dióxido de Nitrógeno, NO₂

Gas de color pardo rojizo y olor desagradable que en temperatura ambiente está en equilibrio con el óxido nítrico. Es el principal causante del color característico del smog fotoquímico.²¹

Entre los óxidos de nitrógeno, el NO₂ es el de mayor interés para efectos de la contaminación.

Este contaminante se genera cuando el nitrógeno contenido en los combustibles en presencia del aire es oxidado, la reacción que se presenta es la siguiente:



5.4.4. Hidrocarburos, HC

Los Hidrocarburos son conocidos también como compuestos orgánicos volátiles.

En los hidrocarburos la volatilidad se relaciona con el número de carbonos, a mayor número, el punto de ebullición es más elevado.²¹

La mayoría de los hidrocarburos contaminantes se descargan al aire durante la combustión incompleta, en especial por los motores de gasolina de los automóviles.⁶

Los resultados obtenidos en investigaciones del Instituto Mexicano del Petróleo, indican que los alcanos son las especies con mayor abundancia en la atmósfera de la ZMVM.

Entre los principales hidrocarburos se encuentran los siguientes:¹¹

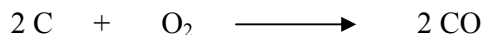
Propano	Etileno
n-Butano	n-Hexano
Tolueno	Metil ter-butil éter
i-Pentano	Benceno
i-Butano	Etano
Acetileno	Propileno

5.4.5. Monóxido de Carbono, CO

El monóxido de carbono es un gas no irritante, incoloro, inodoro, insaboro, tóxico y es más ligero que el aire.

Se forma durante la combustión incompleta, que ocurre cuando no existe suficiente oxígeno para completar la oxidación del carbono de los combustibles y formar dióxido de carbono (CO₂).²¹

La reacción de formación de CO es la siguiente:



Entre las fuentes antropogénicas relacionados con la emisión de CO, están los vehículos de motor, quema de combustibles fósiles y procesos industriales.¹⁸

El máximo comportamiento de este contaminante en la Ciudad de México se presenta en la mañana y coincide con el periodo de mayor tránsito urbano. El segundo valor más elevado esta directamente relacionado con el incremento del tránsito, que ocurre al final de la jornada diurna.²¹

5.4.6. Azufre y sus Compuestos

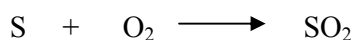
Con el desarrollo industrial, principalmente con el incremento continuo en la fabricación de automóviles de combustión interna, se generan contaminantes peligrosos para la vida, como son los óxidos de azufre.

Casi siempre el 95% del azufre en el combustible se emitirá como dióxido de azufre (SO₂), del 1% al 5% como trióxido de azufre (SO₃) y un 3% como partículas de azufre; aunque estas últimas no se consideran como parte del total en las emisiones de óxidos de azufre (SO_x).²¹

5.4.6.1. Dióxido de Azufre, SO₂

Es un gas incoloro, de olor picante e irritante y más pesado que el aire. Se disuelve ligeramente en el agua formando ácido sulfuroso (H₂SO₃), que acelera la corrosión de los metales y de los materiales de construcción.²¹

Es un contaminante producido durante el proceso de combustión de los combustibles con contenido de azufre.



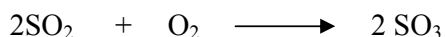
En la Ciudad de México el dióxido de azufre presenta una concentración máxima alrededor de las 9:00 a.m. y disminuye al romperse la inversión térmica.²¹

5.4.6.2. Trióxido de Azufre, SO₃

Se presenta en la atmósfera en estado líquido o sólido. Es incoloro y de sabor amargo. Tiene una elevada afinidad con el agua, de tal forma que cuando se descarga en la atmósfera se combina rápidamente para con ella formar H₂SO₄.²¹

El dióxido de azufre también puede ser oxidado en la atmósfera para formar SO₃ principalmente por reacción con otros componentes de una atmósfera urbana contaminada.

Una pequeña cantidad de los óxidos de azufre producidos en los procesos de combustión se emiten como SO₃.



5.4.6.3. Ciclo del Azufre

El azufre es un nutriente requerido por plantas y animales para realizar diversas funciones, además está presente en prácticamente todas las proteínas y de esta manera es un elemento absolutamente esencial para todos los seres vivos.

El azufre circula a través de la biosfera de la siguiente manera, por una parte se comprende el paso desde el suelo o bien desde el agua, si hablamos de un sistema acuático, a las plantas, a los animales y regresa nuevamente al suelo o al agua. Principalmente el ácido sulfhídrico (H_2S) y el disulfuro de carbono (CS_2), son emitidos de sistemas acuáticos; mientras que el CH_3SCH_3 es producto del fitoplancton oceánico.

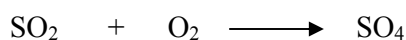
Algunos de los compuestos de azufre presentes en la tierra son llevados al mar por los ríos. Este azufre es devuelto a la tierra por un mecanismo que consiste en convertirlo en compuestos gaseosos tales como el ácido sulfhídrico (H_2S) y el dióxido de azufre (SO_2). Estos penetran en la atmósfera y vuelven a tierra firme. Generalmente son lavados por las lluvias, aunque parte del dióxido de azufre puede ser directamente absorbido por las plantas desde la atmósfera.

La naturaleza misma contribuye en la emisión de SO_2 con las erupciones volcánicas.

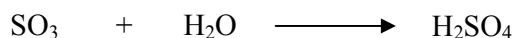
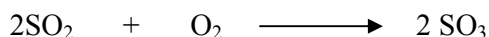
Una gran cantidad de azufre es liberado a la atmósfera como SO_2 , producido por la combustión de combustibles que contienen azufre.

Una pequeña cantidad de los óxidos de azufre producidos en los procesos de combustión se emiten como SO_3 en vez de SO_2 .²²

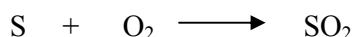
Cuando está presente en el aire, la descomposición de los compuestos de azufre produce sulfatos (SO_4).



La oxidación del dióxido de azufre y su disolución en el agua de lluvia produce ácido sulfúrico (H_2SO_4) y sulfatos (SO_3), formas principalmente bajo las cuales regresa el azufre a los ecosistemas terrestres.

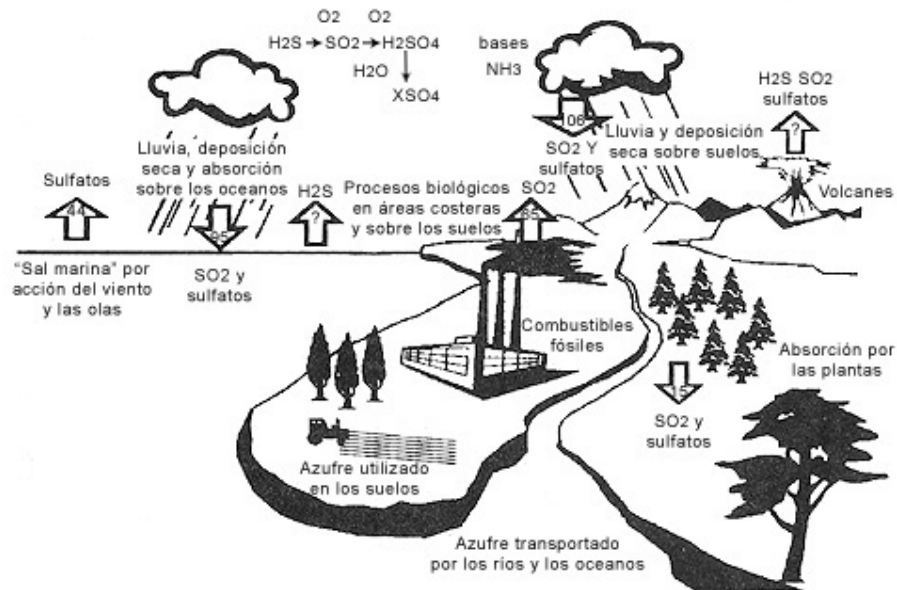


El carbón mineral y el petróleo contienen también azufre y su combustión libera dióxido de azufre a la atmósfera.



El agua de lluvia que contiene H_2SO_4 es ácida y contribuye a la acidificación de lagos y arroyos.

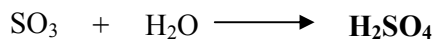
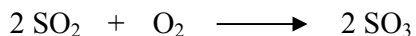
Figura 5.2
Ciclo del azufre en el medio ambiente ⁵



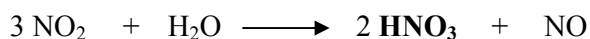
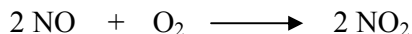
Durante el ciclo del azufre los principales sucesos que se presentan son los siguientes:

- El azufre, como sulfato, es aprovechado e incorporado por los vegetales.
- Los consumidores primarios adquieren el azufre cuando se alimentan de estas plantas.
- El azufre puede llegar a la atmósfera como sulfuro de hidrógeno (H_2S) o dióxido de azufre (SO_2), ambos gases provenientes de volcanes activos y por la descomposición de la materia orgánica.
- Cuando en la atmósfera se combinan compuestos del azufre con el agua, se forma ácido sulfúrico (H_2SO_4) y al precipitarse lo hace como lluvia ácida.

- A su vez por oxidación del SO₂ se forma SO₃, que con el vapor de agua se produce el **ácido sulfúrico**:



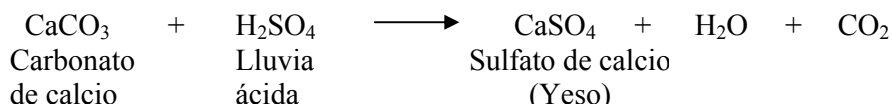
- La formación del **ácido nítrico** en la lluvia ácida, se da al de combinarse el vapor de agua con los óxidos de nitrógeno, que desprenden, entre otros, los tubos de escape de los coches, (el NO se produce en los motores de combustión interna y se oxida fácilmente a NO₂).



5.4.7.2. Daños originados por la Lluvia Ácida

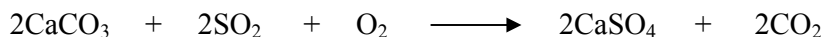
La lluvia ácida causa multitud de efectos nocivos tanto sobre los ecosistemas como sobre los materiales, a continuación se presentan algunos de ellos:⁵

- Aumenta la acidez de las aguas de ríos y lagos, lo que se traduce en importantes daños en la vida acuática.
- Aumenta la acidez de los suelos, lo que se traduce en cambios en la composición de los mismos, produciéndose la pérdida de nutrientes esenciales.
- La vegetación expuesta directamente a la lluvia ácida sufre no sólo las consecuencias del deterioro del suelo, sino también un daño directo que puede llegar a ocasionar incluso la muerte de muchas especies. Quema las plantas, haciendo que se vuelvan amarillas y mueran. Puede destruir ecosistemas completos.
- Las construcciones con piedra caliza y mármol experimentan muchos daños, una reacción común es:⁹



Es decir, el mármol se transforma en yeso, y éste es disuelto por el agua con mucha mayor facilidad provocando el desmoronamiento de la piedra.

El dióxido de azufre también puede atacar directamente al carbonato de calcio:⁹



- Los materiales metálicos se corroen a mucha mayor velocidad.
- Deteriora la calidad de vida (los contaminantes irritan los ojos y producen problemas respiratorios).

5.5. Efectos en la Salud por Contaminación

5.5.1. Visión General ¹⁹

Los síntomas a causa de la exposición a la contaminación del aire se manifiestan principalmente en dolor pulmonar, tos, dolores de cabeza, malestares en la garganta, irritación y lagrimeo de los ojos, por mencionar algunos.

Más allá de estas señales, la exposición a la contaminación del aire está relacionada con serios trastornos a la salud entre los que destacan:

- El incremento en la frecuencia de enfermedades respiratorias crónicas y agudas.
- Aumento en la frecuencia de muertes asociadas a la contaminación atmosférica.
- Disminución de la capacidad respiratoria.
- Aumento de ataques de asma.
- Incremento de casos de enfermedades cardíacas.
- Aumento en la frecuencia de cánceres pulmonares.

En general, la población con mayor riesgo a la exposición de contaminantes está constituida por los niños menores de 5 años, las personas de la tercera edad (mayores de 65 años), las personas con enfermedades cardíacas, respiratorias y los asmáticos.

5.5.2. Impacto a la Salud por los Contaminantes Atmosféricos en la ZMVM

5.5.2.1. Efectos en la salud debidos a las partículas menores a 10 y 2.5 micrómetros.

Los efectos nocivos de las partículas suspendidas no se limitan al aparato respiratorio, sino que pueden dañar otros aparatos y sistemas como el sistema cardiovascular. Los efectos pueden ser inmediatos o presentarse después de varios días de exposición a esos contaminantes.

El aumento en las concentraciones de partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$ generalmente se han relacionado con el aumento de visitas a servicios de urgencias, aumento de sintomatología respiratoria, hospitalización por incremento de los padecimientos respiratorios, bronquitis aguda en niños, bronquitis crónica en adultos y muerte prematura, principalmente en menores de edad y personas de la tercera edad.¹⁹

5.5.2.2. Efectos a la salud debidos al Ozono ¹⁹

El ozono es un gas altamente reactivo, su impacto en la salud se debe a su capacidad de oxidación, por ello daña a las células en las vías respiratorias causando inflamación, además reduce la capacidad del aparato respiratorio para combatir las infecciones y remover las partículas externas. Afecta los mecanismos de defensa, por lo que puede provocar un aumento de las infecciones respiratorias.

El ozono es un riesgo para la salud de los niños, las personas de la tercera edad y para quienes padecen problemas cardiovasculares y respiratorios, como el asma, el enfisema y la bronquitis crónica.

Los efectos generalmente asociados con aumentos del ozono son: infecciones respiratorias agudas, tos, flemas, atrofia de mucosa nasal, irritación de ojos, incremento en los ataques de asma, molestias en el pecho, dolores de cabeza, enfermedades respiratorias. Muchos científicos creen que la exposición crónica a niveles altos de ozono urbano conduce a envejecimiento prematuro de los tejidos pulmonares.

5.5.2.3. Efectos en la salud debidos a los Óxidos de Nitrógeno

Entre sus efectos se encuentran irritación en los ojos, nariz y garganta, ataque al sistema cardiovascular. La exposición prolongada produce lesiones pulmonares, constituye un riesgo para las vías respiratorias, ya que se ha comprobado que puede alterar la capacidad de respuesta de las células en el proceso inflamatorio, siendo más frecuente en casos de bronquitis crónica.¹⁹

5.5.2.4. Efectos en la salud debidos a los Hidrocarburos

Los efectos de exposiciones elevadas a emisiones de Hidrocarburos pueden incluir efectos en el desarrollo neurológico y reproductivo, impactos respiratorios y cáncer.¹⁹

5.5.2.5. Efectos en la salud debidos al SO₂

Cuando se encuentra en niveles de 1 a 10 ppm induce al aumento de la frecuencia respiratoria y el pulso.

Cuando alcanza las 20 ppm produce una fuerte irritación en ojos, nariz, garganta, asfijante, incrementa la crisis asmática, y que produce estornudos.⁶

Si la concentración y el tiempo de exposición aumentan, se producen afecciones respiratorias severas. Una exposición de 400 a 500 ppm, aunque sea corta, puede resultar fatal para el organismo al producir y agravar ciertos padecimientos cardiovasculares.

5.5.2.6. Efectos en la salud debidos al Monóxido de Carbono

Entre los efectos que provoca el CO se encuentra la disminución de la capacidad de concentración y del rendimiento intelectual, como producto del decremento del transporte de O₂ en la corriente sanguínea.²¹

El grado de toxicidad del CO depende de la concentración y del tiempo de exposición del individuo, y los daños pueden ser desde ligeros malestares hasta la muerte.

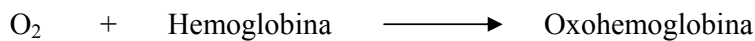
En la siguiente Tabla se presentan los efectos fisiológicos que se producen de acuerdo a la exposición de la concentración de Monóxido de Carbono en los seres humanos:

Tabla 5.3
Efectos fisiológicos de acuerdo a concentraciones de Monóxido de Carbono

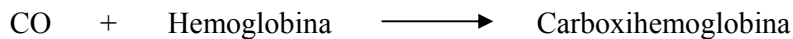
Nivel (ppm)	Efecto Fisiológico
200 por 3 horas ó 600 por 1 hora	Dolor de cabeza
500 por 1 hora ó 1000 por 30 minutos	Mareos, zumbido de oídos, náuseas, palpitaciones, embotamiento
1500 por una hora	Sumamente peligroso para la vida
4000	Colapso, inconsciencia, muerte

El CO es rápidamente absorbido por los pulmones y llevado a la sangre donde se liga con la hemoglobina para la formación de carboxihemoglobina, la cual reduce la capacidad de la sangre para transportar oxígeno.³⁶

La hemoglobina de la sangre toma el oxígeno del aire:



Pero si existe CO, este puede tomar el lugar del oxígeno:



Las moléculas de hemoglobina que se combinan con CO quedan inútiles para el transporte de oxígeno, pues ese monóxido de carbono bloquea la entrada de O₂. Conforme las moléculas de hemoglobina son inhabilitadas por el CO, no les es posible transportar O₂ a las células y sobreviene la muerte por asfixia.

5.5.3. Inventario de Emisiones

El inventario de emisiones proporciona un análisis detallado de los agentes contaminantes emitidos a la atmósfera. En la medida en la que se presente lo más desagregado posible, permitirá identificar las fuentes que generan las mayores emisiones. De este modo se podrán evaluar medidas de control específicas para cada giro en particular, y así podrán establecerse políticas para mejorar la calidad del aire y proteger la salud de los habitantes.³⁷

El inventario de emisiones cubre un área de 3,540 km² que incluye a las 16 delegaciones del Distrito Federal y 18 municipios conurbados del Estado de México. Los contaminantes considerados son: las partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀), el dióxido de azufre (SO₂), el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los hidrocarburos totales (HC).

A continuación se presenta el inventario realizado en la ZMVM en el año 1998.

5.5.3.1. Inventario de Emisiones de la ZMVM 1998

En la Tabla 5.4 se muestran las emisiones totales de cada contaminante y la contribución por sector en forma porcentual, respectivamente. En 1998 se emitieron cerca de 2.5 millones de toneladas de contaminantes, de las cuales el 84% fueron generadas por las fuentes móviles, el 12% por las fuentes de área, 3% por las fuentes puntuales y 1% por la vegetación y los suelos; sin embargo, es necesario analizar la contribución por contaminante ya que la medición en la atmósfera y las medidas de control se dirigen a cada uno de ellos en lo particular.²³

Tabla 5.4
Inventario de emisiones de la ZMVM 1998

Sector	Emisiones									
	PM ₁₀		SO ₂		CO		NO _x		HC	
	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%
Fuentes puntuales	3,093	16	12,442	55	9,213	0.5	26,988	13	23,980	5
Fuentes de área	1,678	8	5,354	24	25,960	1.5	9,866	5	247,599	52
Fuentes móviles	7,133	36	4,670	21	1,733,663	98	165,838	80	187,773	40
Vegetación y suelos	7,985	40	N/A	N/A	N/A	N/A	3,193	2	15,669	3
Total	19,889	100	22,466	100	1,768,836	100	205,885	100	475,021	100

N/A: No aplica

Se puede observar que las fuentes móviles contribuyen con el 36% para las PM₁₀. Con respecto al dióxido de azufre, las fuentes puntuales son el principal emisor con un 55%, es seguido por las fuentes de área con el 24% y 21% por las fuentes móviles. Por lo que se refiere al monóxido de carbono, las fuentes móviles generan el 98% de las emisiones de este contaminante. En el caso de los óxidos de nitrógeno las fuentes móviles generan el 80% de las emisiones y 13% las fuentes puntuales. Por último, los hidrocarburos

totales son generados en un 52% por las fuentes de área y en un 40% por las fuentes móviles.

En el Anexo I y Anexo II se presenta el inventario desagregado, tanto en toneladas por año, como en porcentaje en peso, por fuente contaminante, respectivamente para el año 1998.

Partículas menores a 10 µm (PM₁₀)

Los vehículos a diesel en sus diversas modalidades (vehículos de más de 3 toneladas, tractocamiones y autobuses), representan una fuente importante de PM₁₀, emitiendo en conjunto casi 6 mil toneladas al año. Otras fuentes que contribuyen de forma importante, son los incendios forestales y los autos particulares.²³

Óxidos de Nitrógeno (NO_x)

Con relación a los óxidos de nitrógeno, las fuentes móviles son la principal fuente de generación de dicho contaminante; dentro de este sector los vehículos a diesel y los vehículos particulares a gasolina son las principales fuentes generadoras. De acuerdo con el inventario, los vehículos a diesel en su conjunto generaron casi 62 mil toneladas al año y los vehículos particulares cerca de 47 mil 500 toneladas. Otras fuentes importantes son los camiones de carga a gasolina y los taxis.²³

Hidrocarburos Totales (HC)

En la ZMVM, la gran mayoría de los hidrocarburos son generados por las fuentes móviles. Específicamente, las fuentes que generan la mayor cantidad de hidrocarburos son los autos particulares, casi 82 mil toneladas por año.²³

Dióxido de Azufre (SO₂)

Las fuentes móviles contribuyen con 4 mil 670 toneladas al año, de estas los autos particulares contribuyen con una proporción de 2 mil toneladas al año y en menor proporción los vehículos diesel en sus diversas modalidades.²³

Monóxido de Carbono (CO)

El monóxido de carbono es emitido casi en su totalidad (98%) por las fuentes móviles. Dentro de estas fuentes, el principal generador son los autos particulares, los cuales emiten al año alrededor de 850 mil toneladas de este contaminante.²³

5.5.3.2. Proyección del Inventario de Emisiones de la ZMVM al año 2010

De acuerdo con el inventario de emisiones de 1998 los autos particulares emitieron 47,380 ton/año de NOx; 81,705 ton/año de HC; 822,477 ton/año de CO; 2,000 ton/año de SO₂ y 701 ton/año de PM₁₀.

La reducción de emisiones estimada 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 NOx; 3,564 ton/año de HC; 10,482 ton/año de CO; 159 ton/año de SO₂ y 426 ton/año de PM₁₀.¹⁹

De acuerdo con el inventario de emisiones 1998 los autobuses y vehículos de más de 3 toneladas emitieron 39,302 ton/año de NOx; 13,058 ton/año de HC; 30,226 ton/año de CO y 3,736 ton/año de PM₁₀.

La reducción de emisiones estimada, con respecto a la línea base, de autobuses y vehículos de más de 3 toneladas, al año 2010 será de 6,362 ton/año de NOx, 1,012 ton/año de HC y 640 ton/año de PM₁₀.¹⁹

5.5.3.3. Fuentes Móviles

Las fuentes móviles se constituyen como el principal sector generador de contaminación atmosférica en la ZMVM.

Como se puede ver en la Tabla 5.5 el número de vehículos en la Zona Metropolitana del Valle de México que se encuentran en circulación es superior a los 3.5 millones de unidades, de estos se tienen 3,420,887 millones de unidades para vehículos a gasolina y 134,825 millones de unidades para vehículos a diesel.²⁴

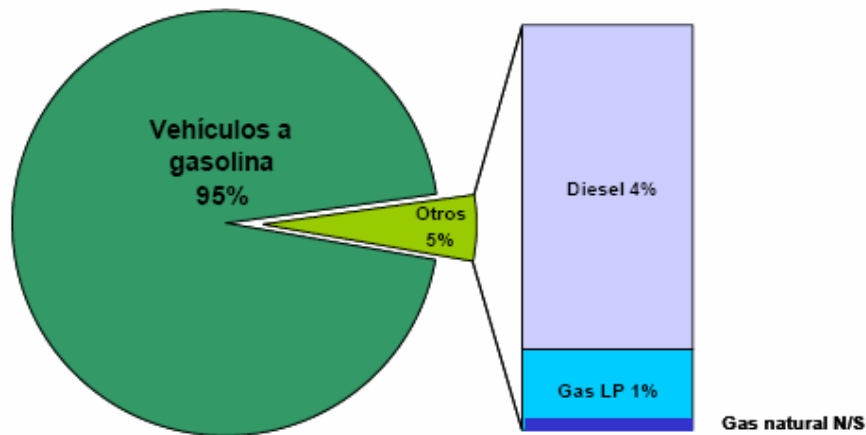
Tabla 5.5
Flota Vehicular circulante en la ZMVM por tipo de combustible

Tipo de vehículo	Numero de Vehículos				
	Gasolina	Diesel	GLP	GNC	Total
Autos particulares	2,707,418	347	3,751	746	2,712,262
Taxis	115,972	N/A	2	N/A	115,974
Combis	19,485	N/A	N/A	N/A	19,485
Microbuses	24,087	203	7,053	893	32,236
Pick Up	173,422	79	1,310	210	175,021
Vehículos = 3 Toneladas	243,809	19,266	10,307	14	273,396
Tractocamiones	100	75,439	32	N/A	75,571
Autobuses	247	30,393	43	N/A	30,683
Vehículos > 3 Toneladas	41,910	9,098	7,700	517	59,225
Motocicletas	94,437	N/A	N/A	N/A	94,437
Total	3,420,887	134,825	30,198	2,380	3,588,290

N/A: No aplica

Al desglosar la flota por el tipo de combustible que utilizan las unidades que circulan tanto en las 16 delegaciones del Distrito Federal, como en los 18 Municipios del Estado de México considerados dentro de la zona de estudio; se tiene que el 95% corresponden a vehículos que utilizan gasolina como combustible, el 4% son unidades a diesel y los vehículos restantes utilizan principalmente gas licuado de petróleo (GLP), las unidades a gas natural comprimido (GNC) representan una cantidad no significativa en esta flota como se muestra en la Gráfica 5.1

Gráfica 5.1
Flota vehicular porcentual de la de la ZMVM por tipo de combustible



En el cálculo de las emisiones es de gran importancia considerar el año modelo de los vehículos, ya que esto nos permite conocer mejor el volumen de emisiones generadas por estrato vehicular y con ello proponer acciones para reducir las emisiones en forma específica. A continuación se tiene la distribución del parque de acuerdo al año modelo para los vehículos que utilizan gasolina. Alrededor del 34% son modelos 1990 y anteriores, 10% corresponden a los modelos 1991-1992 y 56% corresponden a modelos 1993 y posteriores, los cuales ya cuentan con convertidores catalíticos y otros dispositivos anticontaminantes.²⁴

Por lo que respecta a las unidades que utilizan diesel como combustible, haciendo una separación por estratos tecnológicos tenemos que el 60% de las unidades corresponden a unidades anteriores a 1993 (que son las que contaminan en mayor proporción), el 13% son vehículos modelo de 1994 a 1997; y el 27% restante son vehículos modelo 1998 y posteriores.²⁴

De acuerdo con 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 los niveles de emisión similares a los establecidos en Estados Unidos, denominados por sus siglas en inglés Time of Implementation for Emisión Regulations (TIER 2).¹⁹

Capítulo VI

Normatividad

Los vehículos automotores continúan siendo la fuente principal de contaminación del aire. Los vehículos que usan combustibles generan contaminantes cuya emisión produce deterioro en la calidad del aire, lo cual hace necesario mejorar la calidad de los combustibles.

Las tendencias en cuanto a la calidad de la gasolina y diesel, está orientada hacia la elaboración de combustibles cuyas características permitan disminuir los niveles actuales de contaminación.

Es imposible limpiar el aire, o en particular reducir la contaminación 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 esté impide la adopción de las principales tecnologías para el control de la contaminación.

En el presente capítulo se mencionan diversas estrategias para la reducción de emisiones que son generadas por sector transporte, con lo cual, se espera una disminución en los contaminantes emitidos a la atmósfera.

Se menciona la Norma Oficial Mexicana NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005, relacionada con las especificaciones que deben cumplir los combustibles fósiles que se comercializan en el país. A su vez plantea reducir el máximo de contenido de azufre en gasolinas y diesel. La norma entrará en vigor gradualmente: este año se aplicará a la gasolina Premium, en el 2008 a la Magna y en el 2009 al diesel.

También se presenta la Norma Oficial Mexicana NOM-042-ECOL-1999, que establece los límites máximos permisibles de emisión que deben cumplir los vehículos automotores nuevos que se comercializan.

Se muestran las proyecciones en cuanto al consumo de combustible.

6.1. Estrategias para la Reducción de Emisiones ¹⁹

El logro de los objetivos ambientales y de transporte en la ZMVM requiere de enfoques integrados que combinen la planeación del transporte, la ambiental y la relativa al espacio geográfico de la ZMVM. Entre otros aspectos, se requiere el mejoramiento de las tecnologías y la operación de las flotas actuales y futuras del parque vehicular, en combinación con esfuerzos adicionales para el mejoramiento de la calidad de los combustibles. Asimismo, se requiere la integración de instrumentos y sistemas para revertir la congestión vial que enfrenta la ZMVM.

La estrategia de reducción de emisiones generadas por el transporte incluye los siguientes componentes:

A) Modernización y mejoramiento tecnológico:

- En el caso de los vehículos en circulación se requiere:
 - El fortalecimiento de la verificación vehicular, de vehículos a gasolina y sobre todo de los vehículos a diesel.
 - La retroadaptación de sistemas de control de emisiones.
 - La instalación de convertidores catalíticos en vehículos a gasolina.
 - La retroadaptación de trampas de partículas en vehículos a diesel.
 - La detención y retiro de vehículos ostensiblemente contaminantes.
 - La sustitución de vehículos de servicio público que no cumplan con requerimientos ambientales, de seguridad y otros.

- Vehículos nuevos:
 - En el corto plazo, establecimiento de normas de emisión equivalentes a TIER 2 (Time of Implementation for Emisión Regulations).
 - Introducción de gasolina de menor contenido de azufre.
 - Introducción de vehículos a diesel que cumplan con límites de emisión gradualmente más estrictos.
 - Introducción de diesel de menor contenido de azufre.

- Mejoramiento de la capacidad de transporte público de pasajeros:
 - Sustitución de microbuses por autobuses.
 - Mejoramiento del transporte masivo (metro, tren ligero, trenes suburbanos, autobuses urbanos, etc).

B) Mejoramiento de las condiciones de vialidad (incremento de la velocidad de circulación):

- Instrumentación de corredores viales para agilizar la circulación del transporte público.
- Mejoramiento de infraestructura y señalización vial.

6.2. Legislación Ambiental en Materia de Aire

● Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos³⁸

Párrafo quinto del **Artículo 4o.** de la Constitución. Recientemente se adicionó este párrafo que textualmente expresa lo siguiente:

"Toda persona tiene derecho a un medio ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar".

Conforme a lo que dispone el **Artículo 73 fracción XXIX-G** de la Constitución se dispone lo siguiente:

El Congreso tiene facultad: "Para expedir leyes que establezcan la concurrencia del Gobierno Federal, de los gobiernos de los Estados y de los municipios, en el ámbito de sus respectivas competencias, en materia de protección al ambiente y de preservación y restauración del equilibrio ecológico".

● Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)³⁹

La LGEEPA es el principal ordenamiento jurídico en materia de protección del ambiente en México.

Conforme a lo que dispone el **Artículo 15 fracción XII** de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente se tiene lo siguiente:

Para la formulación y conducción de la política ambiental y la expedición de normas oficiales mexicanas y demás instrumentos previstos en esta Ley, en materia de preservación y restauración del equilibrio ecológico y protección al ambiente, el Ejecutivo Federal observará el siguiente principio:

"Toda persona tiene derecho a disfrutar de un ambiente adecuado para su desarrollo, salud y bienestar. Las autoridades en los términos de ésta y otras leyes, tomarán las medidas para garantizar ese derecho."

● Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT es la dependencia de gobierno que tiene como propósito fundamental, constituir una política de Estado de protección ambiental, que revierta las tendencias del deterioro ecológico y sienta las bases para un desarrollo sustentable en el país.

Una política nacional de protección ambiental orientada a responder a la creciente expectativa nacional de proteger nuestros recursos naturales, e incidir en las causas que originan la contaminación, la pérdida de ecosistemas y de la biodiversidad.

Una política nacional acorde con la nueva etapa de convivencia política que caracteriza al país, donde el tema ambiental surge de manera importante y prioritaria para todos: la sociedad civil, las organizaciones sociales, las empresas y el gobierno, que ven los peligros que entraña la falta de cuidado del medio ambiente y la importancia que tiene éste para preservar y mejorar la calidad de vida de todos los mexicanos.

6.3. Normatividad Mexicana ⁴⁰

La Zona Metropolitana del Valle de México ha presenciado cambios substanciales en su entorno urbano, ambiental y económico desde fines de los años ochenta hasta nuestras fechas. La dinámica de los escenarios actuales metropolitanos incorpora nuevas variables en materia de vehículos, transporte público, combustibles y calidad del aire.

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 los últimos años de 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.

A partir de la creación de la Ley de Metrología y Normalización estas normas se convirtieron en Normas Oficiales Mexicanas (NOM).

6.3.1. Norma Oficial Mexicana NOM-042-ECOL-1999

La presente Norma Oficial Mexicana 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, cuyo peso bruto vehicular que no exceda los 3,856 kilogramos.⁴¹

Especificaciones

Los límites máximos permisibles de emisión están establecidos en las Tablas 6.1 y 6.2 de esta Norma Oficial Mexicana.

Tabla 6.1
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.

Tabla 6.2
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	NO _x 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

Para los efectos de esta Norma Oficial Mexicana los vehículos automotores se definen y clasifican de la siguiente manera:

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 (PBV) 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 de hasta 2,722 kg. y hasta 3,856 kg. y con peso de prueba (PP1) de hasta 2,608 kg.

Camiones ligeros (CL4)

Camiones ligeros (grupo cuatro) cuyo peso bruto vehicular es de hasta 2,722 kg. y hasta 3,856 kg. y con peso de prueba (PP1) mayor de 2,608 kg. y hasta 3,856 kg.

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 evaporados 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).

Peso Bruto Vehicular (PBV)

Es el peso máximo del vehículo especificado por el fabricante expresado en kilogramos, consistente en el peso nominal del vehículo sumado al de su máxima capacidad de carga, con el tanque de combustible lleno a su capacidad nominal.

Peso Prueba (PP)

El peso del vehículo con el tanque de combustible lleno, más 136 kilogramos.

Peso Prueba (PP1)

El peso del vehículo con el tanque de combustible lleno, más el peso bruto vehicular, entre 2.

**6.3.2. Norma Oficial Mexicana NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005
Especificaciones de los combustibles fósiles para la protección ambiental.**

Esta Norma Oficial Mexicana tiene como objetivo establecer las especificaciones sobre protección ambiental que deben cumplir los combustibles fósiles líquidos y gaseosos que se comercializan en el país.

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.⁴²

En particular se establecen las especificaciones de las gasolinas y diesel que se consumen en los vehículos automotores.

En cuanto a las especificaciones del azufre para gasolinas y diesel, estas se pueden observar en las Tablas 6.3 y 6.4 respectivamente.

Tabla 6.3
Especificaciones de las Gasolinas

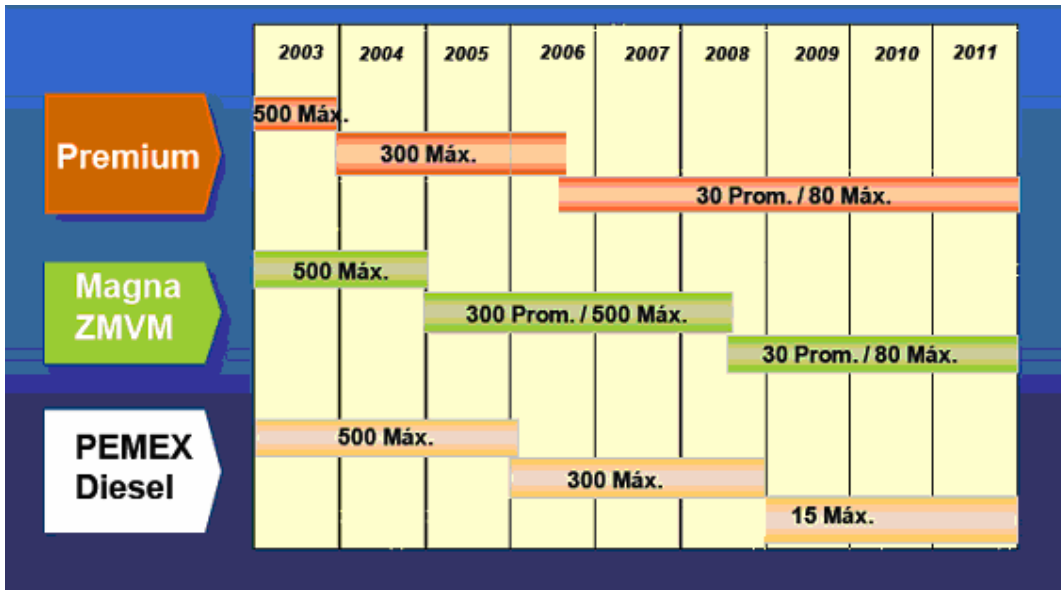
NOMBRE DEL PRODUCTO:			Pemex Premium	Pemex Magna
Propiedad	Unidad	Método de Prueba		
Peso específico a 20°C		Procedimiento para densidad, densidad relativa (gravedad específica) o gravedad de petróleo crudo o productos de petróleo líquido por hidrómetro. (ASTM D 1298-99e2)	Informar	Informar
Prueba Doctor o Azufre Mercaptánico	ppm PESO	Análisis cualitativo de especies activas de azufre en combustibles y solventes (Prueba Doctor). (ASTM D 4952-02) Determinación de azufre mercaptánico en gasolina, queroseno, combustibles destilados para aviones de turbina (Método potenciométrico). (ASTM D 3227-04 ^a)	Negativa 20 máximo	Negativa 20 máximo
Corrosión al Cu, 3 horas a 50°C		Detección de corrosión por cobre en productos de petróleo por la prueba de mancha de tira de cobre. (ASTM 0130-04)	Estándar # 1 máximo	Estándar # 1 máximo
Goma preformada	g/l	Gomas existentes en combustibles por evaporación por chorro. (ASTM 0381-04)	0.040 máximo	0.040 máximo
Gomas no lavadas	g/l	Gomas existentes en combustibles por evaporación por chorro. (ASTM 0381-04)	0.7 máximo	0.7 máximo
Azufre	ppm	Determinación de S en productos de petróleo por espectroscopia de rayos X de fluorescencia por dispersión de energía. (ASTM D 4294-03)	250 promedio 300 máximo ZMVM Octubre 2006: 30 promedio / 80 máximo	300 promedio 500 máximo ZMVM Octubre 2008: 30 promedio / 80 máximo
Periodo de inducción	minutos	Estabilidad de oxidación de gasolina (Método de periodo de inducción) (ASTM 0525-05)	300 mínimo	300 mínimo
Número de octano (RON)		Número de octano Research de combustible para motores de encendido por chispa (ASTM D 2699-04a)	95 mínimo	Informar
Número de octano (MON)		Número de octano Motor de combustibles para motores de encendido por chispa (ASTM D 2700-04 ^a)	Informar	82 mínimo
Indice de octano (RON+MON)/2		(ASTM D 2699-04a) (ASTM D 2700-04 ^a)	92 mínimo	87 mínimo
Contenido de fósforo	g/l	Fósforo en gasolina (ASTM D 3231-99)	0.001 máximo	0.001 máximo
Color		Visual	Informar	rojo
Aditivo detergente dispersante	mg/kg	Evaluación de combustible automotriz sin plomo en inyectores para motores de encendido por chispa: incrustaciones en el puerto electrónico del inyector de combustible (ASTM D 5598-01) Evaluación de combustible automotriz sin plomo para motores de encendido por chispa: formación de depósitos en la válvula de admisión. (1) (ASTM D 5500-98 (2005)e1)	Según aditivo, en la cantidad que permita que el combustible pase las pruebas indicadas de restricción de flujo en los inyectores y de formación de depósitos en las válvulas de admisión.	

Tabla 6.4
Especificaciones del Diesel

NOMBRE DEL PRODUCTO:			PEMEX DIESEL
Propiedad	Unidad	Método de prueba	
Peso específico a 20°C	–	Densidad, densidad relativa (gravedad específica o gravedad de petróleo crudo y productos líquidos de petróleo por el método hidrométrico). (ASTM D 1298-99e2)	informar
Temperaturas de destilación: Temp. inicial de ebullición: el 10 % destila a el 50 % destila a el 90 % destila a Temp. final de ebullición	°C	Destilación de productos de petróleo. (ASTM 086-05)	informar 275 máximo informar 345 máximo informar
Temperatura de inflamación	°C	Temperatura de inflamabilidad: Prueba Pensky-Martens de copa cerrada (ASTM 093-02 ^a)	45 mínimo
Temperatura de escurrimiento	°C	Punto de fluidez de productos (ASTM 097 -05a)	Marzo a octubre: 0°C máximo; Noviembre a febrero: -5°C máximo
Temperatura de nublamiento	°C	Punto de enturbamiento de combustibles de petróleo (ASTM D 2500-05)	informar
Número de cetano	–	Número de cetano del diesel (ASTM 0613-05)	48 mínimo
Índice de cetano		Cálculo del índice de cetano de combustibles destilados (ASTM 0976-04be1)	48 mínimo
Azufre	ppm	Determinación de azufre en productos de petróleo por espectroscopia de rayos X de fluorescencia por dispersión de energía. (ASTM D 4294-03)	500 máximo ZMVM Enero 2009: 15 máximo
Corrosión al Cu, 3 horas a 50°C	–	Detección de corrosión por cobre en productos de petróleo por la prueba de mancha de tira de cobre (ASTM 0130-04)	estándar # 1 máximo
Residuos de carbón (en 10% del residuo)	% peso	Residuos de carbón Ramsbottom de productos de petróleo. (ASTM 0524-04)	0.25 máximo
Agua y sedimento	% vol	Agua y sedimento en combustibles de destilación media por centrifugado (ASTM D 2709-06 (2001)e1)	0.05 máximo

Viscosidad cinemática a 40°C	mm ² /s	Viscosidad cinemática de líquidos transparentes y opacos (cálculo de viscosidad dinámica) (ASTM 0445-04e2)	1.9 a 4.1
Cenizas	% peso	Cenizas en productos de petróleo (ASTM 0482-03)	0.01 máximo
Color		Color de productos de petróleo/visual (ASTM D 1500-04 ^a)	2.5 máximo
Contenido de aromáticos	% vol	Tipos de hidrocarburos en productos líquidos de petróleo por absorción de indicador fluorescente. (ASTM D 1319-03)	30 máximo
Lubricidad	micrones	HFRR Test (ISO 12156)	520 máximo

Fig. 6.1
Reducción de Azufre en Combustibles Mexicanos



6.4. Normatividad en Estados Unidos

TIER 1, TIER 2 y vehículos de bajas emisiones.

La EPA (Environmental Protection Agency) establece estándares de emisiones de escape para vehículos en planta de Estados Unidos.

Haciendo una breve resena 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 NOx. Para este último contaminante, 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 1994 se crea la norma llamada TIER 1 (Time of Implementation for Emisión Regulations), bajo la cual, los fabricantes debían a partir de entonces producir autos que fueran capaces de ser utilizados hasta cierto kilometraje, con la garanti de que durante ese período de tiempo descargarían no más de cierta cantidad de contaminantes estipulada.

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 parámetros del Low Emission Vehicles son todavía más exigentes que los establecidos en el Tier 1 y se cumplen vía un programa intermedio de transición (Transitional Low Emission Vehicles, TLEV).

A través de la adhesión de la mayor parte de las empresas automotrices a este programa voluntario se espera abatir significativamente la contaminación atmosférica de esa nación, y armonizar los parámetros de fabricación de motores en California y el resto del país disminuyendo costos de manufactura, diseño y control. En el contexto del LEV, existe ya definición para parámetros de un programa voluntario aún más riguroso, conocido como Ultra Low Emission Vehicles (ULEV), el cual se aplica ya en California.⁴⁰

La norma TIER 2 que se está introduciendo actualmente en los Estados Unidos reducirá las emisiones de NOx en aproximadamente 80 por ciento por debajo de las normas TIER 1.

6.5. Evaluación Comparativa de la Normatividad entre México y Estados Unidos⁴⁰

A pesar de los avances en los últimos años, las normas mexicanas presentan rezagos importantes en relación con las norteamericanas.

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. A partir de 1999 se comercializan en México vehículos nuevos cuyos sistemas de control de emisiones cumplen con normas técnicas denominadas TIER 1, y que son equivalentes a las que se tenían en Estados Unidos en 1994, con lo que se cerraba la brecha de 5 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.

Uno de los rezagos que se destaca es el siguiente:

● Niveles de emisión de gases contaminantes

Los estándares establecidos en las normas son más laxos. En las siguientes Tablas 6.5 y 6.6, se pueden observar las diferencias entre los niveles máximos permisibles (expresados en gramos por kilómetro para facilitar la comparación) de la Norma Oficial Mexicana NOM 042 para vehículos nuevos, la norma TIER 1, los programas voluntarios y la norma TIER 2 de Estados Unidos.

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, hasta en un orden de magnitud o sea 10 veces más (TIER 2). Destacan los límites de monóxido de carbono de ULEV y de NOx de TIER 2, mucho más estrictos que los de la NOM 042. (Tabla 6.5).

Tabla 6.5
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 estadounidense sólo se muestran los límites de los primeros 5 años u 80 mil km (50 mil millas)

Los máximos permisibles establecidos para camionetas y camiones ligeros de hasta 3,825kg de peso entre la normatividad mexicana y norteamericana difieren significativamente. En este caso la NOM 042 es considerablemente más laxa que TIER 1 y desde luego que TIER 2. 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 1 y tiene valores superiores de emisión en varios órdenes de magnitud a TIER 2. (Tabla 6.6)

Tabla 6.6
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)

6.6. Consumo de Combustibles y Proyecciones al 2010

De acuerdo con las cifras, el consumo de combustibles vehiculares aumenta año con año en la ZMVM.

En la Tabla 6.7 se presenta el consumo de combustibles en la ZMVM del año 1998 al 2000.¹⁹

Tabla 6.7
Consumo de combustibles en la ZMVM.

Año	Miles de barriles/año		
	PEMEX Premium	PEMEX Magna	PEMEX Diesel
1998	2,548	38,138	10,113
1999	3,135	37,679	10,164
2000	4,024	37,773	10,218

Fuente: PEMEX Refinación, 2001

Debido al aumento previsto en la población, el dinamismo de la economía y las tendencias históricas del consumo de combustibles de la ZMVM, se puede suponer que se espera un crecimiento importante para el año 2010 en la demanda energética a una tasa anual de 4.2% para la gasolina y de 4.8% para el diesel.

Para estimar las proyecciones de la demanda de combustibles en la ZMVM para el año 2010, se asumieron las tasas de crecimiento a nivel regional o nacional. Por lo tanto, tomando como base el consumo del año 2000 de la ZMVM (Tabla 6.7) y asumiendo para cada combustible una tasa de crecimiento anual constante hasta el año 2010, se tienen los consumos para el año 2010, mostrados en la Tabla 6.8.

Tabla 6.8
Proyección del consumo de combustibles para la ZMVM, 2001-2010.¹⁹

Año	Miles de barriles/año		
	PEMEX Premium	PEMEX Magna	PEMEX Diesel
2001	4,791	38,762	10,709
2002	4,992	40,390	11,223
2003	5,202	42,086	11,761
2004	5,420	43,854	12,326
2005	6,675	44,669	12,918
2006	6,955	46,545	13,538
2007	7,247	48,500	14,187
2008	7,551	50,537	14,868
2009	7,869	52,659	15,582
2010	9,460	53,609	16,330

6.7. Financiamiento Requerido

El costo de la reducción del contenido de azufre en la gasolina a 50 ppm se estima en 3,000 millones de dólares que se aplicarán en la infraestructura de PEMEX.

PEMEX realizará las modificaciones necesarias a sus refinerías para poder ofrecer gasolina de bajo contenido de azufre. La SHCP otorgará el presupuesto necesario para que PEMEX realice la inversión requerida en la medida.¹⁹

El costo que implicara la reducción del contenido de azufre en el diesel, será del orden de 1,500 millones de dólares para producir diesel con un contenido menor o igual a 30 ppm de azufre.¹⁹

Uno de los objetivos prioritarios de PEMEX Refinación es garantizar la oferta de combustibles de alta calidad, por lo que el proyecto para producir gasolinas y diesel de bajo azufre resulta fundamental para mejorar la calidad del aire y con ello el nivel de vida de la población, en apego a la normatividad ambiental y a los requisitos de la tecnología vehicular.

Por otra parte, se fortalecerán los trabajos para incrementar la seguridad en las refinerías y atender las recomendaciones de las compañías aseguradoras y de las diversas entidades en materia de seguridad industrial, a la vez que se mantendrá el impulso de combustibles limpios.

Capítulo VII

Discusión

En la Zona Metropolitana del Valle de México se presentan elevados índices de contaminación atmosférica, que contribuyen a su vez a la contaminación global. Estos contaminantes tienen una importancia por los efectos provocados en la salud humana y en los impactos ambientales. Sus principales causas son: concentración de la población, incremento del parque vehicular y el alto consumo de combustibles vehiculares.

Las tendencias en cuanto a la calidad de los combustibles gasolina y diesel, está orientada hacia la elaboración de combustibles cuyas características permitan disminuir los niveles actuales de contaminación.

El principal objetivo de las especificaciones sobre protección ambiental para los combustibles es disminuir significativamente las emisiones hacia la atmósfera.

Para atender los problemas de contaminación es necesario mejorar la calidad de los combustibles, en particular en lo que se refiere a su contenido de azufre, para poder incluir en los vehículos los sistemas más avanzados de control de emisiones.

El desarrollo de los combustibles está en función de los procesos de refinación. La obtención de combustibles con bajo contenido de azufre, no sería posible sin los correspondientes procesos de desulfuración implicados.

El dióxido de azufre se produce por la quema de combustibles fósiles que contienen azufre y provoca aumento en enfermedades respiratorias. Por lo anterior, es de gran importancia disminuir las emisiones contaminantes provenientes del transporte para mejorar la calidad de vida en la Ciudad de México.

Así como el plomo fue el veneno atmosférico de la década pasada, el azufre en los combustibles es el nuevo reto en la década en curso. Es por ello que se han realizado esfuerzos para disminuir el contenido de azufre en los combustibles vehiculares.

El contenido de azufre en las gasolinas se controla por dos razones. La primera para reducir las emisiones de dióxido de azufre en el tubo de escape de los automóviles; situación que deteriora la calidad del aire y a su vez, es una de las fuentes principales del fenómeno de la lluvia ácida. La segunda obedece al impacto que los compuestos de azufre presentes en la gasolina tienen sobre los convertidores catalíticos, dispositivos instalados en los escapes de los vehículos para reducir significativamente las emisiones contaminantes.

Con una reducción del contenido de azufre en el diesel se permitirá la incorporación de sistemas avanzados de control de emisiones que reduzcan las emisiones de óxidos de nitrógeno, partículas suspendidas. En el caso de las nuevas tecnologías, sus sistemas de control de emisiones (trampas regenerativas de partículas o convertidores catalíticos) son muy sensibles al contenido de azufre en el diesel. Adicionalmente, la reducción de azufre en el diesel contribuirá a una reducción de las emisiones de dióxido de azufre, lo cual significará a su vez, una reducción adicional de la concentración de partículas en la atmósfera y de las emisiones precursoras de la lluvia ácida.

El proyecto para producir gasolinas y diesel de bajo contenido de azufre resulta fundamental para mejorar la calidad del aire y con ello el nivel de vida de la población, en apego a la normatividad ambiental y a los requisitos de la tecnología vehicular.

El azufre es un elemento que produce grandes peligros para la salud y el ambiente. En general las sustancias con un contenido de azufre pueden tener diversos efectos en la salud humana, algunos de ellos son: alteración de la circulación sanguínea, daños cardiacos, efectos en los ojos y en la vista, efectos dermatológicos, asfixia y embolia pulmonar, entre otros.

A pesar de la mejoría en la calidad de los combustibles, mientras no se renueve el parque vehicular del Valle de México la tendencia de emisiones vehiculares continuará en ascenso. Con el constante crecimiento del parque vehicular urbano, el volumen total de emisiones generadas va disminuyendo, por el hecho de que cada automóvil de modelo 1985 y anterior que sale de circulación, emite una cantidad de contaminantes que equivale fácilmente a 50 vehículos de modelo 1993 a 1998 y a cerca de 100 autos de modelo 1999 y 2000.

En la Ciudad de México el contenido de azufre todavía se encuentra a un nivel 10 veces superior al necesario para introducir nuevas tecnologías. Para esto se requiere contar con gasolina y diesel con un contenido sumamente bajo de azufre, es decir, de concentraciones de 30 y 15 partes por millón, respectivamente.

En la Zona Metropolitana del Valle de México, se prevé que a partir del 2006 la gasolina Premium, que actualmente tiene entre 250 y 300 partes por millón de azufre, deberá tener 30 por millón en promedio, mientras la Magna, que contiene entre 300 y 500 partes por millón, también deberá contar con 30 partes por millón en promedio en el 2008. Se prevé que para el año 2009 el diesel baje de 500 a 15 partes por millón. Con estas acciones se espera que disminuyan los tres principales contaminantes del aire que son el monóxido de carbono, los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos, además de que se reducirá la formación y emisión de partículas finas que provocan daños a la salud y que son causa de mortalidad de miles de personas al año. Se prevé que en diez años se vean resultados concretos, ya que si bien la contaminación en las ciudades no se ha elevado, pues permanece estancada, sin este tipo de medidas se elevaría en los próximos años.

Para reducir dramáticamente la producción de ozono y de material particulado, se requiere disminuir de manera sustancial el contenido de azufre en las gasolinas y el diesel. Cuando se utiliza combustible limpio y controles avanzados de emisiones, la reducción de contaminantes emitidos es dramática. Un estudio piloto realizado este año en la ciudad de México con autobuses a diesel de la Red de Transporte de Pasajeros del Distrito Federal, demostró que si se comparan las emisiones de este tipo de vehículo con las que se producen cuando se le instalan filtros de partículas y se les suministra diesel de muy bajo contenido de azufre, el resultado es una disminución de hasta 92% de partículas respirables y de 90% de monóxido de carbono.

Los beneficios a la salud al introducir una estrategia para limpiar el aire de nuestra ciudad serían enormemente favorables. Por ejemplo, de acuerdo con estimaciones que se realizaron para la ciudad de México, se encuentra que una reducción del 10% en los niveles de PM_{10} traería como consecuencia una disminución de riesgo de 10 mil casos de bronquitis crónica, y de tres mil de mortalidad, lo que al asignársele un valor estadístico de vida para México, se estiman ahorros por dos mil millones de dólares al año.

Asimismo, los beneficios a la salud por una reducción del 10% en los niveles de ozono en la ZMVM podrían aportar una reducción de riesgo de dos millones de días de menor actividad restringida, y de 300 casos de mortalidad por cada 100,000 habitantes, lo que significaría un ahorro de 200 millones de dólares al año.

El área metropolitana del Valle de México es la urbe que presenta el mayor reto en el mundo para limpiar su atmósfera debido a su enorme población, a su situación geográfica y a la insuficiencia de recursos económicos. Aun así, gracias a lo que ya se ha avanzado y a la disponibilidad de nuevas tecnologías, es posible tener una ciudad con aire limpio.

Es de vital importancia adoptar las medidas internacionales de emisión en este caso las normas TIER 2. Dado que México debe de estar a la par de los países desarrollados no solamente por obligación, sino por el bienestar de la población en general. Es indispensable que se adopten estas normas para asegurar que los vehículos nuevos que se comercialicen en nuestro país presenten niveles de emisión más bajos que los actuales.

En resumen, la solución del problema de contaminación del aire de la ZMVM requiere un gran esfuerzo que debe mantenerse en el largo plazo. El desarrollo y aplicación efectiva de soluciones es una necesidad para garantizar la salud de los habitantes de la ZMVM y el bienestar de la sociedad. Cualquier retraso en abordar y atacar la contaminación del aire puede orillar a poner en un mayor riesgo la salud.

Capítulo VIII

Conclusiones

Por medio de este trabajo se concluye que los vehículos automotores son una de las principales fuentes de contaminación del aire, y que al utilizar combustibles generan contaminantes cuya emisión produce deterioro a la calidad del aire.

Como ya se mencionó, el azufre es un componente del petróleo crudo, por lo tanto este se encuentra presente tanto en la gasolina como en el diesel. Cuando estos combustibles son quemados, el azufre se emite como dióxido de azufre (SO_2) o como partículas de sulfatos.

Es de vital importancia reducir el contenido de azufre en estos combustibles, debido a que su presencia puede tener diversos efectos, entre estos destacan los siguientes:

- a) La problemática originada por el uso de combustibles líquidos fuera de especificación.
 - El azufre presente en los combustibles líquidos para automotores disminuye la eficiencia y durabilidad del convertidor catalítico en un 15%. Reduce la eficiencia de conversión del CO, los HC y el NO_x , y este se libera como SO_2 .
 - El azufre libre y el sulfuro de hidrógeno contenidos en el combustible, son elementos corrosivos que atacan a las tuberías, los cilindros y otras partes del motor.
 - El contenido excesivo de azufre reduce la eficiencia de los aditivos, con lo cual se disminuye la vida del motor y se corroe el sistema de escape.

- b) Las consecuencias del uso de gasolina y diesel, con un alto contenido de azufre repercuten de manera directa en el medio ambiente y en la salud.
 - El azufre presente en estos combustibles reacciona químicamente con el oxígeno del aire durante la combustión para formar óxidos de azufre (SO_x). La presencia de estos compuestos de azufre en la atmósfera trae como consecuencia la formación de la lluvia ácida.
 - Entre los daños generados en el ambiente se presentan los siguientes:
 - Aumenta la acidez de las aguas de ríos y lagos
 - Aumenta la acidez de los suelos, originando la pérdida de nutrientes esenciales.
 - En la vegetación se presenta la quema las plantas, haciendo que se vuelvan amarillas y mueran.

Los contaminantes asociados con los problemas de salud son diversos, pero son principalmente la exposición a partículas respirables (PM_{10} y $PM_{2.5}$), ozono, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, y dióxido de azufre los que impactan directamente el sistema respiratorio, causando varias afectaciones a la salud, como son:

- Muerte prematura
- Cáncer
- Bronquitis crónica
- Exacerbación del asma
- Tos crónica y otros problemas respiratorios
- Cambios en la función pulmonar y envejecimiento prematuro de los pulmones.

Por todas estas causas resulta importante disminuir el contenido de azufre en los combustibles líquidos para automotores, ya que con esto se contribuirá a una disminución de las emisiones de dióxido de azufre, lo cual significa, una reducción en la concentración de partículas que se liberan hacia la atmósfera. Con esto se mejoraran las condiciones del medio ambiente y las personas contarán con un mejor nivel de vida.

Bibliografía

- 1.- León, C. Gabriel. Gasolinas. Petrolíferos Perfiles de Productos, 1991; 17: 7.
- 2.- Hawley. Diccionario de Química y Productos Químicos. Nueva edición. Omega, Barcelona, 1993.
- 3.- Montaña, Joaquín. La gasolina: Ayer, hoy y mañana. Revista del Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos, 1991; 19: 22-30
- 4.- Hunt, V. Daniel. Diccionario de Energía. Marcombo, México, 1984.
- 5.- Schifter, Isaac. Usos y Abusos de la Gasolina. 2a Edición. Fondo de Cultura Económica, México, 2003.
- 6.- Othmer, Kirk. Enciclopedia de Tecnología Química. Ed. Limusa, México, 1998.
- 7.- Gary, James. Petroleum Refinin: Technology and Economies. 3a Edición. M. Dekker, New York, 1994.
- 8.- Jr, Thomton; P., David. Tecnología del Petróleo. 1a Edición. Ed. McGraw-Hill, México, 1988.
- 9.- Raymond, Chang. Química. Sexta Edición. Ed. McGraw Hill, México, 2003
- 10.- Chow, Pangtay Susana. Petroquímica y Sociedad. 3a Edición. Ed. Fondo de Cultura Económica, México, 2002.
- 11.- Martínez, Jerónimo. Situación Nacional del Consumo del Diesel y sus emisiones al aire. Revista IMIQ, 2003; 44: 228-232.
- 12.- Baird, Colin. Química Ambiental. 2a Edición. Ed. Reverte, México, 2001.
- 13.- Gruse, William Arthur. Motor Fuels, Performance and Testing. 3a Edición. Ed. Omega, Barcelona, 1964.
- 14.- Sánchez, Homero. Educación Ambiental Ecología. 2a Edición. Ed. McGraw Hill, México, 1999.
- 15.- American Society for Testing and Materials Annual book of ASTM Standards. Philadelphia, 2001.
- 16.- Willard, Hobart H. Métodos Instrumentales de Análisis. Ed. Iberoamericana, México, 1991.
- 17.- Skoog, Douglas Arvid. Principios de Análisis Instrumental. Ed. McGraw Hill, México, 1987.

- 18.- Davis, Mackenzie L.; Masten, J. Susan. Ingeniería y Ciencias Ambientales. Ed. McGraw-Hill, México, 2005.
- 19.- SSA, Gobierno del Estado de México, Gobierno del Distrito Federal, SEMARNAT. Programa para Mejorar la Calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010.
- 20.- Chamizo, Antonio. Química Terrestre. Fondo de Cultura Económica, México, 1991.
- 21.- Jiménez, Cisneros Blanca. Contaminación Ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada. Ed. Limusa. México, 2001
- 22.- Bailey, Ronald A.; Clark, Herbert M.; Ferris, James P.; Krause, Sonja; Strong, Robert L. Chemistry of the Environment. 2a Edition. Ed. Academic Press, Orlando Florida, USA, 2002.
- 23.- GDF, SMA. Inventario de Emisiones para la ZMVM 1998, México.
- 24.- GDF, SMA. Inventario de Emisiones para la ZMVM 2002, México.
- 25.- Olivares, Manuel. Tecnologías para el mejoramiento de combustibles. Revista IMIQ, 1991; 19:35-40.

Medios Electrónicos

- 26.- Elaboración de Gasolina en Pemex Refinación
<http://www.ref.pemex.com/octanaje/26gas.htm>
- 27.- El diesel
<http://www.ref.pemex.com/octanaje/24DIESEL.htm>
- 28.- Ficha de Datos de Seguridad, Merck
<http://chemdat.merck.de/documents/sds/emd/esp/es/1079/107983.pdf>
- 29.- Hoja Informativa sobre Sustancias Peligrosas
<http://www.state.nj.us/health/eoh/rtkweb/1757sp.pdf#search='OSHA%20hoja%20de%20seguridad%20del%20azufre'>
- 30.- IMP Acerca del Petróleo, Composición
<http://www.imp.mx/petroleo/composicion.htm>
- 31.- Reducción del contenido de azufre en el diesel
www.ecomundo.com.mx/aire/aire_20.htm
- 32.- Evolución de La Calidad del Diesel en México, Nicolás Rodríguez Martínez
<http://www.franquiciapemex.com/octanaje/5evo.htm>

- 33.- Productos Pemex Magna
<http://www.ref.pemex.com/index.cfm?action=content§ionID=11&catID=23&subcatID=70>
- Productos Pemex Premium
<http://www.ref.pemex.com/index.cfm?action=content§ionID=11&catID=23&subcatID=71>
- Productos Pemex Diesel
<http://www.ref.pemex.com/index.cfm?action=content§ionID=11&catID=23&subcatID=68>
- 34.- Modernización y control de calidad.
Aplicación de avances tecnológicos en la instrumentación analítica de los laboratorios de las refinerías
<http://www.franquiciapemex.com/octanaje/pmxref7.html>
- 35.- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI)
<http://www.inegi.gob.mx/est/default.asp?c=2351>
- 36.- Contaminación Atmosférica
<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/estudios/383/contatmo.html>
- 37.- Proyecto para el diseño de una estrategia integral de gestión de la calidad del aire en el Valle de México 2001-2010
<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetitas/282/molina.html>
- 38.- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos
<http://info4.juridicas.unam.mx/ijure/tcfed/9.htm?s=>
- 39.- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)
<http://www.semarnat.gob.mx/pfnm/LGEEPA.html>
- 40.- Sobre la urgencia de revisar la normatividad ambiental en materia de emisiones vehiculares.
<http://www.cce.org.mx/cespedes/publicaciones/articulos/vehiculos.html>
- 41.- Normas Oficiales Mexicanas Contaminación Atmosférica Emisiones de Fuentes Móviles
http://portal.semarnat.gob.mx/marco_juridico/cont_atmosferica3.shtml
- 42.- <http://www.semarnat.gob.mx/dof/enero06.shtml>

ANEXOS

ANEXO I

Inventario de emisiones desagregado en toneladas por año, 1998.

Sector	PM ₁₀	SO ₂	CO	NO _x	HC
Fuentes puntuales	3,093	12,442	9,213	26,988	23,980
Generación de energía eléctrica	138	16	1,111	9,540	48
Industria de consumo alimenticio	515	1,103	400	924	416
Industria del vestido	379	2,262	463	1,316	386
Industria química	415	2,299	2,422	1,335	6,305
Madera y derivados	216	2,295	527	1,066	1,002
Mineral metálica	249	714	893	513	291
Mineral no metálica	504	1,698	653	4,570	765
Productos de consumo varios	73	261	78	129	873
Productos de impresión	46	173	67	145	3,723
Productos de vida larga	140	302	821	2,128	2,654
Productos de vida media	120	86	473	624	1,457
Productos metálicos	175	774	1,137	4,432	3,024
Productos vegetales y animales	61	287	36	109	12
Otros	62	172	132	157	3,024
Fuentes de área	1,678	5,354	25,960	9,866	247,599
Consumo de solventes	N/A	N/A	N/A	N/A	76,623
Limpieza de superficies	N/A	N/A	N/A	N/A	30,146
Recubrimiento de superficies arquitectónicas	N/A	N/A	N/A	N/A	22,752
Recubrimiento de superficies industriales	N/A	N/A	N/A	N/A	21,414
Lavado en seco	N/A	N/A	N/A	N/A	10,049
Artes gráficas	N/A	N/A	N/A	N/A	6,692
Panaderías	N/A	N/A	N/A	N/A	2,601
Pintura automotriz	N/A	N/A	N/A	N/A	2,175
Pintura tránsito	N/A	N/A	N/A	N/A	803
Distribución de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	12,314
Almacenamiento de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	892
Fugas de gas LP en uso doméstico	N/A	N/A	N/A	N/A	22,173
Hidrocarburos no quemados en la combustión de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	26,177
Distribución y venta de gasolina	N/A	N/A	N/A	N/A	496
Almacenamiento masivo de gasolina	N/A	N/A	N/A	N/A	102
Operación de aeronaves	N/E	N/E	2,512	1,517	400
Recarga de aeronaves	N/A	N/A	N/A	N/A	5
Locomotoras (foráneas/ patio)	10	54	62	492	19
Rellenos sanitarios	N/A	N/A	N/A	N/A	7,380
Aplicación de asfalto	N/A	N/A	N/A	N/A	206
Tratamiento de aguas residuales	N/A	N/A	N/A	N/A	78
Esterilización en hospitales	N/A	N/A	N/A	N/A	23
Combustión en hospitales	9	24	21	80	3
Combustión habitacional	126	N/S	653	4,417	166
Combustión comercial-institucional	820	5,276	526	2,720	149
Incendios forestales	706	N/E	22,078	637	3,752
Incendio en estructuras	7	N/A	108	3	9
Caminos no pavimentados	N/E	N/A	N/A	N/A	N/A
Vegetación y suelos	7,985	N/A	N/A	3,193	15,669
Vegetación	N/A	N/A	N/A	3,193	15,669
Suelo	7,985	N/A	N/A	N/A	N/A
Fuentes móviles	7,133	4,670	1,733,663	165,838	187,773
Autos particulares	701	2,000	822,477	47,380	81,705
Taxis	199	567	131,453	11,093	15,310
Combis	10	28	20,448	930	1,945
Microbuses	59	166	216,740	9,524	19,761
Pick up	183	522	255,503	18,961	24,599
Camiones de carga a gasolina	84	240	216,865	15,297	18,683
Vehículos a diesel de menos de 3 toneladas	133	24	249	150	168
Tractocamiones a diesel	1,990	363	16,675	22,678	7,587
Autobuses a diesel	1,174	214	9,270	11,640	3,853
Vehículos a diesel de 3 o más toneladas	2,562	468	20,956	27,662	9,205
Camiones de carga a gas LP	16	15	298	308	215
Motocicletas	22	63	22,729	215	4,742
Total	19,889	22,466	1,768,836	205,885	475,021

N/A. No Aplica, N/S. No Significativo, N/E. No Estimado

Memoria de cálculo: <http://www.sma.df.gob.mx/sma/gaa/inventario/memoria.prn.pdf>

ANEXO II

Inventario de emisiones porcentual desagregado, 1998.

Sector	(%)				
	PM ₁₀	SO ₂	CO	NO _x	HC
Fuentes puntuales	15.55	55.38	0.52	13.11	5.05
Generación de energía eléctrica	0.69	0.07	0.06	4.63	0.01
Industria de consumo alimenticio	2.59	4.91	0.02	0.45	0.09
Industria del vestido	1.91	10.07	0.03	0.64	0.08
Industria química	2.09	10.23	0.14	0.65	1.33
Madera y derivados	1.09	10.22	0.03	0.52	0.21
Mineral metálica	1.25	3.18	0.05	0.25	0.06
Mineral no metálica	2.53	7.56	0.04	2.22	0.16
Productos de consumo varios	0.37	1.16	N/S	0.06	0.18
Productos de impresión	0.23	0.77	N/S	0.07	0.78
Productos de vida larga	0.70	1.34	0.05	1.03	0.56
Productos de vida media	0.60	0.38	0.03	0.30	0.31
Productos metálicos	0.88	3.45	0.06	2.15	0.64
Productos vegetales y animales	0.31	1.28	N/S	0.05	N/S
Otros	0.31	0.77	0.01	0.08	0.64
Fuentes de área	8.43	23.83	1.47	4.79	52.12
Consumo de solventes	N/A	N/A	N/A	N/A	16.13
Limpieza de superficies	N/A	N/A	N/A	N/A	6.35
Recubrimiento de superficies arquitectónicas	N/A	N/A	N/A	N/A	4.79
Recubrimiento de superficies industriales	N/A	N/A	N/A	N/A	4.51
Lavado en seco	N/A	N/A	N/A	N/A	2.12
Artes gráficas	N/A	N/A	N/A	N/A	1.41
Panaderías	N/A	N/A	N/A	N/A	0.55
Pintura automotriz	N/A	N/A	N/A	N/A	0.46
Pintura tránsito	N/A	N/A	N/A	N/A	0.17
Distribución de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	2.59
Almacenamiento de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	0.19
Fugas de gas LP en uso doméstico	N/A	N/A	N/A	N/A	4.67
Hidrocarburos no quemados en la combustión de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	5.51
Distribución y venta de gasolina	N/A	N/A	N/A	N/A	0.10
Almacenamiento masivo de gasolina	N/A	N/A	N/A	N/A	0.02
Operación de aeronaves	N/S	N/S	0.14	0.74	0.08
Recarga de aeronaves	N/A	N/A	N/A	N/A	N/S
Locomotoras (foráneas/ patio)	0.05	0.24	N/S	0.24	N/S
Rellenos sanitarios	N/A	N/A	N/A	N/A	1.55
Aplicación de asfalto	N/A	N/A	N/A	N/A	0.04
Tratamiento de aguas residuales	N/A	N/A	N/A	N/A	0.02
Esterilización en hospitales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/S
Combustión en hospitales	0.04	0.11	N/S	0.04	N/S
Combustión habitacional	0.63	N/S	0.04	2.15	0.03
Combustión comercial-institucional	4.12	23.48	0.03	1.32	0.03
Incendios forestales	3.55	N/E	1.25	0.31	0.79
Incendio en estructuras	0.04	N/A	0.01	N/S	N/S
Caminos no pavimentados	N/E	N/A	N/A	N/A	N/A
Vegetación y suelos	40.15	N/A	N/A	1.55	3.30
Vegetación	N/A	N/A	N/A	1.55	3.30
Suelo	40.15	N/A	N/A	N/A	N/A
Fuentes móviles	35.86	20.79	98.01	80.55	39.53
Autos particulares	3.52	8.90	46.50	23.01	17.20
Taxis	1.00	2.52	7.43	5.39	3.22
Combis	0.05	0.12	1.16	0.45	0.41
Microbuses	0.30	0.74	12.25	4.63	4.16
Pick up's	0.92	2.32	14.44	9.21	5.18
Camiones de carga a gasolina	0.42	1.07	12.26	7.43	3.93
Vehículos a diesel de menos de 3 toneladas	0.67	0.11	0.01	0.07	0.04
Tractocamiones a diesel	10.01	1.62	0.94	11.01	1.60
Autobuses a diesel	5.90	0.95	0.52	5.65	0.81
Vehículos a diesel de 3 o más toneladas	12.88	2.08	1.18	13.44	1.94
Camiones de carga a gas LP	0.08	0.07	0.02	0.15	0.05
Motocicletas	0.11	0.28	1.28	0.10	1.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

N/A. No Aplica, N/S. No Significativo, N/E. No Estimado