



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA QUÍMICA
E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS**

**“EVALUACIÓN AMBIENTAL DEL DESEMPEÑO DE LAS
GASOLINAS MEDIANTE LA ADICIÓN DE UN REFORMULADOR DE
COMBUSTIBLE, CASO DE ESTUDIO LAS GASOLINERIAS: 005,
0224 Y 2963 DE LA DELEGACIÓN GAM”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN METALURGIA Y MATERIALES**

**PRESENTA:
DAVID KORBER CÓRDOVA**

DIRECTORES DE TESIS:

Directora Interna: M. en C. MARTHA ELENA GARCÍA RUIZ

Director Externo: Dr. MARIO E. ARIAS VILLANUEVA



Ciudad de México, Febrero 2018

SEP

SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



Instituto Politécnico Nacional
Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas
DEPARTAMENTO DE EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO ACADÉMICO



"Año del Centenario de la Promulgación de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos".
"60 Aniversario del CECyT 14 "Luis Enrique Erro".
"60 Aniversario del Patronato de Obras e Instalaciones".
"50 Aniversario de la COFAA-IPN".
"30 Aniversario de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biología".

T-035-17

Ciudad de México, 12 de septiembre del 2017.

Al C. Pasante:
DAVID KORBER CORDOVA

Boleta:
7708498

Carrera:
IMM

Generación:
1980-1984

Mediante el presente se hace de su conocimiento que la Subdirección Académica a través de este Departamento autoriza que la C. **Ing. Martha Elena García Ruiz** y el C. **Ing. Mario Enrique Arias Villanueva**, sean asesores en el tema que propone usted desarrollar como prueba escrita en la opción **Tesis Individual**, con el título y contenido siguiente:

"Evaluación ambiental del desempeño de las gasolineras, mediante la adición de un reformulador de combustible, caso de estudio las gasolineras: 005, 0224 y 2963 de la delegación GAM".

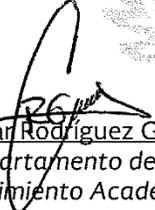
Resumen
Introducción.
I.- Antecedentes.
II.- Ubicación del área de estudio y metodología del muestreo.
III.- Desarrollo experimental en la reformulación de las gasolineras.
IV.- Análisis de resultados.
Conclusiones
Referencias.
Apéndice.

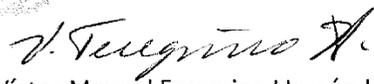
Se concede un plazo máximo de un año, a partir de esta fecha, para presentarlo a revisión por el Jurado asignado.


Ing. Martha Elena García Ruiz
Presidente de la Academia de
Ingeniería Ambiental.


Ing. Martha Elena García Ruiz
Directora Interna de Tesis
Ced. Prof. 0660820


Ing. Mario Enrique Arias Villanueva
Director Externo de Tesis
Ced. Prof. 0303515


Ing. César Rodríguez Guerrero
Jefe del Departamento de Evaluación
y Seguimiento Académico.


Ing. Víctor Manuel Feregrino Hernández
Subdirector Académico

c.c.i.- Depto. de Evaluación y Seguimiento Académico
c.c.i.- Depto. de Gestión Escolar
CRG/rcr

SEP

SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



Instituto Politécnico Nacional
Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas
DEPARTAMENTO DE EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO ACADÉMICO



"Año del Centenario de la Promulgación de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos".
"60 Aniversario del CECyT 14 "Luis Enrique Erro".
"60 Aniversario del Patronato de Obras e Instalaciones".
"50 Aniversario de la COFAA-IPN".
"30 Aniversario de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología".

T-035-17

Ciudad de México, a 11 de octubre de 2017.

Al C. Pasante:
DAVID KORBER CÓRDOVA
PRESENTE

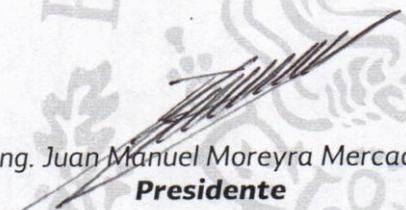
Boleta: Carrera: Generación:
7708498 IMM 1980-1984

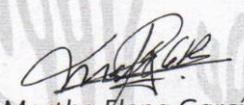
Los suscritos tenemos el agrado de informar a usted, que habiendo procedido a revisar el borrador de la modalidad de titulación correspondiente denominado:

"Evaluación ambiental del desempeño de las gasolinas, mediante la adición de un reformulador de combustible, caso de estudio las gasolineras: 005, 0224 y 2963 de la delegación GAM".

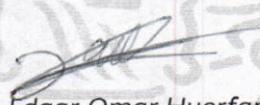
encontramos que el citado Trabajo de **Tesis Individual**, reúne los requisitos para autorizar el Examen Profesional y **PROCEDER A SU IMPRESIÓN** según el caso, debiendo tomar en consideración las indicaciones y correcciones que al respecto se le hicieron.

Atentamente
JURADO


Ing. Juan Manuel Moreyra Mercado
Presidente


Ing. Martha Elena García Ruiz
Secretaria


Ing. Margarito Coronado Maldonado
1er. Vocal


M. en A. Edgar Omar Huerfano Lara
2º Vocal


Ing. Mario Enrique Arias Villanueva
3er. Vocal



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA QUÍMICA E
INDUSTRIAS EXTRACTIVAS



CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad México del día **11** del mes de **octubre** del año **2017**, el/la que suscribe: **David Korber Córdova** estudiante del Programa de: **Ingeniería en Metalurgia y Materiales** con número de Boleta: **7708498**, manifiesta que es autor/a intelectual del presente trabajo escrito, por la opción: **Tesis Individual** bajo la dirección del profesor/a **Ing. Martha Elena García Ruiz**, ceden los derechos del trabajo intitulado **Evaluación ambiental del desempeño de las gasolinas, mediante la adición de un reformulador de combustible, caso de estudio las gasolineras: 005, 0224 y 2963 de la delegación GAM**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección de correo electrónico **kc.david15@gmail.com**. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Atentamente

David Korber Córdova

Nombre y Firma del/la estudiante

Martha Elena García Ruiz

Nombre y Firma del profesor/a

Martha Elena García Ruiz

Agradecimientos

Agradecimiento infinito a mis padres, que desde donde se encuentren seguramente les daré una alegría.

A mis hijos Mauricio y Oliver, por su paciencia y apoyo y demostrarles que nunca es tarde para conseguir lo que nos proponemos.

A esa mujer que está a mi lado también le quiero agradecer por su comprensión y empuje que me da todos los días, gracias amada Cris!

A los profesores que tuve a lo largo de toda mi vida, desde la primaria hasta la escuela profesional, GRACIAS!!!

A mi estimado amigo el Dr. Mario Enrique Arias Villanueva por su entusiasmo y apoyo y en gran parte este trabajo se debe a su participación.

A la M. en C. Martha Elena García Ruiz, directora de esta tesis, gracias maestra por todo su empeño y dedicación para poder concretar este trabajo.

Al Dr. Felipe Sánchez Minero por su valioso apoyo, muchas gracias!

Índice General

Índice de Figuras.....	i
Índice de Tablas.....	ii
Resumen.....	iii
Introducción.....	iv
Capítulo I Antecedentes	1
1.1 Combustibles fósiles	1
1.1.1 Petróleo	1
1.1.2 El Carbón.....	4
1.1.3 Gas natural	5
1.1.4 Gas licuado del petróleo	6
1.2 Producción de gasolina.....	8
1.3 Motores de combustión interna.....	12
1.4 Convertidores catalíticos y antidetonantes.....	14
1.4.1 Convertidores catalíticos.....	14
1.4.2 Antidetonantes.....	15
1.5 Efecto en la atmósfera de las emisiones de los motores de combustión interna que utilizan combustibles fósiles.....	18
1.6 Efecto en la salud de las emisiones de los motores de combustión interna que utilizan combustibles fósiles.....	21
Capítulo II Ubicación del área de estudio y método de muestreo	26
2.1 Área de estudio	26
2.2 Método de muestreo	28
Capítulo III Desarrollo experimental en la reformulación de las gasolinas	30
3.1 Determinación de la calidad de las gasolinas	31
3.1.1 Determinación del índice de octano (MON).....	31
3.1.2 Determinación del rendimiento	32
3.2 Cuantificación de los gases de combustión	34
3.3 Reformulación de Gasolinas	36

Capítulo IV Análisis de Resultados	37
4.1 Calidad de la gasolina.....	37
4.2 Rendimiento	38
4.3 Gases de combustión	38
4.4 Análisis	39
Conclusiones.....	40
Referencias	41
Apéndice	44

Índice de Figuras

Figura 1.1 Componentes del método tradicional de extracción de petróleo.....	2
Figura 1.2 Instalación de planta para la extracción del petróleo.....	2
Figura 1.3 Productos de la destilación del Petróleo	4
Figura 1.4 Centrales Eléctricas que utilizan Carbón	5
Figura 1.5 Expendio de gas natural utilizado como combustible.....	6
Figura 1.6 Gas LP utilizado como combustible	7
Figura 1.7 Destilación de la gasolina.....	9
Figura 1.8 Motor de combustión interna.....	13
Figura 1.9 Convertidor catalítico.....	14
Figura 1.10 Representación gráfica de una combustión incompleta.....	20
Figura 1.11 Representación de los diferentes efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud.....	22
Figura 1.12 Vista satelital de la capa de ozono polar	24
Figura 2.1 Localización de los expendios de gasolina	26
Figura 3.1 Diagrama de flujo del desarrollo experimental	30
Figura 3.2 Analizador IR marca Eralytics para la determinación del Índice de Octano.....	32
Figura 3.3 Motor de combustión interna: vista frontal (a) y vista lateral (b)	33
Figura 3.4 Analizador de gases.....	35
Figura 3.5 Monitor del analizador de gases Dr. Tool.....	35

Índice de Tablas

Tabla 1.1 Tipos de petróleo.....	3
Tabla 1.2 Componentes del Gas Natural	5
Tabla 1.3 Composición del Gas LP	7
Tabla 1.4 Composición de la gasolina.....	9
Tabla 1.5 Especificaciones de presión de vapor y temperaturas de destilación de las gasolinas según la clase de volatilidad	10
Tabla 1.6 Especificaciones adicionales de gasolinas por región.....	10
Tabla 1.7 Especificaciones generales de las gasolinas de llenado inicial	11
Tabla 4.1 Calidad de gasolina sin y con el reformulador.....	37
Tabla 4.3 Gases de combustión sin reformulador	38
Tabla 4.4 Gases de combustión con reformulador.....	38
Tabla 4.5 Resultados del rendimiento y concentración de contaminantes en las gasolinas reformuladas y sin reformular.....	39

Resumen

En el presente trabajo se muestra cómo reformulando la gasolina, disminuyen las emisiones de gases contaminantes procedentes de un motor de combustión interna. El estudio se realizó partiendo de combustibles cuyo origen fueron los expendios de gasolina: 005, 0224 y 2963 de Pemex localizados en la Delegación Gustavo A. Madero. Esta tesis se compone de cuatro capítulos:

En el Capítulo I se enuncia de una manera muy general el origen y usos de los combustibles fósiles. La atención se centra en las gasolinas, su calidad, su normatividad y el binomio que juegan con el motor de combustión interna. Al evolucionar los motores la demanda de nuevos combustibles se hace evidente y el reto es que la velocidad del desarrollo de la ingeniería química petrolera vaya a la par de la ingeniería mecánica automotriz. La experimentación obtenida en este estudio constató que los combustibles convencionales aún pueden ser mejorados y se demostró como al aumentar la calidad de la gasolina, utilizando un reformulador, y al usarse como combustible en un motor de combustión interna se reducen los gases contaminantes. Se mejora el rendimiento y aumenta la calidad reflejándose esto en el índice de octano. Además se citan los problemas ambientales que se presentan al existir una mala combustión y producir gases como monóxido de carbono. Hidrocarburos y óxidos de nitrógeno. Utilizados para producir energía.

En el capítulo II se describe cómo y porqué se seleccionó el área de estudio y los puntos de muestreo así como el método utilizado. Por comodidad y cercanía al laboratorio donde se realizaron los análisis, se seleccionó la Delegación Gustavo A. Madero.

En el capítulo III se ilustran los equipos, aparatos y la metodología utilizados para la determinación de la calidad del combustible, el rendimiento de éste y la determinación de los gases de combustión. Para la calidad se midió el índice de octano. Para el rendimiento el tiempo de operación del motor y para los gases contaminantes se hizo un estudio de análisis cuantitativo y cualitativo de hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno (NOx).

En el capítulo IV se presentan los resultados experimentales obtenidos así como su análisis comparativo entre 3 muestras diferentes de gasolinas adquiridas en los expendios de Pemex 005, 0224 y 2963 en la Delegación Gustavo A Madero y sus respectivas reformulaciones mejorando su calidad, su rendimiento y abatiendo la concentración de los gases contaminantes.

Introducción

Este trabajo es una contribución al cuidado de la atmósfera, a la capa de ozono, a la limpieza del ambiente, a la salud de la humanidad reduciendo las emisiones contaminantes: hidrocarburos, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno hasta un 65% mediante la elevación de la calidad del combustible utilizando reformuladores de gasolina.

Una gasolina de menor calidad, de menor índice de octano producirá mayores emisiones contaminantes de hidrocarburos (CH), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), además de dióxido de carbono (CO₂). Este último contaminante contribuye al efecto de invernadero.

El año pasado se fabricaron en el mundo casi 95 millones de vehículos⁽¹⁾. Los automóviles llegan a producir cerca del 40 al 60% del total de óxidos de nitrógeno que se encuentran en la atmósfera ⁽²⁾. Últimamente esta industria hace un importante esfuerzo en el sentido de instalar, en sus nuevos modelos, catalizadores que aceleren la descomposición del óxido nítrico en sus componentes originales, nitrógeno y oxígeno, para reducir la emisión de este contaminante. Los niveles más altos de NOx se alcanzan en las grandes aglomeraciones urbanas y en sus zonas metropolitanas. Los denominados óxidos de nitrógeno engloban tanto al monóxido (NO) como al dióxido de nitrógeno (NO₂).

De las dos, es ésta última la principal forma química con efectos adversos sobre la salud; además, el NO se oxida con facilidad, dando lugar a NO₂ rápidamente una vez presente en la atmósfera. Dichos efectos adversos son de muy diversa naturaleza, y se pueden producir sobre la salud humana (inflamación de las vías aéreas, afecciones de órganos, como hígado o bazo, o de sistemas, como el sistema circulatorio o el inmunitario, que propician a su vez infecciones pulmonares e insuficiencias respiratorias) y sobre el medio ambiente (acidificación y eutrofización de ecosistemas, afecciones metabólicas, limitación del crecimiento vegetal). Por otra parte, los NOx contribuyen igualmente de forma secundaria a la formación de partículas inorgánicas (por ser precursores del ácido nítrico, HNO₃, y por tanto del nitrato, NO₃⁻ en partículas), y también actúan como precursores de la formación de ozono (O₃). No obstante se maneja la información que daña capa de ozono ⁽³⁾.

Capítulo I

Antecedentes

1.1 Combustibles fósiles

Los combustibles fósiles son cuatro: petróleo, carbón, gas natural y gas licuado del petróleo. Estos se formaron hace millones de años a partir de restos orgánicos de plantas y animales muertos. Durante miles de años de evolución del planeta, los restos de seres que lo poblaron en sus distintas etapas se fueron depositando en el fondo de mares, lagos y otros cuerpos de agua. Allí fueron cubiertos por capa tras capa de sedimento. Fueron necesarios millones de años para que las reacciones químicas de descomposición y la presión ejercida por el peso de esas capas transformasen a esos restos orgánicos en gas, petróleo o carbón. Los combustibles fósiles son recursos no renovables ya que no se reponen por procesos biológicos como por ejemplo la madera. En algún momento, estos recursos se acabarán, y tal vez sea necesario disponer de millones de años de una nueva evolución y descomposición similar para que vuelvan a aparecer⁽⁴⁾.

1.1.1 Petróleo

Del latín petrolĕum⁽⁵⁾, que a su vez deriva de un vocablo griego que significa “aceite de roca”, conocido de igual modo por el nombre de crudo, es un líquido natural oleaginoso que está formado por átomos de carbono e hidrógeno en distintas proporciones formando una mezcla de hidrocarburos. Se genera en el interior de la tierra en los lechos geológicos, ya sean continentales o marítimos y se encuentran en profundidades que varían entre los 600 y 5,000 metros.

Otras de sus características más significativas es que puede ser de color negro o amarillo y que tiene una densidad que puede llegar a alcanzar los 95 g/ml.

El petróleo es inflamable y, a partir de distintos procesos de destilación y refinado, permite producir nafta, gasóleo, queroseno y otros productos que se utilizan con fines energéticos.

El proceso de extracción se ilustra en la Figura 1.1 y Figura 1.2.

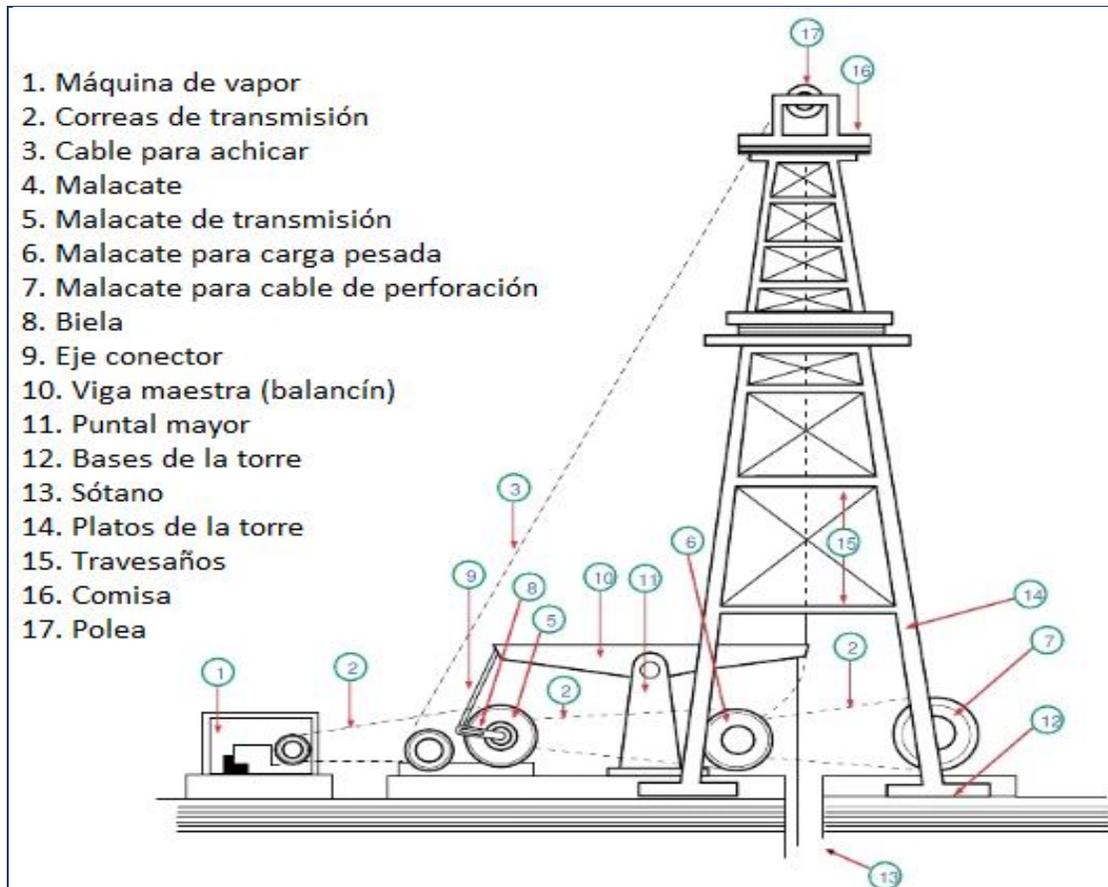


Figura 1.1 Componentes del método tradicional de extracción de petróleo.



Figura 1.2 Instalación de planta para la extracción del petróleo

En el caso de México se requiere desarrollar o comprar tecnología moderna para poder refinar el crudo mexicano. En la actualidad el crudo preferentemente es pesado con alto contenido en metales, compuestos de azufre y la concentración de gasolina no es mayor del 18%. Uno de los principales problemas es la viscosidad ya que a temperatura ambiente es prácticamente imposible desplazarlo porque se solidifica por lo que se debe de investigar sobre mejoradores o sustancias que abatan la viscosidad, así como nuevos catalizadores de desintegración, ya que el alto contenido de metales envenena los actuales catalizadores por lo que se debe desarrollar una tecnología innovadora para este tipo de crudo. La refinación del crudo involucra una serie de procesos tanto físicos como químicos los cuales se somete el petróleo crudo. Los productos que se obtienen tienen diferentes rendimientos y especificaciones ya que dependen del origen del crudo. Para ajustar estos rendimientos algunas de las fracciones se someten a diversos procesos que pueden ser de tres tipos: procesos de destilación atmosférica y al vacío, de desintegración y procesos de purificación. Los diferentes tipos de crudos se ilustran en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1 Tipos de petróleo ⁽⁶⁾

Petróleo crudo	Densidad (g/cm³)	Densidad grados API
Pesado	1.0 - 0.92	10.0 - 22.3
Mediano	0.92 - 0.87	22.3 –
Ligero	0.87 - 0.83	31.1 – 39
Superligero	< 0.83	> 39

El petróleo y sus derivados tienen múltiples y variadas aplicaciones. El petróleo además de ser un combustible de primer orden, también constituye una materia prima fundamental en la industria, pues a partir del éste se pueden elaborar fibras, plásticos, jabones, asfalto, tintas de imprenta, materiales para la fabricación de llantas, nafta, gasolina, gas LP, aceites lubricantes y solventes, como se observa en la Figura 1.3, además de un sin número de productos de la petroquímica secundaria.

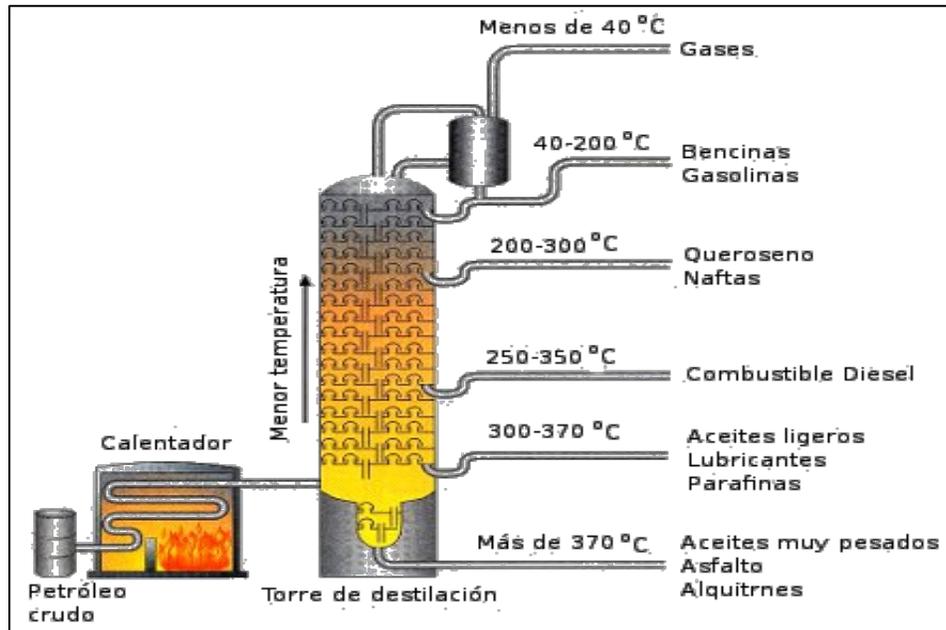


Figura 1.3 Productos de la destilación del Petróleo

1.1.2 El Carbón⁽⁷⁾

El carbón es un combustible fósil, resultado final de una serie de transformaciones sobre restos vegetales acumulados en lugares pantanosos, lagunas y deltas fluviales, principalmente durante el período carbonífero de la era primaria. Existen cuatro tipos de carbones diferentes, debido a las distintas clases de vegetal del que proceden y sobre todo a la duración y condiciones de presión y temperatura del proceso de carbonización, estos son:

- **Antracita.** Es un carbón duro, totalmente carbonizado. Muy compacto y brillante. (brillo nacarado) y color negro.
- **Hulla.** Es un carbón duro, totalmente carbonizado. Color negro lustroso (brillo nacarado a bandas brillantes y mates).
- **Lignito.** Es un carbón blando (como la turba) perteneciente a épocas posteriores al carbonífero, por lo que no ha sufrido el proceso de carbonización completo. Tiene aspecto de madera quemada y brillo.
- **Turba.** Es el más reciente de los carbones, es blando de color marrón, mate es ligero de peso y en él se observan todavía restos de plantas.

La importancia del carbón radica en su poder energético como combustible, su uso en la producción de acero, fabricación de cemento y en el hecho de constituir la materia prima fundamental en la elaboración de infinidad de artículos. Las primeras máquinas de vapor, como barcos, trenes y maquinaria se movieron gracias a la energía que suministraba este material. Posteriormente fue desplazado por el

petróleo; sin embargo, hoy en día el carbón parece recuperar su posición privilegiada, pues se utiliza como materia prima para la elaboración de plástico, colorantes, perfumes y aceites. El carbón se utiliza como combustible en las centrales termoeléctricas, como se muestra en la Figura 1.4.



Figura 1.4 Centrales Eléctricas que utilizan Carbón

1.1.3 Gas natural⁽⁸⁾

El gas natural está compuesto principalmente por metano, aunque también suele contener una proporción variable de nitrógeno, etano, CO₂, H₂O, butano, propano, mercaptanos y trazas de hidrocarburos más pesados Este gas se encuentra bajo tierra, habitualmente en compañía de petróleo, su composición se ilustra en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2 Componentes del Gas Natural

Componente	Nomenclatura	Composición	Estado Natural
Metano	(CH ₄)	95.08	Gas
Etano	(C ₂ H ₆)	2.14	Gas
Propano	(C ₃ H ₈)	0.29	Gas licuable (GLP)
Butano	(C ₄ H ₁₀)	0.11	Gas licuable (GLP)
Pentano	(C ₅ H ₁₂)	0.04	Líquido
Hexano	(C ₆ H ₁₄)	0.01	Líquido
Nitrógeno	(N ₂)	1.94	Gas
Gas carbónico	(CO ₂)	0.39	Gas

Este gas se extrae mediante tuberías, y se almacena directamente en grandes contenedores de aluminio. Luego se distribuye a los usuarios a través de

gasoductos. Como es inodoro e incoloro al extraerlo, por seguridad, se mezcla con una sustancia (mercaptano) que le da un fuerte y desagradable olor, de este modo, las personas pueden darse cuenta de que existe una fuga o escape de gas. Uno de sus incontables usos se puede observar como combustible en los automóviles. La Figura 1.5 muestra un expendio de gas.



Figura 1.5 Expendio de gas natural utilizado como combustible

1.1.4 Gas licuado del petróleo⁽⁹⁾

El gas licuado del petróleo (GLP) es la mezcla de gases licuados presentes en el gas natural o disuelto en el petróleo. El petróleo crudo procedente de los pozos petroleros llega a una refinación primaria, donde se obtienen diferentes destilados, entre los cuales se tienen gas húmedo, naftas o gasolinas, queroseno, gasóleos atmosféricos o diésel y gasóleos de vacío.

Estos últimos (gasóleos de vacío) son la materia prima para la producción de gasolinas en los procesos de craqueo catalítico. El proceso se inicia cuando estos se llevan a una planta denominada FCC y, mediante un reactor primario a base de un catalizador a alta temperatura, se obtiene el GLP, gasolinas y otros productos más pesados. Esa mezcla luego se separa en trenes de destilación. Los componentes del GLP, aunque a temperatura y presión ambiental son gases, son fáciles de licuar, de ahí su nombre. La composición del LPG es: etano, propano, propeno, iso-butano, n-butano, buteno, iso-buteno, trans-2-buteno, cis-2-buteno, iso-pentano y n-pentano, la composición comercial aparece en la tabla 1.3.

Tabla 1.3 Composición del Gas LP

GAS LP	% PESO
Nitrógeno	0.05
Etano	2.07
Propano	66.65
Isobutano	16.32
Butano	14.87
Isopentano	0.04
Parámetros:	
Densidad kg m ⁻³	2.039
LHV kj kg ⁻¹	45879

En la práctica, se puede decir que el GLP es una mezcla de propano butano e isobutano. Generalmente se distribuye mediante tanques de gas y se utiliza en calefacción doméstica, vehículos motorizados y procesos industriales. En la Figura 1.6 se observa su uso como combustible de automóviles.



Figura 1.6 Gas LP utilizado como combustible

1.2 Producción de gasolina⁽¹⁰⁾

El petróleo crudo contiene diversas impurezas inorgánicas que deben eliminarse ya que son perjudiciales para la operación de las unidades de refinación. Un ejemplo son los sulfatos, bicarbonatos y cloruros, estos últimos pueden reaccionar con agua para producir ácido clorhídrico, muy corrosivo, mientras que la arena y otras materias en suspensión causan obturaciones en los platos de las columnas de destilación.

La propia agua causa problemas durante la destilación y tiene que eliminarse del crudo. La sal puede afectar la operación de los intercambiadores de calor por incrustación, en tanto que existen otras impurezas, como el azufre, que pueden envenenar el catalizador usado en las operaciones de desintegración y reformación. En el primer proceso se calienta el petróleo crudo a una temperatura en la cual los componentes ligeros se evaporan y a continuación se condensan los hidrocarburos en fracciones, aprovechando las diferencias en los puntos de ebullición. La composición de cada fracción se identifica por su intervalo de ebullición y no se obtienen compuestos puros.

Después de extraer el petróleo, se elimina la humedad y la sal mediante los procesos de deshidratación y desalado. El crudo se alimenta a una torre de destilación primaria o destilación atmosférica, basada en los diferentes puntos de ebullición se separa en cortes, por la parte superior salen los ligeros, en este caso gas butano, n-butano e isobutano. La corriente de naftas son de destilación directa de bajo índice de octano ya que por lo regular son hidrocarburos lineales. Este corte se manda a procesos petroquímicos normalmente catalíticos como son: isomerización, reformación, alquilación, cuyos productos irán al tanque de mezclado de gasolinas. Por el fondo los pesados se envían a una torre de destilación al vacío esto se hace para evitar desintegración térmica y agotar el crudo de compuestos del corte de la gasolina, y poder separar los componentes menos volátiles que serán destinados a lubricantes o al proceso de desintegración catalítica, esto es con el fin de obtener productos comerciales más valiosos, tales como gas licuado y gasolina de alto índice de octano principalmente, así como oxigenantes como el éter metilterbutílico, ETBE.

Los residuos de la destilación al alto vacío se emplean como asfalto o como carga para las plantas de coque. Las operaciones y proceso del petróleo para obtener gasolinas han venido variando en función del tipo de crudo. como se puede observar en la Figura 1.7 y su composición en la tabla 1.4.

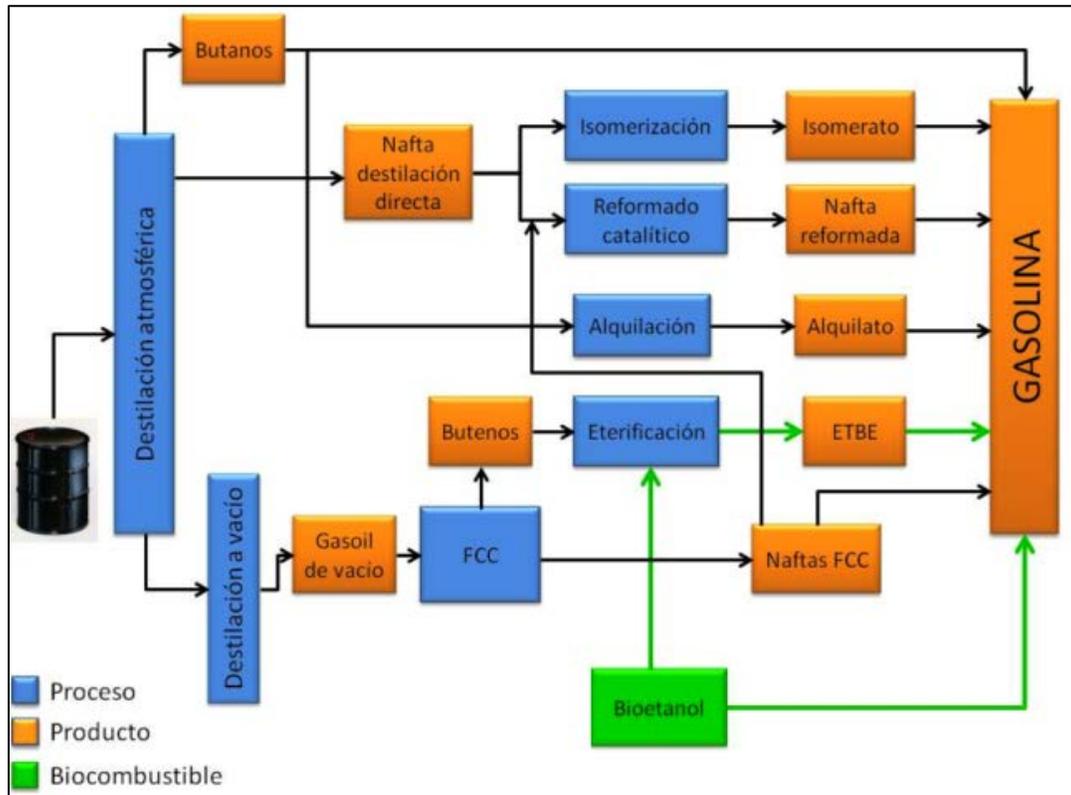


Figura 1.7 Destilación de la gasolina

Tabla 1.4 Composición de la gasolina⁽¹¹⁾

Familias presentes	% volumen presente
Alcanos o parafínicos y Cicloalcanos o nafténicos	30-90
Alquenos u olefinas	0-30
Aromáticos	10-50 (como benceno)

El octanaje (designado como ROM+MON, se discute en la sección 1.4.2) en las gasolinas es un parámetro importante para la eficiencia en el proceso de combustión de las mismas. En las gasolinas Mexicanas estos octanajes son:

Gasolina Premium: Con un índice de octano ($(RON+MON)/2$) mínimo de 92.

Gasolina Regular: Con un índice de octano ($(RON+MON)/2$) mínimo de 87.

Las propiedades de las gasolinas, como son: temperaturas de ebullición y presión de vapor (según la clase de volatilidad) se muestran en la Tabla 1.5.

Tabla 1.5 Especificaciones de presión de vapor y temperaturas de destilación de las gasolinas según la clase de volatilidad⁽¹²⁾

Propiedad	Unidad	Clase de volatilidad ⁽¹⁾			
		AA ⁽³⁾	A	B	C
Presión de Vapor ⁽²⁾	kPa	54	62	69	79
	(lb/pulg ²)	(7.8)	(9.0)	(10.0)	(11.5)
Temperaturas de destilación:					
Temperatura máxima de destilación del 10 %	°C	70	70	65	60
Temperatura de destilación del 50 %	°C	77 a 121	77 a 121	77 a 118	77 a 116
Temperatura máxima de destilación del 90 %	°C	190	190	190	185
Temperatura máxima de ebullición final	°C	225	225	225	225
Residuo de la destilación, valor máximo	% vol.	2	2	2	2

Las calidades de las gasolinas en México, por región, se muestran en la Tabla 1.6

Tabla 1.6 Especificaciones adicionales de gasolinas por región⁽¹²⁾

Compuesto	Unidad	Método de prueba	Valor límite				
			ZMVM	ZMG	ZMM	Resto del País	
			Gasolinas Premium y Regular			Gasolina Premium	Gasolina Regular
Aroman en la áticos	% vol.	Tipos de hidrocarburos en productos líquidos de petróleo por absorción de indicador fluorescente (ASTM D 1319)	25.0 máximo	32.0 máximo	32.0 máximo	32.0 máximo	Informar
Olefinas	% vol.	Tipos de hidrocarburos en productos líquidos de petróleo por absorción de indicador fluorescente (ASTM D 1319)	10.0 máximo	11.9 máximo	11.9 máximo	12.5 máximo	Informar
Benceno	% vol.	Determinación de benceno y tolueno en gasolina terminada para uso en motores y aviación por cromatografía de gases (ASTM D 3606, D 5580, D 6277)	1.0 máximo	1.0 máximo	1.0 máximo	2.0 máximo	2.0 máximo

Continuación de la tabla 1.6

Azufre total	mg/kg	Determinación de azufre total en hidrocarburos ligeros (ASTM D 5453, D 2622, D 7039, D 7220)	30 promedio ⁽³⁾ 80 máximo	1000 máximo ^{(1) (2)}				
Oxígeno⁽⁴⁾	% masa	Determinación de MTBE, ETBE, TAME, DIPE y alcoholes hasta C4 en gasolinas por cromatografía de gases (ASTM D 4815) Determinación de MTBE, ETBE, TAME, DIPE, etanol y terbutanol en gasolinas por espectroscopia infrarroja (ASTM D 5845)	1.0–2.7 máximo.			2.7 máximo	2.7 máximo	
BTX	% vol.	Determinación de benceno, tolueno, etilbenceno, meta y para-xileno, orto xileno, C ₉₊ y aromáticos totales en gasolina terminada mediante cromatografía de gases (ASTM D 5580)	Informar					

Calidad de gasolinas de *llenado inicial*, se muestra en la Tabla 1.7

Tabla 1.7 Especificaciones generales de las gasolinas de llenado inicial ⁽¹²⁾

Propiedad	Unidad	Método de prueba	Valor límite		
			Mínimo	Máximo	
Gravedad específica a 20/4 °C	Adimensional	Procedimiento para densidad, densidad relativa (gravedad específica) o gravedad de petróleo crudo o productos de petróleo líquido por hidrómetro (ASTM D 1298, D 4052)	0.6850	0.7200	
Destilación					
el 10 % destila a:	°C	Destilación de productos de petróleo (ASTM D 86, ASTM D 7345)	ND	ND	
el 40 % destila a:	°C		50.0	55.0	
el 50 % destila a:	°C		75.0	85.0	
el 90 % destila a:	°C		115.0	130.0	
Temp. Final de Ebullición	°C			190	
Presión de Vapor	lb/pulg ² (kPa)	Presión de vapor (ASTM D 4953, ASTM D 5191)	Marzo a octubre	7.50 (51.70)	10.50 (72.40)
			Noviembre a febrero	7.50 (51.70)	11.50 (73.30)

Continuación de la Tabla 1.7

Azufre Total	mg/kg ppm	Determinación de azufre total en hidrocarburos ligeros (ASTM D 5453, ASTM D 2622)	30	80
Corrosión al Cu, 3 horas a 50 °C	Adimensional	Detección de corrosión por cobre en productos de petróleo por la prueba de mancha de tira de cobre (ASTM D 130)		STD 1
Corrosión ferrosa	Adimensional	Formación de óxido en presencia de agua ASTM D 665		B ⁺
Goma lavada	kg/m ³ mg/100mL	Estabilidad de oxidación de gasolina–Método de periodo de inducción (ASTM D 525)	-	0.04 4
Periodo de inducción	Minutos	Estabilidad de oxidación de gasolina–Método de periodo de inducción (ASTM D 525)	1000	-
Número de octano (RON)	Adimensional	Número de Octano Research de combustible para motores de encendido por chispa (ASTM D 2699)	95	-
Número de octano (MON)	Adimensional	Número de Octano Motor de combustibles para motores de encendido por chispa (ASTM D 2700)	Informar	-
Índice de octano (RON+MON)/2	Adimensional	Número de Octano Research de combustible para motores de encendido por chispa (ASTM D 2699) Número de Octano Motor de combustibles para motores de encendido por chispa (ASTM D 2700)	90	-
Aromáticos	% vol.	Tipos de hidrocarburos en productos líquidos de petróleo por absorción de indicador fluorescente (ASTM D 1319)		8.0
Olefinas	% vol.	Tipos de hidrocarburos en productos líquidos de petróleo por absorción de indicador fluorescente (ASTM D 1319)		15.0
Benceno	% vol.	Determinación de benceno y tolueno en gasolina terminada para uso en motores y aviación por cromatografía de gases (ASTM D 3606, D 5580)		0.5

1.3 Motores de combustión interna ⁽¹³⁾

Es un tipo de máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química de un combustible que arde dentro de una cámara de combustión. Su nombre se debe a que dicha combustión se produce dentro de la máquina en sí misma. Los primeros motores de combustión interna alternativos de gasolina que sentaron las bases de los que conocemos hoy fueron construidos casi a la vez por Karl Benz y Gottlieb Daimler⁽¹⁴⁾. Los intentos anteriores de motores de combustión interna no tenían la fase de compresión, sino que funcionaban con una mezcla de aire y combustible aspirada o soplada durante la primera parte del movimiento del sistema. La distinción más significativa entre los motores de combustión interna modernos y los diseños antiguos es el uso de la compresión⁽¹⁵⁾. La ilustración de estos motores se muestra en la Figura 1.8.

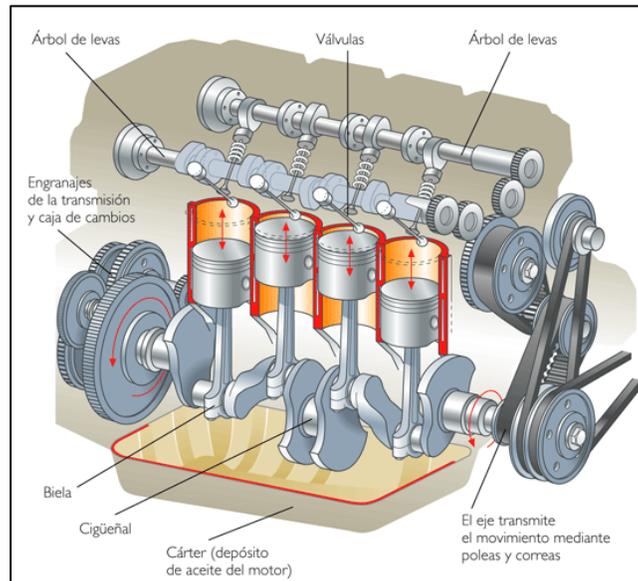


Figura 1.8 Motor de combustión interna

Las diferentes variantes de los dos ciclos tanto en diésel como en gasolina, tienen cada uno su ámbito de aplicación. Motor de 2 tiempos (2T) gasolina: tuvo gran aplicación en las motocicletas, motores de ultraligeros (ULM) y motores marinos fuera-borda hasta una cierta cilindrada, habiendo perdido mucho terreno en este campo por las normas anticontaminación. Además de en las cilindradas mínimas de ciclomotores y scooters (50cc) sólo motores muy pequeños como motosierras y pequeños grupos electrógenos (es una máquina que mueve un generador eléctrico) siguen llevándolo.

Motores de 4 tiempos (4T) gasolina: domina en las aplicaciones en motocicletas de todas las cilindradas, automóviles, aviación deportiva y fuera de borda. Tradicionalmente, se la emplea como combustible en los motores de explosión interna con encendido a chispa convencional, o en su defecto, por compresión y también como disolvente. Los primeros motores de combustión en automóviles, los *Otto engine*, se desarrollaron en el último cuarto del siglo XIX en Alemania, el combustible era un hidrocarburo relativamente volátil obtenido a partir del gas coque con un punto de ebullición cerca de 85°C, que era muy adecuado para los primeros carburadores. El desarrollo de una "boquilla" en el carburador permitió el uso de combustibles menos volátiles. Otras mejoras en la eficiencia del motor se intentaron mediante relación de compresión más alta, pero en los primeros intentos hacían detonaciones (explosión prematura de combustible).

1.4 Convertidores catalíticos⁽¹⁶⁾ y antidetonantes^(9,17)

No obstante el desarrollo tecnológico tanto en los motores como en los combustibles, la máquina no deja de contaminar. Los especialistas se inclinan, por tratar el problema por tres caminos mejorar el poder antidetonante de las gasolinas adicionando compuestos como isómeros de hidrocarburos, productos oxigenados alcoholes, éteres y similares; por otro lado tratar los gases de salida, hacer reaccionar los contaminantes como el NOx con los residuos de hidrocarburos (CH) haciendo la transformación catalítica con metales nobles, transformando los NOx en N₂, y los CH en CO₂ y H₂O y un tercero automatizar todo el vehículo, usar sistemas de cómputo para regular los flujos de combustible y aire, la lambda y recircular los gases no quemados, o aumentar la temperatura en las inyecciones de combustible.

1.4.1 Convertidores catalíticos⁽¹⁶⁾

Los convertidores catalíticos, introducidos en 1991 (homologados con las normas EPA estadounidenses), fueron un elemento importante para reducir los daños al medio ambiente causados por los automóviles. El plomo es un "veneno" y agente nocivo para el catalizador de los convertidores, llegando a estropearlos, por lo que se hizo indispensable el uso de gasolinas libres de plomo. Así fue como desapareció la gasolina Nova para dar paso a una nueva generación de gasolinas: Pemex Magna y Pemex Premium, este intento dio como resultado el uso de convertidores catalíticos, como se ve en la Figura 1.9.

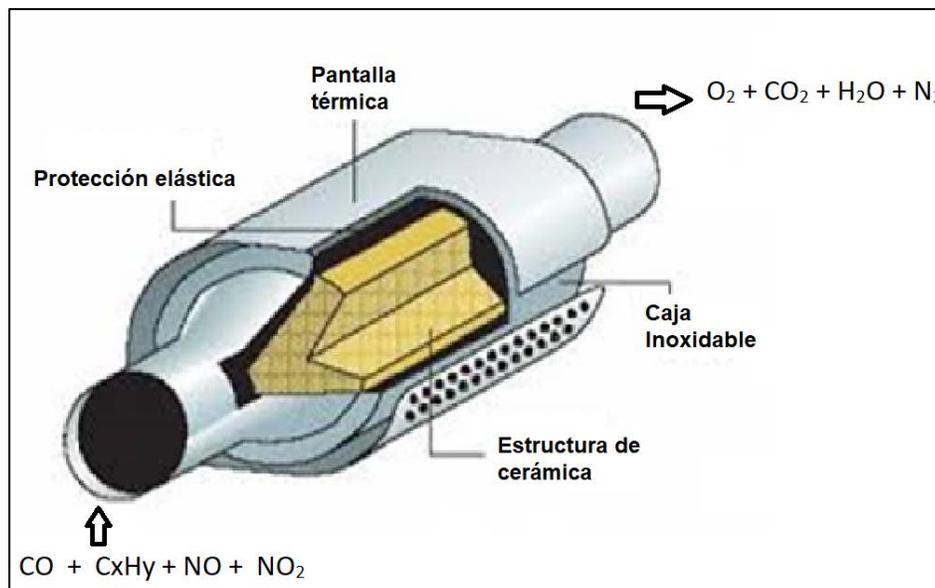


Figura 1.9 Convertidor catalítico

Las reacciones que se llevan a cabo es la oxidación del monóxido de carbono y de los hidrocarburos sin quemar, a dióxido de carbono y agua; y la reducción de los óxidos de nitrógeno a nitrógeno.

1.4.2 Antidetonantes^(9,17)

En la década de 1920, compuestos antidetonantes fueron introducidos por Thomas Midgley y Boyd, específicamente con tetraetilo de plomo (TEL). Esta innovación inició un ciclo de mejoras en la eficiencia del combustible que coincidieron con el desarrollo a gran escala de la refinación de petróleo para proporcionar más productos en el intervalo de ebullición de la gasolina. En la década de 1950 las refinerías de petróleo comenzaron a centrarse en los combustibles de alto octanaje, y luego se añadieron detergentes para gasolina para limpiar los conductos de los carburadores. La década de 1970 fue testigo de una mayor atención a las consecuencias medioambientales de la combustión de gasolina. Estas consideraciones llevaron a la eliminación gradual de TEL y su sustitución por otros compuestos antidetonantes. Posteriormente, se introdujo gasolina de bajo contenido en azufre, en parte para conservar los catalizadores en los sistemas de escape moderno.

Octanaje o número de octano es una medida de la calidad y capacidad antidetonante de las gasolinas para evitar las detonaciones y explosiones en las máquinas de combustión interna, de tal manera que se libere o se produzca la máxima cantidad de energía útil. Para determinar la calidad antidetonante de una gasolina, se efectúan corridas de prueba en un motor, de donde se obtienen dos parámetros diferentes:

El *Motor Octane Number* (Número de Octano del Motor, MON) que se representa como MON o simplemente M y se obtiene mediante una corrida de prueba en una máquina operada a una velocidad de 900 revoluciones por minuto (rpm) y con una temperatura de entrada de aire de 300°F (149°C).

El *Research Octane Number* (Número de Octano de Investigación) que se representa como RON o simplemente R y que se determina a una velocidad de 600 rpm y a una temperatura de entrada de aire de 125°F (51.7°C).

Para propósitos de comercialización y distribución de las gasolinas, los productores determinan el octanaje comercial, como el promedio de los números de octano de investigación (RON) y el octano del motor (MON), de la siguiente forma:

La calidad antidetonante de una gasolina se mide usando una escala arbitraria de número de octano. En esta escala, se dio a los hidrocarburos iso-octano (que es

poco detonante) un índice de octano de 100; y al n-heptano (que es muy detonante), un índice de octano de cero.

La prueba de determinación del octanaje de una gasolina se efectúa en un motor especial de un sólo cilindro, aumentando progresivamente la compresión hasta que se manifiesten las detonaciones. Posteriormente, se hace funcionar el motor sin variar la compresión anterior, con una mezcla de iso-octano y una cantidad variable de n-heptano, que representará el octanaje o índice de octano de la gasolina para la cual se procedió a la prueba y que tiene, por lo tanto, el mismo funcionamiento antidetonante de la mezcla de hidrocarburos.

Así, por ejemplo, si una gasolina presenta propiedades antidetonantes similares a una mezcla de 95% de iso-octano y 5% de n-heptano, se dice que tiene un número de octano de 95.

Los principales problemas que se presentan en el motor son la generación de detonaciones o explosiones en el interior de las máquinas de combustión interna antes de que el émbolo desarrolle su máxima carrera, ocasionado por el bajo índice de octano del combustible, lo que favorece a una combustión incompleta que eleva las emisiones de gases contaminantes.

A nivel mundial, se han desarrollado varias tecnologías relacionadas entre sí para elevar el octanaje. Una de ellas es aumentar compuestos oxigenados en las gasolinas como son alcoholes, éteres, compuestos de elevado índice de octano, aromáticos y un tercero que es modificar las concentraciones de gasolinas con compuestos isomerizados. Como ejemplos de oxigenados se tienen:

Metanol. El primer alcohol, es el carbono 1, se puede producir por procesos petroquímicos o se obtiene como producto secundario en la fermentación de frutas, vegetales, y plantas. Debido a su toxicidad se restringe su uso.

Etanol. Se ha convertido en una opción muy popular para mezclarlo con la gasolina, y como combustible en mercados como el de Brasil, Estados Unidos, Suecia, Tailandia y otros, con la ventaja de que su combustión es menos contaminante y altamente oxigenada. Sin embargo requiere adaptaciones a los vehículos existentes o el desarrollo de motores con capacidad multicomcombustible para poder aprovecharlo al máximo.

Butanol. Éste es de investigación reciente. Es un alcohol que tiene una composición más similar a la gasolina, lo que le permite tolerar mejor la contaminación por agua y poder utilizarse en vehículos con encendido a chispa sin modificar, pero se requiere perfeccionar los métodos de producción para lograr una escala mayor. Los

creadores British Petroleum y DuPontabogan por su uso, ya que también puede producirse a partir de plantas y algas.

Paralelamente, se han desarrollado nuevos aditivos oxigenados denominados ecológicos en sustitución el tetraetilo de plomo (que es altamente contaminante), tales como el Metil-Ter-Butil-Éter (MTBE), el Ter-Amil-Metil-Éter (TAME) y el Etil-Ter-Butil-Éter (ETBE), entre otros. Estos aditivos oxigenados, se adicionan a las gasolinas para elevar su número de octano, proporcionando a la vez una mayor oxigenación, lo que incide directamente en una combustión más completa y en un mejor funcionamiento de los motores. De estos aditivos oxigenados, los que han tenido un mayor uso a nivel mundial (incluso en nuestro país), han sido el MTBE y el TAME, debido a su alto valor de octano en la mezcla con gasolina, a su baja presión de vapor y sobre todo a su alta disponibilidad, al producirse en plantas integradas a las refinerías, donde son aprovechadas las materias primas de refinación requeridas para su elaboración (metanol, butanos, butilenos, isobutilenos e isoamileno), Sus características cancerígenas en los países desarrollados se prohibió su uso, después de estas disposiciones se ha experimentado con alcoholes secundarios, isomerizados, tal es el caso del metilcellosolve con las ventajas económicas que ello representa.

Se han utilizado pastillas de organometálicos, compuestos nitrogenados, compuestos fosfatados, Tolueno, Xileno.

Aplicación de nuevas tecnologías de refinación, de reformado catalítico, isomerización y otros procesos, que permiten obtener gasolinas con elevados números de octano limpios, es decir, sin aditivos. Esto ha llevado a reducir en forma importante inclusive a eliminar el tetraetilo de plomo, dando como resultado gasolinas de mejor calidad, que cumplen con los requerimientos de protección ecológica que se han establecido a nivel mundial.

En diferentes países del mundo se elaboran varias clases de gasolinas, dependiendo del nivel de tecnología utilizadas en sus refinerías, de la disponibilidad de recursos económicos destinados a la investigación y desarrollo tecnológico en materia de refinación y petroquímica, y de la inversión ejercida en la modernización de sus instalaciones, vinculados estos factores directa y estrechamente con la evolución de su industria automotriz.

Petróleos Mexicanos, a través de Pemex Refinación, está trabajando en forma continua para optimizar el nivel de operación de sus refinerías y para mejorar la calidad de las gasolinas que produce. Esto se manifiesta ofreciendo al mercado nacional combustibles con números de octano por encima de las normas ecológicas

establecidas por las autoridades competentes, en cumplimiento con normas nacionales e internacionales.

Paralelamente, y de acuerdo con las tendencias mundiales, Pemex Refinación ha puesto en operación varias plantas para producir aditivos oxigenados MTBE y TAME y otras están en etapa de construcción, con lo que se continúa fortaleciendo la estructura productiva de gasolinas de alta calidad para el mercado nacional.

Este trabajo tiene como antecedente el desarrollo de una patente ya autorizada y otra en proceso de un compuesto con la fórmula siguiente $C_6H_{14}O_2$ con grupos hidroxilo (OH) y cadena no lineal pero no aromática ni nafténica, se muestra en el apéndice la revisión de más de 100 patentes internacionales, La composición de carbón, hidrógeno y oxígeno, no es cancerígena, además de ser compatible con los hidrocarburos que componen la gasolina así como a la humedad ya que tiene la propiedad de emulsionarla haciendo una mezcla muy estable y homogénea por tal motivo no se tiene problemas con la diferencia de concentraciones o estabilidad del combustible, tiene otras ventajas como disolver gomas y barnices, además de limpiar inyectores, baja 4 grados la temperatura de reacción y descarboniza todo el sistema de combustión interno desde el tanque de gasolina hasta los tubos de escape

1.5 Efecto en la atmósfera de las emisiones de los motores de combustión interna que utilizan combustibles fósiles

La limpieza del aire es un importante desafío para el siglo XXI. Especialmente en países en vías de desarrollo en donde las ciudades están superpobladas y en donde los centros urbanos cada día se están contaminando más. Impactos sobre la salud de la contaminación atmosférica

Efecto invernadero⁽¹⁸⁾

Aumento de la temperatura que se produce como resultado de la concentración en la atmósfera de gases, principalmente dióxido de carbono (CO₂), Metano (CH₄), Óxido nitroso (N₂O), Hidrofluorcarbonos (HFCs), Perfluorcarbonos (PFCs), hexafluoruro de azufre (SF₆).

Si se mantiene la concentración atmosférica de los principales gases responsables del efecto invernadero, la temperatura media de la tierra habrá ascendido 1,30C en el 2020 y 30C en el 2070.

Lluvia ácida⁽¹⁹⁾

Se forma cuando la humedad en el aire se combina con los óxidos de nitrógeno y el dióxido de azufre emitidos por fábricas, centrales eléctricas y vehículos que queman carbón o productos derivados del petróleo. En interacción con el vapor de agua, estos gases forman ácido sulfúrico y ácidos nítricos.

Inversión térmica ⁽²⁰⁾

El fenómeno de inversión térmica se presenta cuando, en las noches despejadas, el suelo se enfría rápidamente por radiación. El suelo a su vez enfría el aire en contacto con él que se vuelve más frío y pesado que el que está en la capa inmediatamente superior. Al disminuir tanto la convección térmica como la subsidencia atmosférica, disminuye la velocidad de mezclado vertical entre las dos capas de aire.

Esto ocurre especialmente en invierno, en situaciones anticiclónicas fuertes que impiden el ascenso del aire y concentran la poca humedad en los valles y cuencas, dando lugar a nieblas persistentes y heladas. Puede también generarse en un frente ocluido, cuando se da una oclusión de frente frío.

Este fenómeno meteorológico es frecuente en las mañanas frías sobre los valles de escasa circulación de aire en todos los ecosistemas terrestres. También se presenta en las cuencas cercanas a las laderas de las montañas en noches frías debido a que el aire frío de las laderas desplaza al aire caliente de la cuenca provocando el gradiente positivo de temperatura.

Generalmente, la inversión térmica se termina (rompe) cuando al calentarse el aire que está en contacto con el suelo se restablece la circulación normal en la troposfera. Esto puede ser cuestión de horas, pero en condiciones meteorológicas desfavorables la inversión puede persistir durante días.

Una inversión térmica puede llevar a que la contaminación aérea, como el smog, quede atrapada cerca del suelo, con efectos nocivos para la salud. Una inversión también puede detener el fenómeno de convección, actuando como una capa aislante. Si por algún motivo esta capa se rompe, la convección de cualquier humedad presente puede ocasionar violentos temporales. También este fenómeno puede llevar a una tormenta de hielo en climas fríos.

El smog⁽²¹⁾

Es una combinación de humo, niebla y diversas partículas que se encuentra en la atmósfera de los lugares con elevados índices de contaminación. El fenómeno se produce cuando el aire se estanca por un periodo extendido de alta presión y las

partículas contaminantes quedan flotando en las capas atmosféricas inferiores por su mayor densidad.

Cuando se produce, debido a los rayos del sol, la fotocatalisis de las partículas orgánicas volátiles y de los óxidos de nitrógeno que emanan de los automóviles, se genera lo que se conoce como smog fotoquímico. Esto deriva en la formación de nitrato de peroxiacilo y de ozono, que provoca la irritación del sistema respiratorio y molestias en los ojos.

El smog se genera en las ciudades donde circulan muchos vehículos a motor y donde existe una intensa actividad industrial, ya que estos factores generan contaminación atmosférica. El fenómeno se intensifica en los días soleados y calurosos debido a que las capas superiores del aire se vuelven más gruesas. En las localidades que tienen montañas a su alrededor también se intensifica la formación de smog: las sustancias contaminantes no circulan.

Para reducir la contaminación se requeriría disminuir el tránsito vehicular, instalar equipos de control para la contaminación en los vehículos y en la industria, hacer cambios en los combustibles, alejar de las ciudades las instalaciones que emiten contaminación, tener un mejor control de la distribución urbana, entre otras medidas. Además de un cuidado extremo en la afinación de los vehículos para que haya una cantidad estequiométrica de oxígeno y condiciones adecuadas para la reacción y evitar una combustión incompleta, que dará los resultados mostrados a continuación, Figura 1.10.

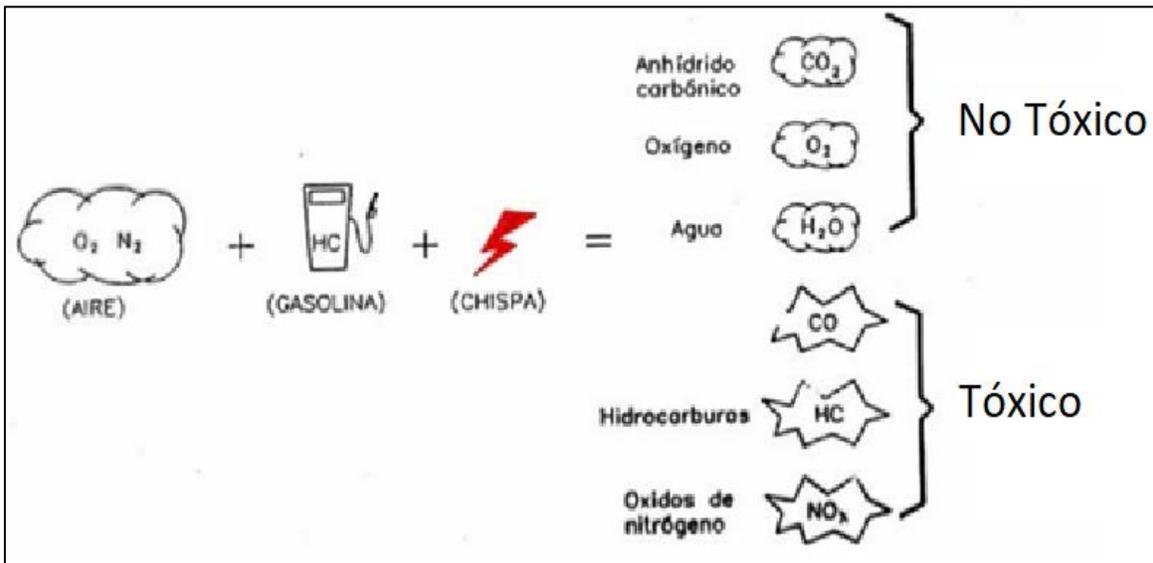


Figura 1.10 Representación gráfica de una combustión incompleta

La producción de contaminantes es un problema multifuncional ya que intervine: El motor, las condiciones propias del mismo. El desgaste, kilometraje, mantenimiento, lubricación, el usuario u operador, edad, experiencia, estado de ánimo, temperamento, las vías de comunicación, los topes, carretera o ciudad, baches, clima; la gasolina que demanda el motor no todos los motores se diseñan con la misma calidad de gasolina. Esta calidad de gasolina no siempre el sistema puede suministrar, por eso la hipótesis que una gasolina no adecuada o de calidad para el motor dará menor rendimiento y aumentará las emisiones de gases contaminantes.

1.6 Efecto en la salud de las emisiones de los motores de combustión interna que utilizan combustibles fósiles

El apoyo y el entendimiento público de este problema son esenciales para combatir esta amenaza a la salud humana y al medio ambiente. La contaminación del aire es causa de enfermedades y de muerte alrededor del mundo, especialmente en las áreas urbanas, y se está empeorando. En muchos países en vías de desarrollo, las personas migran a las ciudades, cuyas calles están atestadas con vehículos viejos que expulsan contaminantes que son respirados por los residentes urbanos. Las nubes oscuras que arrojan los automóviles, camiones y autobuses producen ardor e inflamación de la garganta, opresión en el pecho, dolor de cabeza entre otros síntomas. En las grandes ciudades la contaminación, que es acumulativa, causa enfermedades, e incluso la muerte, 17 millones de niños en el mundo mueren ⁽²²⁾. A pesar de que la contaminación del aire se ha convertido en un desafío de grandes proporciones para la salud pública, su gravedad se disfraza algunas veces con palabras poco claras que utilizan los científicos e ingenieros, por ejemplo, se refieren al smog del ozono como un “oxidante” que causa “irritación respiratoria”. En realidad, el ozono es tan potente que se utiliza para esterilizar instrumentos médicos. En el pulmón humano, el ozono causa perforaciones a través de las paredes de las células. Puede provocar respiración dolorosa y a través del tiempo, causa daños perennes similares al daño que causa fumar tabaco.

Los principales efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud van desde alteraciones de la función pulmonar, problemas cardíacos y otros síntomas y molestias hasta un aumento del número de defunciones, de ingresos hospitalarios y de visitas a urgencias, especialmente por causas respiratorias y cardiovasculares.

El efecto de la contaminación atmosférica mantiene una gradación tanto en la gravedad de sus consecuencias como en la población a riesgo afectada. Así, a medida que los efectos son menos graves, el porcentaje de población afectada es

mayor. Los efectos de la exposición crónica superan en magnitud a los efectos agudos debidos a exposiciones en el corto plazo.

Representación de los diferentes efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud se muestran en la figura 1.11.

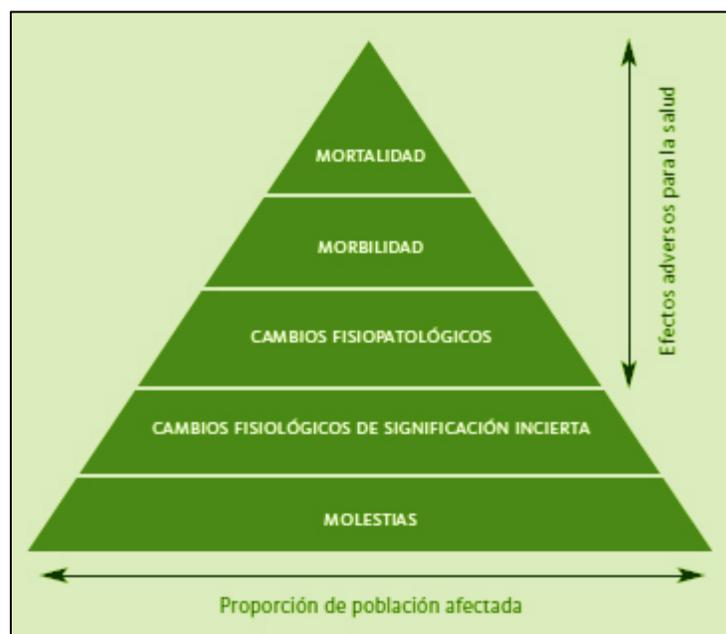


Figura 1.11 Representación de los diferentes efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud⁽²³⁾

En los últimos años ha habido un importante avance en el conocimiento y comprensión de los efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud proporcionado por un gran número de trabajos científicos en todo el mundo. Estos estudios han puesto de manifiesto la importancia de la calidad del aire en la salud de la población y han permitido identificar los principales mecanismos de acción por los cuales la exposición a contaminación atmosférica causa daños en la salud.

A finales de los años 70 y durante la década siguiente, la mayoría de expertos pensaban que, con los niveles que se registraban en la mayoría de ciudades de los países más desarrollados, la contaminación atmosférica no representaba un peligro importante para la salud. Hoy en día, unos 30 años después, las principales agencias encargadas de la protección de la salud y del medio ambiente como la completo OMS, la Agencia Europea de Medio Ambiente o la Agencia de Protección Ambiental de los EEUU (USEPA), reconocen que la inhalación de contaminantes, especialmente de partículas finas, representa un aumento de riesgo de defunción prematura. Este cambio tan importante, comenzó con el análisis de los efectos

agudos, o a corto plazo, de los incrementos de la contaminación atmosférica. Con el tiempo, y los resultados de estudios posteriores, se sabe que los efectos debidos a la exposición crónica (efectos a largo plazo), pueden ser considerablemente más importantes en términos de reducción de la esperanza de vida y morbilidad crónica.

Efectos sobre la salud de las fuentes principales de contaminación y los valores fijados por las directrices de la OMS, partículas en suspensión (PM) altas bajas

Valores fijados en las Directrices son:

PM2.5: 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de media anual - 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de media en 24h

PM10: 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de media anual - 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de media en 24h

Las Directrices fijan por primera vez un valor de referencia para las partículas en suspensión (PM). El objetivo consiste en reducir al máximo las concentraciones. Como no se conoce un umbral de PM por debajo del cual desaparezcan los efectos nocivos para la salud, el valor recomendado debe representar un objetivo aceptable y alcanzable a fin de minimizar dichos efectos en función de las limitaciones, las capacidades y las prioridades locales en materia de salud pública.

Definición y fuentes principales.

Las PM afectan a más personas que cualquier otro contaminante y sus principales componentes son los sulfatos, los nitratos, el amoníaco, el cloruro sódico, el carbón, el polvo de minerales y el agua. Las PM consisten en una compleja mezcla de partículas líquidas y sólidas de sustancias orgánicas e inorgánicas suspendidas en el aire. Las partículas se clasifican en función de su diámetro aerodinámico en PM10 (partículas con un diámetro aerodinámico inferior a 10 μm) y PM2.5 (diámetro aerodinámico inferior a 2,5 μm). Estas últimas suponen mayor peligro porque, al inhalarlas, pueden alcanzar las zonas periféricas de los bronquiolos y alterar el intercambio pulmonar de gases.

Alteraciones genéticas

Cánceres e incrementos de la mutagenicidad, la teratogenicidad, deficiencias neurológicas, deficiencias hematológicas, deficiencias digestivas y deficiencias hepáticas.

Daños a la salud ocasionados por hidrocarburos⁽²⁴⁾

La exposición a hidrocarburos puede afectar 3 sistemas orgánicos fundamentales: pulmón, aparato gastrointestinal y sistema nervioso. a) Pulmón, los síntomas

respiratorios son: tos, ahogo, sibilancias y ronqueras. Síntomas de distrés respiratorio como tos persistente, cianosis, retracción intercostal, taquipnea.

Daños a la salud por el monóxido de carbono⁽²⁵⁾

El monóxido de carbono (CO) es un gas incoloro, inodoro y muy tóxico. Se genera especialmente por las emisiones vehiculares. Pero también se produce al interior del hogar por la combustión de estufas, cocinas, humo de cigarrillo y calefactores. El monóxido de carbono, una vez en los pulmones, reacciona con la hemoglobina en lugar del oxígeno, para formar carboxihemoglobina, causando dolor de cabeza, mareo, sensación de desvanecimiento y a altas concentraciones fallo respiratorio y muerte.

Daños a la salud por los óxidos de nitrógeno⁽²⁶⁾

Los óxidos de nitrógeno son compuestos de oxígeno y nitrógeno, formados en combustiones comunes, a partir principalmente del nitrógeno y el oxígeno del aire, a alta presión y temperatura. Respirar altos niveles de óxidos de nitrógeno puede rápidamente producir quemaduras, espasmos y dilatación de los tejidos en la garganta y las vías respiratorias superiores, reduciendo la oxigenación de los tejidos del cuerpo, produciendo acumulación de líquido en los pulmones y la muerte.

Los principales óxidos de nitrógeno son el óxido nitroso (monóxido de nitrógeno, NO), el óxido nítrico (pentóxido de nitrógeno, N_2O_5), el dióxido de nitrógeno (NO_2) y el ácido nítrico (HNO_3). óxido nitroso (N_2O_3), la sustancia que más daño hace a la capa de ozono. Como se ilustra en la Figura 1.12.

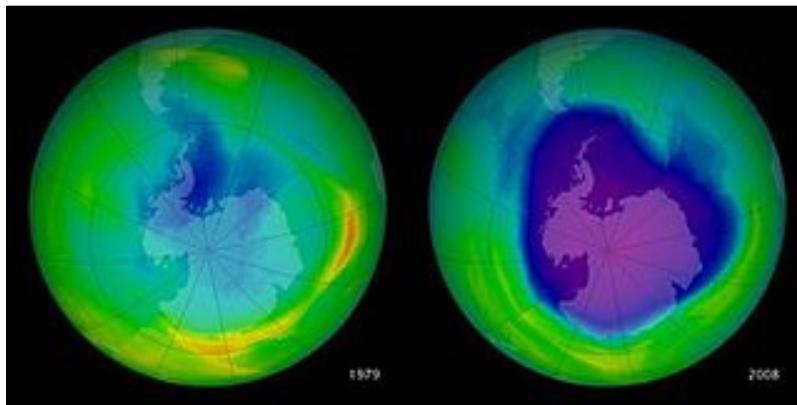


Figura 1.12 Vista satelital de la capa de ozono polar

El óxido nitroso (NO) se forma por reacción del nitrógeno atmosférico y del oxígeno en las cámaras de combustión de los motores, a alta temperatura y presión. En las concentraciones en que se produce no es contaminante, pero en el aire se oxida a dióxido de nitrógeno (NO_2) importante compuesto de la niebla fotoquímica o smog, que se produce en las grandes ciudades.

El dióxido de nitrógeno es muy dañino, pues al ser inhalado forma ácido nítrico con la humedad de los bronquios.

En presencia de la luz solar e hidrocarburos, estos óxidos reaccionan con el oxígeno de la atmósfera para formar ozono, que se encuentra en ciudades grandes y en la cercanía de industrias siderúrgicas, en condiciones especiales de humedad atmosférica y falta de circulación del aire.

Por influencia de la luz se producen reacciones fotoquímicas y se originan el nitroperoxiacetilo (PAN) y el nitroperoxibenzoilo, que irritan los ojos y la garganta y producen serios daños a la agricultura, decoloración de objetos y destrucción de edificaciones de piedra.

OZONO (O₃)⁽²⁷⁾

Valores fijados en las Directrices

100 µg/m³ de media en 8h

El límite (fijado previamente en 120 mg/m³ de media en 8h) ha descendido a 100 mg/m³ de media en 8h en base a la relación concluyente establecida recientemente entre el nivel de ozono y la mortalidad diaria en concentraciones inferiores a 120 mg/m³.

El ozono a nivel del suelo -que no debe confundirse con la capa de ozono en la atmósfera superior- es uno de los principales componentes de la niebla tóxica. Éste se forma por la reacción con la luz solar (fotoquímica) de contaminantes como los óxidos de nitrógeno (NO_x) procedentes de las emisiones de vehículos o la industria y los compuestos orgánicos volátiles (COV) emitidos por los vehículos, los disolventes y la industria. Los niveles de ozono más elevados se registran durante los períodos de tiempo soleado.

El exceso de ozono en el aire puede producir efectos adversos de consideración en la salud humana. Puede causar problemas respiratorios, provocar asma, reducir la función pulmonar y originar enfermedades pulmonares. Actualmente se trata de uno de los contaminantes atmosféricos que más preocupan en Europa. Diversos estudios europeos han revelado que la mortalidad diaria y mortalidad por cardiopatías aumentan un 0,3% y un 0,4% respectivamente con un aumento de 10 µg/m³ en la concentración de ozono.

Capítulo II

Ubicación del área de estudio y método de muestreo

Para fines prácticos, de interés de la comunidad se seleccionó el área de la Unidad profesional Adolfo López Mateos, por la facilidad al acceso de los laboratorios, a la institución, y por el apoyo y asesoría de la Academia de Ingeniería Ambiental. Aunado a este criterio de selección, se espera que la difusión de los resultados de este trabajo sea de interés a alumnos y maestros.

2.1 Área de estudio

Dentro de la Delegación Gustavo A. Madero existen veinte expendios de gasolina. En los alrededores de la Unidad Profesional Adolfo López Mateos hay más de ocho, de los cuales se seleccionaron tres. Este número de muestras fue considerado debido a que el suministro del combustible se espera provenga del mismo origen.

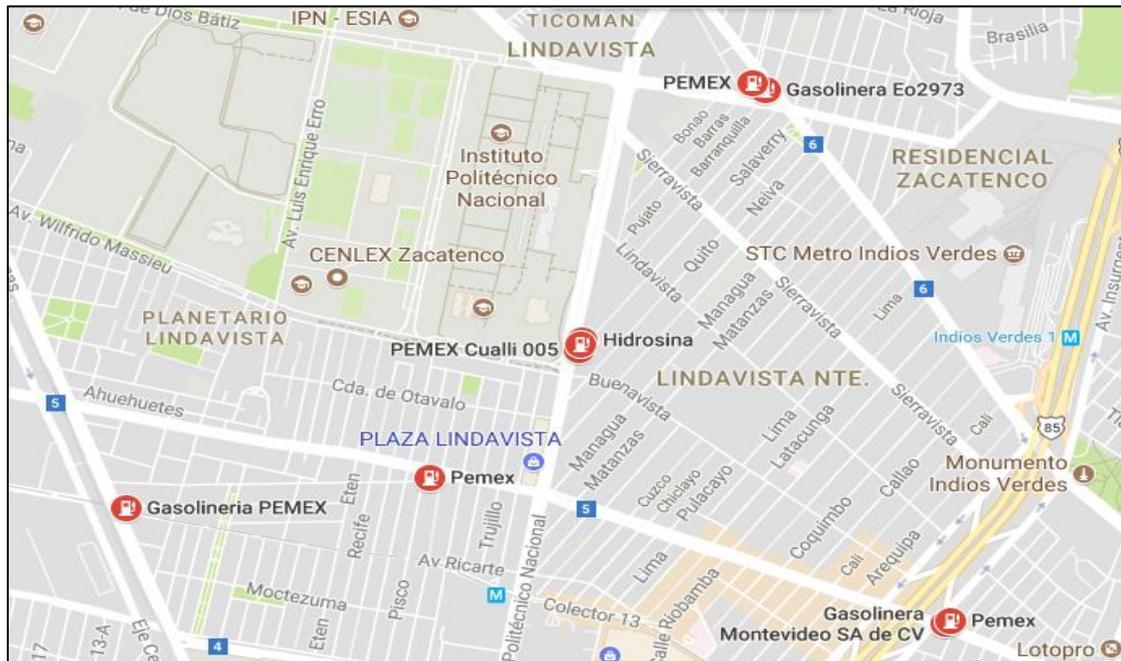


Figura 2.1 Localización de los expendios de gasolina

En este trabajo de campo se seleccionaron tres expendios de gasolina de Pemex.

(Se anexa su respectiva ubicación⁽²⁸⁾).

EXPENDIOS DE GASOLINA DE PEMEX EN LA DELEGACIÓN GUSTAVO A MADERO

- 1. Instituto Politécnico Nacional 4902, Maximino Ávila Camacho, Gustavo A. Madero, C.P. 07380, CDMX (55)5388-8032. Estación ES -0005**
- 2. Montevideo, Esq. Orola y Calz. Azcapotzalco 424, Lindavista Norte, Gustavo A. Madero, C.P. 07300, CDMX (55)5586-2013. Estación ES-0224**
- 3. Ticoman 1190, Santa María Ticoman, Gustavo A. Madero, C.P. 07330, CDMX (55)5396-8808. Estación ES-2963**
4. José Guadalupe López Velarde S/N, Magdalena De Las Salinas, Gustavo A. Madero, C.P. 07760, CDMX (55)5729-0725
5. De Los 100 Metros 230, Defensores De La República, Gustavo A. Madero, C.P. 07780, CDMX (55)5715-7757
6. Adolfo López Mateos, Esq. Venustiano C 2, La Pastora, Gustavo A. Madero, C.P. 07290, CDMX (55)5369-6060
7. Puerto De Mazatlán 11, La Pastora, Gustavo A. Madero, C.P. 07290, CDMX (55)5546-7234
8. Vallejo 1637, Progreso Nacional, Gustavo A. Madero, C.P. 07600, CDMX (55)5392-1579
9. Montevideo, Esq. Insurgentes Norte 99, Guadalupe Insurgentes, Gustavo A. Madero, C.P. 07870, CDMX (55)5262-3827
10. Emiliano Zapata 198,25 De Julio, Gustavo A. Madero, C.P. 07520, CDMX (55)5714-1648
11. Clave, Esq. Insurgentes 394, Vallejo, Gustavo A. Madero, C.P. 07870, CDMX (55)5511-2186
12. Donizzeti y Calz. De Los Misterios 315, Vallejo, Gustavo A. Madero, C.P. 07870, CDMX (55)5517-2261
13. Cantera 134, Martín Carrera, Gustavo A. Madero, C.P. 07070, CDMX (55)5577-9675
14. Miguel Planas 51, Vallejo Poniente, Gustavo A. Madero, C.P. 07790, CDMX (55)5355-570
15. 3a, Esq. 26a 142, Santa Rosa, Gustavo A. Madero, C.P. 07620, CDMX (55)5262-3827
16. Montevideo, Esq. Calz. De Los Misterios 2, Tepeyac Insurgentes, Gustavo A. Madero, C.P. 07020, CDMX (55)5262-3827
17. México Cuatepec 1, Santa Teresa, Gustavo A. Madero, C.P. 07260, CDMX (55)5389-5366

18. Instituto Politécnico Nacional, Esq. Salaverri S/N, Lindavista Norte, Gustavo A. Madero, C.P. 07300, CDMX (55)5262-3827
19. Centenario 1870, Santiago Atzacolco, Gustavo A. Madero, C.P. 07040, CDMX Gasolinera Pemex
20. Ferrocarril Hid, Esq. Gral. J V Villada S/N, Aragón La Villa, Gustavo A. Madero, C.P. 07000, CDMX (55)5394-0160
21. Ferrocarril Hid, Esq. Gral. J V Villada S/N, Aragón La Villa, Gustavo A. Madero, C.P. 07000, CDMX (55)5394-0160

2.2 Método de muestreo

Una vez definida el área de estudio, seleccionados los expendios se analizó la posibilidad de utilizar el muestreo probabilístico, ya que es factible de adoptarse en este caso, cumpliéndose lo siguiente:

- (1) Todos los elementos de la población tienen la probabilidad de ser seleccionados en la muestra.
- (2) Se puede conocer de forma precisa dicha probabilidad para cada elemento, lo que se conoce como probabilidad de inclusión.

No obstante que si se puede cumplir con los requisitos anteriores, la demanda es tener un universo muy grande para cubrir el requisito del número de muestras. El análisis económico indicó que no era factible. Lo que hizo que se seleccionase otra técnica de muestreo a la que se ajustase el presupuesto. La adecuada fue el muestreo no probabilístico. En esta técnica alternativa, es habitual seleccionar elementos para la muestra basándose en hipótesis relativas a la población de interés, lo que se conoce como criterios de selección. El objetivo del trabajo no es conocer la diferencia numérica entre la calidad de la gasolina en el expendio, sino la diferencia entre las gasolinas de los distintos expendios. Debido a que la selección de las unidades de la muestra no es aleatoria, cuando se habla de muestreo no probabilístico no se debería de hablar de estimaciones de error. Dicho de otra forma, una muestra no probabilística da información de cómo es un universo pero no nos permite conocerlo con precisión. No se puede establecer los márgenes de error y los niveles de confianza. Algunas técnicas de muestreo de este tipo son: el muestreo por conveniencia, muestreo secuencial, muestreo por cuotas, muestreo discrecional y muestreo por bola de nieve. Mediante esta técnica no es posible conocer el margen de error que se tiene, pero no es el objetivo de la tesis. Así como la cantidad de muestra que se seleccionó, fue convencional, por el tamaño del recipiente que fue de un galón (3.785l) y la forma más representativa y práctica fue tomar muestras de 3.5 litros. Dada las características de la gasolina se decidió que

Capítulo II Ubicación del área de estudio y método de muestreo

el tiempo de muestreo no debe ser mayor de una hora para tener las mismas condiciones de temperatura y que la volatilidad relativa no tenga una fuerte influencia en la composición de la muestra.

Capítulo III

Desarrollo experimental en la reformulación de las gasolinas

La reformulación de las gasolinas se fundamenta en el subcapítulo 1.4.2. Lo que a continuación se ilustra es el desarrollo del trabajo experimental.

En este trabajo, el objetivo es mejorar el combustible para elevar su calidad y con esto el aumento de rendimiento y abatimiento de los índices de contaminación. Para lograr este fin se diseñó un método experimental basado en una infraestructura que permitió mantener todas las variables bajo control, en donde la única variable fuera el combustible. Se buscó un laboratorio de análisis químico, especializado en la determinación de parámetros del petróleo y sus derivados, un taller-escuela de ingeniería mecánica, la escuela de mecánicos del Grupo de Soporte Técnico al Transporte, Capacitación, Mantenimiento, Herramientas, denominado *CEDGA*.

Para realizar este trabajo se siguió el siguiente diagrama de flujo representado en la Figura 3.1.

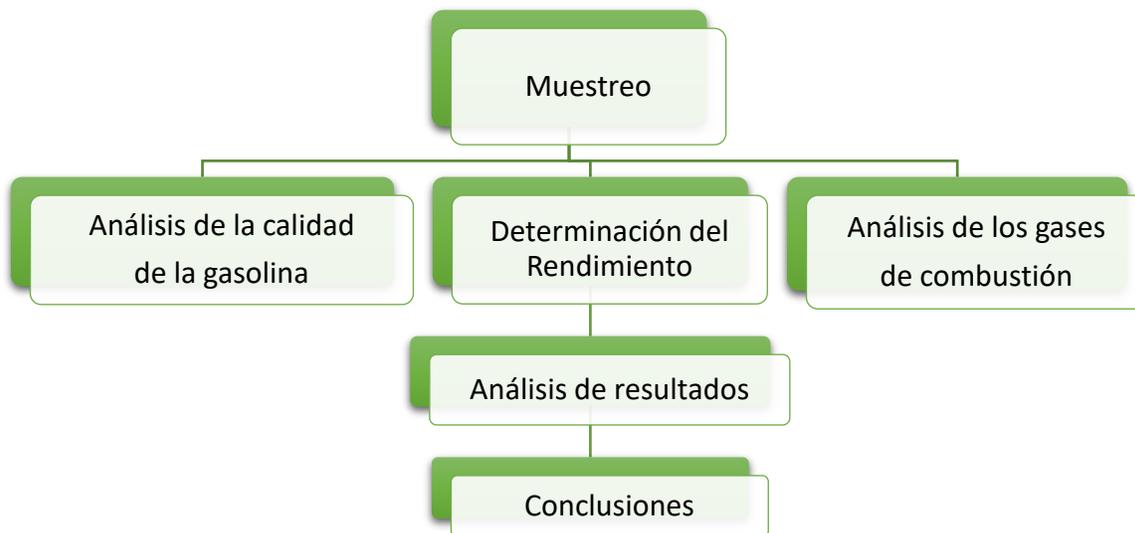


Figura 3.1 Diagrama de flujo del desarrollo experimental

3.1 Determinación de la calidad de las gasolinas ^(30,31)

Uno de los parámetros que indica la calidad es el índice de octano, octanaje o número de octano es una medida de la calidad y capacidad antidetonante de las gasolinas para evitar las detonaciones y explosiones en las máquinas de combustión interna, de tal manera que se libere o se produzca la máxima cantidad de energía útil.

3.1.1 Determinación del índice de octano (MON)⁽³²⁾

El método ERASPEC utilizado se basa en la energía de luz infrarroja y determina los enlaces de las sustancias presentes en la gasolina por espectrofotometría infrarroja en la zona media y con esta información utilizando un programa de computo integrar la información y con la ayuda de los valores de los índices de octano de los productos puros calcular un promedio estadístico del índice de octano. Este análisis del combustible se realiza en menos de un minuto. Deriva directamente las concentraciones de todos los componentes del combustible pertinente y muestra inmediatamente los resultados. Incluyen: oxigenados como etanol o el MTBE según ASTM D5845, compuestos aromáticos como el benceno (ASTM D6277) o-tolueno, octano aumentadores de presión como MMT o DCPD para mediciones de gasolina o fama (ASTM D7806, EN 14078) en combustible diésel. Conociendo la composición exacta del combustible permite calcular parámetros de combustible complejos sin necesidad de métodos complicados y lentos. ERASPEC utiliza modelos quimiométricos para evaluar el espectro de parámetros significativos tales como RON, MON, DVPE, número de cetano, fracciones de destilación y evaporación. El tubo en U densidad medidor, medida según ASTM D7777 e ISO 15212, remata las capacidades de medición del ERASPEC.

Se utilizó un equipo de infrarrojo marca Eralytics como se observa en la Figura 3.2, la cual está basada en la tecnología de infrarrojo, siendo una de las técnicas más usadas en la identificación de hidrocarburos.



Figura 3.2 Analizador IR marca Eralytics para la determinación del Índice de Octano

3.1.2 Determinación del rendimiento

Otro de los parámetros de la calidad de la gasolina, además de la capacidad antidetonante de tal manera que se libere o se produzca la máxima cantidad de energía útil. Es decir la medida de energía (Energía cinética). En física, la energía cinética de un cuerpo es aquella energía que posee debido a su movimiento. Se define como el trabajo necesario para acelerar un cuerpo de una masa determinada desde el reposo hasta la velocidad indicada. En la mecánica clásica, la energía cinética de una masa puntual depende de su masa m y sus componentes del movimiento. Se expresa en Joule (J). $1 \text{ J} = 1 \text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}^2$. Estos son descritos por la velocidad v de la masa puntual, así: $E_c = \frac{1}{2}mv^2$ Si el tiempo es mayor, mayor es el trabajo desarrollado y a su vez la cantidad de energía útil producida por el combustible. Que análogamente es la capacidad que tiene el combustible de dar un determinado kilometraje por litro. En el taller escuela se contó con un motor de combustión interna de un pistón que se utilizó para este fin.

Para la determinación del rendimiento se utilizó un motor de combustión interna de un pistón. Marca Evans, modelo G16MG0300TH Capacidad del tanque 5.5 litros. Se muestra en la figura siguiente.



a) Vista frontal



b) Vista lateral

Figura 3.3 Motor de combustión interna: vista frontal (a) y vista lateral (b)

Procedimiento para la determinación de rendimiento

En el motor Evans de un cilindro, capacidad 5.5 litros de gasolina. Utilizando una gasolina patrón, se trabajó hasta lograr que se comportará dentro de un régimen permanente, es decir con la misma cantidad de gasolina el mismo tiempo de

trabajo. Por economía del recurso: tiempo, combustible, se seleccionó una cantidad de 100 ml y un tiempo de 14 minutos.

Se toman 100 ml de muestra de gasolina magna, se depositan en el tanque del motor. Se hace funcionar. Se espera hasta que deje de funcionar y se mide el tiempo de duración.

3.2 Cuantificación de los gases de combustión ⁽³³⁾

Procedimiento de pruebas para la determinación de los gases de combustión

El procedimiento es medir cualitativamente y cuantitativamente las concentraciones de los gases de salida del motor. Para poder hacer las comparaciones se seleccionaron los tiempos de muestreo una vez arrancado el motor.

1. Se miden 100 ml de combustible.
2. Se adicionan al tanque de gasolina.
3. Se pone en marcha el motor, midiendo el tiempo.
4. Paralelamente se enciende el equipo de medición, se permite que se autocalibre,
5. Una vez que el motor dejen de funcionar, se vuelve a llenar con 100 ml y se repite el procedimiento a los 5, 10 y 15 minutos se toman muestras, intercalando la toma de muestras a los 20, 30 y 60 segundos respectivamente

Para las pruebas de contaminación se utilizó un equipo de diagnóstico automotriz para trabajos profesionales, portátil, marca Dr. Tool Analizador de 5 gases con precisión BAR-97

El principio es el de un cromatógrafo, acoplado a una computadora que tiene un programa para accionar electrónicamente el aparato. Se autocalibra, acciona la bomba de succión inyección para la toma de muestra, analiza cada 4 segundos. El equipo se muestra en la figura 3.3.

Se midieron las emisiones Hidrocarburos HC, Oxígeno O₂, Suma CO₂ +CO, Óxidos de Nitrógeno NO_x, Monóxido de Carbono CO, Bióxido de Carbono CO₂ y el número Lambda (λ) relación estequiométrica aire/combustible.



Figura 3.4 Analizador de gases

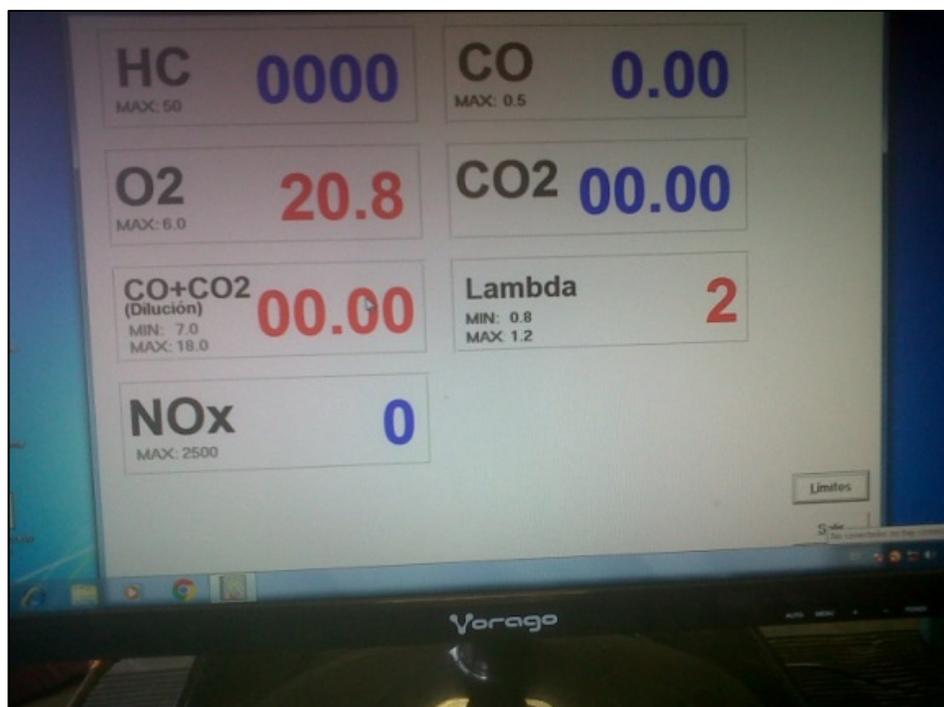


Figura 3.5 Monitor del analizador de gases Dr. Tool

3.3 Reformulación de Gasolinas

Anteriormente se tocó este tema en el subcapítulo 1.4.1 y como enriquecimiento se presenta lo siguiente. Desde 1981 se ha trabajado en el Laboratorio de Investigación de Graduados de la ESIQIE en la reformulación de gasolinas, con el proyecto obtención del Etermetilterpentílico (TAME) a partir de una lata de 20 litros de la despentanizadora de la exrefinería 18 de Marzo, se utilizaron zeolitas naturales mexicanas traídas de Agua Prieta, Sonora, para la separación de isómeros: isopentano de npentano. A la par de la isomerización del npentano con catalizadores zeolíticos, deshidrogenación del isopentano a isopenteno con catalizadores de níquel, y la eterificación con alcohol metílico y sosa como catalizador a altas temperaturas. A fines de los 90's se acordó disminuir estos reformuladores por su carácter cancerígeno. Este trabajo tiene como antecedente (en el período del 2000-2005) el desarrollo de una patente ya autorizada y otra en proceso(1,2) de un compuesto con la fórmula siguiente $C_6H_{14}O_2$ con grupos OH y cadena no lineal pero no aromática ni nafténica, se muestra en el apéndice (1,2) la revisión de más de 100 patentes internacionales, la clave es solo carbón, hidrógeno y oxígeno, no cancerígena, afable a los hidrocarburos que componen la gasolina así como a la humedad ya que tiene la propiedad de emulsionarla haciendo una mezcla muy estable y homogénea por tal motivo no se tiene problemas con la diferencia de concentraciones o estabilidad del combustible, tiene otras ventajas como disolver gomas y barnices, además de limpiar inyectores, baja 4 grados la temperatura de reacción y descarboniza todo el sistema de combustión interno desde el tanque de gasolina hasta los tubos de escape 1.5 Efecto en la atmósfera de las emisiones de los motores de combustión interna que utilizan combustibles fósiles, se obtuvo un nuevo reformulador no cancerígeno y en el 2012 se le hizo una mejora. Este compuesto oxigenado, isómero de hidrocarburos se ha utilizado desde hace 8 años en motores de combustión interna afinando la concentración de 30 a 50 ppm dando resultados de campo, con un aumento en el rendimiento de un 20 al 27 % y reducciones de contaminantes promedio de un 60 a un 75%. Con estos antecedentes se reformularon las muestras de los 3 expendios de gasolina de la Delegación Gustavo A. Madero con una concentración de 37-40 ppm. Es importante aclarar que solo es válido el experimento realizado en su momento, ya que la gasolina en cada uno de los expendios cambia al terminarse y es muy poco probable que se repita su composición e incluso determinar la amplitud relativa de la diferencia. No obstante se logró tener el concepto de lo absoluto y de lo relativo pudiendo aislar todos estos parámetros y mantener una constancia que permitió exitosamente llevar a buen fin la experimentación. Este tipo de experimentos multifactorial es necesario poseer mucho tiempo y recursos para llevarlos a cabo.

Capítulo IV

Análisis de Resultados

4.1 Calidad de la gasolina

A continuación se muestran los resultados obtenidos del laboratorio de análisis especializado en petróleo y derivados. El índice de octano y la composición de la gasolina, de las 3 muestras tomadas para el estudio.

Tabla 4.1 Calidad de gasolina sin y con el reformulador

MUESTRAS									
No. Estación o Expendio		0224	0224	0005	0005	2963	2963	Límites permitidos D6729 % vol. máx.	
Propiedad	Método ASTM	Sin Reformulador	Con Reformulador	Sin Reformulador	Con Reformulador	Sin Reformulador	Con Reformulador		
Índice de octano	D6729	90.4	96.3	89.4	98.4	90.3	97.7		87 mín.
Aromáticos	D6729	23.5	22.4	23.7	22.8	22.8	23	% vol.	25
Benceno	D6729	0.47	0.38	0.47	0.39	0.5	0.41	% vol.	1
Tolueno	D6729	4.33	4.45	4.27	4.51	4.69	4.84	% vol.	1
Xilenos	D6729	6.37	6.11	6.35	6.32	6.08	6.14	% vol.	Inf.
Olefinas	D6729	4.6	3	4.1	2.8	4.7	3.2	% vol.	10
Oxígeno	D6729	1.66	1.72	1.62	1.75	1.64	1.47	% peso	2.7

4.2 Rendimiento

La tabla 4.2 muestra los tiempos de duración en operación del motor.

Tabla 4.2 Rendimiento de gasolina

Gasolina	Sin reformulador	Con Reformulador
	Tiempo	Tiempo
0005	16' 52"	18' 47"
0224	16' 55"	19' 53"
2963	19' 20"	19' 30"

4.3 Gases de combustión

Se muestran los resultados obtenidos con el analizador de gases con y sin reformulador en las tablas 4.3 y 4.4 respectivamente.

Tabla 4.3 Gases de combustión sin reformulador

Sin Reformulador							
Gasolina	CH	O ₂	CO ₂ +CO	NO _x	CO	CO ₂	Lambda
0005	584	7.4	16.16	9665	5.66	10.5	1.15
0224	549	6.4	15,19	2874	4.99	10.2	1.13
2963	395	3.3	13.42	1691	0.52	12.90	1.11

Tabla 4.4 Gases de combustión con reformulador

Con Reformulador							
Gasolina	CH	O ₂	CO ₂ +CO	NO _x	CO	CO ₂	Lambda
0005	335	3.0	13.22	2970	0.90	12.32	1.15
0224	332	3.7	13,57	2397	1.47	12.12	1.10
2963	280	2.1	13.20	1222	0.40	12.80	1.09

En la tabla 4.5 y 4.6 se muestran comparativamente los gases de combustión sin y con el reformulador.

Tabla 4.5 Resultados del rendimiento y concentración de contaminantes en las gasolinas reformuladas y sin reformular*

Gasolina	Rendimiento %	CH	CO	NOx
0005	+11.36	-42.36	-80.10	-69.27
0224	+17.53	-39.52	-70.77	-16.59
2963	+0.86	-29.11	-23	-27.73

Nota *expresados como la diferencia entre, gasolina reformulada y sin reformular.

4.4 Análisis

Tomando en cuenta los resultados obtenidos en la experimentación, los cuales están plasmados en la tabla 4.1. Se puede observar una clara mejoría con las gasolinas y sus índices de octanaje antes y después de reformularlas, aumentando 5.9 puntos de octano en la primera muestra (0005), 9.0 puntos de octanos en la segunda muestra (0224) y 7.4 puntos de octano en la tercera (2963).

En cuanto los rendimientos, entendiéndose por esto mayor eficiencia se procedió de acuerdo con la experimentación planteada. Tomándose 100 ml. de cada una de las gasolinas sin y con reformulador adicionando una a la vez, se puso en marcha el motor con la ayuda de un cronómetro, se tomó el tiempo al arranque del motor y hasta que se agotara la muestra obteniéndose los siguientes resultados de acuerdo a la tabla 4.2. Como se puede observar en la muestra 2963 no hubo cambio significativo en los tiempos de operación del motor, por lo que se asume que esta gasolina presenta mejor calidad que las otras dos muestras, en cuanto a su rendimiento. Quedando los valores porcentuales del rendimiento, representados en la tabla 4.5, siendo en la primera muestra (0005) se obtiene un 11.36 % de eficiencia, en la segunda muestra (0224) es de 17.53% de eficiencia, y en la tercera no hay cambio significativo. Los resultados obtenidos para los gases contaminantes de manera porcentual se muestran también en la tabla 4.5, siendo los siguientes: en el caso de la primera muestra las reducciones son para hidrocarburos (CH) 42.36%; CO 80.10% y para los NOx 69.27%, para la segunda muestra CH 39.52 %; CO 70.77%; NOx 16.59 %, para la tercera muestra CH 29.11%; CO 23 %; NOx 27.73%. Con la adición del producto reformulador en las gasolinas sustancialmente se abaten los gases contaminantes, generando a su vez mayor eficiencia y mejor desempeño del combustible.

Conclusiones

1ª. Con base en los resultados obtenidos podemos concluir categóricamente que una gasolina reformulada mejora considerablemente el índice de octano, que en este estudio fue desde un 7 % hasta un 10% así lo demostraron los resultados obtenidos en el laboratorio, y presumiblemente podría ser motivo de una patente.

2ª. Se tomaron para este trabajo tres muestras de gasolina, y se observó que con la adición del reformulador los valores de octano aumentaron 5.9, 9.0 y 7.4 puntos respectivamente concluyendo que el reformulador utilizado favorece fuertemente el aumento en dicho índice.

3ª. También se puede concluir que con dicho reformulador mejora considerablemente la eficiencia en el consumo de gasolina, alcanzándose valores entre 11.36% hasta el 17.53%, esto se debe a que se consigue una mejor y mayor combustión de la gasolina.

4ª. Una conclusión importante, es la que tiene que ver con la razón de este trabajo y es la que se refiere a la disminución de gases contaminantes emitidos a la atmósfera. Se encontró que hay disminuciones en estos índices, lo cual se pudo comprobar por medio del equipo utilizado para dicho objetivo que es el analizador de gases marca Dr. Tool Analizador de 5 gases con precisión BAR-97. De esta forma se observó que después de adicionar el reformulador las emisiones tuvieron una disminución porcentual de HC entre 42.36% y 29.11% en el caso del CO fue entre 80.10% y 23%, y por último los NOx entre 69.27% y 16.59%.

5ª. Con estos resultados se puede concluir que el objetivo de este trabajo se cumplió satisfactoriamente demostrando de manera experimental que las gasolinas tratadas con un aditivo reformulante mejoran en todas las variables estudiadas como son el aumento de octanaje, eficiencia y disminución de gases contaminantes.

6ª. Se observó que de acuerdo a los resultados de eficiencia y concentración de gases contaminantes, la muestra 2963 es superior a las muestras 0005 y 0224, por lo que se concluye que no sería necesaria su reformulación en lo tocante a rendimiento pero si en lo respecta la disminución de gases contaminantes..

Referencias

1. Página electrónica de la Revista Autocosmos. Disponible en: <http://noticiasautocosmos.com.mx/lospaisesconmayorproducciónautomotriz/30> de marzo del 2017
2. H.G. Applegate, C.R. Bath. Air pollution along the United States Mexico border. Editorial Texas Western Press. 1974
3. G. EchánizP., V.Garibay B., R. Iniestra G., Guía metodológica para la contaminación de emisiones vehiculares en ciudades de México. Secretaría del Medio Ambiente Instituto Nacional de Ecología. 2009.
4. N. Saunders. Atoms and Molecules. Rosen publishing. 2007.
5. P. Vega. El petróleo en oro y negro. Libros Enred .2005.
6. IMP | Petróleo - Instituto Mexicano del Petróleo [www.imp.mx /petróleo/?imp=tipos](http://www.imp.mx/petróleo/?imp=tipos)
7. I. Saucerman. Carbon. The rosen publishing group inc. 2005
8. B. Brucart. Gas natural. Editores técnicos asociados s.a. 1987.
9. J.H.Gary, G.R. Handwerk Refino del petróleo. Editorial Reverté. 1980,
10. D. Chávez. Caracterización del Petróleo y sus Productos - Instituto Politécnico Nacional www.diqp.esiqie.ipn.mx/Servicios/Paginas/Caract-Petro-Produc.aspx
11. Naturaleza combustibles composición elemental petróleo.
page 5 composición molecular del petróleo composición de la gasolina
ingenieria.udea.edu.co/investigacion/.../docs/naturaleza_combustibles
12. J P. Wauquier Productos petrolíferos. Editions Technip. 1994.
13. K.C. Rolle. Termodinámica. Editorial Pearson Prentice Hall. 2006.
14. J.A. Álvarez F., I. Callejón et al. Máquinas Térmicas I. Ediciones UPC. 2002.
15. Hernández Yáñez A. 2017. Manual de Gasolina y diésel, Centro de enseñanza diésel y gasolina CEDGA

16. W.H. Crouse. Mecánica del automóvil. Mc Graw Hill, inc.1993
17. J.A. Fidalgo S., M. Fernández P., N. Fernández F. Tecnología Industrial, Ediciones Paraninfo. 2016
18. Inventario nacional de emisiones de gases efecto invernadero Secretaría del medio ambiente y recursos naturales1999-2002.
19. C .Baird. Química ambiental. Lluvia ácida. Editorial Reverté. 2001
20. B.E. Jiménez C. La contaminación ambiental en México. Inversión térmica, Editorial Limusa. 2001
21. D. Elsom. Smog alert. Managing urban air quality.Ed. Earthscan. 2013.
22. El Herald. 9 de Mayo del 2017. Según la OMS.
23. F. Ballester D., J.M. Tenías, S.Pérez-Hoyos. Efecto de los contaminantes ATMOSFÉRICOS SOBRE LA SALUD. Rev. Esp. Saludo Pública. 73, 109-121, No.2 Marzo-Abril 1999.
24. B. Carnero G. Efecto de los hidrocarburos en la salud humana. Cetmar. 1969.
25. Iowa department of publichealth. Peligro de los contaminantes de combustión del monóxido de carbono. 2016.
26. De la Llata L. Ecología y medio ambiente. Afecciones de los NOx. Editorial Progreso.2003.
27. Calidad del Aire y Salude/ecodedes.org.
28. Ubicación de las estaciones de gasolina en la Delegación GAM. Disponible en: www.secciónamarilla.com.mx
29. I.D. Toro J., R.D. Parra R. Método y conocimiento. Fondo editorial Universidad. EAFIT. 2006.
30. J.H. Gary, G.R. Handwerk. Refino del petróleo. Editorial Reverté. 1980.
31. NORMA Oficial Mexicana de Emergencia NOM-EM-005-CRE-2015, Especificaciones de calidad de los petrolíferos.
32. www.ref.pemex.com/octanaje/que.htm.

- 33.** NORMA Oficial Mexicana NOM-085-SEMARNAT-2011, Contaminación atmosférica-Niveles máximos permisibles de emisión de los equipos de combustión de calentamiento indirecto y su medición.

Apéndice

Apéndice 1 Relación de patentes que involucran mejoradores de gasolina

Apéndice 2 Revisión técnica de gasolinas para motores

Apéndice 3 NOM-041-SEMARNAT-2015

Apéndice 1

Relación de patentes que involucran mejoradores de gasolina

1 Composición catalítica que reduce el contenido de azufre en la gasolina en un proceso de craqueo catalítico.

mx 307671 b, us60/782,493 15/03/2006, fecha de concesión 06/03/2013

b01j23/34 (2006-01), b01j23/847 (2006-01), b01j37/02 (2006-01), c10g11/04 (2006-01)

2 Administrador por principio hidrodinámico de combustibles particulados con una o varias boquillas de distribución.

Enero de 2013. mx 2812 b. mx/u/2011/000193. 06/05/2011. Fecha de concesión 26/12/2012

3 Estructura del cuerpo posterior de un vehículo automotor.

4 Motor de combustión interna modificado para funcionar como compresor de aire

5 Catalizador de reducción de azufre en las gasolinas para el proceso de termo fraccionamiento catalítico fluido.

6 Proceso para la conversión de compuestos oxigenados a gasolina.

7 Control de tiempo-supresor de encendido y marcha.

8 Proceso para hidrodesulfurizar gasolina FCC, que resulta en un producto de bajo contenido de mercaptanos.

9 Proceso continuo para convertir gas natural a hidrocarburos líquidos.

10 Modelo industrial de una cubierta para tanque de gasolina para una motocicleta.

11 Compuesto balístico resistente al medio ambiente con base en un aglomerante modificado con fluorocarbono

12 Lamina de acero para tanques de combustible y método para producirlas.

13 Catalizador para la reducción del azufre en la gasolina para el proceso de desintegración catalítica fluidizada.

14 Catalizador de reducción de azufre en las gasolinas para el proceso de termo fraccionamiento catalítico fluido.

15 Dispositivo electrostático para mejora de la calidad de combustión de hidrocarburos.

- 16 Método para crear un compuesto de blindaje suave ambientalmente resistente.
- 17 Formulaciones de aditivo inhibidor dispersante de asfáltenos a base de oxazolidinas derivadas de polialquil o polialqueni n-hidroxialquil succinimidias.
- 18 Método para producción de gas de síntesis a partir de biomasa licuada.
- 19 Estación modular de gasolina sobre tierra y un método para construirla.
- 20 Composiciones de combustible que contienen farnesano y derivados de farnesano y método de preparación y uso de éstas.
- 21 Catalizador, método para su preparación y sistema para reducir NOx en una corriente de gas de escape.
- 22 Composición de combustible.
- 23 Composición secuestrante de ácido sulfhídrico con propiedades inhibitorias de la corrosión.
- 24 Reducción de azufre en gasolina usando compuestos tipo hidrotalcita.
- 25 Composiciones combustibles que contienen tetrametilciclohexano.
- 26 Compuesto catalítico de conversión de hidrocarburo multimetalico disfuncional selectivo y proceso para el uso del mismo.
- 27 Amilasas y glucoamilasas, ácidos nucleicos que las codifican y métodos para formarlas y usarlas.
- 28 Proceso para convertir compuestos oxigenados difícilmente convertibles a gasolina.
- 29 Método y aparato para el monitoreo continuo de espacio interurbano en instalaciones de almacenamiento de gasolina y gasoducto.
- 30 Aplicación de material adsorbente microporoso de carbón, para reducir el contenido de benceno de corrientes de hidrocarburos.
- 31 Tren de energía hibrido aprovisionado con hidrogeno y vehículo.
- 32 Dispositivo en circuito magnético cerrado para tratamiento de combustibles usados en motores de combustión interna.
- 33 Alquilación de hidrocarburo utilizando un catalizador de zeolita y nanocristalina.
- 34 proceso para la hidroconversión de una carga de alimentación de hidrocarburos pesados.
- 35 Desulfuración y absorbentes para la misma.

- 36 Saturación aromática y proceso de apertura de anillo.
- 37 Combustibles de alcoholes mixtos para motores de combustión interna, calentadores industriales de quemado directo, calderas, hornos y gasificadores.
- 38 Modelo industrial de economizador de gasolina.
- 39 Reducción de azufre en la gasolina en la desintegración catalítica de fluido.
- 40 Reactor piro catalítico de flujo transversal para la conversión de material plástico de desecho y recortes de caucho.
- 41 Composiciones de combustible de metilciclopentadienil-manganeso-tricarbonilo sin plomo.
- 42 Procedimiento para la preparación de un catalizador para la obtención de gasolinas de alto octano mediante isomerización de parafinas lineales C5-C6.
- 43 Proceso para la preparación de gasolina con bajos niveles de azufre y bajos niveles de olefina.
- 44 proceso para la producción de gasolina de bajo contenido de benceno.
- 45 Separación en membrana para reducir el contenido de azufre.
- 46 Separación en membrana para reducir el contenido de azufre.
- 47 Separación en membrana para reducir el contenido de azufre.
- 48 Alquilación de hidrocarburo utilizando un catalizador de zeolita y nanocrystalina.
- 49 Procedimiento de producción de gasolina de reducido contenido de azufre.
- 50 Composición dispersante y antipolimerizante en el procesamiento de gasolinas de la planta TAME.
- 51 Proceso para la producción de materiales de gasolina.
- 52 Proceso de desulfuración y nuevos sistemas sorbentes bimetalicos para el mismo.
- 53 Composición anticongelante a base de ácido monocarboxilico.
- 54 Mejoras en modulo dosificador de aire y gas o gasolina para motores de combustión interna.
- 55 Vehículo de combustión interna para autolavado a domicilio
- 56 Sistema para mejorar la eficiencia del combustible de un motor.
- 57 Reducción de azufre en la gasolina en la desintegración catalítica de fluido.
- 58 Procedimiento para producir gasolina que tiene bajo contenido de azufre.

- 59 Composición de combustibles.
- 60 Trampa con válvula de purga.
- 61 Instalación de tubo de relleno de combustible.
- 62 Procedimiento para la obtención de un catalizador como alúmina para hidrodesulfurar
- 63 Composición de combustible.
- 64 Modelo industrial de motor de gasolina.
- 65 Contenedor de combustible que tiene excelentes propiedades de barrera de gasolina.
- 66 Eliminación de compuestos con contenido de azufre de corrientes de hidrocarburos
- 67 Composición de gasolina.
- 68 Proceso para alquilación de isoparafina-olefinas.
- 69 Proceso para purificación de isooctano y/o diisobutileno.
- 70 Separación en membrana para reducir el contenido de azufre.
- 71 Mejora a la sección de fraccionamiento de una planta reformadora catalítica de naftas de baja presión.
- 72 Prótesis vascular.
- 73 Proceso para la producción de trampas de vanadio para procesos FCC y producto resultante.
- 74 Proceso para la desulfuración selectiva de una parte de gasolina de media escala.
- 75 Composición de sorbete, Proceso para su producción y uso en desulfuración.
- 76 Método para preparar silico-aluminas amorfas catalíticamente activas.
- 77 Desulfuración y sorbentes para la misma,
- 78 Ensamble colector de líquido perfeccionado para un reactor
- 79 Bomba de gasolina, de presión alta, motorizada, montada en el tanque de combustible.
- 80 Sistema regulador para vehículos energizados con gasolina.
- 81 Glioxal como aditivo de combustible.
- 82 Formulación de un aditivo detergente dispersante para gasolina.

- 83 Método de producción de gasolina desulfurada a partir de fracción de gasolina que contiene gasolina de craqueo.
- 84 Catalizador para reducción de azufre en gasolina para proceso de pirolisis catalítica fluida.
- 85 Filtro distribuidor de combustible con elemento dual sensible al agua.
- 86 Cable de comunicaciones de alta velocidad hermético al paso de vapor y método de manufactura del mismo.
- 87 Proceso que comprende dos etapas de hidrosulfuración de gasolina y una eliminación intermediarla del ácido sulfhídrico formado en el curso de la primera etapa.
- 88 Proceso catalítico de conversión de un residuo petrolero que implica una hidrosulfuración en lecho fijo de catalizador.
- 89 Sistema de neutralización de gases contaminantes por pirolisis.
- 90 Proceso para tratar alúmina porosa comercial envenenada con compuestos de nitrógeno.
- 91 Aditivos concentrados.
- 92 Reducción de azufre en la gasolina en la desintegración catalítica de fluido.
- 93 Contenedor para el dispositivo catalítico para eliminar los metales contenidos en la gasolina.
- 94 Procedimiento para la producción de gasolina con ligero contenido de azufre.
- 95 Desulfuración y sorbentes novedosos para la misma.
- 96 Composiciones de limpieza para pozos de petróleo y gasolina, líneas, tubos, formaciones y equipo y métodos de uso.
- 97 Aparato para detectar hidrocarburos utilizando osciladores de cristal dentro de los dispensadores de gasolina.
- 98 Accesorio de rotula plegada y método de conexión.
- 99 Composición sorbente, proceso para producirla y uso de la misma en desulfuración.
- 100 Procedimiento de producción de gasolinas con un contenido reducido de azufre
- 101 Policarbamida-poliuretanos con propiedades físicas mejoradas.
- 102 Composición, método y aparato limpiadores de motor.

- 103 Composición aditiva para gasolina para auto tracción.
- 104 Sistema de seguridad personalizado.
- 105 Procedimiento para la preparación de un líquido anticongelante-refrigerante para máquinas de combustión interna.
- 106 Dispositivo catalítico para eliminar los metales contenidos en la gasolina.
- 107 Procedimientos de conversión de fracciones pesadas petroleras, que comprende una etapa de hidroconversión en lecho de ebullición y una etapa de hidrotratamiento.
- 108 Composiciones de combustible que contienen polioxialquilen aminas substituidas con hidrocarbilo.
- 109 Alimentación y proceso para la producción de combustible.
- 110 Proceso para conversión de hidrocarburos a olefinas y aromáticos.
- 111 Sistema para recuperación de planta de olefinas, que emplea destilación catalítica.
- 112 Dispositivo economizador de gasolina o diésel en motores y calderas.
- 113 Procedimiento mejorado para la preparación de un aditivo FCC, incrementador de octano en gasolina y el aditivo resultante.
- 114 Placas de acero para tanque de combustible que tienen resistencia a la corrosión mejorada.
- 115 Proceso para el enriquecimiento de la gasolina.
- 116 Procedimiento para preparar éteres alquílicos y mezclas de los mismos.
- 117 Conversión del benceno en un proceso mejorado de enriquecimiento de gasolina
- 118 Composición catalítica que aumenta la combustión de combustible y métodos de formulación y utilización de la misma.
- 119 Oligomerización de olefina selectiva.
- 120 Proceso de desulfuración de gasolina.
- 121 Proceso de preparación de un catalizador para la desintegración de gasóleos y el catalizador resultante.
- 122 Proceso mejorado para la hidrodeshulfuración profunda de diésel.
- 123 Medidor de flujo.

125 Proceso de mejora de la gasolina.

126, Documento: MX/a/2009/012895 fecha de presentación 27/11/2009. Autor Blas Ramos Beltrán. Título composición oxigenante para combustible preparación de un aditivo base $C_6H_{14}O_2$ mezclado con aromáticos, peróxidos, hidroperóxidos de terbutilo, tolueno, y nitroparafinas. Esta solicitud de patente pertenece a Reformul, ya que el Ing. Blas Ramos Beltrán es socio de Reformul. Esta fórmula esta mejorada, eliminando todos compuestos cuyos grupos funcionales fuesen nitrogenados, sulfurados, e incluso los aromáticos y metil aromáticos.

Únicamente que esa fórmula esta mejorada ya que se han sustituido los aromáticos, los nitrogenados y se ha sustituido por hidrocarburos constituyentes de las gasolinas. Además de ningún compuestos de azufre.

Por tal motivo la patente consiste en 80-95 % volumen de $C_6H_{14}O_2$, de 10-15 % isopentano, 10-15%isohexano, 15-20% isoheptanos, 40-60% isooctano y 0.5-2% alcoholes secundarios isomerizados C_2-C_6 .

Solicitud 2013, 0575 del 25 de Abril de 2013.

Apéndice 2

Revisión técnica de gasolinas para motores

Vapor Pressure

For those materials that can exist as a vapor, some vapor is present even when the material is in its liquid or solid state. A material's vapor pressure is the pressure exerted by the vapor when the vapor is in equilibrium with the liquid or solid. The vapor pressure of gasoline is measured at a temperature of 37.8°C (100°F) and a pressure of 1 atmosphere. Vapor pressure is expressed as kilopascals (kPa) or pounds per square inch (psi).

Vapor Pressure

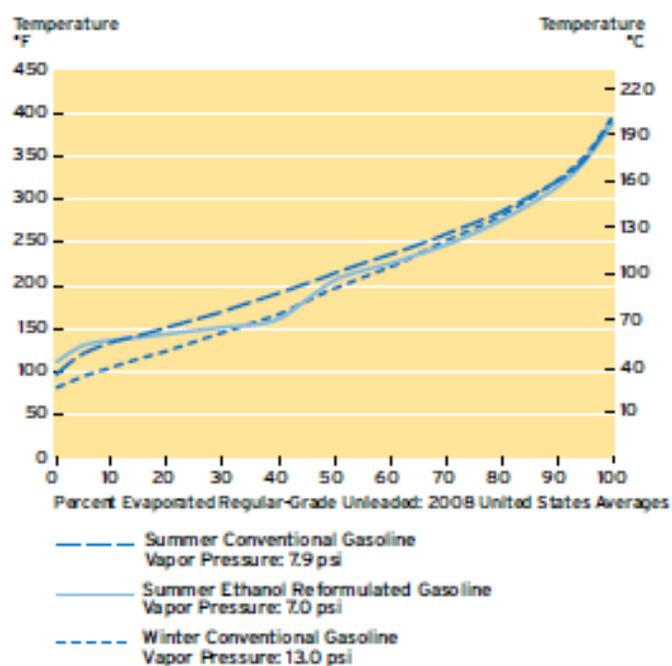
With respect to gasoline, vapor pressure (VP) is the single most important property for cold-start and warm-up driveability. (*Cold-start* means that the engine is at ambient temperature, not that the ambient temperature is cold.) When gasoline vapor pressure is low, an engine may have to be cranked a long time before it starts. When vapor pressure is extremely low, an engine may not start at all. Engines with port fuel injection (see page 66) appear to start more readily with low vapor pressure fuel than do carbureted engines. Vapor pressure varies with the season; the normal range is 48.2 kPa to 103 kPa (7 psi to 15 psi). Higher values of vapor pressure generally result in better cold-start performance, but lower values are better to prevent vapor lock and other hot fuel handling problems.

Distillation Profile

Gasoline is a mixture of hundreds of hydrocarbons, many of which have different boiling points. Thus gasoline boils, or distills, over a range of temperatures, unlike a pure compound; water, for instance, boils at a single temperature. A distillation profile, or *distillation curve*, is the set of increasing temperatures at which gasoline evaporates for a fixed series of increasing volume percentages (5 percent, 10 percent, 20 percent, 30 percent and so on) under specific conditions (see page 48). Alternatively, the profile may be the set of increasing evaporation volume percentages for a fixed series of increasing temperatures. Figure 1.1 shows the 2008 U.S. average distillation profiles of conventional summer and winter gasolines. A distillation profile is also shown for a summer reformulated gasoline (RFG) containing ethanol.

Figure 1.1

Typical Distillation Profiles of Summer and Winter Gasolines (ASTM D86)



Various ranges of a distillation profile correlate with specific aspects of gasoline performance.

Front-end volatility is adjusted to provide:

- Easy cold starting.
- Easy hot starting.
- Freedom from vapor lock or other hot fuel handling problems.
- Low evaporation and running-loss emissions.

Midrange volatility is adjusted to provide:

- Rapid warm-up and smooth running.
- Good short-trip fuel economy.
- Good power and acceleration.
- Protection against carburetor icing and hot-stalling.

Tail-end volatility is adjusted to provide:

- Good fuel economy after engine warm-up.
- Freedom from engine deposits.
- Minimal fuel dilution of crankcase oil.
- Minimal volatile organic compound (VOC) exhaust emissions (see page 17).

Figure 1.2 illustrates these correlations. The temperature range is approximate; the exact range depends on the conditions that exist in the location where a vehicle is driven.

Vapor-Liquid Ratio

The vapor-locking tendency of a gasoline is influenced both by the temperatures at the front end of its distillation profile and by its vapor pressure. However, the property that correlates best with vapor lock and other hot fuel handling problems (hard starting or no starting after a hot soak, and poor throttle response) is the temperature at which a gasoline forms a vapor-liquid ratio of 20 (V/L = 20). This is the temperature at which a gasoline exists as 20 volumes of vapor in equilibrium with one volume of liquid at atmospheric pressure. The temperature for a V/L = 20 varies with the season; the normal range is 35°C to 60°C (95°F to 140°F). Gasolines with higher values provide greater protection against vapor lock and hot fuel handling problems. This correlation was developed for vehicles with suction-type fuel pumps and carburetors. Tests in later-model, fuel-injected cars with pressurized fuel systems have shown a good correlation for hydrocarbon-only gasoline. A downward adjustment to the measured value under some circumstances is needed to predict the performance of ethanol blends.

Vapor Lock Index

Outside the U.S., vapor lock index (VLI) is used to control vapor lock and other hot fuel handling problems. VLI is calculated using vapor pressure in kPa and distillation profile percent evaporated at 70°C (158°F), as follows:

$$VLI = 10(VP) + 7(E70)$$

VLI varies with the season. The normal range is 800 to 1,250. Lower values provide greater protection against vapor lock and hot fuel handling problems.

Driveability Index

Although each range of a distillation profile is important, the gasoline represented by an entire profile is what the engine must distribute, vaporize, and burn. To predict a fuel's cold-start and warm-up driveability, a driveability index (DI) has been developed using the temperatures for the evaporated percentages of 10 percent (T10), 50 percent (T50), and 90 percent (T90) and ethanol content:

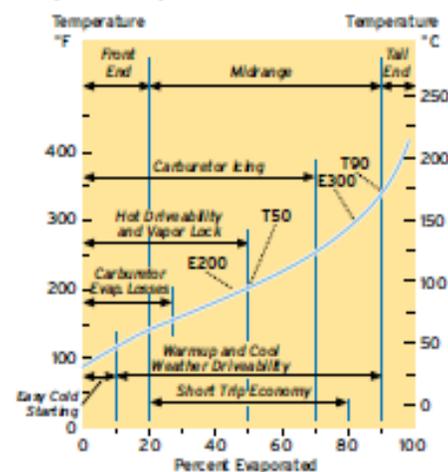
$$DI^{\circ}C = 1.5(T10) + 3.0(T50) + (T90) + 1.33 \text{ (ethanol volume percent)}$$

$$DI^{\circ}F = 1.5(T10) + 3.0(T50) + (T90) + 2.4 \text{ (ethanol volume percent)}$$

The DI varies with gasoline grade and season. In the U.S., the normal range of DI°C is 375°C to 610°C-derived (DI°F is 850°F to 1,275°F-derived). In other parts of the world, the range may be narrower; for example, in the Asia-Pacific region the range of DI°C is 460°C to 580°C-derived (DI°F is 1,000°F to 1,200°F-derived). Lower values of DI generally result in better cold-start and warm-up performance, but once good driveability is achieved, there is no benefit to further lowering the DI.

Figure 1.2

Correlation of Distillation Profile Ranges (ASTM D86) with Gasoline Performance



Vapor Lock and Hot Fuel Handling Problems

Vapor lock and hot fuel handling problems occur when excessive gasoline vapor accumulates somewhere in the fuel system of a vehicle and reduces or interrupts the fuel supply to the engine. This may take place in the fuel pump, the fuel line, the carburetor, or the fuel injector. When the fuel supply is reduced, the air-fuel ratio becomes too fuel-lean (too much air for the amount of fuel), which may cause loss of power, surging, or back-firing. When the fuel supply is interrupted, the engine stops and may be difficult to restart until the fuel system has cooled and the vapor has recondensed. After a hot soak (engine shutdown), it may be difficult to start the engine if too much vapor has formed in the fuel system.

Overheated fuel or overly volatile fuel is the main cause of vapor lock. Fuel temperature depends on several factors: the ambient temperature, how hard the vehicle is working, how well the fuel system is isolated from the heat of the engine, and how effectively the fuel system is cooled.

Carburetor Icing

Carburetor icing occurs when intake air is chilled below the freezing point of water by evaporation of gasoline in the carburetor. Ice forms on the throttle blade and in the venturi and can interrupt carburetion, causing an engine to stall.

Icing can be acute when the air is moist (70 percent or higher relative humidity) and the ambient temperature is between 2°C and 13°C (35°F and 55°F). These weather conditions are common during the fall, winter, and spring in many parts of the U.S., and they can last well into the summer in some coastal regions. Carburetor icing is not a problem when the intake air temperature is below freezing because the air is too dry.

The extent of carburetor icing does not depend on weather alone. It also involves carburetor and vehicle design and the mechanical condition of the engine, in particular, those components that affect warm-up time, such as thermostats, automatic chokes, intake air heaters, and heat risers. Icing also involves gasoline volatility. The 70 percent evaporated temperature in the distillation profile is a good index to measure the tendency of a gasoline to cause carburetor icing; the lower this temperature, the more severe the icing.

Carburetor icing is not as big a problem as it used to be. For emission control reasons, most carbureted engines built since the late 1960s have been equipped with intake air-heating systems that generally eliminate carburetor icing. Today the problem is minimal because fuel-injected vehicles have replaced most carbureted vehicles.

The equation was originally developed using data for conventional gasolines in carbureted vehicles. Subsequent testing has shown the equation to be applicable to conventional gasoline used in later-model, fuel-injected engines. However, for ethanol blends, an upward adjustment has been adopted by ASTM International, as shown in the DI equations on the previous page, to correlate with actual vehicle driveability performance.

Volatility Specifications

The gasoline specification ASTM D4814 (see page 45) controls the volatility of gasoline by setting limits for vapor pressure, distillation temperatures at 10 percent, 50 percent, and 90 percent evaporated points and end point, driveability index, and vapor-liquid ratio properties. The specification employs six vapor pressure/distillation classes (Table 1.1a) and six vapor-liquid ratio classes (Table 1.1b). The specification, except during transition months, assigns one vapor pressure/distillation class and one vapor-liquid ratio

Table 1.1a
ASTM D4814 Vapor Pressure and Distillation Class Requirements

Vapor Pressure/ Distillation Class	Vapor Pressure, kPa (psl) max	Distillation Temperature, °C (°F)				Driveability Index, max Derived °C (°F)
		10 vol% Evap., max	50 vol% Evap., ¹ min – max	90 vol% Evap., max	End Point, max	
AA	54 (7.8)	70 (158)	77-121 (170-250)	190 (374)	225 (437)	597 (1250)
A	62 (9.0)	70 (158)	77-121 (170-250)	190 (374)	225 (437)	597 (1250)
B	69 (10.0)	65 (149)	77-118 (170-245)	190 (374)	225 (437)	591 (1240)
C	79 (11.5)	60 (140)	77-116 (170-240)	185 (365)	225 (437)	586 (1230)
D	93 (13.5)	55 (131)	77-113 ² (170-235)	185 (365)	225 (437)	580 (1220)
E	103 (15.0)	50 (122)	77-110 ² (170-230)	185 (365)	225 (437)	569 (1200)

¹ For 1-10 vol% ethanol blends, T50 minimum is 66°C (150°F).
² For classes D and E, T50 minimum is 66°C (150°F) for gasoline that will not be blended with ethanol. Such gasoline is not suitable for blending with ethanol.

Table 1.1b
ASTM D4814 Vapor Lock Protection Class Requirements

Vapor Lock Protection Class	Temperature, °C (°F) for a Vapor-Liquid Ratio of 20, min
1	60 (140)
2	56 (133)
3	51 (124)
4	47 (116)
5	41 (105)
6	35 (95)

class each month to each geographical area (state or portion of a state) in the U.S. based on altitude and the expected ambient temperature range.

Gasoline volatility affects not only a vehicle’s driveability but also its VOC emissions (from evaporation and exhaust, see page 20). To help control the aspect of air quality affected by hydrocarbon emissions, the U.S. government and some states limit gasoline volatility by law. ASTM International incorporates volatility (vapor pressure) regulations from the U.S. EPA and state implementation plans (SIPs) into its gasoline specifications as such controls are promulgated and approved.

Fluctuating volatility requirements make gasoline manufacture and distribution a complex process. A refiner producing gasoline for a multistate area may have to make gasolines with several different volatilities and change the volatility from month to month. Each gasoline must be shipped separately to the appropriate location.

The Comité Européen de Normalisation (CEN), also known as the European Committee for Standardization, controls petrol volatility through *EN 228 Automotive fuels – Unleaded petrol – Requirements and test methods*. The specification sets limits on vapor pressure, distillation (percent evaporated at three temperatures), final boiling point (FBP), distillation residue, and VLI. In addition, it employs six volatility classes (Table 1.2) that are assigned by country for winter, summer, and transition periods.

Other areas of the world use specifications developed by ASTM International or CEN. Alternatively, some countries develop their own volatility specifications, which may stipulate a single, year-round volatility class, winter and summer classes, or systems similar to those of ASTM International or CEN.

Knocking

Engine knocking or pinging is the sound of abnormal combustion. It is also known as spark knock. Normal combustion in a spark-ignition internal combustion engine is initiated by a spark. Within a combustion chamber, the flame front of a spark fans out from a spark plug and travels across the chamber rapidly and smoothly until almost all fuel residing in the chamber is consumed. When combustion is abnormal, the last part of the unburned air-fuel mixture ignites spontaneously (autoignites) and burns very rapidly, causing the pressure in the cylinder to rise rapidly. This creates the characteristic knocking or pinging sound. Occasional light knocking doesn’t usually hurt an engine. But conditions that create heavy or prolonged knocking can result in:

(continued on next page)

Table 1.2
EN 228 Volatility Class Requirements

Volatility	Unit	Class A	Class B	Class C/C1	Class D/D1	Class E/E1	Class F/F1
Vapor Pressure	kPa	45.0-60.0	45.0-70.0	50.0-80.0	60.0-90.0	65.0-95.0	70.0-100.0
	psi	6.5-8.7	6.5-10.2	7.3-11.6	8.7-13.1	9.4-13.8	10.2-14.5
% Evaporated at 70°C (158°F), E70	vol%	20.0-48.0	20.0-48.0	22.0-50.0	22.0-50.0	22.0-50.0	22.0-50.0
% Evaporated at 100°C (212°F), E100	vol%	46.0-71.0	46.0-71.0	46.0-71.0	46.0-71.0	46.0-71.0	46.0-71.0
% Evaporated at 150°C (302°F), E150	vol%, min	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0	75.0
Final Boiling Point	°C, max	210	210	210	210	210	210
	°F, max	410	410	410	410	410	410
Distillation Residue	vol%, max	2	2	2	2	2	2
VLI (10 VP + 7 E70)	Index, max	-	-	C (-) C1 (1050)	D (-) D1 (1150)	E (-) E1 (1200)	F (-) F1 (1250)
VLI (68.95 VP _{psi} + 7 E158°F)	Index, max	-	-	C (-) C1 (1050)	D (-) D1 (1150)	E (-) E1 (1200)	F (-) F1 (1250)

(continued from previous page)

- Objectionable noise
- Loss of power
- Overheating of engine parts
- Knock-induced surface ignition
- Engine damage

Knock occurs because the gasoline burning in an engine has an antiknock rating (octane number) below the antiknock requirement of the engine at that moment. Generally, the situation involves high-load conditions, such as hard acceleration or climbing a grade.

Other Abnormal Combustion Phenomena

Other abnormal combustion phenomena can occur in addition to knocking. Surface ignition involves the ignition of the air-fuel mixture by a hot spot rather than a spark. Potential ignition sources include glowing combustion chamber deposits, sharp edges or burrs in the combustion chamber, and an overheated spark plug electrode.

Heavy, prolonged spark knock can generate hot spots that produce surface ignition. A hot spot can ignite a portion of the air-fuel mixture before the mixture would normally start to burn. This may occur either before or after spark ignition. Surface ignition before a spark is called preignition. Surface ignition after a spark is called post-ignition. When preignition occurs, ignition timing is lost and upward movement of the piston is opposed by the high pressure generated by early combustion. This results in engine roughness, power loss, and severe localized heating of the piston crown. If it is prolonged, the localized heating can burn a hole in the piston.

(continued on next page)

ANTIKNOCK PERFORMANCE

Knock-free engine performance is as important as good driveability. *Octane number* is a measure of a gasoline's antiknock performance, that is, a gasoline's ability to resist knocking as it burns in the combustion chamber. There are two laboratory test methods used to measure the octane number of a gasoline (see page 47). One method yields the *Research octane number (RON)*; the other results in the *Motor octane number (MON)*. RON correlates best low-speed, mild-knocking conditions; MON correlates best high-speed and high-temperature knocking conditions and with part-throttle operation. For a given gasoline, RON is always greater than MON. The difference between the two indicates the sensitivity of the gasoline to changes in operating conditions. The larger the difference, the more sensitive the gasoline.

RON and MON are measured in a single-cylinder laboratory engine, so they do not completely predict antiknock performance in multicylinder engines. The Modified Uniontown procedure (see page 48) involves using an actual vehicle to measure the antiknock performance of a gasoline. The resulting value is called *Road octane number (RdON)*. Because vehicle testing is more complex than laboratory testing, there have been several attempts to predict RdON from RON and MON. The equations take the following form:

$$\text{RdON} = a(\text{RON}) + b(\text{MON}) + c$$

A good approximation for RdON is $a = b = 0.5$ and $c = 0$, yielding $(\text{RON} + \text{MON})/2$, commonly written $(R + M)/2$. This is called the *antiknock index (AKI)*. The U.S. Federal Trade Commission requires dispensing pumps to be labeled (posted) with the AKI of the gasoline they dispense.¹ In addition, owner's manuals for vehicles in the U.S. must specify recommended fuel by AKI.² $(R + M)/2$ is voluntarily posted in Canada.

Neither the AKI nor any of the other single-value indices that have been developed forecast the performance of a gasoline in all vehicles. In some vehicles, performance correlates better with either RON or MON alone rather than with a combination of the two. Also, for a given vehicle, the correlation can vary with driving conditions.³

As the formula indicates, gasolines with the same AKI can have different RONs and MONs. This may explain why a vehicle knocks while running on certain brands of gasoline or even between fill-ups of the same brand. Of course, for a comparison to be valid, a vehicle must be operated under identical conditions, which is not easy for the typical driver to arrange.

¹ The gasoline being dispensed must have an antiknock index equal to or greater than the posted value. Rounding the number upward is not permitted.

² Older owner's manuals of some foreign cars specify RON; some more recent ones specify both RON and AKI.

³ See Table 1.3 on page 8 for the variables that affect an engine's octane number requirement.

Generally, three grades of unleaded gasoline with different AKIs are available in the U.S.: regular, midgrade, and premium. At sea level, the posted AKI for regular grade is usually 87; for midgrade, 89. The AKI of premium grade varies, ranging from 91 to 94.

The posted AKIs are lower in the Rocky Mountain states. *Altitude gasolines* have historically provided the same antiknock performance as higher-AKI gasolines at sea level. The octane requirement of older-model engines decreases as air pressure (barometric pressure) decreases. Barometric pressure is lower at higher elevations.

Since 1984, vehicles have been equipped with more sophisticated control systems, including sensors to measure and engine management computers to adjust for changes in air temperature and barometric pressure (see page 69). These vehicles are designed to have the same AKI requirement at all elevations, and the owner's manuals specify the same AKI gasoline at all elevations.

Outside the U.S. and Canada, when an octane number is posted at a service station, RON is generally used. In these countries, vehicle owner's manuals also specify the minimum octane grade recommended in terms of RON.

It is difficult for a driver to know whether a gasoline has the antiknock performance an engine requires when the engine is equipped with a knock sensor system. These systems, which temporarily retard spark timing to eliminate knocking, are installed on many late-model engines (see page 72). Retarding the spark reduces power and acceleration. The knock sensor responds so quickly that the driver never notices the knock. Loss of power and acceleration will be the only clue that the antiknock quality of the gasoline does not meet the vehicle's octane requirement.

Using gasoline with an antiknock rating higher than that required to prevent knock or to prevent spark retardation by the knock sensor will not improve a vehicle's performance.

OCTANE NUMBER REQUIREMENT

The technical *octane number requirement* (ONR) of an engine is the octane number of a reference fuel that will produce trace knock under the most severe speed and load conditions. *Trace knock* is the knock intensity that is just audible to a trained technician. Customers may or may not be able to detect trace knock, so customer ONR is usually less than the technical ONR. For the remainder of this review, ONR will refer to technical ONR. ONR can be reported as a RON or AKI value.

The ONR of an engine is usually determined for either maximum-throttle or part-throttle acceleration conditions, whichever is the most critical. ONR varies considerably engine to engine, sometimes as much as 10 points among vehicles with the same engine model.

(continued from previous page)

When preignition is caused by a hot spot generated by prolonged, heavy spark knock, it is known as knock-induced preignition. It has the same adverse effect on engine operation as preignition from other sources. Knock-induced preignition is the most damaging side effect of spark knock.

Post-ignition reduces combustion time, and loss of combustion control can cause knock, engine roughness, and reduced power output. The extent of the effect of post-ignition depends on its location in a combustion chamber and the time in the combustion cycle that it occurs.

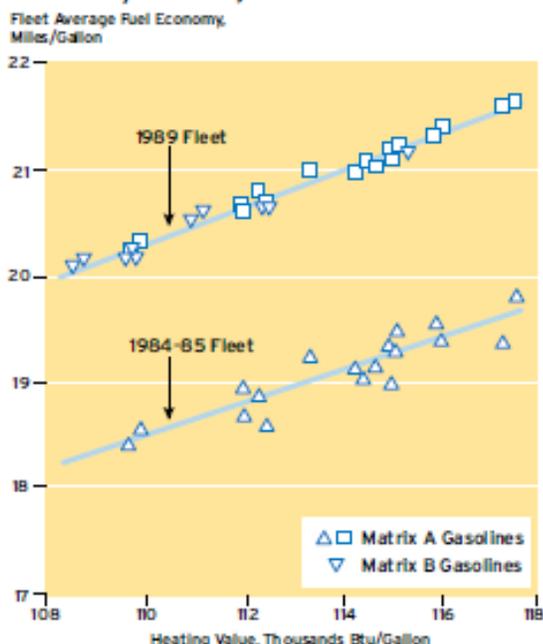
Run-on occurs when the engine continues to run after a vehicle's ignition switch is turned off. It also is referred to as after-running or dieseling. The engine runs noisily, and the exhaust smells bad. Run-on usually is caused by compression-ignition, when a combustion chamber is hot enough to autoignite the air-fuel mixture; however, it also can be caused by surface ignition. The incidence of run-on is decreased or eliminated as the octane quality, especially the RON, of a gasoline is increased. Another important run-on factor is idle speed. This is why many carbureted engines are equipped with an idle stop (anti-dieseling) solenoid. Run-on is not a problem with modern fuel-injected engines because fuel cannot be delivered to combustion chambers when the ignition switch is turned off.

Table 1.3
Average Effect of Some Variables
on Engine Octane Number Requirement

Variable	Change in Variable	Change in ONR, (AKI Number)
Compression Ratio	+1 ¹	+3 to +5
Air-Fuel Ratio	+1 ²	+2
Spark Advance	+1°	+0.5 to +0.8
Ambient Temperature	+6°C (+10°F) ³	+0.5
Absolute Humidity	+1.4 g/kg (+10 grains/lb)	-0.3
Altitude	+300 m (+1,000 ft)	-1.5 ⁴
Combustion Chamber Deposits	-	+1 to +13 ⁵

¹ In range 8:1 to 11:1.
² Fuel leaning.
³ In range 71°C (160°F) to 82°C (180°F).
⁴ For newer engines the change is almost zero because the ECM leans the air-fuel mixture and advances the spark timing as altitude increases.
⁵ Change depends on engine design, fuel, lubricant, and operating conditions.

Figure 1.3
Relationship Between Fleet Average
Fuel Economy and Heating Value



Reprinted with permission from SAE Paper No. 930138
 ©1993 Society of Automotive Engineers, Inc.

The ONR of an engine is influenced by its operating conditions. The effects of some of the more significant of these are listed in Table 1.3. Mechanical and electrical ignition problems can increase ONR. These would include a malfunctioning exhaust gas recirculation (EGR) valve and problems with spark timing.

With late-model vehicles that use engine control module (ECM) systems and knock sensors, the traditional definition of ONR may no longer apply since the knock sensor systems are calibrated to either nearly or completely eliminate audible knock. Work is being done to redefine the ONR for modern vehicles based on a measure of acceleration performance.

When an engine is brand-new, its ONR is determined by its design and manufacture. Generally, an engine will not knock when operated on a gasoline with the AKI or RON recommended by the automobile manufacturer. However, an engine's ONR can increase dramatically during the first several thousand kilometers (miles) of a vehicle's use. This effect, called *octane requirement increase (ORI)*, is caused by the buildup of carbonaceous deposits in the engine's combustion chambers (see page 78).

If an engine is equipped with a knock sensor, a slight loss of power may occur during heavy accelerations. This happens if the ORI results in an octane number requirement that exceeds the AKI of the gasoline being used.

POWER

The power an engine can produce depends on its design. In general, the more air an engine can process, the more power it can produce. Major design considerations for power are engine displacement, compression ratio, and the presence of a supercharger or turbocharger. Other factors affecting power are the number of valves per cylinder, valve timing, and spark timing (see Chapter 5, "Gasoline Engines and Selected Systems"). Different grades of gasoline may have small differences in heating value (see sidebar definition), but they provide comparable power in a given engine as long as their antiknock performance meets the engine's requirement.

Sources of more information

Oxygenated Gasoline

"Alcohols and Ethers, A Technical Assessment of Their Application as Fuels and Fuel Components," Publication 4261, American Petroleum Institute, Washington D.C., 2001.

American Petroleum Institute, "Ethanol Fact Sheet," July 24, 2007, http://www.api.org/aboutoilgas/otherfuels/upload/Ethanol_Fact_Sheet_07_24_07.pdf, accessed August 20, 2008.

Herman, M.J., and L.M. Gibbs, "Chapter 4: Fuel Oxygenates," *Manual 1 on Significance of Testing for Petroleum Products*, 8th ed., Salvator J. Rand (ed.), ASTM International, West Conshohocken, Pa., 2009.

"Oxygenated Gasolines and Fuel Economy," Chevron Technical Bulletin FTB-1, 1993.

"Use of Oxygenated Gasolines in Non-Automotive Engines," Chevron Technical Bulletin CTB-22, 1992.

Petroleum, General

"Petroleum Panorama," *Oil and Gas Journal*, 57 (5), January 28, 1959.

Petroleum Refining

Berger, Bill D. and Kenneth E. Anderson, *Refinery Operations*, PennWell, Tulsa, Okla., 1979.

Leffler, William L., *Petroleum Refining in Nontechnical Language*, 3d ed., PennWell, Tulsa, Okla., March 2000.

Reformulated Gasoline

Committee D02 on Petroleum Products and Lubricants, "Research Report on Reformulated Spark-Ignition Engine Fuel," D02:1347, ASTM International, West Conshohocken, Pa., 2009.

"Federal Reformulated Gasoline," Chevron Technical Bulletin FTB-4, 1994.

California Air Resources Board

1001 "I" Street
P.O. Box 2815
Sacramento, CA 95812
+1-800-242-4450
<http://www.arb.ca.gov/homepage.htm>

U.S. Environmental Protection Agency
Office of Transportation and Air Quality
Mail Code 6401A
1200 Pennsylvania Avenue, NW
Washington, D.C. 20460
+1-202-564-1682
<http://www.epa.gov/otaq>

Regulations, California

California Air Resources Board
1001 "I" Street
P.O. Box 2815
Sacramento, CA 95812
+1-800-242-4450
<http://www.arb.ca.gov/homepage.htm>

ABREVIATURAS

°API	degrees API, the unit of gravity in the American Petroleum Institute system	CFR	Code of Federal Regulations (USA)
°C	degrees Celsius, the unit of temperature in the metric (SI) system	CGSB	Canadian General Standards Board
°F	degrees Fahrenheit, the unit of temperature in the United States customary system	CO	carbon monoxide
ABS	automatic braking system	CO ₂	carbon dioxide
AFNOR	L'Association Française de Normalisation	CPE	chlorinated polyethylene
A/F	air-fuel ratio	CPFI	central port fuel injection
AKI	antiknock index average of an engine fuel's research octane number (RON) and motor octane number (MON) [(RON + MON)/2, simplified to (R + M)/2]	CRC	Coordinating Research Council (USA)
API	American Petroleum Institute	DC	deposit control
ASTM	ASTM International (formerly American Society for Testing and Materials)	DI	driveability index
BDC	bottom dead center; the position of the piston at the bottom of its stroke	DIN	Deutsches Institut für Normung
Btu	British thermal unit	DISI	direct injection spark ignition
C _n	carbon number, <i>n</i> being a variable representing the number of carbon atoms in a hydrocarbon molecule	DOHC	dual overhead cam
CAI	controlled autoignition	DVPE	dry vapor pressure equivalent, the value of vapor pressure obtained by a specific method
CARB	California Air Resources Board	ECM	engine control module
CARBOB	California reformulated blendstock for oxygenate blending	EGR	exhaust gas recirculation
CCD	combustion chamber deposits	EPA	Environmental Protection Agency
CCDF	combustion chamber deposit flaking	Et	distillation profile volume percent evaporated at <i>t</i> temperature
CCDI	combustion chamber deposit interference	ETBE	ethyl tertiary butyl ether
CEN	Comité Européen de Normalisation (European Committee for Standardization)	EtOH	ethanol
		EU	European Union
		FCC	fluid catalytic cracking
		FTP 75	federal test procedure of the U.S. EPA for emissions certification of light-duty vehicles and involving a dynamometer emissions test cycle
		HC	hydrocarbon
HCCI	homogeneous charge compression ignition	NO ₂	nitrogen dioxide
I/M	inspection and maintenance program, a plan for checking the condition and performance of a vehicle's emission systems	NO _x	nitrogen oxides (or oxides of nitrogen); NO + NO ₂
ISO	International Organization of Standardization	O ₃	ozone
IVD	intake valve deposits	OBD	on-board diagnostics, computer-based testing system in a vehicle engine that includes an engine control module for analyzing and diagnosing emission system malfunctions
JIS	Japanese Industrial Standard	OHC	overhead cam
JSA	Japanese Standards Association	ONR	octane number requirement (of an engine)
kPa	kilopascal, a unit of pressure in the metric (SI) system	ORI	octane requirement increase (of an engine)
LAC	lowest additive concentration (that can pass U.S. federal deposit control additive certification tests)	PAH	polycyclic aromatic hydrocarbon; hydrocarbons with two or more fused aromatic rings
LCFS	Low Carbon Fuel Standard	PCV	positive crankcase ventilation
LRP	lead replacement petrol	PFI	port fuel injector
MIL	malfunction indicator light	PM ₁₀	particulate matter with a particle size less than 10 microns
mm Hg	millimeter of mercury; a unit of pressure equal to 0.001316 atmosphere	PM _{2.5}	particulate matter with a particle size less than 2.5 microns
MMT	methylcyclopentadienyl manganese tricarbonyl, an antiknock compound	PNA	polynuclear aromatic hydrocarbon
MON	Motor octane number	POM	polycyclic organic matter
MSDS	Material Safety Data Sheet	ppm	parts per million
MTBE	methyl tertiary butyl ether	psi	pounds per square inch, a unit of pressure in the U.S. customary system
NAAQS	National Ambient Air Quality Standards (USA)	RBOB	reformulated blendstock for oxygenate blending
NCWM	National Conference on Weights and Measures (USA)	RdON	road octane number
NMHC	non-methane hydrocarbons	RD	relative density
NMOG	non-methane organic gases	RFG	reformulated gasoline
NO	nitric oxide	RFS	Renewable Fuel Standard

Apéndice 3 NOM-041-SEMARNAT-2015

NORMA Oficial Mexicana NOM-041-SEMARNAT-2015, Que establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

CUAUHTÉMOC OCHOA FERNÁNDEZ, Subsecretario de Fomento y Normatividad Ambiental, de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales, con fundamento en lo dispuesto en los artículos 32 Bis fracciones IV y V de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 5 fracciones V y XII, 6, 7 fracciones III y XIII, 8 fracciones III y XII, 9, 36 fracciones I y II, 37 Bis, 110, 111 fracción IX, 112 y 113 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 7 fracción X y XIII de su Reglamento en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera; 38 fracción II, 40 fracciones X y XIII, 41, 43, 47 y 51 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 33 y 34 del Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, artículo 8, fracciones III y IV del Reglamento Interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y

CONSIDERANDO

Que con fecha 6 de marzo de 2007, se publicó en el Diario Oficial de la Federación, la Norma Oficial Mexicana NOM-041-SEMARNAT-2006, Que establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible.

Que en el Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, en lo relativo a la Meta Nacional denominada México Próspero, se plantea específicamente como Estrategia 4.4.3 Fortalecer la política de cambio climático y cuidado al medio ambiente para transitar hacia una economía competitiva, sustentable, resiliente y de bajo carbono, por lo que se hace necesario el ajuste constante o la actualización de los límites máximos permisibles de emisiones de gases provenientes del escape de vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible.

Que la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente establece entre otras cosas, las bases para garantizar el derecho de toda persona a vivir en un medio ambiente adecuado para su desarrollo, salud y bienestar; definir los principios de la política ambiental y los instrumentos para su aplicación; la preservación, la restauración y el mejoramiento del ambiente, así como la prevención y el control de la contaminación del aire, agua y suelo.

Que la calidad del aire en diversas ciudades de México, se ha deteriorado significativamente en las últimas décadas, debido a factores climatológicos, geográficos, procesos de urbanización, crecimiento poblacional, así como, a las actividades económicas desarrolladas por la población en general, ocasionado un incremento en la flota vehicular y un aumento en su registro de emisiones a la atmósfera. Los principales contaminantes generados por los automóviles son: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) e hidrocarburos no quemados (HC).

Que el sector transporte en México es el responsable por casi la quinta parte (18%) de las emisiones de GEI que se emiten en el país, siendo uno de los mayores generadores de CO. Durante el año 2006 en el D.F., los automóviles particulares emitieron aproximadamente el 80% de los NO_x y el 50% de las emisiones de CO.

Que la norma en su versión anterior permitió el control y registro de las emisiones de fuentes móviles, que sirvieron de base para los Programas de Verificación Vehicular Obligatoria (PVVO), cuya aplicación data de hace más de 30 años. Lo cual requiere su actualización considerando, que las fuentes móviles emisoras a la atmósfera (vehículos automotores) se han incrementado con una tasa de 7,7%, llegando alrededor de 30 millones de unidades, las cuales circulan a nivel nacional, siendo esta tasa superior al PIB 3,5% anual e incluso a la tasa de población nacional que es 2%.

Que la información disponible sobre la observancia de la norma en su versión anterior registra el 48% de cumplimiento ambiental, considerando que sólo 19 entidades operan el PVVO, en términos de la cantidad de vehículos verificados y aprobados con las normas respectivas, su desempeño es del 42,7%. En comparación, con el Sistema Urbano Nacional, en mega ciudades se tiene un cumplimiento del 100%; en grandes ciudades es del 62.5%, en ciudades intermedias es del 45% y en ciudades medias es del 46%, lo que refleja que hay entidades federativas que no han podido instrumentar total o parcialmente sus respectivos PVVO. Se han identificado 13 estados que después de 30 años, por diversas causas, no han logrado la consolidación de sus PVVO que les permita observar la normatividad vigente.

Que la norma en su versión publicada en el año 2007, establecía dos tipos de métodos de prueba; el Método Dinámico aplicable en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), y el Método Estático de aplicación en el resto del país, los cuales determinan los límites máximos permisibles de emisión de gases provenientes del escape del vehículo en circulación que usan gasolina como combustible.

Que la norma publicada en el año 2007, clasificaba a los vehículos automotores en uso particular y vehículos de pasajeros de la siguiente manera: Camiones Ligeros (CL1), Camiones Ligeros (CL2), Camiones Ligeros (CL3), Camiones Ligeros (CL4), Camión Mediano, Camión Pesado, Vehículo de Pasajeros y Vehículo de Usos Múltiples o Utilitario.

Que la norma publicada en el año 2007, establecía dentro del método estático para modelos 1993 y anteriores los siguientes valores de contaminantes criterio: HC de 300 a 450 ppm, CO de 2,5% a 4,0% de concentración, Oxígeno (O₂) de 3% de concentración. Para modelos 1994 y posteriores, de HC de 100 ppm, CO de 1% de concentración y O₂ del 3% de concentración.

Que la norma publicada en el año 2007, establecía dentro del Método Dinámico para modelos 1990 y anteriores los siguientes valores de contaminantes criterio: HC 150 ppm, CO de 1,5% de concentración, O₂ de 3% de concentración y NO_x 2 500 ppm. Para modelos 1991 y posteriores, de HC de 100 ppm, CO de 1% de concentración, O₂ de 3% de concentración y NO_x de 1 500 ppm.

Que la norma publicada en el año 2007, especificaba que el Método Dinámico sólo aplicaba en la ZMVM, y no permitía la medición nacional de los NO_x.

Que en la norma publicada en el año 2007, los valores de emisión para vehículos 1993 y anteriores con el método dinámico no podían ser cumplidos dado que la tecnología con la que fueron fabricados no les permitía alcanzar los establecidos; no incluía en el método dinámico el Factor Lambda, como un parámetro a considerar como criterio de rechazo en los vehículos que operan con mezcla pobre; tampoco incluía medidas de cumplimiento ambiental para los vehículos de procedencia extranjera que se introducen al país para su importación definitiva y no consideraba los avances tecnológicos, como el uso y aplicación del Sistema de Diagnóstico Abordo (OBD) para la verificación vehicular.

Que en la presente norma se considera únicamente la tecnología vehicular como criterio para la clasificación de los vehículos automotores y no el uso en la circulación de los mismos, logrando una simplificación en la aplicación de la norma.

Que en la presente la norma se establecen los límites máximos permisibles de emisiones de gases provenientes del escape de vehículos a gasolina en circulación con el Método Dinámico a nivel nacional.

Que en la presente norma se considera la aplicación del Método Dinámico a nivel nacional, lo que permitirá la medición y control de NO_x que es el precursor por excelencia de ozono, lo que conlleva a tener beneficios ambientales y en la salud humana a nivel nacional.

Que en la presente norma se establece en el Método Dinámico la incorporación del Factor Lambda como parámetro a considerar, en el criterio de rechazo de los vehículos que operen con mezcla pobre al momento de realizar la prueba.

Que en la presente norma, se busca la incorporación de los avances tecnológicos como es el OBD.

Que uno de los beneficios, de la presente norma, será el contar con información de campo sobre el registro de la emisión de NO_x de las fuentes móviles, los cuales podrán ser registrados en el Inventario General de Emisión a la Atmósfera y el Inventario de GEI.

Que en la presente norma se establece la actualización de los valores de emisión para vehículos 1993 y anteriores con el método dinámico los cuales serán acordes a la tecnología con la que fueron fabricados.

Que la presente norma persigue la actualización de los límites máximos permisibles de emisión de gases provenientes del escape de vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible, con el Método Dinámico a nivel nacional, así como, la integración de los avances tecnológicos y la incorporación de medidas de cumplimiento ambiental, para los vehículos de procedencia extranjera que se introducen al país para su importación definitiva como medidas de protección al medio ambiente, al ser humano y sus ecosistemas.

Que de conformidad a lo dispuesto en el Artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, con fecha 6 de febrero de 2014 se publicó el Proyecto de Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-041-SEMARNAT-2006, Que establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible, en el Diario Oficial de la Federación, con el fin de que los interesados en el tema en un plazo de sesenta días naturales, posteriores a la fecha de su publicación presentaran sus comentarios ante el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales, sito en Boulevard Adolfo Ruiz Cortines 4209, piso 5 ala B, Colonia Jardines en la Montaña, Código Postal 14210, Delegación Tlalpan, México Distrito Federal o al correo electrónico: jose.wilson@semarnat.gob.mx.

Que durante el plazo de consulta pública, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 45, primer párrafo de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, la Manifestación de Impacto Regulatorio del citado Proyecto de Modificación de la Norma, estuvieron a disposición del público para su consulta en el domicilio del Comité antes señalado.

Que en el plazo de los 60 días antes señalados, los interesados presentaron sus comentarios al proyecto en cuestión, los cuales fueron analizados en el citado Comité, realizándose las modificaciones correspondientes al mismo, por lo que las respuestas a los comentarios recibidos fueron publicadas en el Diario Oficial de la Federación el día 13 del mes de mayo de 2015.

Que de conformidad con lo establecido en el artículo 28 fracción II, inciso d) del Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, el año de la clave de esta norma oficial mexicana, cambia a 2015, debido a que el instrumento regulatorio se presentó ante el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales para aprobación en el presente año.

Que habiéndose cumplido con lo establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en sesión ordinaria de fecha 14 del mes de abril de 2015 aprobó la Norma Oficial Mexicana NOM-041-SEMARNAT-2015, Que establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible.

Por lo expuesto y fundado, he tenido a bien expedir la siguiente:

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-041-SEMARNAT-2015, QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN DE GASES CONTAMINANTES PROVENIENTES DEL ESCAPE DE LOS VEHÍCULOS AUTOMOTORES EN CIRCULACIÓN QUE USAN GASOLINA COMO COMBUSTIBLE

PREFACIO

En la elaboración de la presente Norma Oficial Mexicana participaron las siguientes empresas e instituciones:

- AMBIENTALIS, S. A. DE C. V.
- ASOCIACIÓN MEXICANA DE DISTRIBUIDORES DE AUTOMÓVILES (AMDA).

- ASOCIACIÓN MEXICANA DE LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ (AMIA).
- ASOCIACIÓN NACIONAL DE PRODUCTORES DE AUTOBUSES, CAMIONES Y TRACTOCAMIONES, A. C. (ANPACT).
- CÁMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DE LA TRANSFORMACIÓN (CANACINTRA).
- CENTRO MARIO MOLINA PASQUEL.
- COCA COLA FEMSA, S. A. DE C. V.
- COMERCIAL AUTOINDUSTRIAL, S. A. DE C. V.
- COMISIÓN AMBIENTAL METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO (CAM).
- CORPORATIVO SAN ÁNGEL, S. C.
- FUNDACIÓN HOMBRE NATURALEZA, A. C.
- GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL (GDF).
- o SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE.
- GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO (GEDOMEX).
- GOBIERNO DEL ESTADO DE PUEBLA.
- HQ TECHNOLOGY.
- INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO (IMP).
- o LABORATORIO DE EMISIONES VEHICULARES Y ENSAYO DE MOTORES.
- INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE (IMT).
- INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL (IPN).
- o ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS (ESIQIE).
- MZ COMERCIALIZACIÓN, S. A. DE C. V.
- PRAXAIR MÉXICO, S. DE R. L. DE C. V.

- SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES (SCT).
- DIRECCIÓN GENERAL DE AUTOTRANSPORTE FEDERAL.
- SECRETARÍA DE ECONOMÍA (SE).
- DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS .
- DIRECCIÓN GENERAL DE INDUSTRIAS PESADAS Y DE ALTA TECNOLOGÍA.

- SECRETARÍA DE ENERGÍA (SENER).
- COMISIÓN NACIONAL PARA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA (CONUEE).
- SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (SEMARNAT).
- DIRECCIÓN GENERAL DE FOMENTO AMBIENTAL, URBANO Y TURÍSTICO (DGFAUT).
- DIRECCIÓN GENERAL DE GESTIÓN DE CALIDAD DEL AIRE Y REGISTRO DE EMISIONES Y TRANSFERENCIA DE CONTAMINANTES (DGGCARETC).
- DIRECCIÓN GENERAL DE INDUSTRIA (DGI).
- PROCURADURÍA FEDERAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE (PROFEPA).
- SUBPROCURADURÍA DE INSPECCIÓN INDUSTRIAL.
- INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO (INECC).
- DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN SOBRE LA CONTAMINACIÓN URBANA Y REGIONAL (DGGICUR).
- SECRETARÍA DE SALUD.
- o COMISIÓN FEDERAL PARA LA PROTECCIÓN CONTRA RIESGOS SANITARIOS (COFEPRIS).
- TSTES, S. A. DE C. V.
- UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO (UNAM).
- o INSTITUTO DE INGENIERÍA.

ÍNDICE DEL CONTENIDO

- 1.- Objetivo y Campo de Aplicación
- 2.- Referencias
- 3.- Definiciones
- 4.- Especificaciones
- 5.- Procedimiento para la Evaluación de la Conformidad
- 6.- Bibliografía
- 7.- Concordancia con Normas Internacionales
- 8.- Vigilancia de esta Norma

Transitorios.

1. Objetivo y Campo de Aplicación

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos, monóxido de carbono, oxígeno y óxido de nitrógeno; así como el nivel mínimo y máximo de la suma de monóxido y bióxido de carbono y el Factor Lambda. Es de observancia obligatoria para el propietario, o legal poseedor de los vehículos automotores que circulan en el país o sean importados definitivamente al mismo, que usan gasolina como combustible, así como para los responsables de los Centros de Verificación, y en su caso Unidades de Verificación Vehicular, a excepción de vehículos con peso bruto vehicular menor de 400 kg (kilogramos), motocicletas, tractores agrícolas, maquinaria dedicada a las industrias de la construcción y de laminaria.

2. Referencias

Para la correcta utilización de esta Norma Oficial Mexicana es necesario consultar y aplicar las Normas Oficiales Mexicanas siguientes, o la que las sustituyan:

NOM-042-SEMARNAT-2003, Que establece los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos totales o no metano, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y partículas provenientes del escape de los vehículos automotores nuevos cuyo peso bruto vehicular no exceda los 3,857 kilogramos, que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y diésel, así como las emisiones de hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible de dichos vehículos. (Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 7 de septiembre de 2005).

NOM-047-SEMARNAT- 2014, Que establece las características del equipo y el procedimiento de medición para la verificación de los límites de emisión de contaminantes, provenientes de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos. (Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 26 de noviembre de 2014).

3. Definiciones

3.1 Año-modelo:

El periodo comprendido entre el inicio de la producción de determinado tipo de vehículo automotor y el 31 de diciembre del año calendario con que dicho fabricante designe al modelo en cuestión.

3.2 Centro de Verificación:

El establecimiento de servicio autorizado por las autoridades competentes en el que se presta el servicio de medición de emisiones contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación.

3.3 Comprobante de resultado:

Documento expedido por el Centro o Unidad de Verificación Vehicular y que contiene el resultado obtenido en la evaluación de las emisiones vehiculares.

3.4 Constancia de Inspección y Mantenimiento (I/M):

Documento expedido por la autoridad competente en los Estados Unidos de América o Canadá que avala que el vehículo automotor usado cumple con la normatividad correspondiente en materia de emisiones contaminantes a la atmósfera (I/M Inspection & Maintenance Programs, por sus siglas en el idioma Inglés).

3.5 Factor Lambda:

También conocido como coeficiente de aire. Es el resultado de dividir el volumen de aire aspirado entre la necesidad teórica de aire y se obtiene al correlacionar los gases de escape mediante la fórmula de Brettschneider.

$$\lambda = \frac{CO_2 + \frac{CO}{2} + \frac{NO}{2} + O_2 + \left[0.45425 \left(\frac{3.5}{3.5 + \frac{CO}{CO_2}} \right) \right] (CO + CO_2)}{1.45425 (CO_2 + CO + HC)}$$

λ = Factor Lambda

3.6 Gases:

Son los producidos de la combustión que emiten los vehículos automotores. Para efecto de la presente Norma Oficial Mexicana se fiscalizarán los siguientes compuestos:

3.6.1 Bióxido de Carbono (CO₂):

Gas incoloro, inodoro y con un ligero sabor ácido, cuya molécula consiste en un átomo de carbono unido a dos átomos de oxígeno.

3.6.2 Hidrocarburos (HC):

Compuestos orgánicos formados por hidrógeno y carbono, expresados con base al hexano (hppm).

3.6.3 Monóxido de Carbono (CO):

Gas incoloro, inodoro e insípido, producido en la combustión de sustancias orgánicas, el cual se considera tóxico por su capacidad para unirse a la hemoglobina, impidiendo que capte y transporte el oxígeno.

3.6.4 Óxidos de Nitrógeno (NO_x):

Término genérico referido a un grupo de gases que contienen nitrógeno y oxígeno en diversas proporciones tales como el óxido nítrico y el dióxido de nitrógeno.

3.6.5 Oxígeno (O₂):

Compuesto químico diatómico que se compone de dos átomos del elemento químico gaseoso, que es inodoro, incoloro e insípido.

3.7 Mezcla Pobre:

Combinación de comburente y combustible cuya relación está un 25% por debajo de la relación de máxima potencia, limitando las características ideales de funcionamiento de un vehículo a gasolina.

3.8 Programa de Verificación Vehicular Obligatoria (PVVO):

Documento oficial en donde se establecen las reglas de operación de la verificación de emisiones vehiculares, los cuales deberán establecer como mínimo la frecuencia de revisión de los límites de emisión, el calendario de presentación a verificación de los automotores, la tarifa por el servicio y las sanciones por incumplimiento.

3.9 Unidad de Verificación Vehicular (UVV):

Persona física o moral, acreditada y aprobada por la autoridad competente en los términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y su Reglamento, que opera de acuerdo con las condiciones establecidas en los Programas de Verificación Vehicular Obligatoria (PVVO).

3.10 Vehículo automotor en circulación:

Vehículo de transporte terrestre de carga o de pasajeros, propulsado por su propia fuente motriz, enajenado por lo menos en una ocasión y que cuenta con permiso para circular por vialidades públicas.

4. Especificaciones

4.1 El Gobierno Federal, el Gobierno del Distrito Federal, los gobiernos estatales y municipales, de conformidad con las disposiciones legales aplicables, deberán instrumentar sus PVVO, aplicando el método de prueba dinámica, procedimiento de medición de la NOM-047-SEMARNAT-2014 o la que la sustituya.

4.2 Límites máximos permisibles de emisiones provenientes del escape de vehículos en circulación en el país, que usan gasolina como combustible.

4.2.1 Los límites máximos permisibles de emisiones de hidrocarburos, monóxido de carbono, oxígeno, óxidos de nitrógeno, límites mínimos y máximos de dilución provenientes del escape; así como el valor del Factor Lambda de vehículos en circulación que usan gasolina como combustible, en función del método de prueba dinámica y el año modelo, son los establecidos en la TABLA 1 de la presente Norma Oficial Mexicana.

TABLA 1.- Límites Máximos Permisibles de Emisión del Método Dinámico

Año - modelo vehicular	Hidrocarburos (HC hppm)	Monóxido de Carbono (CO % vol.)	Oxígeno (O2 % vol.)	Óxidos de Nitrógeno (NO. ppm)	Dilución (CO + CO2 % vol.)		Factor Lambda Máx.
					Mín.	Máx.	
1990 y Anteriores	350	2,5	2,0	2 500	13	16,5	1,05
1991 y posteriores	100	1,0	2,0	1 500	13	16,5	1,05

Nota de equivalencias: 1.- ppm o hppm (µmol/mol) y 2.- % vol. (cmol/mol).

4.2.1.1 Cuando los vehículos que sean definidos por su fabricante como inoperables en el dinamómetro o aquellos cuyo peso rebase la capacidad del mismo, se empleará el método de prueba estática procedimiento de medición, de acuerdo con lo establecido en la NOM-047-SEMARNAT-2014 o la que la sustituya.

4.2.2 Los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos, monóxido de carbono, oxígeno, los límites mínimos y máximos de dilución provenientes del escape de los vehículos en circulación que usan gasolina como combustible, establecidos en el Método de prueba estática procedimiento de medición, de la NOM-047-SEMARNAT-2014 o la que la sustituya; en función del año-modelo, son los establecidos en el numeral 4.2.2, (TABLA 2) de la presente Norma Oficial Mexicana y serán aplicables de acuerdo al transitorio quinto de la misma.

TABLA 2.- Límites Máximos Permisibles de Emisión del Método Estático

Año modelo vehicular	Hidrocarburos (HC hppm)	Monóxido de Carbono (CO % vol.)	Oxígeno (O2 % vol.)	Dilución (CO + CO2 % vol.)		Factor Lambda
				Mín.	Máx.	Máx.
1993 y Anteriores	400	3,0	2,0	13	16,5	1,05
1994 y posteriores	100	1,0	2,0	13	16,5	1,05

4.2.2.1 No aplicará el valor del Factor Lambda en el caso de la prueba en marcha mínima.

4.3 Quedan exceptuados del criterio de Factor Lambda establecido en el numeral 4.2.1. (TABLA 1) y el numeral 4.2.2 (TABLA 2) de la presente Norma Oficial Mexicana los vehículos que por diseño operen con mezcla pobre, conforme a las especificaciones establecidas por el fabricante y del conocimiento de la autoridad competente.

4.4 Las autoridades responsables de los PVVO, deberán complementar la evaluación de la operación del vehículo y del sistema de control de emisiones del mismo, con las prestaciones tecnológicas que brinda el OBD, para vehículos cuyos modelo sean 2006 y posteriores, con base a lo señalado en la NOM-042-SEMARNAT-2003, Que establece los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos totales o no metano, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y partículas provenientes del escape de los vehículos automotores nuevos cuyo peso bruto vehicular no exceda los 3,857 kilogramos, que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y diésel, así como las emisiones de hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible de dichos vehículos, o la que la sustituya.

4.5 Los vehículos nuevos podrán quedar exentos de la verificación vehicular obligatoria por un periodo de hasta dos años posteriores a partir de su adquisición, y de acuerdo a lo establecido en las disposiciones expedidas por las autoridades federales y/o locales competentes. Estas autoridades podrán ampliar el beneficio de exención de acuerdo a las políticas de promoción de vehículos con nuevas tecnologías de control de emisiones.

5. Procedimiento para la Evaluación de la Conformidad

5.1 Procedimiento.

5.1.1 El Gobierno Federal, por conducto de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, los gobiernos estatales, municipales y del Distrito Federal, establecerán en el ámbito de su competencia, los PVVO en donde se definirán las características de operación de los mismos para el cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos en la presente Norma Oficial Mexicana.

5.1.2 Para el cumplimiento de los límites establecidos en la presente Norma Oficial Mexicana, los Gobiernos, Federal, estatales, municipales y del Distrito Federal operarán y, en su caso, autorizarán la operación de los Centros de Verificación o bien de las Unidades de Verificación Vehicular.

5.1.3 El propietario, el legal poseedor o el conductor de los vehículos automotores, para el cumplimiento de los límites máximos permisibles, materia de la presente Norma Oficial Mexicana, deberán presentarlos a evaluación de sus emisiones contaminantes en los Centros de Verificación y en su caso en las Unidades de Verificación Vehicular acreditadas y aprobadas, de acuerdo al calendario y con los documentos que establezca el Programa de Verificación Vehicular que le corresponda y que para tal efecto emita cada autoridad ambiental.

5.1.4 El Centro de Verificación o en su caso la Unidad de Verificación Vehicular, realizarán los procedimientos de prueba para medir las emisiones provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación, que usan gasolina como combustible, establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-047- SEMARNAT-2014 o la que la sustituya.

5.1.5 Se considera que un vehículo cumple con la presente Norma Oficial Mexicana, cuando sus valores de emisión no rebasan ninguno de los límites permisibles establecidos en el numeral 4.2.1 (TABLA 1) y el numeral 4.2.2 (TABLA 2), según sea el caso, y aprueba los criterios establecidos en el método de prueba estática procedimiento de medición y el método de prueba dinámica procedimiento de medición, según sea el caso, de la NOM-047-SEMARNAT-2014 o la que la sustituya.

5.1.6 El Centro de Verificación o Unidad de Verificación Vehicular, entregará al propietario o conductor del vehículo, el documento oficial en donde se haga constar el resultado de la prueba. En caso que los límites de emisión no cumplan con lo establecido en el numeral 5.1.5, de la presente Norma Oficial Mexicana, el propietario o conductor del automotor deberán dar el mantenimiento vehicular necesario y reiniciar el procedimiento en el numeral 5.1.3 de la presente Norma Oficial Mexicana, hasta que se obtenga el documento aprobatorio.

5.2 Cumplimiento ambiental en los puntos de entrada al país.

5.2.1 El vehículo de procedencia extranjera que se introduce al país para su importación definitiva, no deberá tener restricciones de circulación en su país de procedencia así como por incumplimiento de la regulación ambiental aplicable, lo cual se demostrará a través de la constancia de inspección y mantenimiento vigente. Ambas informaciones serán validadas mediante los sistemas de consulta pública u oficial disponibles del país de procedencia, conforme a los lineamientos comerciales aplicables.

5.2.2 El cumplimiento del apartado anterior, en los puntos de entrada al país, no exime al vehículo importado de cumplir las disposiciones ambientales requeridas por la autoridad competente donde sea dado de alta.

5.2.3 Para la circulación definitiva dentro del país los vehículos que se importen de manera definitiva deberán cumplir con el numeral 5.1.5 establecido en la presente Norma Oficial Mexicana.

6. Bibliografía

6.1 De Nevers, Noel. Ingeniería de Control de la Contaminación del Aire. (Trad. José Hernán Pérez Castellanos). McGraw-Hill Interamericana Editores, S. A de C. V. Primera edición, México, 1997.

6.2 Instituto Nacional de Ecología y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Manual Técnico de Verificación Vehicular. Frega, S. A. de C. V. Primera edición, Capítulo 4. México, 2003.

6.3 Ley Federal sobre Metrología y Normalización. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1 de julio de 1992. Última Reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación el 14 de julio de 2014.

6.4 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de febrero de 1988. Última Reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación el 16 de enero de 2014.

6.5 Lezama, José Luis y Graizbord, Boris. Los Grandes Problemas de México. IV Medio Ambiente. 1a. Edición. México, D.F. El Colegio de México. 2010.

6.6 NMX-AA-023-1986, Protección al Ambiente.- Contaminación Atmosférica Terminología. Declaratoria de vigencia publicado en el Diario Oficial de la Federación el 15 de julio de 1986.

6.7 Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 14 de enero de 1999.

6.8 Bosch, Robert. Manual de la Técnica del Automóvil. (Trad. Jens-U. H. Schweitzer). URMO, S. A. Primera edición española, España, 1980 (original en alemán, 1976).

6.9 Código Federal de Regulaciones 40, partes de la 86 a la 99, revisado en julio de 1994, Estados Unidos de América. (Code of Federal Regulations 40, Parts 86 to 99, Revised July 1994, U.S.A.).

6.10 Código de Reglamentos de California, Estados Unidos de América (Título 16, Cap. 33). 2008. (California Code of Regulations, United States Title 16, Chapter 33. 2008).

6.11 Estándares Europeos. Euro III. Directiva Final 1999/96/EC. Parlamento Europeo. Publicada el 16 de febrero de 2000.

6.12 Gobierno de California, E.U.A. Curso Avanzado en Diagnóstico de Emisiones. (Trad. MZ Comercialización, S.A. de C.V.). Capacitación Técnica Automotriz, S. A. de C. V. El Triángulo de Emisiones. 2008. (California Government E.U.A. Advanced Course in Diagnostic Emissions 2008).

6.13 Heywood, John. Fundamentos de Ingeniería de la Combustión Interna. (Internal Combustion Engine Fundamentals). McGraw-Hill. Primera edición, E.U.A., 1988.

6.14 Schmidt, Alois y List, Harvey. Balances de Materiales y Energía. (Material and Energy Balances). Prentice-Hall, Inc. E.U.A., Capítulo 10. 1962.

6.15 Serie de Normas Ambientales. Límites Máximos Permisibles de Emisiones Contaminantes para Vehículos Automotores que Circulen en la Red Vial. Decreto Supremo No. 047-2001-MTC. Consejo Nacional del Ambiente. Perú. (2001).

7. Concordancia con Normas Internacionales

Esta norma no coincide con ninguna Norma Internacional, por no existir Norma Internacional sobre el tema tratado.

8. Vigilancia de esta Norma

8.1 La vigilancia del cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana corresponde al Gobierno Federal, por conducto de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, a los gobiernos de los estados, municipios y del Distrito Federal, en el ámbito de sus respectivas atribuciones.

8.2 Las violaciones a la misma se sancionarán en los términos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, su Reglamento en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera, la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y su Reglamento y los demás ordenamientos jurídicos que resulten aplicables.

TRANSITORIOS

PRIMERO La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor 90 días después de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

SEGUNDO La presente Norma Oficial Mexicana deja sin efectos la Norma Oficial Mexicana NOM-041-SEMARNAT-2006, Que establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de marzo de 2007.

TERCERO La presente Norma Oficial Mexicana debe colocarse en un lugar visible en los Centros de Verificación Autorizados y Unidades de Verificación Vehicular acreditadas y aprobadas.

CUARTO Las empresas autorizadas como Centro de Verificación, deberán obtener la acreditación como Unidad de Verificación Vehicular en un periodo no mayor de 2 años a partir de la publicación de la presente Norma Oficial Mexicana.

QUINTO Todos los estados que en la actualidad operen únicamente con el método estático, dispondrán de hasta 3 años para implementar el método dinámico para evaluar el cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos en el numeral 4.2.1 (TABLA 1) de la presente Norma Oficial Mexicana.

De igual manera las autoridades que a partir de la entrada en vigor de la presente Norma Oficial Mexicana inicien un Programa de Verificación Vehicular Obligatorio deberán adoptar los límites establecidos en el numeral 4.2.1 (TABLA 1) y el numeral 4.2.2 (TABLA 2) según sea el caso establecido de la presente Norma Oficial Mexicana, deberán adoptar también, el método de prueba estática procedimiento de medición y el método de prueba dinámica procedimiento de medición, establecidos en la NOM-047-SEMARNAT-2014 o la que la sustituya.

SEXTO Con fundamento en lo dispuesto por la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales revisará los límites de emisión y en su caso los procedimientos de prueba y las especificaciones del instrumento previstos en la presente Norma Oficial Mexicana, en el momento que se requiera mejorar su aplicación, o existan causas justificadas para modificar o adecuar algunas disposiciones contenidas en la misma.

México, D.F., a los dieciocho días del mes de mayo de dos mil quince.- El Subsecretario de Fomento y Normatividad Ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales, **Cuauhtémoc Ochoa Fernández**.- Rúbrica.