

79
2e1.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



EXAMENES PROFESIONALES
"VOLATILIDAD DE LA GASOLINA EN
EL VALLE DE MEXICO"

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A:
RAUL HUESCA CADENA



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

MEXICO. D. F.

1997



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO :

PRESIDENTE : Prof. FRANCISCO JAVIER GARFIAS AYALA.
VOCAL : Prof. NATALIA ELVIRA DE LA TORRE ACEVES.
SECRETARIO : Prof. AIDA JUDITH GANDARA TOVAR.
1ER. SUPLENTE : Prof. AMANDO JOSÉ PADILLA RAMIREZ.
2DO. SUPLENTE : Prof. YURI HUEDA TANABE.

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA :

Departamento de Físicoquímica.
Facultad de Química, U.N.A.M.

ASESOR :



DR. FRANCISCO JAVIER GARFIAS AYALA.

SUSTENTANTE :



RAÚL HUESCA CADENA.

*"Los hombres ya no tienen tiempo para conocer nada,
compran las cosas ya hechas a los comerciantes; pero
como no existe ningún comerciante de amigos, los
hombres ya no tienen amigos"*

Antoine de Saint-Exupéry

Dedicatoria

A Dios, principio de todas las cosas.

A mis Padres, amor, cariño y respeto.

A mi Hermana, alegría de la casa.

A la Amistad, espontánea, sincera y desinteresada.

Agradecimientos

*Al Dr. Garfías, por la amistad que compartimos, las enseñanzas
y confianza que depositó en mí.*

A la Maestra Natalia, por compartir su amistad, alegría y confianza.

A todos aquellos con los que compartí afecto y amistad.

*A la Facultad de Química de la UNAM,
donde aprendí a ser Universitario.*

*Al la UNAM, PEMEX e IMP,
por su apoyo en la realización de esta tesis,
en el marco del "Convenio UNAM-PEMEX-IMP".*

TEMARIO

Dedicatoria.	
Agradecimientos.	
Resumen.....	8
Objetivos.....	10
I. Introducción.....	12
A. Presión de Vapor.....	15
B. Equilibrio líquido - vapor.....	18
II. Volatilidad de la gasolina.....	20
A. La gasolina.....	24
B. Presión de vapor Reid (PVR).....	28
Descripción del método ASTM-D-323.....	29
C. Curvas de destilación.....	34
Descripción del método ASTM-D-86.....	35
D. Relación vapor / líquido (V/L).....	45
Descripción del método ASTM-D-2533.....	46
E. Índice de manejabilidad (IM).....	54
III. Características de la gasolina para el Valle de México.....	58
A. Norma de la <i>American Society for Testing and Materials</i>	62
B. Perfil de temperaturas en el Valle de México.....	69
1. Algoritmo para el procesamiento de la información de la Red Automática de Monitoreo Ambiental (RAMA).....	71
2. Resultados obtenidos al aplicar el algoritmo.....	73
3. Análisis de resultados.....	77
IV. Características actuales de volatilidad de la gasolina Magna para el Valle de México.....	79
A. Características de la gasolina Magna en 1996.....	84
B. Características de la gasolina Magna en el primer semestre de 1997.....	91
V. Composición de la gasolina Magna para el Valle de México.....	97
VI. La gasolina Magna y las especificaciones de California.....	102

VII. Conclusiones y recomendaciones	107
Bibliografía.....	110
Apéndices.....	114
A. Preparación de reactivos especiales	115
B. Información de la composición de una muestra de gasolina Magna típica para el Valle de México	116
C. Macros utilizados en Excel	120
Índice de términos.....	138
Índice de tablas, figuras y gráficas	140

Resumen

En la presente tesis se describen los métodos establecidos como norma por la *American Society for Testing and Materials (ASTM)* para determinar los parámetros de volatilidad de la gasolina, los cuales son : la *presión de vapor Reid (PVR)*, la *curva de destilación* y la *relación V/L* de una gasolina.

Asimismo, se analiza el método *ASTM*, que fija las características de volatilidad que debe tener una gasolina a partir de las condiciones geográficas y climáticas prevalecientes en el lugar. Para aplicar estos procedimientos a la *zona metropolitana del Valle de México (ZMVM)* se utilizó la información de temperaturas registradas en las estaciones de la *red automática de monitoreo ambiental (RAMA)* proporcionada por el *Instituto Nacional de Ecología (INE)*, Con la información de la *RAMA* se determinan las temperaturas máximas y mínimas mensuales durante un periodo de siete años (1990 - 1996), de manera que se puedan establecer las restricciones de volatilidad que debe cumplir la gasolina en conformidad con la *ASTM* y con los criterios de la *Environmental Protection Agency (EPA)* para reducir la contaminación ambiental producida a partir de hidrocarburos en zonas urbanas.

También se analizan las características que presentó la gasolina *Magna* producida para el Valle de México durante el año de 1996 y el primer semestre de 1997; esto a partir de la información que nos proporcionó *Petróleos Mexicanos (PEMEX)* del análisis efectuado a lotes de gasolina en su centro de distribución.

Finalmente se utilizó la información, proporcionada por el *Instituto Mexicano del Petróleo (IMP)*, de la composición química de una muestra de gasolina *Magna* obtenida a partir de una análisis por cromatografía. La concentración de los compuestos detectados fue alimentada al simulador de procesos *Aspen Plus* para simular una gasolina con la cual se calculó el equilibrio líquido - vapor.

Al conocer la concentración de las especies químicas en el líquido y el vapor de la gasolina se puede estudiar la influencia de éstas en la evaporación, así como su posible contribución a la contaminación atmosférica, con base a su potencial de fotorreactividad en la atmósfera y de ahí poder conocer su aportación a la generación de ozono en el Valle de México.

OBJETIVOS

Objetivos

- I. Determinar estadísticamente la temperatura ambiental máxima y mínima diaria, registrada en la zona metropolitana del Valle de México (ZMVM), durante el verano y el invierno, con el objeto de establecer el efecto del clima y la altura de la Ciudad de México en las especificaciones de la gasolina.
- II. Estudiar las características de la gasolina Magna que se expendió en la ZMVM durante el año de 1996 y el primer semestre de 1997, con el propósito de determinar el grado de cumplimiento de las especificaciones mexicanas
- III. Establecer las condiciones de volatilidad de la gasolina, para invierno y verano, en la ZMVM que arrojen las mismas pérdidas por evaporación, utilizando los parámetros de la *American Society for Testing and Materials* (ASTM) y los criterios de la *Environmental Protection Agency* (EPA) de los Estados Unidos de Norteamérica.
- IV. Determinar la proporción de los componentes más volátiles (C_4 y C_3), especialmente de olefinas, presentes en el vapor producido por la gasolina Magna que se expende en la ZMVM, mediante la simulación por computadora del equilibrio líquido - vapor, con la idea de conocer la fotoreactividad debida al contenido de olefinas muy volátiles.

CAPÍTULO 1
INTRODUCCIÓN

Capítulo 1 Introducción

Al ser los combustibles fósiles un recurso no renovable, se ha dado particular atención al ahorro de la energía en los últimos años. En fuentes móviles se ha logrado un mayor rendimiento al contar con vehículos más ligeros y con máquinas más eficientes. Por otra parte, el uso de gas natural en lugar de combustóleo ha permitido incrementar considerablemente la eficiencia energética de las centrales termoelectricas, al emplear ciclos combinados de generación eléctrica.

No obstante los avances tecnológicos antes mencionados, el resultado neto es un incremento en la demanda global de combustibles. Por ejemplo en México en los últimos diez años, la tasa promedio en el crecimiento en la demanda de combustibles vehiculares - diesel y gasolina - se incrementó anualmente en 2.65 y 3.75 %, mientras la tasa para combustibles industriales aumentó en 2.13% anual.

Un elevado consumo de petróleo en forma de combustibles, en nuestro caso de gasolina, trae consigo una serie de consecuencias perceptibles en la contaminación de la atmósfera, debida tanto a las emisiones en los gases producto de la combustión en los motores, así como las emisiones evaporativas de los combustibles. Particularmente, las emisiones evaporativas se relacionan estrechamente con una característica de la gasolina que es su *volatilidad*; esta propiedad física resulta primordial en el combustible ya que afecta en forma crítica el encendido, el calentamiento y la operación de los motores en los vehículos, así mismo se encuentra relacionada con las emisiones de hidrocarburos sin quemar expulsados junto con los gases de escape del motor y también en forma íntima con las emisiones de vapores de los contenedores de gasolina hacia la atmósfera. Por lo tanto, en el presente estudio analizaremos la manera en que la volatilidad de la gasolina afecta las emisiones a la atmósfera.

Es importante considerar que al realizar la formulación de una gasolina es posible modificar la *volatilidad* de la mezcla resultante, debido a que se utiliza como materia prima distintas corrientes provenientes de procesos de fraccionamiento, reformación, isomerización, polimerización, alquilación y conversión catalítica, las cuales se encuentran constituidas por numerosos hidrocarburos y también de procesos de producción de metil-terbutil-eter (MTBE) y ter-amil-metil-eter (TAMA), que poseen características fisicoquímicas distintas entre las que se cuentan la presión de vapor, el octanaje, la densidad, las temperaturas inicial y final de ebullición; etc. La mezcla apropiada de estas corrientes da como resultado una gasolina que cumple ciertas especificaciones. Sin embargo la solución adecuada del límite de volatilidad debe respetar criterios de costo - beneficio, incluidos los aspectos ambientales.

Determinar un valor óptimo para la presión de vapor es una tarea imprescindible para la adecuada formulación de una gasolina de alta calidad para consumo, especialmente en zonas de alta densidad de vehículos automotores, como ocurre en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM). Para ello es necesario considerar los requerimientos de los motores y las condiciones geográficas y meteorológicas del lugar, ya que éstas influyen en el desempeño de los vehículos y en las emisiones.

Presión de vapor

La presión de vapor de cualquier sustancia se ve modificada por la temperatura. El desarrollo de correlaciones entre la presión de vapor y la temperatura fue un trabajo realizado por varios autores entre los cuales se cita a : *Clapeyron, Antoine y Riedel.*

Clapeyron descubrió que : Si experimentalmente evaluamos la presión de vapor de una sustancia a diferentes temperaturas y con los valores tabulados dibujamos una gráfica de *presión de vapor vs. temperatura absoluta* se observa que la línea tiene la forma de una curva exponencial; ahora bien se logra hacer lineal la función si trazamos la gráfica del *logaritmo de la presión de vapor* ($\ln P^\circ$) vs. *la inversa de la temperatura absoluta* ($1/T$), por lo que resulta evidente que la función adopta la siguiente forma :

- Ecuación de Clapeyron :

$$\ln P^\circ = A - \frac{B}{T} \dots\dots\dots (1)$$

En la *figura 1* podemos observar el tratamiento propuesto por Clapeyron y descrito en las líneas anteriores utilizando los valores de la presión de vapor del agua a diferentes temperaturas.

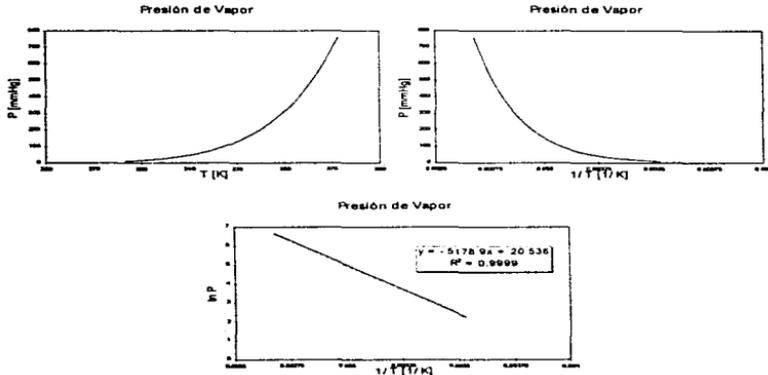


Figura 1. Tratamiento propuesto por Clapeyron para determinar la ecuación de la presión de vapor del agua.

Utilizando un método muy semejante al de Clapeyron, Antoine desarrolló una expresión matemática que refleja con mayor precisión la correlación existente y de modo similar Riedel también ajustó los puntos experimentales a un polinomio con un mayor número de términos para describir la curva; resultado de dichos trabajos se obtuvieron las siguientes ecuaciones :

- Ecuación de Antoine :

$$\ln P^o = A - \frac{B}{C + T} \dots\dots\dots (2)$$

• Ecuación de Riedel :

$$\ln P^{\circ} = A - \frac{B}{T} + C \ln T + DT^6 \dots\dots\dots (3)$$

Donde, para las tres ecuaciones (1-3), las literales expresan lo siguiente :

- P° - Presión de vapor, en unidades de presión.
- T - Temperatura absoluta, en Kelvin o Rankin [K o R].
- A, B, C, D - Constantes propias para cada substancia.

Es importante recordar que estas expresiones se encuentran limitadas para un intervalo de temperaturas dentro del cual el error es aceptable y por lo tanto es apropiado aplicar la ecuación; generalmente estos límites se incluyen en la literatura junto con los valores de las constantes propias para cada substancia.

Equilibrio líquido - vapor

Una vez que se establece una relación entre la *presión de vapor* y la *temperatura* para un líquido puro, resulta útil el analizar el *equilibrio líquido - vapor* en mezclas, para lo cual conviene los conceptos de *punto de burbuja* y *punto de rocío*.

- **Punto de rocío** : Es el conjunto de condiciones de temperatura y presión a la cual aparece la primera gota de un líquido en un vapor.
- **Punto de burbuja** : Es el conjunto de condiciones de temperatura y presión a la cual aparece la primera burbuja de vapor en un líquido.

En base a estas definiciones y los conceptos mencionados en el título anterior resulta fácil deducir que para una sustancia pura, los puntos de *rocío* y de *burbuja* se sobreponen, ya que las condiciones de presión y temperatura a las que se inicia la evaporación o la condensación son exactamente las mismas y por lo tanto : *"Para una sustancia pura a una temperatura específica, la presión de vapor de líquido corresponde a la presión a cual dicha sustancia herviría"*.

Para mezclas binarias ó multicomponente la aseveración anterior no es aplicable ya que las propiedades de las mezclas se ven modificadas debido a la composición de éstas y como las propiedades físicas de cada componente difieren entre sí, la volatilidad de cada componente será diferente y la evaporación ó condensación se llevará a cabo en forma distinta, resultando en la alteración de la composición de la mezcla y por tanto en la variación de sus propiedades, en nuestro caso la presión de vapor; esta variación puede apreciarse de mejor manera en la *figura 2* donde se muestra a temperatura constante una curva del equilibrio líquido - vapor, formada por las presiones de burbuja y de rocío para una mezcla binaria ideal que no presenta azeótropos.

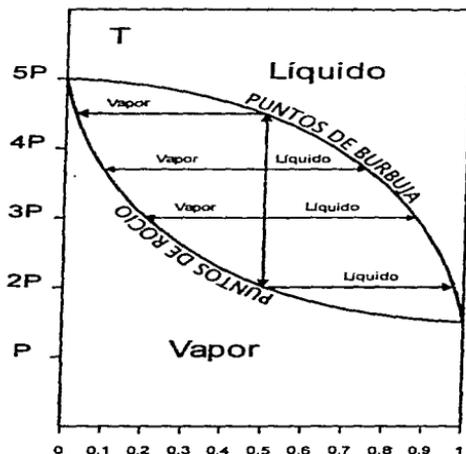


Figura 2. Curva de equilibrio de fases Presión vs. Composición para una mezcla binaria a temperatura constante.

Como se observa en la *figura 2*, para una misma composición existen varias presiones de vapor que corresponden a diferentes relaciones de vapor y de líquido (V/L) en equilibrio, estas relaciones adquieren valores que van desde cero, cuando se tiene exclusivamente líquido, hasta infinito cuando se tiene únicamente vapor.

El comportamiento de las mezclas con más de dos componentes, denominadas genéricamente multicomponente resulta muy semejante, aunque su representación gráfica es más compleja, por lo cual es importante para estas mezclas establecer una relación vapor/líquido específica, para la cual se defina la presión de vapor.

CAPÍTULO 2

VOLATILIDAD DE LA
GASOLINA

Capítulo 2 Volatilidad de la Gasolina

Se ha hecho mención con anterioridad y en forma reiterada que la gasolina es el resultado de la mezcla de diferentes especies químicas derivadas del petróleo, las cuales poseen características fisicoquímicas distintas y por supuesto una temperatura de ebullición particular.

En una mezcla de multicomponente, las temperaturas que forman la curva de destilación de la mezcla se encuentran localizadas entre las temperaturas de ebullición del compuesto de menor y el de mayor volatilidad; el perfil que presenta la curva depende de la temperatura de ebullición de los componentes de volatilidad intermedia y de la eficiencia de la columna de destilación.

Cuando se destile una mezcla de componentes, cuyo comportamiento sea ideal y en una columna de alta eficiencia, debería ser posible en principio generar una curva de destilación en la cual, cada fracción de componentes destile a su temperatura de ebullición, como se muestra en la *figura 3*; donde se observa una serie de escalones, correspondiendo cada uno a la temperatura de ebullición de cada componente de la mezcla.

Al aumentar el número de componentes de una mezcla y al contar éstos con temperaturas de ebullición cercanas, la curva de destilación de la mezcla comienzan a perder la forma que se observa en la *figura 3* y se origina una curva continua; la cual presenta modificaciones dependiendo de la eficiencia de la torre de destilación como se muestra en la *figura 4* donde se comparan dos tipos de curva de destilación.

La American Society for Testing and Materials (ASTM) diseñó un método de destilación el cual se encuentra descrito en la norma ASTM-D-86¹ bajo el título "Standard Test Method for Distillation of Petroleum Products". En la norma se describe el procedimiento para destilar una gasolina y otros derivados del petróleo para lograr obtener la curva de porcentaje de destilado vs. temperatura.

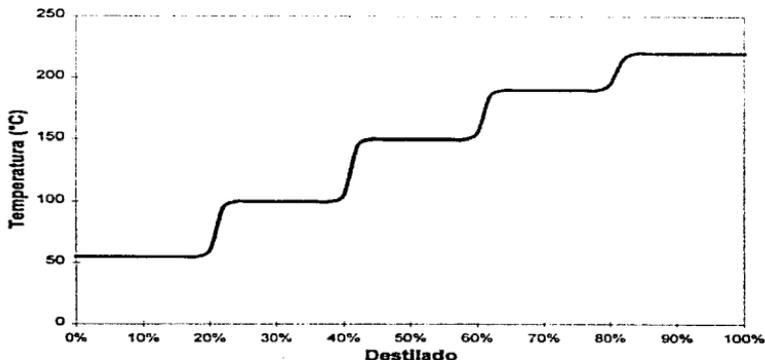


Figura 3. Ejemplo de una curva de destilación de una mezcla de 5 compuestos que presentan comportamiento ideal, fraccionados en una columna de alta eficiencia.

Generalmente el método ASTM-D-86 resulta ser menos preciso que otras técnicas, ya que rinde *temperaturas inicial y final de ebullición* (TIE y TFE) con valores mayores en el primer caso y menores en el segundo al de otros procedimientos, pero por ser sencillo, rápido y de bajo costo este método fue adoptado por la industria petrolera para describir la curva de destilación de una gasolina y otros derivados del petróleo.

¹ Véase el Capítulo 2, Volatilidad de una gasolina, Curva de destilación.

En la **figura 4** se muestra el resultado de destilar una muestra de gasolina siguiendo el método *ASTM-D-86*, el cual como se mencionó consiste en una destilación simple en una columna de baja eficiencia, y otra curva de la destilación de la misma muestra de gasolina en una columna de mayor eficiencia. Se puede observar como se modifican las temperaturas al incrementarse el intervalo de las temperaturas de destilación.

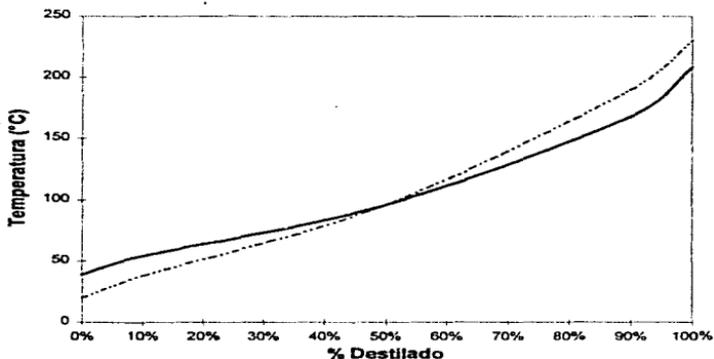


Figura 4. Ejemplo de dos curvas de destilación de una misma gasolina; la línea continua representa el método *ASTM-D-86-90* y la discontinua una columna de mayor eficiencia.

La gasolina

La evolución de la gasolina se encuentra estrechamente unida al desarrollo de los primeros "carruajes sin caballos" - los cuales surgen a mediados del siglo XIX - apoyados en los trabajos realizados por los ingleses *James Robson* y *John Barber*, el francés *Jean Etienne Lenoir* y el ingeniero suizo *Isaac de Rivaz*, considerado como el primero en construir un vehículo impulsado por un motor - en 1813 - el cual utilizaba como fuente de energía gas y por medio de una chispa producía la ignición del combustible. Posteriormente - en 1826 - el ingeniero estadounidense *Samuel Morey* diseñó el primer carburador para combustión de líquidos (alcohol o sustancias semejantes), pero fue hasta 1861 que el *Dr. Nikolaus August Otto* diseñó y construyó el primer motor basado en un ciclo de cuatro tiempos, con inyección controlada del combustible y un mecanismo de ignición.

El combustible utilizado, inicialmente, por los motores era el gas - escaso en esa época -, pero a través del tiempo se comenzó a utilizar combustibles líquidos, obtenidos de los destilados ligeros de los aceites crudos. Estos primeros combustibles líquidos hervían en el intervalo de temperaturas de 50 a 200 °C - muy semejante a las gasolinas modernas - pero presentaban valores muy bajos de *índice de octano*, según se estima actualmente ya que en esos tiempos aún no se desarrollaba el concepto de *índice de octano*.

La primera guerra mundial (1914 - 1917) trajo consigo un gran avance en el desarrollo de los vehículos automotores; se descubrió que para aumentar la potencia de los mismos era necesario aumentar la relación de compresión en los motores y que para lograrlo era fundamental poder incrementar la resistencia a la autoinflamación - *índice de octano* - de los combustibles utilizados. Se descubrió entonces que los compuestos aromáticos son los que presentan la mayor resistencia a

la autoinflamación y las parafinas lineales la menor, ésto permitió que se utilizaran como combustibles mezclas de hidrocarburos con *benceno*, *tolueno* y *xilenos*.

Fue cuestión de tiempo el que se descubriera que hidrocarburos ramificados de peso molecular semejante presentan también una buena resistencia a la autoinflamación, así como también compuestos como el *tetraetilo de plomo* - seleccionado como el mejor antidetonante en 1921 por Midgely - descubrimiento que permitió incrementar la calidad de los combustibles producidos y mejorar su desempeño en los motores.

La escala del índice de octano fue diseñada en 1929, cuando se decidió utilizar dos tipos de combustibles como referencia, uno el *n-heptano*, el cual tiende a autoinflamarse fácilmente y el otro el *isooctano* (2,2,4 trimetil-pentano), el cual presenta una gran resistencia a autoinflamarse. El índice de octano se fundamenta en asignar un valor arbitrario de 0 al desempeño del *n-heptano* como combustible y uno de 100 al del *isooctano*; los valores intermedios corresponden a mezclas de estos dos combustibles. De esta forma, al evaluar el desempeño de cualquier combustible en un motor y compararlo con el de estos dos compuestos se le puede asignar un valor en la escala de *índice de octano*.

Después, debido a que se observó que el petróleo crudo presenta variaciones considerables en la concentración de especies químicas, se consideró necesario especificar otros parámetros, que aún cuando son una función de las características específicas de los compuestos que la forman, pueden tratarse como propiedades de una mezcla, estas propiedades son la *presión de vapor Reid* (PVR), las temperaturas de la *curva de destilación*, la relación vapor/líquido como función de la temperatura y el *Índice de octano*.

Además de ciertos hidrocarburos provenientes del petróleo, otros compuestos químicos poseen elevados valores de *índice de octano*, en particular aquellos que contienen oxígeno en su estructura como el : metil-terbutil-eter (MTBE), ter-amil-metil-eter (TAME), Metanol (MeOH), Etanol (EtOH), etc. (que puros ya habían sido utilizados como combustibles) o compuestos como el *tetraetilo de plomo* y los *halogenuros de alquilo* (XR). Estos compuestos se adicionan a las gasolinas para elevar el *índice de octano* - principalmente - o modificar alguna otra propiedad - PVR, temperaturas de destilación, tendencia a formar gomas o depósitos en el motor, etc - y así lograr un mejor desempeño del combustible en los motores.

Fue en años recientes, a partir de la década de los años 80, que el conocimiento de las interacciones de los compuestos químicos - especialmente aquellos presentes en las gasolinas - con el hábitat obligó a las refinerías a modificar la composición de la gasolina. Se redujo, hasta lograr eliminar, el uso del plomo orgánico y halogenuros de alquilo, se disminuyó la concentración de benceno y de compuestos oxigenados para así incrementar la cantidad de hidrocarburos con altos valores de *índice de octano* y así mismo mantener las características de PVR, temperaturas de destilación y evitar la tendencia a formar gomas o depósitos en los motores.

Es recientemente que surge un nuevo punto de consideración sobre la gasolina, sus características de volatilidad. Se busca ahora modificar las propiedades fisicoquímicas como : presión de vapor y temperaturas de destilación para producir gasolinas con una menor tendencia a evaporarse y pasar al medio ambiente, pero que al mismo tiempo logren satisfacer los requerimientos para un correcto funcionamiento de los motores de los vehículos.

Volatilidad de la gasolina en el Valle de México

Es en base a lo anterior que la gasolina puede definirse como : Una mezcla que debe incluir uno o más de los siguientes tipos de compuestos : hidrocarburos de peso molecular entre 55 y 156 g/mol - aromáticos, alifáticos y olefínicos -, organometálicos - tetraetilo de plomo -, halogenuros de alquilo y compuestos oxigenados - MTBE, TAME, MeOH, EtOH - y además - para poder ser considerados como una gasolina - debe tener características de PVR, temperaturas de destilación y relación vapor/líquido, acotados en los intervalos de valores, específicos para cada país, que se encuentran establecidos en la legislación y que deben estar fundamentados en el adecuado funcionamiento de los motores y en la menor afectación al hábitat.

Presión de vapor Reid (PVR)

Debido a que una gasolina es el resultado de la combinación de diversas corrientes producto de la aplicación de varios procesos y sus propiedades corresponden a las de una mezcla multicomponente, fue necesario desarrollar un método práctico estandarizado que facilite determinar una cierta presión de vapor.

Dentro de la industria del petróleo y sus derivados, uno de los parámetros utilizados para evaluar y distinguir la gasolina es la denominada "*presión de vapor Reid*" (PVR), la cual consiste en medir la presión parcial que ejerce el vapor producido por una muestra del hidrocarburo en equilibrio a 37.8°C (100°F) y con una relación volumétrica de vapor en líquido (V/L) de 3.8 a 4.2; el procedimiento para determinar la PVR se encuentra descrito por la *American Society for Testing and Materials (ASTM)*, con la designación ASTM-D-323 y bajo el título: "*Standard Test Method for Vapor Pressure of Petroleum Products (Reid Method)*".

Además de ser importante para la descripción y distinción de las gasolina así como un parámetro para su correcta utilización, el valor la PVR de una gasolina se encuentra legislado en muchos países, debido a que es una medida indirecta de la evaporación de la gasolina y por consecuencia una forma de cuantificar la contaminación originada por éstas.

En la *zona metropolitana del Valle de México (ZMVM)* el valor de la PVR de las gasolinas que se expenden se encuentra legislada en la Norma Oficial Mexicana (NOM) bajo la designación NOM-086-ECOL-1994, publicada en el *Diario Oficial de la Federación* el día 2 de diciembre de 1994 bajo el título: "*Contaminación atmosférica - Especificaciones sobre protección ambiental que deben reunir los combustibles fósiles líquidos y gaseosos que se usan en fuentes fijas y móviles*", y

también en el acuerdo efectuado en octubre de 1996 entre el *Instituto Nacional de Ecología* (INE) y *Petróleos Mexicanos* (PEMEX) para reducir la PVR.

Descripción del método ASTM-D-323

En conformidad con el método ASTM-D-323, para poder realizar la medición de la *presión de vapor Reid* (PVR), se requiere contar con un dispositivo constituido por dos cámaras; una de ellas que contendrá el vapor y la otra el líquido, este artefacto deberá cumplir con los siguientes requerimientos :

- I. **Cámara del vapor :** Deberá de ser una cámara cilíndrica con un diámetro interno de 51 ± 3 mm y una longitud de 254 ± 3 mm, los extremos del cilindro deberán tener una ligera pendiente para permitir el desalojo de los líquidos. En un extremo el cilindro deberá de incluir una conexión hembra con un diámetro interno de $\frac{1}{16}$ in para acoplarse con un medidor de presión que tenga una conexión macho de $\frac{1}{4}$ in. En el otro extremo es requerido una conexión hembra con un diámetro interno de $\frac{1}{2}$ in que se acopla a la cámara que contiene el líquido.
- II. **Cámara del líquido :** La sección inferior de la cámara es un cilindro que cumple con las mismas características de diámetro y material que la cámara de vapor, pero que toma en cuenta que la relación de alturas de las cámaras de vapor y líquido deberá encontrarse entre 3.8 y 4.2; igualmente deberá mantenerse una pendiente en la base y tapa del cilindro para facilitar el desalojo del líquido así como una conexión macho que ajuste con la cámara de vapor.

También es necesario contar con los siguientes instrumentos para poder llevar a cabo la medición de la PVR de acuerdo con el método :

- I. **Medidor de presión** : Es necesario un medidor Bourdon con tubería hacia la atmósfera con diámetro interno no menor a $\frac{1}{16}$ in; la carátula deberá tener un diámetro de 100 a 150 mm, deberá contar con una conexión macho de $\frac{1}{4}$ in y la graduación del mismo dependerá del intervalo de valores de la PVR la cual estará supeditada al tipo de hidrocarburo.
- II. **Baño helado** : Se requiere contar con uno de tales dimensiones que permita sumergir completamente el dispositivo para medir la PVR y además que este pueda mantenerse a una temperatura promedio entre 0 a 1°C; no se permite utilizar bióxido de carbono sólido como medio refrigerante.
- III. **Baño caliente** : Éste también debe poseer las dimensiones adecuadas que permitan sumergir completamente el dispositivo para medir la PVR al menos 25.4 mm por debajo de la superficie del agua; y con un control preciso de temperatura de tal forma que se mantenga una temperatura promedio de 37.8 ± 0.1°C; es importante procurar mantener el termómetro sumergido hasta la marca de 37°C.
- IV. **Termómetro** : Es requerido un termómetro ASTM especial para el método Reid 18C con una escala de 34 a 42°C que cumpla las especificaciones E1.
- V. **Manómetro de mercurio** : Es necesario que éste cuente con graduación en cualquiera de los siguientes sistemas de unidades : 0.5 kPa, 1 mm, 1/10 in, ó de 1/10 psi.

El método requiere en forma inicial contar con una muestra obtenida siguiendo el procedimiento descrito en la práctica *ASTM-D-4057*; el contenedor de la muestra deberá de ser de un litro (1l), conservando un nivel del líquido de 70 a 80% de la capacidad del recipiente como se muestra en la *figura 5*.

La determinación de PVR únicamente podrá realizarse en una ocasión para cada muestra. La muestra no deberá ser expuesta a altas temperaturas, ni su contenedor permitir fugas; en todos los casos la muestra deberá mantenerse a una temperatura de 0 a 1°C antes de intentar abrir el contenedor.

Antes de realizar la prueba el contenedor se abre momentáneamente y una vez cerrado se agita vigorosamente, repitiendo este procedimiento en dos ocasiones mas para asegurar la saturación del aire en el interior del contenedor.

La cámara de líquido abierta deberá sumergirse en el baño helado junto con los tubos de transferencia.

La cámara de vapor conectada al medidor de presión deberá sumergirse en el baño caliente a $37.8 \pm 0.1^\circ\text{C}$ durante no menos de 10 minutos antes del acoplamiento de las dos cámaras.

Para transferir la gasolina del contenedor de la muestra a la cámara del líquido se retira la tapa y se le colocan los *tubos de transferencia*, entonces la cámara de líquido se coloca según se ilustra en la *figura 5* y se invierte el sistema para permitir que la gasolina fluya hacia la cámara permitiendo la admisión de aire. Una vez que se ha llenado por completo la cámara del líquido se acopla a la cámara de vapor.

El acoplamiento de las dos cámaras deberá realizarse con la mayor celeridad posible, retirando la cámara de vapor del baño caliente y acoplando ésta sobre la cámara del líquido; una vez hecha la conexión se mueve el artefacto de arriba hacia abajo para permitir que el líquido fluya en las dos cámaras; se repite el procedimiento ocho veces.

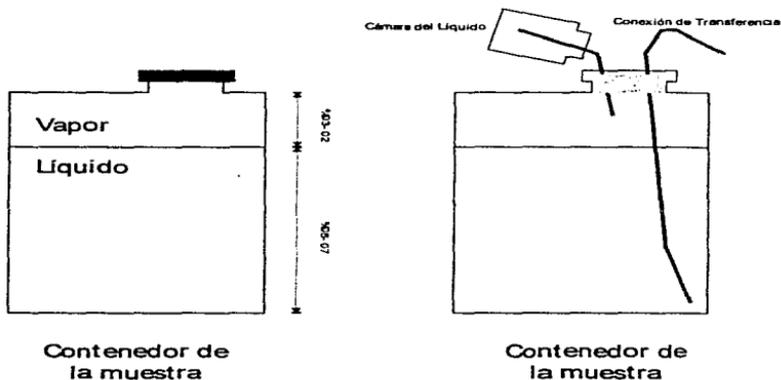


Figura 5. Contenedor de la muestra de gasolina y material para efectuar la transferencia.

Con el medidor de presión orientado hacia arriba se sumerge dentro del baño caliente y se espera al menos cinco minutos antes de la primera medición; para realizar la medición se activa el medidor de presión y se lee en la carátula; posteriormente se desactiva el medidor, el dispositivo se saca del baño caliente y se agita como en el paso anterior para repetir la medición, procurando obtener al menos cinco lecturas.

La última lectura debe obtenerse con una precisión de 0.25 kPa, y se denomina a este valor **PVR sin corregir**. Una vez desconectado el medidor de presión del dispositivo se compara su lectura con la del manómetro de mercurio; si se observa una diferencia ésta se suma a la lectura de la **PVR sin corregir** cuando la lectura del manómetro es mayor o se resta si la lectura es menor; el valor obtenido corresponde finalmente a la **PVR**.

Al finalizar la prueba es necesario purgar el dispositivo para lo cual primeramente se requiere enjuagarlo varias veces con agua a una temperatura aproximadamente de 32°C, al menos en cinco ocasiones, después se utiliza nafta de petróleo y finalmente se enjuaga con acetona, la cual se elimina haciendo fluir aire seco.

Se requiere también lavar el medidor de presión para eliminar cualquier rastro de gasolina residual.

Curvas de destilación

Un combustible debido a que es una mezcla multicomponente, constituido por diferentes hidrocarburos, presenta una curva de destilación característica en la que se indica el porcentaje de combustible destilado a diferentes temperaturas. La curva de destilación es de gran importancia porque permite poder calificar una serie de propiedades atribuibles al combustible y conocer como influye en el funcionamiento de los motores de combustión interna.

Para describir la curva de destilación de los hidrocarburos gran parte de la industria del petróleo ha adoptado el método de destilación propuesto por la *American Society for Testing and Materials* (ASTM) con la designación ASTM-D-86 y bajo el título "*Standard Test Method for Distillation of Petroleum Products*", por ser éste un método sencillo, rápido y de bajo costo aplicable a gasolina y a otros derivados del petróleo.

El método ASTM trata todo lo referente a la destilación de gasolina natural, gasolina para motores convencionales o de avión y derivados del petróleo con características similares al queroseno, nafta o gasolina.

En la *zona metropolitana del Valle de México (ZMVM)* una serie de valores límite en la curva de destilación de la gasolina *Magna* que se expenden se encuentran legislados en la Norma Oficial Mexicana (NOM) bajo la designación NOM-086-ECOL-1994, publicada en el diario oficial el día 2 de diciembre de 1994 con el título: "*Contaminación atmosférica - Especificaciones sobre protección ambiental que deben reunir los combustibles fósiles líquidos y gaseosos que se usan en fuentes fijas y móviles*" y utilizando como método estándar de referencia la norma ASTM-D-86-90.

Descripción del método ASTM-D-86

Para poder proceder a realizar la práctica del método ASTM-D-86-90 es necesario inicialmente definir los siguientes términos utilizados en la descripción del método :

- **Punto final de ebullición (TFE)** : La lectura máxima de temperatura obtenida durante el desarrollo de la prueba, que normalmente se obtiene al evaporar la última gota de líquido.
- **Punto inicial de ebullición (TIE)** : La temperatura que se registra en el instante en que cae la primera gota de líquido en la parte inferior del sistema condensador del vapor.
- **Por ciento recuperado (PCR)** : El volumen en mililitros de condensado que se observa en un recipiente graduado y que se relaciona con la lectura instantánea de temperatura en el termómetro del sistema.
- **Por ciento perdido (PCP)** : Se define como 100 menos el por ciento del total recuperado.
- **Por ciento recobrado (PCR)** : El porcentaje máximo recuperado durante la destilación.
- **Por ciento evaporado (PCE)** : La suma del porcentaje recuperado y el perdido.
- **Por ciento de residuo (PCR)** : El volumen de residuo final de la destilación medido en mililitros.
- **Por ciento total recuperado** : Es la suma del porcentaje recobrado y el residuo.

El método consiste, en destilar 100 ml de muestra del combustible en condiciones preestablecidas por la norma, en base a la naturaleza del mismo. Después se efectúan observaciones sistemáticas en las que se registran volúmenes de condensado en relación con lecturas de temperatura en el termómetro del sistema.

Finalmente con la información obtenida en forma experimental se realizan una serie de cálculos descritos en la norma y con los cuales se elabora un informe.

Para llevar a cabo la experimentación es necesario contar con el equipo indicado por la ASTM el cual consiste de lo siguiente :

- I. **Matraz** : De 100ml para gasolina natural o de 125ml para las demás sustancias, ambos deben de cubrir las especificaciones E 133.
- II. **Condensador, baño de enfriamiento, cubierta, calentador y soporte del matraz** : Con las características que establecen las especificaciones E 133.
- III. **Cilindro graduado** : De 100ml con marcas de graduación que indiquen incrementos de 1ml desde cero hasta los primeros 5ml y de los 90 hasta los 100ml de capacidad; además este cilindro debe de cumplir con las especificaciones E 133. Es posible utilizar aparatos automáticos para realizar las mediciones pero estos deben de tener una resolución de 0.1ml con una precisión de ± 1 ml.
- IV. **Sensor de Temperatura** : Deben utilizarse termómetros que cumplan con las especificaciones ASTM 7C (7F) y 8C (8F) o incluso 5C para baja destilación ó 6C para alta destilación; los termómetros deben de cumplir con las especificaciones E 133. Pueden ser utilizados termopares siempre que exhiban las mismas características de resolución que los termómetros convencionales de mercurio.

Para determinar la curva de destilación es primordial el establecer la naturaleza de la mezcla de hidrocarburos, para esto se clasifican los combustibles en cinco grupos, utilizando como criterios a la presión de vapor Reid y a las temperaturas inicial y final de ebullición, el resultado de esta clasificación se resume en la **tabla 7** la cual se muestra en la siguiente página.

Características de la muestra	Grupo 0	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Tipo de destilado	Gasolina natural	Otros combustibles			
Presión de vapor a 37.8°C (100°F) en kPa (psi)		≥ 65.5 (≥ 9.5)	< 65.5 (< 9.5)		
Temperatura Inicial de Ebullición en °C (°F)				≤ 100 (≤ 212)	> 100 (> 212)
Temperatura Final de Ebullición en °C (°F)		≤ 250 (≤ 482)		> 250 (> 482)	

Tabla 1. Clasificación de combustibles en grupos, en base a su naturaleza, según la norma ASTM-D-86-90.

Siguiendo el procedimiento de ASTM, una vez que se tiene clasificado al combustible de acuerdo al grupo al cual pertenece, es importante establecer las características con las cuales es necesario extraer la muestra del tanque y bajo que condiciones es necesario almacenarlo hasta el momento de efectuar la prueba; estos parámetros, necesarios para poder llevar a cabo la destilación conforme a la norma, se encuentran descritos en la **tabla 2** que se exhibe a continuación :

Características del muestreo	Grupo 0	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Temperatura de la botella de la muestra en °C (°F)	0 a 4.5 (32 a 40)	0 a 10 (32 a 50)			
Temperatura del depósito de la muestra en °C (°F)	0 a 4.5 (32 a 40)	0 a 10 (32 a 50)		Ambiente o T solidificación + 11°C (20°F)	
Si la muestra se encuentra húmeda	Desechar y realizar un nuevo muestreo			Secar decantando o con Na ₂ SO ₄ anhidro.	

Tabla 2. Características del muestreo y depósito de la muestra de combustible con base en los tipos de grupo de clasificación, según la norma ASTM-D-86-90.

Las condiciones para montar el equipo de destilación se describen a manera de resumen en la **tabla 3**, que se muestra a continuación, donde en base al grupo al cual pertenece el combustible se establecen las especificaciones que es necesario cumplir, tanto en cuestión de equipo como en condiciones iniciales de temperatura de las sustancias y el equipo; todo esto para permitir la reproducibilidad del experimento y evitar errores en la determinación producidos por la evaporación prematura del combustible.

Preparación del sistema de destilación	Grupo 0	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Volumen del Matraz en ml	100		125		
Termómetro ASTM para la destilación		7C (7F)			8C (8F)
Termómetro ASTM para el punto inicial de destilación		5C			6C
Tipo de soporte del matraz	A	B		C	
Diámetro del orificio en mm.	32	38		50	
Temperatura de inicio de la prueba en °C (°F):					
Del matraz y del termómetro:	0 a 4.5 (32 a 40)	13 a 18 (55 a 65)			No mayor a la ambiente
Del soporte y de la cubierta	No mayor a la temperatura ambiente				
Del receptor de 100 ml	0 a 4.5 (32 a 40)	13 a 18 (55 a 65)			13 a la ambiente (55 a la ambiente)

Tabla 3. Características del sistema de destilación del combustible con base en el grupo de clasificación, según la norma ASTM-D-86-90.

Una vez que se conocen las características del equipo de destilación éste se monta y se toman las precauciones necesarias para poder mantener las temperaturas especificadas al momento de iniciar la prueba. Es necesario medir 100 ml del combustible a destilar en el cilindro receptor graduado y transferir la muestra al matraz de destilación, evitando lo más posible perder líquido durante la transferencia. Después se debe de colocar el sensor de temperatura en el sistema procurando cerrarlo perfectamente utilizando un corcho o un sello de hule para evitar fugas de vapor; si se utiliza un termómetro éste debe colocarse de manera que el nivel más

bajo del capilar coincida con la parte inferior del tubo de salida del vapor, mientras que los *termopares* deben colocarse en el equipo siguiendo las instrucciones del fabricante.

A continuación se conecta, a la salida del vapor, el condensador, procurando que el tubo de salida del vapor se interne en el condensador de 25 a 50 mm para evitar cualquier tipo de fuga. El matraz debe quedar en posición vertical. El cilindro graduado, sin ser limpiado después de haber medido el combustible, se coloca centrado en la parte más baja del condensador procurando que el tubo de éste se interne al menos 25 mm, pero sin interferir con la marca de los 100 ml. Finalmente se cubre la parte superior del cilindro con papel tipo *parafilm* para sellarlo.

Es necesario en este momento el tomar nota de la temperatura ambiente en el laboratorio así como también de la presión barométrica del lugar.

El procedimiento de destilación consiste en aplicar calor al matraz que contiene el combustible y en mantener lo más estable posible las temperaturas del baño refrigerante y del cilindro receptor; procurando controlar la aplicación de calor de manera que el tiempo transcurrido entre el inicio del calentamiento y la detección de la *TIE*, así como las temperaturas del baño sean tales que cumplan con los requerimientos descritos en la *tabla 4*, tabulada en base al grupo al cual pertenece el hidrocarburo.

Una vez iniciado el calentamiento se observa el sistema, en espera de la detección de la *TIE* y se registra este valor, inmediatamente después se debe ajustar el equipo en tal forma que el líquido condensado, al gotear en el cilindro graduado, toque la pared interior de éste y resbale hasta el fondo.

A continuación se regula nuevamente el calentamiento de forma que se pueda cumplir con los tiempos descritos en la **tabla 4**. Durante la destilación, que debe hacerse con una rapidez de 4 a 5 ml por minuto para el volumen comprendido entre el 5% recuperado y los 5 ml de residuo, se deben de registrar las mediciones necesarias de acuerdo a las especificaciones requeridas para el producto y para poder efectuar el informe. Las mediciones se hacen, en volumen con una precisión de 0.5 ó 0.1 ml, y de temperatura lo más cercanas a 0.5 ó 0.1°C (1.0 ó 0.1°F) de acuerdo con el tipo de instrumento utilizado.

Condiciones durante la destilación	Grupo 0	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Temperatura del baño de enfriamiento en °C (°F)	0 a 1 (32 a 34)		0 a 4 (32 a 40)		0 a 60 (32 a 140)
Temperatura del baño alrededor del cilindro receptor en °C (°F)	0 a 4 (32 a 40)	13 a 18 (55 a 65)			± 3 (± 5) T. Inicial
Tiempo necesario entre la aplicación de calor a la TIE en minutos	2 a 5	5 a 10			5 a 15
Tiempo necesario entre la TIE y el 5% recuperado en minutos	60 a 75				
Tiempo necesario entre la TIE y el 10% recuperado en minutos	3 a 4				
Rapidez promedio de destilación desde el 5% recuperado hasta los 5ml de residuo en el matraz en ml/min.	4 a 5				
Tiempo transcurrido desde los 5 ml de residuo hasta el punto final en minutos	3 a 5			5 máximo	

Tabla 4. Características de la destilación del combustible con base en el grupo de clasificación, según la norma ASTM-D-86-90.

Si se observa que la muestra se descompone se debe de detener la destilación y considerar como pérdida el volumen restante por destilar. El cálculo del por ciento recuperado se hace con base a 100 ml.

Cuando queden 5 ml de residuo en el matraz se ajusta nuevamente la aplicación del calor para cumplir con los parámetros de la **tabla 4** y se observa y se registra la *temperatura final de ebullición* (TFE). Se observa también el cilindro receptor y se detiene la destilación cuando dos mediciones a intervalos de 2 minutos coincidan; se espera a que el matraz se enfríe a temperatura ambiente, su contenido se vierte completamente a una probeta de 5 ml y se registra el volumen residual.

El informe se elabora de acuerdo a los parámetros involucrados en la especificación del producto que se está probando, informando los valores de *volumen* y *temperatura* con la precisión que se tuvo en las lecturas; también es necesario informar la presión barométrica del lugar, la cual debe tener una precisión de 0.1 kPa. (1 mmHg). En el informe las lecturas de temperatura deben de ser corregidas a una presión de 101.3 kPa. (760 mmHg.) salvo que las especificaciones indiquen alguna otra presión. Para corregir las temperaturas se debe usar la ecuación de *Sydney Young* que permite calcular un factor de corrección que se suma a las temperaturas encontradas. Las expresiones de la ecuación de *Sydney Young* son las siguientes :

- Para temperaturas expresadas en grados Celsius :

$$C_c = 0.0009(101.3 - P_k)(273 + t_c) \dots\dots\dots (4)$$

$$C_c = 0.00012(760 - P)(273 + t_c) \dots\dots\dots (5)$$

- Para temperaturas expresadas en grados Fahrenheit :

$$C_f = 0.00012(760 - P)(460 + t_f) \dots\dots\dots (6)$$

Donde :

- C_c y C_p - Correcciones a las temperaturas t_c y t_p respectivamente, que deben de sumarse en forma algebraica.
- P_x - Presión barométrica en el lugar y momento de la prueba en unidades de kPa.
- P - Presión barométrica en el lugar y momento de la prueba en unidades de mmHg.

Todos los valores de *TIE*, *TFE*, los correspondientes a determinado *por ciento recuperado* (PCR), y la temperatura de descomposición (si existe) se informan con la misma precisión que la lectura experimental. Cuando se realizan correcciones por presión a las temperaturas es además necesario el corregir el *por ciento perdido* (PCP) y por consiguiente el *por ciento recuperado* (PCR) utilizando las siguientes ecuaciones :

$$L_c = A \cdot L + B \dots\dots\dots (7)$$

$$L_c = \left(\frac{L - 0.499287}{13.65651 - 0.12492914 \cdot P_x} \right) + 0.4997299 \dots\dots\dots (8)$$

$$L_c = \left(\frac{L - 0.499287}{13.65651 - 0.01665174 \cdot P} \right) + 0.4997299 \dots\dots\dots (9)$$

$$R_c = R + (L - L_c) \dots\dots\dots (10)$$

Donde :

- L - Por ciento perdido como se calculó directamente de la prueba.
- L_c - Corrección al por ciento perdido.
- P_x - Presión barométrica en el lugar y momento de la prueba en unidades de kPa.

- P = Presión barométrica en el lugar y momento de la prueba, en unidades de mmHg.
- A y B = Constantes numéricas que se expresan en la *tabla 5*.
- R = Por ciento recuperado como se calculó directamente de la prueba.
- R_c = Corrección al por ciento recuperado.

Presión		Constante	
kPa.	mmHg.	A	B
74.6	560	0.231	0.384
76.0	570	0.240	0.380
77.3	580	0.250	0.375
78.6	590	0.261	0.369
80.0	600	0.273	0.363
81.3	610	0.286	0.357
82.6	620	0.300	0.350
84.0	630	0.316	0.342
85.3	640	0.333	0.333
86.6	650	0.353	0.323
88.0	660	0.375	0.312
89.3	670	0.400	0.300
90.6	680	0.428	0.286
92.0	690	0.461	0.269
93.3	700	0.500	0.250
94.6	710	0.545	0.227
96.0	720	0.600	0.200
97.3	730	0.667	0.166
98.6	740	0.750	0.125
100.0	750	0.857	0.071
101.3	760	1.000	0.000

Tabla 5. Constantes numéricas (A y B) aplicables a la ecuación (7) de corrección del por ciento perdido.

Para informar el *por ciento evaporado* (PCE) a determinada *temperatura*, se requiere que los valores obtenidos de PCR a dicha temperatura se corrijan mediante la aplicación de la siguiente ecuación :

$$P_e = P_r + L \dots\dots\dots (11)$$

Donde :

- P_e - Por ciento evaporado.
- P_r - Por ciento recuperado
- L - Por ciento perdido como se calculó directamente de la prueba.

Cuando se desea informar la temperatura a la que ocurre un determinado PCR existen dos formas para estimarla; una es la interpolación gráfica, la cual consiste en trazar una gráfica en papel milimétrico utilizando los puntos corregidos de *temperatura* y PCR y de la gráfica leer los valores deseados; la otra es la interpolación aritmética para la cual se debe aplicar la siguiente ecuación :

$$T = T_L + \frac{(T_H - T_L)(R - R_L)}{R_H - R_L} \dots\dots\dots (12)$$

Donde :

- R - Por ciento recuperado correspondiente al por ciento evaporado.
- R_H - Por ciento recuperado adyacente mayor al valor de R .
- R_L - Por ciento recuperado adyacente menor al valor de R .
- T - Temperatura a la cual se desea conocer el por ciento evaporado.
- T_H - Temperatura registrada en R_H .
- T_L - Temperatura registrada en R_L .

Relación vapor / líquido (V/L)

El método describe el equipo y el procedimiento necesario para determinar el volumen de vapor producido a partir de una masa fija de gasolina sometida a una presión y temperatura dada.

El determinar la relación *V/L* de una gasolina y especialmente *la temperatura a la cual ésta es igual a veinte* resulta de particular interés debido a que, experimentalmente se ha observado que en el sistema de alimentación de combustible al motor, sí es que la temperatura de la gasolina alcanza ese valor se puede llegar a producir lo que se denomina *sello de vapor* el cual obstruye al sistema de alimentación de combustible del motor lo cual provoca el paro total del mismo.

La relación *vapor/líquido (V/L)* que se establece mediante este procedimiento es el cociente del volumen de vapor generado en las condiciones específicas y el volumen de gasolina líquida inicial a una temperatura de 0 °C (32 °F). El valor obtenido difiere de la relación *V/L* absoluta del sistema, ya que para el cálculo de este cociente no se considera la transferencia de materia del líquido al vapor.

Descripción del método ASTM-D-2533

Para llevar a cabo la determinación del valor de V/L de una muestra de gasolina es necesario contar con el siguiente material :

- III. **Bureta para determinar V/L** : Construida de vidrio de borosilicato y que cumpla con las medidas de la *figura 6*; en el brazo inferior deberá estar cerrada con un septum de hule resistente al alcohol.
- IV. **Equipo para el control de la presión** : Este requiere incluir :
 - A. Bulbo de nivel que contenga glicerina seca ó mercurio, conectado a la bureta mediante una tubería de hule como se muestra en la *figura 2*.
 - B. La parte superior del bulbo deberá de tener incorporado un utensilio para secar el aire, y si se utiliza mercurio también deberá incluir un adsorbente de vapores de mercurio colocado entre esferas de fibra de vidrio.
 - C. Marcas para medir la diferencia de niveles entre la bureta y el bulbo; una escala milimétrica es útil cuando se trabaja con glicerina, pero es necesario utilizar un catetómetro cuando se utiliza mercurio.
 - D. Un barómetro con escala de 0.5 mmHg al menos.
 - E. Un manómetro de mercurio con divisiones de 1 mm; cuando las mediciones se realicen en situaciones diferentes a la presión atmosférica este deberá estar conectado mediante tubería de hule a una conexión en T en la parte superior del bulbo.
- V. **Baño de agua** : Con una profundidad mínima de 266.7 mm (10.5 in), agitado y con un termostato para ajustar la temperatura en un intervalo de 3 a 82 °C (90 a 180 °F) y con capacidad para conservar la temperatura determinada con una variación de ± 0.1 °C (0.2 °F).

- VI. **Baño de agua** : Con una profundidad de 266.7 mm (10.5 in), agitado y con un termostato para ajustar la temperatura en un intervalo de 3 a 82 °C (37 a 180 °F) y con capacidad para conservar la temperatura determinada con una variación de ± 0.1 °C (0.2 °F).
- VII. **Termómetros** : Deberán cumplir con la norma ASTM de termómetros, requerimientos 64C y 65C (64F y 65F) también en un intervalo de 25 a 55 °C (77 a 131 °F) y de 50 a 80 °C (122 a 176 °F).
- VIII. **Baño helado** : El cual contendrá hielo y agua para lograr mantener una temperatura de 0 a 2 °C (32 a 36 °F).
- IX. **Jeringa hipodérmica** : De 0.5 y 1.0 ml; deberán ser jeringas Hamilton con adaptadores que tengan un tubo del No. 20 y una aguja de 51 mm (2 in)
- X. **Accesorios de calibración** : Se incluyen en estos
- A. Una balanza analítica con precisión mayor a 1 mg.
 - B. Una válvula de paso capilar.
 - C. Varios tubos viales de peso conocido.
 - D. Un calibrador para la válvula de la bureta.
- XI. **Reactivos** :
- A. Acetona.
 - B. Mezcla crómica (ácido crómico)².
 - C. Glicerina con 99% de pureza (máximo 1% de agua).
 - D. Mercurio.

El procedimiento requiere inicialmente contar con una muestra obtenida siguiendo el procedimiento descrito en la práctica *ASTM-D-4057*; y las consideraciones del método *ASTM-D-323 (Standard Test Method for Vapor Pressure of Petroleum Products (Reid Method))* para la manipulación de la muestra.

² Ver Apéndice, Preparación de reactivos especiales.

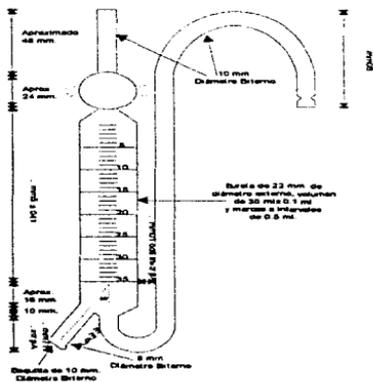


Figura 6. Bureta para determinar la relación vapor / líquido (V/L).

La determinación de la relación V/L debe de ser la siguiente prueba que se realice a una muestra, inmediatamente después de la prueba de la *presión de vapor Reid* (PVR).

Después de limpiar la jeringa y la bureta con agua destilada y acetona, se realizará la calibración del equipo utilizando para ello agua destilada libre de aire a 25 °C (77°C); para ello se llena con esta agua el equipo hasta la marca a calibrar, después se desplaza el agua contenida a los tubos viales, pesándolos en la balanza analítica y tomando en cuenta que la densidad del agua a la temperatura indicada es de 1.0036 ml/g en vidrio refractario y de 1.0038 ml/g en vidrio de borosilicato.

La limpieza del equipo deberá realizarse antes y después de cada prueba utilizando agua destilada y acetona. En caso de que quedaran algunos residuos será necesario utilizar mezcla crómica para su limpieza.

En primer lugar el bulbo se deberá llenar con glicerina o con mercurio, dependiendo de si se trabaja con hidrocarburos exclusivamente o con gasolina oxigenada para que con el líquido que contenga éste pueda fluir hacia la bureta por diferencia de nivel; en esta operación es necesario evitar la formación de burbujas. La anterior operación se realiza a temperatura ambiente.

La jeringa hipodérmica, una vez ensamblada, se ensarta en un tapón de hule y se enfría a una temperatura de 0 a 2 °C (32 a 36 °F) empleando hielo u otro medio.

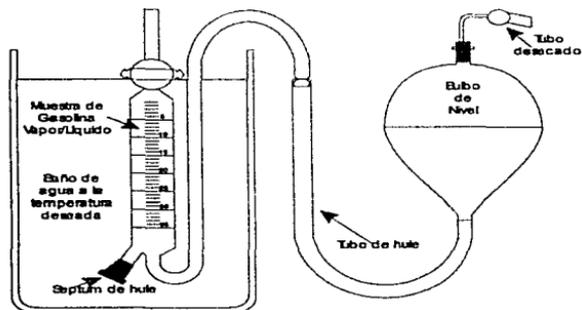


Figura 7. Acoplamiento del equipo para determinar la relación vapor / líquido (V/L).

El recipiente que contiene la muestra (*igual que en el método para determinar PVR*) deberá extraerse del baño helado, destaparse por unos instantes para revisar el nivel de gasolina, el cual debe estar entre 70 y 90% de su capacidad, después taparse nuevamente, agitarse y regresarse al baño helado. Al mismo tiempo que se efectúa esta acción se necesita ajustar el baño de agua a la temperatura del análisis y realizar observaciones periódicas hasta que la temperatura de este se mantenga constante ± 0.1 °C (0.2 °F).

Al inicio del procedimiento es necesario leer la presión atmosférica en el barómetro instalado en el laboratorio, y a continuación con la bureta a temperatura ambiente o ligeramente superior (*pero necesariamente a una menor a la de vaporización de la mezcla*), se ejecutan los siguientes cinco pasos ágilmente :

1. Sacar la jeringa del baño helado y retirar el tapón de hule.
2. Elevar unos centímetros el contenedor de la muestra de gasolina del baño helado y destaparlo.
3. Inclinar el contenedor de forma que se pueda llenar la jeringa hipodérmica sin que se filtre agua.
4. Obtener la primera muestra y expulsarla completamente de la jeringa hacia algún recipiente.
5. Extraer la segunda muestra del contenedor, la cual deberá estar libre de burbujas de aire para poder ser utilizada.

Con la jeringa llena se expulsa el exceso de gasolina para obtener una muestra de volumen preciso; 1 ml cuando la relación V/L que se espera es menor a 35, ó cuando se presuman valores superiores se deberá obtener un muestra con un volumen que produzca de 20 a 35 ml de vapor a la máxima temperatura de prueba.

La aguja se inserta completamente en el septum de la bureta, su contenido se inyecta y se retira la jeringa inmediatamente; el valor del volumen de la muestra se registra corregido mediante los factores de calibración de la jeringa.

Con el sistema así dispuesto se transfiere la bureta al baño de agua que ya se encuentra a la temperatura esperada, manteniendo el nivel del agua por encima de la válvula.

Durante el tiempo en que se forma vapor en la bureta es necesario mantener el nivel del bulbo análogo al de la bureta para obtener la medición a la presión atmosférica, o si se desea realizar a una presión diferente es necesario modificar el nivel, teniendo en consideración que 1 mmHg equivale a 10.8 mm de glicerina.

Antes de realizar la medición es necesario agitar la bureta sin sacarla del baño de agua y evitar que se formen gotas de combustible sobre la superficie de la glicerina o del mercurio; se mide el volumen de vapor con una precisión de 0.1 ml y cuando éste se mantenga estable al menos por 2 minutos, asentar asimismo la temperatura y presión a la cual se efectúa la medición; el volumen se corrige mediante los factores de calibración de la bureta.

El valor de la relación Vapor/Líquido (V/L) se calcula utilizando la siguiente fórmula :

$$V / L = \frac{A}{B} \dots\dots\dots (13)$$

Donde :

- A - Volumen del vapor producido, en ml.
- B - Volumen del líquido inyectado con la jeringa, en ml.

Los valores de V/L obtenidos siguiendo este procedimiento se deben de registrar utilizando una precisión de $\frac{1}{10}$ grado *Celsius* o *Fahrenheit* e indicando la presión a la cual fue tomada esta lectura; de no incluirse la presión se deberá entender que ésta es igual a 101.3 kPa. (760 mmHg.)

Adicionalmente también es posible realizar una interpolación gráfica entre una serie de valores de V/L y temperatura para lo cual se requiere trazar la gráfica de por lo menos tres mediciones, verificadas a la misma presión, situando en la gráfica una escala mínima de 0.1 V/L y de 0.2°F ó 0.1°C por unidad en los ejes coordenados. Los valores de V/L obtenidos empleando esta técnica es necesario que incluyan la leyenda "interpolado" junto al valor de la presión y la temperatura.

En un anexo de las normas ASTM D-439-89 y D-4814-95a se describen tres métodos para calcular el valor de la *temperatura de sello de vapor*, es decir la temperatura a la cual la relación V/L es igual a veinte, que aunque no sustituye la realización del procedimiento experimental permiten conocer un valor próximo al real, éstos métodos de cálculo son los siguientes :

- 1. Método preciso :** En este método se requiere conocer los valores de las temperaturas del 10, 20 y 50 % (T_{10} , T_{20} y T_{50}) de destilado según el método ASTM-D-86 así como el valor de la *presión de vapor Reid* (PVR) conforme al método ASTM-D-323.
- 2. Método lineal :** Para utilizar este método es necesario conocer los valores de las temperaturas del 10 y 50 % de destilado (T_{10} y T_{50}) y la *PVR*, determinados utilizando los métodos ASTM.

La ecuación es la siguiente :

$$T_{V/L-20} = 52.47 - 0.33 \cdot PVR + 0.20 \cdot T_{10} + 0.17 \cdot T_{50} \dots\dots\dots (14)$$

Donde :

$T_{V/L-20}$ – Temperatura a la cual la relación V/L es de 20/1, según el procedimiento de la norma ASTM-D-2533-90, en grados Celsius (°C).

T_{10} – Temperatura a la que destila el 10% de la gasolina siguiendo el procedimiento de la norma ASTM-D-86, en grados Celsius (°C).

T_{50} – Temperatura a la que destila el 50% de la gasolina siguiendo el procedimiento de la norma ASTM-D-86, en grados Celsius (°C).

PVR – Presión de vapor Reid, siguiendo el método ASTM-D-323, en lb/in² (psi).

3. Nomograma : Consiste en leer el valor de la temperatura con la ayuda de un nomograma incluido como parte de ambas normas, el cual utiliza como variables las temperaturas del 10 y 50 % de destilado y la PVR calculados según los métodos ASTM.

Índice de Manejabilidad

La curva de destilación rinde información importante sobre las características de la gasolina que son relevantes en el desempeño de un motor, ya que se relaciona directamente con varios aspectos en el desempeño de un vehículo automotor, entre ellos el denominado *"manejabilidad"* (en inglés *driveability*) el cual puede ser definido sencillamente como: *"la sensibilidad en la respuesta inmediata de un vehículo al acelerador"*; un vehículo que utiliza gasolina que permite una buena manejabilidad debe mostrar una aceleración uniforme y sin jaloneos; y sobretodo sin que se interrumpa la marcha del motor. Es indiscutible que la manejabilidad de un vehículo esta asociado con aspectos de seguridad en la conducción.

La manejabilidad de una gasolina se define también como el grado con el cual el vehículo que la utilice :

1. Enciende fácilmente.
2. Mantiene la marcha en ralentí de manera uniforme.
3. Permite un manejo confiable del vehículo en crucero o al acelerar.
4. Responde en forma inmediata y confiable al acelerador.

Los cuatro aspectos anteriores son particularmente relevantes cuando el vehículo aún no se calienta. Además es conocido que la manejabilidad de un vehículo se deteriora cuando la temperatura ambiente se reduce, y por tanto resulta fácil de constatar que en un clima frío, durante el calentamiento, el desempeño de un vehículo resulta insatisfactorio para el conductor.

La baja manejabilidad en clima frío se debe a que la gasolina no se vaporiza completamente en la cámara de combustión y puede llegar incluso a formar películas líquidas en las paredes del cilindro. Para incrementar la cantidad de gasolina que se vaporice se suele utilizar el estrangulador (choke en inglés), en forma manual o automática; una vez que el motor arranca y comienza a incrementar su temperatura se debe reducir la alimentación del combustible al motor.

Resulta evidente observar que existe una relación estrecha entre la volatilidad de la gasolina, la temperatura ambiente y la manejabilidad de una gasolina en un motor; empero el diseño del vehículo es un factor importante, ya que la existencia de vehículos con carburador o con inyección provistos de múltiples válvulas, el uso de sistemas de calentamiento en los inyectores y el control electrónico de la relación aire - combustible, puede influir en la manejabilidad.

Los parámetros que influyen en la manejabilidad en clima frío, como se ha visto, son varios, sin embargo, la *Society of Automotive Engineers* (SAE) desarrolló un primer modelo de índice general de manejabilidad "IM" que publicó en 1983 y cuya expresión es la siguiente :

$$IM = 0.5 * T_{10} + T_{50} + 0.5 * T_{90} \dots\dots\dots (15)$$

Posteriormente la SAE desarrolló un nuevo modelo de ecuación para el índice de manejabilidad en el cual concedió mayor relevancia al valor de la T_{50} , y un mayor peso a la T_{10} . La nueva relación de IM publicada en 1988, es la siguiente :

$$IM = 1.5 * T_{10} + 3 * T_{50} + T_{90} \dots\dots\dots (16)$$

Donde :

- IM – Índice de manejabilidad en grados Fahrenheit (°F).
- T_{10} – Temperatura a la que destila el 10% de la gasolina siguiendo el procedimiento de la norma ASTM-D-86, en grados Fahrenheit (°F).
- T_{50} – Temperatura a la que destila el 50% de la gasolina siguiendo el procedimiento de la norma ASTM-D-86, en grados Fahrenheit (°F).
- T_{90} – Temperatura a la que destila el 90% de la gasolina siguiendo el procedimiento de la norma ASTM-D-86, en grados Fahrenheit (°F).

La última expresión del índice de manejabilidad *Ecuación (16)* es utilizada tanto en gasolina constituida por hidrocarburos o por mezclas de hidrocarburos y compuestos oxigenados tales como el etanol y el éter metil terbutílico (EMTB), sin embargo resulta tener una mejor correlación cuando se trata de combustibles formados de hidrocarburos exclusivamente, ya que experimentalmente se encuentra que gasolinas constituidas exclusivamente por hidrocarburos presentan una mejor manejabilidad que combustibles que contienen compuestos oxigenados en su formulación, para un mismo valor de IM determinado por la ecuación anterior.

Es importante hacer notar que un valor adecuado de este índice para la gasolina que se utiliza en el país no se encuentra especificado en ninguna norma en México mientras que en varios países, como en varias ciudades de los *Estados Unidos de Norte América* (EUA) el valor del IM se encuentra delimitado; debido a que valores muy elevados significan una volatilidad elevada en la gasolina y valores muy bajos indican un combustible poco volátil.

Valores extremos de IM pueden, además de afectar la manejabilidad del vehículo, ocasionar contaminación debido a la generación de hidrocarburos volátiles que son emitidos a la atmósfera junto con los gases de la combustión; en EUA la *American Automobile Manufacturer Association* (AAMA) propuso un IM límite en un valor de

1,200°F (568°C); además algunos autores consideran un desempeño óptimo de los motores cuando una gasolina presentan un IM en el intervalo de 1,050 a 1,200 °F (485 a 568 °C).

La utilización del *IM* junto con el de la *presión de vapor de Reid* (PVR) para especificar las características de un combustible resultan ser de gran utilidad ya que un valor adecuado del primero nos asegura un desempeño conveniente del combustible en los motores de los vehículos, mientras que el segundo nos permite minimizar las pérdidas por evaporación de la gasolina en los tanques, las gasolineras y el vehículo mismo.

CAPÍTULO 3

CARACTERÍSTICAS DE LA GASOLINA PARA EL VALLE DE MÉXICO

Capítulo 3 Características de la gasolina para el Valle de México

Para determinar la presión de vapor óptima que debe tener una gasolina es necesario conocer el perfil de temperaturas en virtud de que un apropiado funcionamiento del motor y las emisiones por evaporación de hidrocarburos que desprende la gasolina dependen de la temperatura ambiente.

Durante el encendido de un motor, la temperatura a la cual se encuentre la gasolina, que generalmente es muy cercana a la temperatura ambiente, tiene un papel determinante en el arranque, ya que si su valor es muy bajo ocasiona que la gasolina no se vaporice, su combustión sea incompleta y resulte un pobre desempeño del motor.

Si la temperatura ambiente fuese elevada se puede presentar, durante el encendido o incluso durante el funcionamiento del motor lo que se denomina *sello de vapor*, el cual impide a la gasolina ser bombeada del tanque de combustible al motor debido a que los conductos se encuentran llenos de vapor, que no es posible bombear, resultando en la pérdida de potencia o en la falla definitiva del motor.

En los últimos siete años Petróleos Mexicanos (PEMEX) ha ofrecido al mercado de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) cuatro tipos - comerciales - de gasolina los cuales son los siguientes :

- Magna Sin
- Nova Plus
- Pemex Magna
- Premium

De los cuatro tipos anteriores, la gasolina *Nova Plus* es la única que incluye en su formulación tetraetil de plomo, pero se espera que próximamente sea sustituida en

su uso por la gasolina *Pemex Magna* la cual surge en sustitución de la gasolina *Magna Sin*, y debido a que éstas últimas dos se regulan por la misma legislación hemos denominad en esta tesis en forma genérica, a la gasolina estudiada, como "*Magna*" y finalmente se tiene a la gasolina *Premium* la cual presenta como principal diferencia con la *Magna* un valor superior de *índice de octano* (92).

Las características que deben satisfacer estos tipos de gasolina se encuentran legisladas en la NOM-086-ECOL-1994 y en el acuerdo INE-PEMEX de octubre de 1996; de dichos documentos se extrajo la información de las siguientes dos tablas :

Requerimiento	Valor
Nova Plus - zonas metropolitanas	
Temperatura 10% Destilado (%Vol.)	máx 70°C
Temperatura 50% Destilado (%Vol.)	min 77°C
	máx 121°C
Temperatura 90% Destilado (%Vol.)	máx 180°C
Temperatura Final Ebullición	máx 225°C
Residuo máx Destilación	2%
Presión de vapor de REID (PVR)	máx 8.5 psi
	min 6.5 psi
Azufre	0.15% peso
Corrosión al Cu, 3 hr a 50°C	Est. 1. máx
Goma preformada	máx 0.05 kg/m ³
Período de Inducción	min 300 minutos
Contenido de Plomo	0.0026 kg/m ³
Tetraetilo de Plomo	min 0.2 mL/gal
	máx 0.3 mL/gal
Número de octano (RON)	min 81
Número de octano (MON)	informar
Índice de octano	informar
Contenido de fósforo	0.001 kg/m ³
Aromáticos	máx 30% vol.
Olefinas	máx 15% vol.
Benceno	máx 2% vol.
Oxígeno	máx 2% peso
	min 1% peso
Color	rojo
Aditivo detergente dispersante	min 0.28 kg/m ³

Tabla 6. Características de la gasolina *Nova Plus* para la *ZMVM* de acuerdo con la norma NOM-086-ECOL-1994.

La **tabla 6** contiene la información de las especificaciones que debe cumplir la gasolina nova para la ZMVM, y la **tabla 7** las que debe cumplir la gasolina "Magna".

Requerimiento	Valor
MAGNA SIN - zonas metropolitanas	
Peso específico 20/4 °C	Informar
Temperatura 10% Destilado (%Vol.)	máx 65°C
Temperatura 50% Destilado (%Vol.)	min 77°C máx 118°C
Temperatura 90% Destilado (%Vol.)	máx 190°C
Temperatura Final Ebullición	máx 221°C
Residuo máx Destilación	2%
Presión de vapor de REID (PVR)	máx 7.8 psi min 6.5 psi
Azufre	
Prueba Doctor o	negativa
Azufre mercaptánico	0.002% vol.
Corrosión al Cu, 3 hr a 50°C	Est. 1, máx
Goma preformada	máx 0.040kg/m ³
Período de inducción	min 300 minutos
Contenido de Plomo	0.0026 kg/m ³
Número de octano (RON)	Informar
Número de octano (MON)	min 82
Índice de octano	min 87
Contenido de fosforo	0.001 kg/m ³
Aromáticos	máx 30% vol.
Olefinas	máx 10% vol.
Benceno	máx 1% vol.
Oxígeno	máx 2% peso min 1% peso
Color	verde claro
Aditivo detergente dispersante	min 0.28 kg/m ³

Tabla 7. Características de la gasolina Magna para la ZMVM de acuerdo con la norma NOM-086-ECOL-1994 y el acuerdo INE-PEMEX de octubre de 1996.

Los colores indicados en las especificaciones para la gasolina *Magna* y *Nova Plus* deben de igualar el color de muestras preparadas a partir de diferentes compuestos en solución acuosa, según se indica al pie de las tablas en las normas especificadas.

Norma de la American Society for Testing and Materials (ASTM).

Con el objeto de adecuar las características de la gasolina con la temperatura ambiente y así garantizar una marcha satisfactoria del motor, la *American Society for Testing and Materials* (ASTM) publicó un estándar para especificar determinadas propiedades de la gasolina; tales como son : la presión de vapor de Reid (PVR), las temperaturas inicial, final, del 10, 50 y 90 % de destilado (TIE, TFE, T₁₀, T₅₀ y T₉₀), así como la temperatura a la cual relación vapor/líquido (V/L) es igual a veinte (temperatura de sello de vapor); todas ellas como una función de la temperatura ambiente y de la elevación del lugar sobre el nivel del mar.

La norma ASTM toma en cuenta como criterios fundamentales para clasificar una gasolina, el percentil 90% de la temperatura máxima y el percentil 10% de la temperatura máxima de las 6 horas mínimas, de cada mes del año en el lugar; a continuación se definen estos parámetros :

- **Percentil 90% de la Temperatura máxima (T_{máx})** : Se determina la temperatura máxima diaria que se presenta durante el mes en estudio, con la información se calcula el percentil 90% de los datos; este valor significa una probabilidad del 10% de que durante el mes se haya presentado una temperatura mayor a la calculada.
- **Percentil 10% de la Temperatura máxima de las 6-h mínimas (T_{máx6hmín})** : Se distinguen las seis horas continuas de menor temperatura durante un día y de entre ellas se determina la máxima temperatura; con la información del mes en estudio se calcula el percentil 10% cuyo valor significa una probabilidad del 10% de que

se presente un conjunto de 6 horas continuas con una temperatura menor a la calculada.

El valor de $T_{m\acute{a}x}$ y $T_{m\acute{a}x6hmin}$, calculados para cada mes del a\~no, es directamente aplicable en la norma cuando la zona de estudio se encuentra al nivel del mar (N.M), pero para poder ser utilizados a diferentes altitudes se requiere aplicar las siguientes correcciones:

$$T_{m\acute{a}x} = T_{m\acute{a}x_{N.M}} + \frac{4.4^{\circ}C}{1000m} \cdot \text{Altitud} \dots\dots\dots (17)$$

$$T_{m\acute{a}x6hmin} = T_{m\acute{a}x6hmin_{N.M}} + \frac{3.6^{\circ}C}{1000m} \cdot \text{Altitud} \dots\dots\dots (18)$$

Donde las variables especifican :

$T_{m\acute{a}x}$, $T_{m\acute{a}x6hmin}$ – Temperatura, en grados Celsius ($^{\circ}C$)

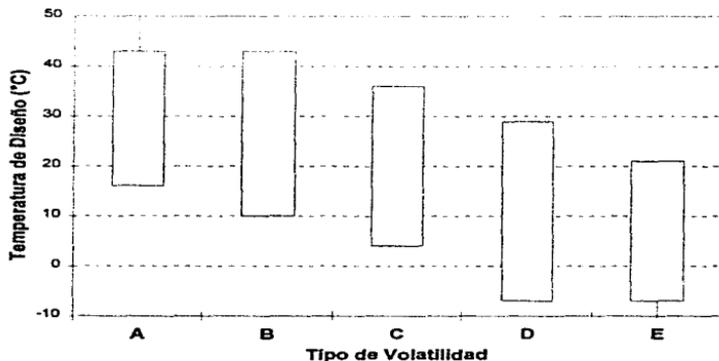
Altitud – Altura media sobre el nivel del mar, en metros (m.).

En consideraci3n a los par3metros de dise\~no obtenidos para cada mes del a\~no, la ASTM define 5 tipos de gasolina, que corresponden diferentes patrones de volatilidad como se muestra a continuaci3n :

Tipo de Volatilidad	Percentil 10% Temperatura M3xima 6-h m3nimas ($^{\circ}C$)	Percentil 90% Temperatura M3xima ($^{\circ}C$)
A	> 16	\geq 43
B	> 10	< 43
C	> 4	< 36
D	> -7	< 29
E	\leq -7	< 21

Tabla 8. Clasificaci3n de volatilidad de la gasolina, de acuerdo con las normas ASTM D-439-83 y D-4814-88a.

Con la información de la **tabla 8** es posible trazar la **gráfica 1**, donde se puede observar los límites de temperatura de diseño para cada clasificación; se observa que tanto los tipos de *volatilidad B, C y D* se encuentran acotadas en intervalos cerrados mientras que la de tipo *A* no poseen límite superior sino una restricción de valor mínimo para la temperatura máxima de diseño mientras que el tipo *E* cuentan con la restricción en la temperatura mínima de diseño.



Gráfica 1. Tipo de volatilidad de la gasolina, de acuerdo con las normas ASTM D-439-89 y D-4814-88a, como una función de la temperatura.

Volatilidad de la gasolina en el Valle de México

El tipo de gasolina que fija la norma *ASTM D-439-89* y *D-4814-88a* determina las características de volatilidad que la gasolina a utilizarse en dicho lugar debe de cumplir, siendo estas las características siguientes :

Tipo de Volatilidad	10% Vol.		50% Vol.		90% Vol.	Temperatura Final Ebullición	Residuo Destilación	Relación vapor / líquido		Presión de Vapor REID
	máx (°C)	mín (°C)	máx (°C)	máx (°C)	máx (°C)	máx (°C)	% Vol.	T (°C)	máx V/L	máx (psi)
A	70	77	121	190	225	2	60	20	9	
B	65	77	118	190	225	2	56	20	10	
C	60	77	116	185	225	2	51	20	11.5	
D	55	77	113	185	225	2	47	20	13.5	
E	50	77	110	185	225	2	41	20	15	

Tabla 9. Características de volatilidad de la gasolina según las normas *ASTM D-439-89* y *D-4814-88a*.

En el año de 1995 la *ASTM* modifica la norma *D-4814-88a* ("Standard Specification for Automotive Spark-Ignition Engine Fuel") al incorporar a la clasificación de la gasolina los criterios de la *Environmental Protection Agency* (EPA) referentes a la reducción de los factores que influyen en la contaminación ambiental en las ciudades de los *Estados Unidos de Norteamérica*, siendo el resultado de este trabajo la norma *ASTM-D-4814-95a*.

El resultado de las modificaciones efectuadas a la norma es la separación del parámetro de la temperatura a la cual la relación *V/L* de la gasolina es igual a veinte, también llamada *temperatura del sello de vapor*, de los demás parámetros de volatilidad como lo son las temperaturas de destilación y la *PVR*; además incorpora una nueva clasificación de gasolina, la gasolina tipo *AA*, la cual tiene iguales características de destilación que la tipo *A*, pero que especifica una *PVR* máxima con

un valor de 54 kPa. (7.8 psi) para reducir la volatilidad de la gasolina que se pretende sea utilizada en ciudades con graves problemas de contaminación atmosférica.

Tipo de Volatilidad	10% Vol.		50% Vol.		90% Vol.	Temperatura Final Ebullición	Residuo Destilación	Presión de Vapor REID
	máx (°C)	mín (°C)	máx (°C)	máx (°C)	máx (°C)	% Vol.	máx (psí)	
AA	70	77	121	190	190	225	2	7.8
A	70	77	121	190	190	225	2	9
B	65	77	118	190	190	225	2	10
C	60	77	116	185	185	225	2	11.5
D	55	77	113	185	185	225	2	13.5
E	50	77	110	185	185	225	2	15

Tabla 10. Características de volatilidad de la gasolina según la norma ASTM-D-4814-95a.

La norma *ASTM-D-4814-95a* al separar de la clasificación de tipo de volatilidad el parámetro del *sello de vapor* de establece una clasificación alfanumérica, en la cual indica con una letra (AA, A, B, C, D ó E) los parámetros de volatilidad como : *PVR*, temperaturas de corte y el residuo máximo de destilación; mientras tanto utiliza un valor numérico (1, 2, 3, 4 y 5) para establecer el valor de la *temperatura del sello de vapor*. De esta forma tenemos la posibilidad de combinar diferentes tipos de *volatilidad* con diferentes valores de *temperatura de sello de vapor*.

Dentro de la norma *ASTM-D-4814-95a* la metodología para establecer el tipo de volatilidad de la gasolina en base a las características climáticas y geográficas del lugar es la misma que la descrita en la norma de 1988, ya que los tipos de volatilidad que establecía la norma anterior tienen su equivalencia en la norma actual como se exhibe a continuación en la *tabla 11*.

Tipo de Volatilidad Revisión 1995	Tipo de Volatilidad Revisión 1988	Percentil 10% Temperatura Máxima 6-h mínimas (°C)	Percentil 90% Temperatura Máxima (°C)
A - 1	A	> 16	≥ 43
B - 2	B	> 10	< 43
C - 3	C	> 4	< 36
D - 4	D	> -7	< 29
E - 5	E	≤ -7	< 21

Tabla 11. Clasificación de volatilidad de la gasolina, de acuerdo con la norma ASTM D-4814-95a y comparación con la norma anterior.

El principal criterio aplicado por *EPA* para disminuir las emisiones evaporativas de la gasolina es el reducir la volatilidad de ésta, cuando las características del lugar lo permiten, al cambiar el tipo indicado por las letras (B, C ó D) y obtenido al aplicar la metodología descrita en la norma, por el de la *gasolina tipo A*, pero manteniendo las características de la *temperatura del sello de vapor* calculados, para así poder tener gasolinas del tipo A-1, A-2, A-3 ó A-4. Este criterio es aplicable cuando al analizar las características climáticas del lugar se presenta un valor del percentil 10% de las temperaturas diarias mensuales máximas de las seis más frías sea mayor a 4 °C y exclusivamente para los meses comprendidos entre el primero de mayo y el quince de septiembre. La *EPA* considera que durante este periodo del año ocurre la mayor incidencia de rayos ultravioleta en el territorio estadounidense; habría que validar este criterio para el *Valle de México*.

La norma vigente incluye también la aplicación del criterio de EPA para reducir la volatilidad de la gasolina en las ciudades de los Estados Unidos de Norteamérica donde se detectan problemas importantes de contaminación atmosférica. Este criterio consiste en que durante determinados meses del año en estas ciudades se utilice gasolina del tipo AA-X, donde X es el valor del sello de vapor calculado por el procedimiento normal para establecer volatilidad, surgiendo de esta forma los tipos de gasolina : AA-1, AA-2, AA-3 y AA-4, donde a diferencia del criterio anterior se reduce aún más el valor máximo de PVR al desplazar el límite de un valor de 62 a 54 kPa, es decir de 9 a 7.8 psi.

Perfil de temperatura en el Valle de México

Para poder realizar el estudio de tipo de volatilidad y de las características de la gasolina requerida en la ZMVM es necesario contar con la información de la temperatura promedio horaria diaria, de por lo menos un año en la zona donde se desea realizar el estudio así como la altura promedio sobre el nivel del mar (altitud del lugar).

Para tal propósito se utilizó la información proporcionada por la *Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA)* del *Departamento del Distrito Federal (DDF)* en 10 de sus estaciones, durante los años comprendidos entre 1990 y 1996.

El nombre y la clave de las estaciones RAMA cuya información se utilizó para estudiar la aplicación de la norma ASTM son :

Nombre de la Estación	Clave
Tacubaya	TAC
Ecatepec	EAC
San Agustín Texcoco	SAG
Tlalnepantla	TLA
Xalostoc	XAL
Merced	MER
Pedregal	PED
Cerro de la Estrella	CES
Plateros	PLA
Hangares	HAN

Tabla 12. Nombre y clave de las 10 estaciones de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) utilizadas para el estudio.

La información proporcionada por el sistema RAMA se almacena en archivos mensuales en una base de datos de *dBase*³, de donde la información se trasladó a formato *EXCEL*⁴ para manejarla con mayor comodidad.

Los datos proporcionados por el sistema RAMA son las temperaturas horarias diarias registradas en las 10 estaciones (*Tabla 12*) y presentan el siguientes formato :

Fecha	Hora	Estación SAG	SAG	Estación TLA	...	...	Estación HAN	HAN
1-01-90	1	5.00		6.00	...	...	5.50	
...	
...	
1-31-90	24	5.50		5.50	...	...	7.00	

Tabla 13. Formato de la base de datos de la RAMA con las temperaturas diarias horarias utilizadas para el estudio.

Con el objeto de mecanizar el estudio de la información se desarrolló un algoritmo con el cual se construyó un Macro en *Visual Basic*⁵, el cual se aplicó a la información mensual compilada en un Libro de *EXCEL*. Una síntesis del algoritmo desarrollado se describe a continuación :

³ *dBase* es una marca registrada de Borland Corporation.

⁴ *EXCEL* es una marca registrada de Microsoft Corporation.

⁵ *VISUAL BASIC* es una marca registrada de Microsoft Corporation.

Algoritmo para determinar el tipo de volatilidad conforme a las normas ASTM D-439-89, D-4814-88a y D-4814-95a

El algoritmo utilizado para obtener los valores de temperaturas necesarias para construir el perfil de temperaturas en la ZMVM se construyó de la siguiente forma: las instrucciones que se encuentran en el mismo nivel de sangría indican que se realizan dentro del mismo ciclo de procesamiento.

1. Para cada mes del año repetir el siguiente procedimiento :
 2. Determinar el primer y último día de cada mes y con ello calcular el número de días.
 3. Construir una tabla que contenga la información de fecha, clave de la estación RAMA, $T_{m\acute{a}x}$ y $T_{m\acute{a}x6hmin}$ y promedio.
 4. Para cada día del mes repetir el siguiente procedimiento :
 5. Para cada estación RAMA (1-10) repetir el siguiente procedimiento :
 6. Agrupar todas las temperaturas del día en 19 grupos que contengan 6 horas continuas y calcular la temperatura máxima de cada grupo y escribirla en la columna vacía a la derecha de las temperaturas de cada estación.
 7. Para cada día del mes repetir el siguiente procedimiento :
 8. Para cada estación RAMA (1-10) repetir el siguiente procedimiento :
 9. Determinar la temperatura máxima diaria de las 24 temperaturas si el número de datos es igual o mayor a 12 y si se cumple la restricción determinar la mínima de las 19 temperaturas máxima de los grupos de 6 horas continuas.
 10. Calcular el valor promedio de la $T_{m\acute{a}x}$ y de la $T_{m\acute{a}x6hmin}$ de las 10 estaciones RAMA.

- 11.** Copiar la información generada a la tabla de datos.
- 12.** Con la información condensada en la tabla de datos :
 - 13.** Calcular el valor del percentil 90% de las $T_{m\acute{a}x}$ del mes y el percentil 10% de la $T_{m\acute{a}x6h_{m\acute{i}n}}$ del mes.
 - 14.** Aplicar las fórmulas para corregir el valor de la $T_{m\acute{a}x}$ y la $T_{m\acute{a}x6h_{m\acute{i}n}}$ para una altitud promedio de 2,200 m y obtener las temperaturas de diseño.
 - 15.** Determinar el tipo de volatilidad según la norma ASTM de acuerdo con la **Tabla 4**. Para la altitud de la ZMVM así como para el nivel del mar.
- 16.** Construir un resumen anual copiando la información mensual a un condensado donde se pueda apreciar el tipo de volatilidad anual.

Resultados obtenidos al aplicar el programa para determinar el tipo de volatilidad acorde a las normas ASTM D-439-89 y D-4814-95a

Primera Fecha	Última Fecha	Numero de Días	Percentil 90% T _{máx} (°C)	Percentil 10% T _{máx} 6h _{mín} (°C)	Altitud ZMVM (m)	T _{máx} diseño (°C)	T _{máx} 6h _{mín} diseño (°C)
1-Ene-96	31-Ene-96	31	23.4	4.9	2200	33.0	12.8
1-Feb-96	29-Feb-96	29	25.5	6.6	2200	35.2	14.5
1-Mar-96	31-Mar-96	31	26.2	7.8	2200	35.9	15.7
1-Abr-96	30-Abr-96	30	26.7	10.6	2200	36.4	18.5
1-May-96	31-May-96	31	29.3	12.8	2200	38.9	20.7
1-Jun-96	30-Jun-96	30	25.0	12.8	2200	34.7	20.7
1-Jul-96	31-Jul-96	31	24.5	13.6	2200	34.2	21.5
1-Ago-96	31-Ago-96	31	22.6	13.4	2200	32.3	21.3
1-Sep-96	30-Sep-96	30	24.7	12.8	2200	34.3	20.7
1-Oct-96	31-Oct-96	31	24.4	11.0	2200	34.1	18.9
1-Nov-96	30-Nov-96	30	24.2	7.3	2200	33.9	15.3
1-Dic-96	31-Dic-96	31	22.5	7.8	2200	32.2	15.7

Tabla 14. Temperatura máxima y mínima de diseño en la ZMVM durante el año de 1996.

Primera Fecha	Última Fecha	Numero de Días	Percentil 90% T _{máx} (°C)	Percentil 10% T _{máx} 6h _{mín} (°C)	Altitud ZMVM (m)	T _{máx} diseño (°C)	T _{máx} 6h _{mín} diseño (°C)
1-Ene-95	31-Ene-95	31	23.5	8.7	2200	33.2	16.6
1-Feb-95	28-Feb-95	28	25.9	8.9	2200	35.6	16.8
1-Mar-95	31-Mar-95	31	28.4	10.2	2200	38.0	18.1
1-Abr-95	30-Abr-95	30	28.9	12.5	2200	38.6	20.4
1-May-95	31-May-95	31	29.6	14.0	2200	39.3	21.9
1-Jun-95	30-Jun-95	30	27.7	14.0	2200	37.4	22.0
1-Jul-95	31-Jul-95	31	23.9	12.4	2200	33.6	20.3
1-Ago-95	31-Ago-95	31	24.4	14.0	2200	34.1	21.9
1-Sep-95	30-Sep-95	30	24.4	12.8	2200	34.1	20.7
1-Oct-95	31-Oct-95	31	23.9	9.2	2200	33.6	17.2
1-Nov-95	30-Nov-95	30	23.4	8.2	2200	33.1	16.1
1-Dic-95	31-Dic-95	31	22.9	7.6	2200	32.6	15.6

Tabla 15. Temperatura máxima y mínima de diseño en la ZMVM durante el año de 1995.

Volatilidad de la gasolina en el Valle de México

Primera Fecha	Última Fecha	Numero de Días	Percentil 90% Tmáx (°C)	Percentil 10% Tmáx6hmin (°C)	Altitud ZMVM (m)	Tmáx diseño (°C)	Tmáx6hmin diseño (°C)
1-Ene-94	31-Ene-94	31	25.0	6.1	2200	34.7	14.0
1-Feb-94	28-Feb-94	28	25.4	9.0	2200	35.1	17.0
1-Mar-94	31-Mar-94	31	28.5	10.6	2200	38.2	18.5
1-Abr-94	30-Abr-94	30	27.2	11.4	2200	36.9	19.3
1-May-94	31-May-94	31	28.0	12.5	2200	37.7	20.5
1-Jun-94	30-Jun-94	30	25.8	11.9	2200	35.5	19.8
1-Jul-94	31-Jul-94	31	25.3	11.3	2200	35.0	19.2
1-Ago-94	31-Ago-94	31	24.1	12.5	2200	33.7	20.4
1-Sep-94	30-Sep-94	30	23.4	10.8	2200	33.1	18.7
1-Oct-94	31-Oct-94	31	24.4	11.4	2200	34.1	19.3
1-Nov-94	30-Nov-94	30	24.7	9.6	2200	34.3	17.5
1-Dic-94	31-Dic-94	31	23.9	9.6	2200	33.6	17.5

Tabla 16. Temperatura máxima y mínima de diseño en la ZMVM durante el año de 1994.

Primera Fecha	Última Fecha	Numero de Días	Percentil 90% Tmáx (°C)	Percentil 10% Tmáx6hmin (°C)	Altitud ZMVM (m)	Tmáx diseño (°C)	Tmáx6hmin diseño (°C)
1-Ene-93	31-Ene-93	31	23.5	8.0	2200	33.2	15.9
1-Feb-93	28-Feb-93	28	25.5	8.6	2200	35.2	16.6
1-Mar-93	31-Mar-93	31	26.2	9.3	2200	35.9	17.2
1-Abr-93	30-Abr-93	30	26.9	11.2	2200	36.5	19.1
1-May-93	31-May-93	31	27.4	12.9	2200	37.1	20.8
1-Jun-93	30-Jun-93	30	29.5	14.4	2200	39.2	22.3
1-Jul-93	31-Jul-93	31	25.6	13.5	2200	35.3	21.4
1-Ago-93	31-Ago-93	31	24.9	13.6	2200	34.6	21.5
1-Sep-93	30-Sep-93	30	22.9	13.0	2200	32.6	20.9
1-Oct-93	31-Oct-93	31	25.3	11.6	2200	35.0	19.5
1-Nov-93	30-Nov-93	30	22.6	8.7	2200	32.3	16.7
1-Dic-93	31-Dic-93	31	24.8	6.7	2200	34.5	14.7

Tabla 17. Temperatura máxima y mínima de diseño en la ZMVM durante el año de 1993.

Primera Fecha	Última Fecha	Numero de Dias	Percentil 90% Tmáx (°C)	Percentil 10% Tmáx6hmin (°C)	Altitud ZMVM (m)	Tmáx diseño (°C)	Tmáx6hmin diseño (°C)
1-Ene-92	31-Ene-92	31	21.8	8.1	2200	31.5	16.0
1-Feb-92	29-Feb-92	29	26.0	7.0	2200	35.7	14.9
1-Mar-92	31-Mar-92	31	26.9	10.5	2200	36.5	18.4
1-Abr-92	30-Abr-92	30	25.9	11.1	2200	35.5	19.1
1-May-92	31-May-92	31	24.2	11.8	2200	33.9	19.7
1-Jun-92	30-Jun-92	30	26.8	13.0	2200	36.5	20.9
1-Jul-92	31-Jul-92	31	24.9	13.8	2200	34.6	21.7
1-Ago-92	31-Ago-92	31	24.9	13.8	2200	34.6	21.7
1-Sep-92	30-Sep-92	30	24.4	12.2	2200	34.1	20.1
1-Oct-92	31-Oct-92	31	23.2	10.7	2200	32.9	18.6
1-Nov-92	30-Nov-92	30	28.3	10.8	2200	38.0	18.7
1-Dic-92	31-Dic-92	31	22.9	7.8	2200	32.6	15.7

Tabla 18. Temperatura máxima y mínima de diseño en la ZMVM durante el año de 1992.

Primera Fecha	Última Fecha	Numero de Dias	Percentil 90% Tmáx (°C)	Percentil 10% Tmáx6hmin (°C)	Altitud ZMVM (m)	Tmáx diseño (°C)	Tmáx6hmin diseño (°C)
1-Ene-91	31-Ene-91	31	21.7	7.3	2200	31.4	15.2
1-Feb-91	28-Feb-91	28	25.4	8.6	2200	35.1	16.6
1-Mar-91	31-Mar-91	31	29.9	10.5	2200	39.6	18.4
1-Abr-91	30-Abr-91	30	29.4	11.8	2200	39.1	19.7
1-May-91	31-May-91	31	29.6	12.1	2200	39.3	20.1
1-Jun-91	30-Jun-91	30	27.3	13.8	2200	37.0	21.7
1-Jul-91	31-Jul-91	31	22.5	12.9	2200	32.2	20.8
1-Ago-91	31-Ago-91	31	24.1	12.5	2200	33.8	20.4
1-Sep-91	30-Sep-91	30	23.7	11.5	2200	33.4	19.4
1-Oct-91	31-Oct-91	31	22.9	10.1	2200	32.5	18.0
1-Nov-91	30-Nov-91	30	22.9	7.7	2200	32.5	15.6
1-Dic-91	31-Dic-91	31	21.6	8.0	2200	31.3	15.9

Tabla 19. Temperatura máxima y mínima de diseño en la ZMVM durante el año de 1991.

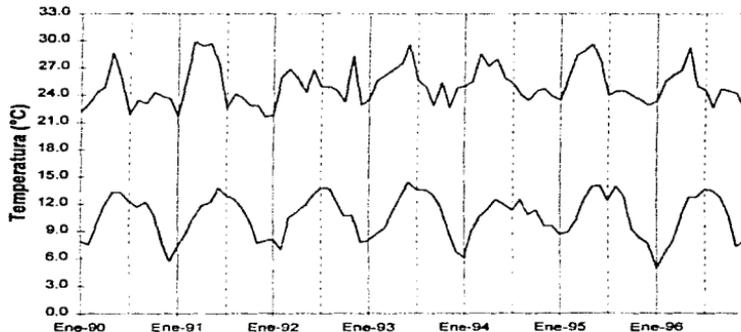
Primera Fecha	Ultima Fecha	Numero de Días	Percentil 90% Tmáx (°C)	Percentil 10% Tmáx6hmin (°C)	Altitud ZMVM (m)	Tmáx diseño (°C)	Tmáx6hmin diseño (°C)
1-Ene-90	31-Ene-90	31	22.2	7.9	2200	31.9	15.8
1-Feb-90	28-Feb-90	28	23.1	7.6	2200	32.8	15.5
1-Mar-90	31-Mar-90	31	24.2	9.6	2200	33.9	17.6
1-Abr-90	30-Abr-90	30	24.8	11.7	2200	34.5	19.6
1-May-90	31-May-90	31	28.7	13.3	2200	38.3	21.2
1-Jun-90	30-Jun-90	30	25.8	13.3	2200	35.5	21.2
1-Jul-90	31-Jul-90	31	21.8	12.3	2200	31.5	20.2
1-Ago-90	31-Ago-90	31	23.4	11.6	2200	33.1	19.5
1-Sep-90	30-Sep-90	30	23.1	12.2	2200	32.7	20.1
1-Oct-90	31-Oct-90	31	24.3	10.8	2200	34.0	18.8
1-Nov-90	30-Nov-90	30	23.8	7.8	2200	33.5	15.7
1-Dic-90	31-Dic-90	31	23.6	5.7	2200	33.3	13.6

Tabla 20. Temperatura máxima y mínima de diseño en la ZMVM durante el año de 1990.

Análisis de Resultados

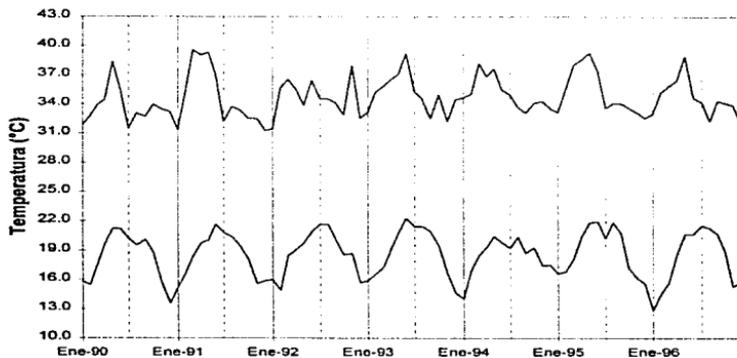
Del estudio realizado encontramos inicialmente un perfil de temperaturas mensuales en la ZMVM que se muestra en la **gráfica 2**, en la cual podemos observar los valores de $T_{m\acute{a}x}$ y $T_{m\acute{a}x6hm\acute{i}n}$ que significan, la primera una temperatura máxima que representa el percentil 90% de los días del mes y la segunda un percentil 10% de un grupo de seis horas continuas con la menor temperatura durante cada mes.

Podemos notar que los picos de la temperatura máxima se encuentran en el segundo trimestre del año, durante los meses de abril, mayo y junio; ocurriendo generalmente durante el mes de mayo los máximos en los siete años.



Gráfica 2. Perfil de temperaturas, percentil 90% de $T_{m\acute{a}x}$ y 10% de $T_{m\acute{a}x6hm\acute{i}n}$ en la ZMVM, de Enero de 1990 a Diciembre de 1996.

Encontramos también que los grupos de seis horas de menor temperatura se registran durante los meses de diciembre y enero regularmente; donde también se encuentran los intervalos de temperatura más amplios entre las temperaturas mínimas y las máximas, mientras que durante los meses de junio y julio se presentan las menores variaciones entre la temperatura máxima y mínima.



Gráfica 3. Temperaturas máxima y mínima de diseño en la ZMVM de acuerdo con las normas ASTM D-439-89 y D-4814-95a, de Enero de 1990 a Diciembre de 1996

Con la información de las **Tablas 14 a la 20**, se traza el dibujo de la **gráfica 3**, donde se muestran las temperaturas máxima y mínima de diseño para la ZMVM en los años 1990 a 1996, donde se puede observar que las temperaturas de diseño se encuentra acotadas en el intervalo cerrado de 10 a 43 °C el cual corresponde a una clasificación de **volatilidad tipo B**, de acuerdo con las normas **ASTM D-439-89** y de una volatilidad **B-2** en conformidad con la norma **D-4814-95a (Tabla 11)**.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

CAPÍTULO 4

CARACTERÍSTICAS
ACTUALES DE
VOLATILIDAD DE LA
GASOLINA MAGNA PARA
EL VALLE DE MÉXICO

Capítulo 4 Características actuales de volatilidad de la gasolina Magna para el Valle de México.

De acuerdo con la clasificación de volatilidad aplicable en la ZMVM y en conformidad con los parámetros de la American Society for Testing and Materials durante todo el año, la norma ASTM D-439-89 y D-4814-88a advierte los requerimientos descritos en la **tabla 21**, mientras que los que establece la norma ASTM-D-4814-95a, vigente actualmente se muestran en la **tabla 22**. Puede observarse que ambas especificaciones son coincidentes.

Requerimiento	Valor
Tipo de Volatilidad	B
Temperatura 10% Destilado (%Vol.)	máx 65 °C
Temperatura 50% Destilado (%Vol.)	mín 77 °C máx 118 °C
Temperatura 90% Destilado (%Vol.)	máx 190 °C
Temperatura Final Ebullición	máx 225 °C
Residuo máx Destilación	2%
Presión de vapor de REID (PVR)	máx 10 psi
Temperatura de Prueba	56 °C
Relación (V/L)	máx 20

Tabla 21. Características de una gasolinas de volatilidad tipo B de acuerdo con las normas ASTM D-439-89 y D-4814-88a.

Requerimiento	Valor
Tipo de Volatilidad	B-2
Temperatura 10% Destilado (%Vol.)	máx 65 °C
Temperatura 50% Destilado (%Vol.)	mín 77 °C máx 118 °C
Temperatura 90% Destilado (%Vol.)	máx 190 °C
Temperatura Final Ebullición	máx 225 °C
Residuo máx Destilación	2%
Presión de vapor de REID (PVR)	máx 10 psi
Temperatura de Prueba	56 °C
Relación (V/L)	máx 20

Tabla 22. Características de una gasolinas de volatilidad tipo B-2 de acuerdo con la norma ASTM-D-4814-95.

Ahora también es posible aplicar el criterio de EPA a la ZMVM para disminuir la volatilidad de la gasolina debido a que se presentan problemas importantes de contaminación atmosférica y además se encuentra que en ningún mes del año la temperatura mínima del percentil 10% de la máxima de las seis horas más frías es menor a 4°C (*gráfica 3*) y por tanto es posible para los meses de mayo, junio, julio, agosto y los primeros quince días de *septiembre* modificar las características de la gasolina para pasar de un tipo B-2 a un tipo A-2, donde las características de volatilidad son las siguientes :

Requerimiento	Valor
Tipo de Volatilidad	A-2
Temperatura 10% Destilado (%Vol.)	máx 70 °C
Temperatura 50% Destilado (%Vol.)	min 77 °C
	máx 121 °C
Temperatura 90% Destilado (%Vol.)	máx 190 °C
Temperatura Final Ebullición	máx 225 °C
Residuo máx Destilación	2%
Temperatura de Prueba	56 °C
Relación (V/L)	máx 20
Presión de vapor de REID (PVR)	máx 9 psi

Tabla 23. Características de una gasolinas de volatilidad tipo A-2 de acuerdo con la norma ASTM-D-4814-95a.

Actualmente la gasolina *Magna* que se expende en la ZMVM cumple con las características de volatilidad que se listan en la *tabla 24*.

De las especificaciones en las *tablas 21, 22 y 24* se observa que los valores acotados para la curva de destilación de la gasolina son iguales en las tres normas; la diferencia entre estas radica en que la *presión de vapor de Reid* (PVR) máxima que se exige en la ZMVM (7.8 psi) resulta ser menor a la que especifican las normas ASTM (10 psi) y también el que en la *NOM-086-ECOL-1994* no se considera importante especificar la relación *Vapor/Líquido* que debe satisfacer la gasolina en la ZMVM para evitar el sello

de vapor; sin embargo la norma considera este requerimiento para la gasolina que se expende en la zona fronteriza del país.

Requerimiento	Valor
MAGNA SIN - zonas metropolitanas	
Temperatura 10% Destilado (%Vol.)	máx 65 °C
Temperatura 50% Destilado (%Vol.)	min 77 °C
	máx 118 °C
Temperatura 90% Destilado (%Vol.)	máx 190 °C
Temperatura Final Ebullición	máx 221 °C
Residuo máx Destilación	2%
Presión de vapor de REID (PVR)	máx 7.8 psi
	min 6.5 psi

Tabla 24. Características de la gasolina Magna en la ZMVM de acuerdo con la norma NOM-086-ECOL-1994 y el acuerdo INE-PEMEX de octubre de 1996.

Al comparar las *tablas 23 y 24* se observa que la diferencia entre éstas radica en que : la temperatura máxima del 10 y 50 % de destilado es de 70 y 118 °C en lugar de 65 y 121 °C respectivamente, la temperatura final de ebullición es de 221 °C en lugar de 225 °C y la PVR máxima es de 9 psi a diferencias de 7.8 psi en la ZMVM.

Requerimiento	Valor
Tipo de Volatilidad	AA-2
Temperatura 10% Destilado (%Vol.)	máx 70 °C
Temperatura 50% Destilado (%Vol.)	min 77 °C
	máx 121 °C
Temperatura 90% Destilado (%Vol.)	máx 190 °C
Temperatura Final Ebullición	máx 225 °C
Residuo máx Destilación	2%
Temperatura de Prueba	56 °C
Relación (V/L)	máx 20
Presión de vapor de REID (PVR)	máx 7.8 psi

Tabla 25. Características de una gasolinas de volatilidad tipo AA-2 de acuerdo con la norma ASTM-D-4814-95a.

Al revisar los valor de los parámetros de volatilidad indicados en la *NOM-086-ECOL* vigente en la *ZMVM (tabla 24)* y compararlos con los de las normas americanas observamos que las éstas corresponden a las de una gasolina tipo **AA (tabla 25)**, con la excepción del valor máximo de la temperatura del 10 y 50 % de destilado (T_{10} y T_{50}) y la final de ebullición, las cuales presentan en la norma mexicana un valor de 65, 118 y 221 °C en lugar de 70, 121 y 225 °C como se indica para una gasolina tipo **AA**. Pero bajo la base de que la norma americana exige una gasolina que puede ser menos volátil. La gasolina *Magna* satisface los requerimientos para ser del tipo **AA-2**, como especifica el método *ASTM* con base a las modificaciones de la *EPA*, ya que aunque en México no se regule la temperatura del sello de vapor aparentemente la gasolina *Magna* ha satisfecho esta restricción durante el año de 1996 y la primera mitad de 1997*.

* Véase el siguiente título : Características de la gasolina *Magna* para el Valle de México.

Características de la gasolina Magna en 1996

La gasolina Magna que produce *Petróleos Mexicanos* (PEMEX) y que se expende en la zona metropolitana del Valle de México (ZMVM) debe de cumplir con las especificaciones de la Norma Oficial Mexicana NOM-086-ECOL-1994, dónde se enumeran, entre otros más, los parámetros de volatilidad que debe satisfacer una gasolina.

Agradecemos a PEMEX el haber proporcionado extensa información sobre el análisis realizados en el centro de distribución de la gasolina Magna durante los meses de enero a diciembre de 1996; dicha información corresponde a 530 muestras de los lotes de gasolina terminada. Se efectuó un análisis estadístico de la información proporcionada obteniéndose los resultados que exhiben en la **tabla 26** :

	PVR (psi)	Temperatura Inicial Ebullición (°C)	Temperatura 10% Destilado (°C)	Temperatura 50% Destilado (°C)	Temperatura 90% Destilado (°C)	Temperatura Final de Ebullición (°C)
Promedio	7.74	36.74	54.22	96.98	168.98	213.25
Error típico	0.0207	0.1042	0.1425	0.2519	0.2115	0.2079
Mediana	7.8	36.0	54.0	98.0	169.0	214.0
Moda	7.8	36.0	52.0	98.0	170.0	210.0
Desviación estándar	0.4764	2.3979	3.2797	5.7996	4.8697	4.7871
σ / X	6.1550 %	6.5266 %	6.0488 %	5.9802 %	2.8818 %	2.2448 %
Varianza de la muestra	0.23	5.75	10.76	33.63	23.71	22.92
Curtozia	-0.0280	-0.3291	0.7435	-0.1331	0.0916	-0.6231
Coefficiente de asimetría	-0.3735	0.3714	0.7045	-0.2101	0.0403	-0.3558
Intervalo	3.0	14.0	22.0	39.0	32.0	21.0
Mínimo	6.0	30.0	45.0	78.0	152.0	200.0
Máximo	9.0	44.0	67.0	117.0	184.0	221.0
Nivel de confianza 95%	0.0406	0.2046	0.2799	0.4949	0.4155	0.4085

Tabla 26. Resumen de la información del análisis de 530 muestras de gasolina Magna, realizado por PEMEX en los centros de distribución durante los meses de enero a diciembre de 1996.

La información que se consigna en la **tabla 26** se puede comparar con los parámetros de volatilidad establecidos en la *NOM-086* y en el acuerdo *INE-PEMEX (tabla 24)* y verificar que la gasolina Magna durante el año de 1996 cumplió con las especificaciones vigentes. Al analizar la información se puede observar que únicamente un lote excedió la norma de *presión de vapor Reid (PVR)* al exhibir un valor de 9 psi.

Es necesario hacer notar que a partir del día primero de octubre de 1996 se modificó el valor del límite superior de la *PVR* al pasar de 8.5 psi a 7.8 psi como resultado de un acuerdo bilateral entre el *Instituto Nacional de Ecología (INE)* y *PEMEX*; esta modificación se hace evidente en la **gráfica 4**.

	PVR (psi) (enero - septiembre)	PVR (psi) (octubre - diciembre)
Promedio	7.84	7.5
Error típico	0.0260	0.0215
Mediana	8	7.5
Moda	8	7.8
Desviación estándar	0.5061	0.2658
σ / X	6.4553 %	3.5440 %
Varianza de la muestra	0.26	0.07
Curtosis	0.3507	-0.2180
Coefficiente de asimetría	-0.7959	-0.6044
Intervalo	3	1
Mínimo	6	6.8
Máximo	9	7.8
# Muestras	377	153
Nivel de confianza 95%	0.0512	0.0424

Tabla 27. Resumen de la PVR de 530 muestras de gasolina Magna analizadas por PEMEX en los centros de distribución, durante el periodo de enero a diciembre de 1996.

Dicha modificación al parámetro de la PVR trae como consecuencia el tener que realizar un análisis estadístico para dos periodos, el primero cuando el valor máximo permitido de PVR era de 8.5 psi y el segundo cuando pasó a ser de 7.8 psi; en la **tabla 27** se pueden observar los resultados obtenidos.

Al examinar la información para los dos periodos y tomando como base los parámetros establecidos en cada periodo se puede concluir que la gasolina Magna mostró valores satisfactorios de PVR durante 1996 ya que cumplieron, en su momento, con la *NOM-086* y con el acuerdo *INE-PEMEX*.

Un parámetro importante para especificar la volatilidad de una gasolina es, también, la temperatura a la cual la relación *Vapor/Líquido* (V/L) es de veinte a uno ($\frac{20}{1}$), debido a la importancia que tiene evitar el *sello de vapor*, el cual consiste en un exceso de vapor que impide que la gasolina sea bombeada del tanque del combustible a la cámara de combustión.

La información referente este a parámetro puede derivarse de una correlación lineal que contienen las normas *ASTM D-439* y *D-4814*, para lo cual se utiliza la temperatura a la cual destila un porcentaje determinado y aplicando la siguiente ecuación :

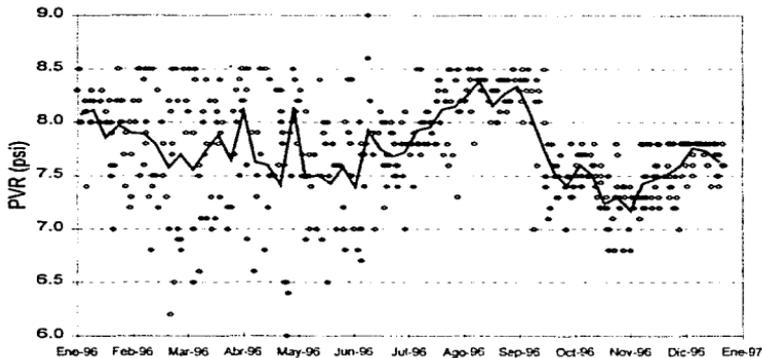
$$T_{V/L=20} = 52.47 - 0.33 \cdot PVR + 0.20 \cdot T_{10} + 0.17 \cdot T_{30} \quad (14)$$

Donde :

- $T_{V/L=20}$ – Temperatura a la cual la relación V/L es de 20/1, según el procedimiento de la norma *ASTM-D-2533-90* en grados Celsius (°C).
- T_{10} – Temperatura a la que destila el 10% de la gasolina siguiendo el procedimiento de la norma *ASTM-D-86*, en grados Celsius (°C).

T_{50} – Temperatura a la que destila el 50% de la gasolina siguiendo el procedimiento de la norma ASTM-D-86, en grados Celsius (°C).

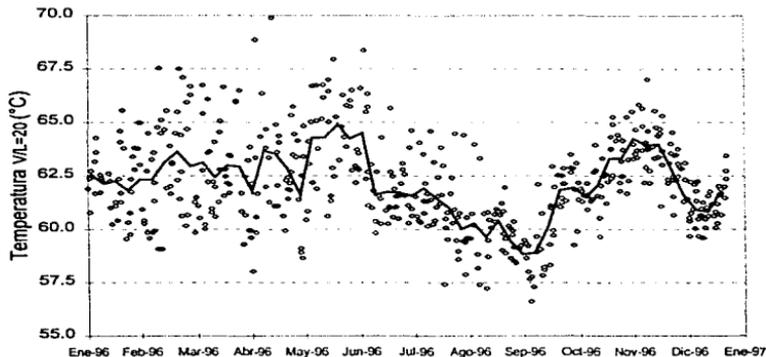
PVR – Presión de vapor de Reid, siguiendo el método ASTM-D-323, en libras por pulgada cuadrada (psi).



Gráfica 4. Variación de la presión de vapor Reid (PVR) de la gasolina Magna durante el año de 1996.

Al trazar la gráfica de la temperatura a la cual la relación V/L es igual a veinte, obtenida al utilizar la ecuación anterior, durante el año de 1996 (*gráfica 5*) nos permite observar el comportamiento en la volatilidad de la gasolina Magna durante el periodo; así como la temperatura máxima a la cual puede, generalmente, encontrarse el tanque de combustible del vehículo antes de presentar problemas en el sistema de alimentación de combustible, debido a la formación del sello de vapor; en la gráfica observamos que en septiembre de 1996 se encuentran los valores de temperatura más

bajos, y en mayo y junio los valores promedio mas altos, lo cual resulta adecuado debido a la temperatura ambiente presente en la ZMVM durante estos meses del año.



Gráfica 5. Variación de la *Temperatura de sello de vapor* de la gasolina Magna durante el año de 1996 según la correlación de las normas ASTM D-439 y D-4814.

En la **tabla 28** se consigna un análisis estadístico de los valores de la temperatura de sello de vapor, encontrándose que el intervalo de valores es cercano al 20% del valor promedio. Es necesario hacer notar que no existe para la ZMVM norma alguna que exija algún valor límite para éste parámetro.

El analizar el comportamiento de las curvas de destilación de la gasolina Magna resulta de gran interés. Para llevarlo a cabo se puede hacer uso del *Índice de*

manejabilidad' (IM) el cual toma como base algunas de las temperaturas de la curva de destilación de una gasolina como se observa en la ecuación (15).

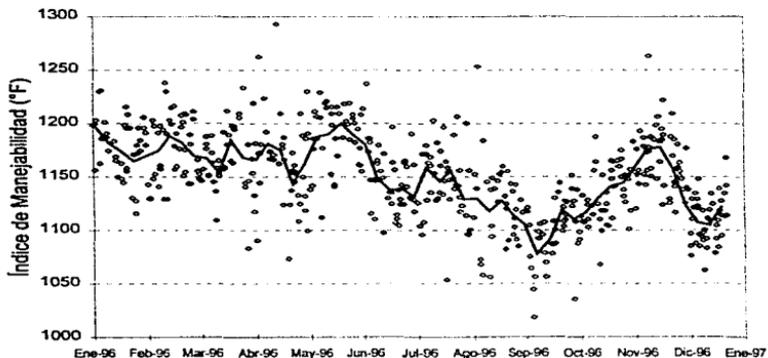
	Indice de Manejabilidad (°F)	Temperatura de sello de vapor (°C)
Media	1150.28	62.18
Error típico	1.7464	0.0922
Mediana	1151.15	62.09
Moda	1148	60.93
Desviación estándar	40.2067	2.1245
σ / X	3.4953%	3.4163%
Varianza de la muestra	1616.5819	4.5137
Curtois	0.0229	0.1246
Coficiente de asimetría	-0.0343	0.3517
Intervalo	274.5	13.27
Mínimo	1018.4	56.61
Máximo	1292.9	69.88
Nivel de confianza(95.0%)	3.4308	0.1812

Tabla 28. Resultados del análisis estadístico al índice de manejabilidad y la temperatura de sello de vapor de la gasolina Magna durante 1996.

Al observar los datos de la **tabla 28**, resultado del análisis estadístico del *IM* de la gasolina Magna durante 1996, se encuentra que el valor promedio es de 1150 °F el cual es adecuado para tener una buena manejabilidad en los vehículos que la utilizan; sin embargo encontramos que la banda de variación del *IM* es de aproximadamente 275 °F, con valores máximos de 1290 °F lo cual indica que durante el año la manejabilidad de los vehículos se vio afectada en algunas ocasiones.

⁷ Véase el Capítulo 4, Volatilidad e índice de manejabilidad de una gasolina.

Al examinar la *gráfica 6*, donde se dibuja el comportamiento del IM durante el año de 1996; se observa que los valores máximos se encuentran durante los meses de enero, febrero, noviembre y mayo lo cual resulta en detrimento de la manejabilidad de los vehículos a causa de las bajas temperaturas que se presentan durante los tres primeros meses, mientras que en el mes de mayo al exceder de 1,200 °F el IM resulta en el incremento en la emisión de hidrocarburos por el escape del vehículo; encontramos también valores situados entre 1050 y 1150 °F durante los meses de agosto, septiembre, octubre y diciembre lo cual es adecuado para tener una buena manejabilidad y principalmente facilitar el encendido del motor. Debe enfatizarse que el IM no ha sido aún normado en México.



Gráfica 6. Variación del índice de manejabilidad de la gasolina Magna durante el año de 1996 según la ecuación propuesta por la SAE :

$$IM = 1.5 T_{10} + 3 T_{50} + T_{90}$$

Características de la gasolina Magna en el primer semestre de 1997

Siguiendo el mismo procedimiento que en el punto anterior se analizaron las características de la gasolina Magna durante el primer semestre de 1997, realizando un estudio estadístico con la información proporcionada por PEMEX del análisis efectuado a 320 muestras de gasolina en su centro de distribución para la ZMVM.

La valiosa información, que agradecemos a PEMEX por proporcionarla, que utilizamos consistió en los valores de PVR, TIE, TFE, T_{10} , T_{50} y T_{90} a partir de los cuales se calculó la temperatura de sello de vapor (temperatura a la cual la relación V/L es igual a veinte) y el IM utilizando las ecuaciones (14) y (15).

Los resultados de dicho estudio sobre el comportamiento de la PVR, la temperatura de sello de vapor y el IM en el primer semestre de 1997 son aquellos que se muestran en las **tablas 29 y 30** y en las **gráficas 7, 8 y 9**.

De la información contenida en la **tabla 29** se puede inferir que durante el primer semestre de 1997 las especificaciones de la gasolina Magna cumplieron con las especificaciones de la NOM-086 en lo referente a los valores de T_{50} , T_{90} y TFE, mientras que en lo referente a la T_{10} ésta presentó un valor promedio aceptable y únicamente se excedió del valor límite en una ocasión, en tanto que la PVR durante los primeros seis meses del año se encontró en promedio acotada por los límites de la norma, empero aparecen en los análisis cuatro valores mayores a 7.8 psi.

Volatilidad de la gasolina en el Valle de México

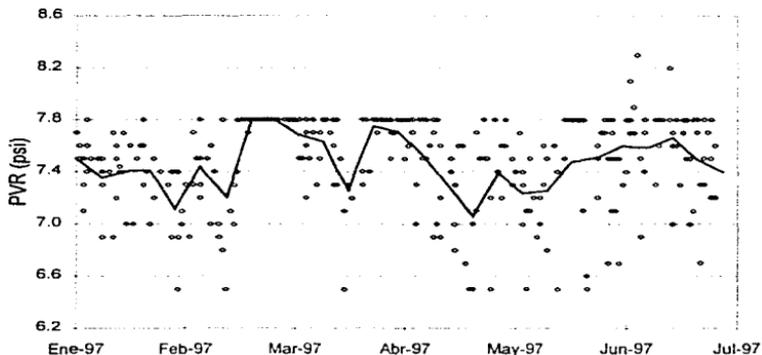
	PVR (psi)	Temperatura Inicial Ebullición (°C)	Temperatura 10% Destilado (°C)	Temperatura 50% Destilado (°C)	Temperatura 90% Destilado (°C)	Temperatura Final de Ebullición (°C)
Promedio	7.48	38.08	55.33	95.34	167.53	212.52
Error típico	0.0199	0.1255	0.1782	0.2160	0.2452	0.2665
Mediana	7.5	38.0	55.0	96.0	167.0	213.0
Moda	7.8	36.0	55.0	98.0	168.0	210.0
Desviación estándar	0.3567	2.2457	3.1880	3.8644	4.3857	4.7673
σ / X	4.7699%	5.8966%	5.7624%	4.0533%	2.6178%	2.2432%
Varianza de la muestra	0.13	5.04	10.16	14.93	19.23	22.73
Curtoisía	0.5173	-0.4810	0.2848	0.9569	0.7076	-0.8720
Coficiente de asimetría	-1.0004	0.0729	0.4373	-0.3930	0.6571	-0.0797
Intervalo	1.8	12.0	20.0	25.0	27.0	19.0
Mínimo	6.5	33.0	47.0	81.0	158.0	202.0
Máximo	8.3	45.0	67.0	106.0	185.0	221.0
Nivel de confianza 95%	0.0392	0.2470	0.3506	0.4250	0.4823	0.5243

Tabla 29. Resumen de la información del análisis de 320 muestras de gasolina Magna, realizado por PEMEX en los centros de distribución durante los meses de enero a junio de 1997.

En la siguiente tabla (tabla 30) se condensa el análisis estadístico del índice de manejabilidad, calculada según la ecuación de la SAE, durante el primer semestre de 1997; se observa que el valor promedio es adecuado, ya que se encuentra en un punto medio entre los límites recomendados de 1,050 a 1,200 °F para la gasolina y aunque se presentaron lotes con valores fuera de este intervalo, especialmente por encima del límite, estos no representan más del 5% del total lo cual significa un mejor comportamiento al del año de 1996.

	Índice de Manejabilidad (°F)	Temperatura de sello de vapor (°C)
Promedio	1141.77	62.73
Error típico	1.5763	0.0851
Mediana	1142.6	62.6
Moda	1134.5	62.4
Desviación estándar	28.1969	1.5225
σ / X	2.4696%	2.4270%
Varianza de la muestra	795.06	2.32
Curtosis	0.5978	0.5722
Coefficiente de asimetría	-0.1904	0.2505
Intervalo	188.1	9.8
Mínimo	1033.7	58.3
Máximo	1221.8	68.1
Nivel de confianza 95%	3.1012	0.1674

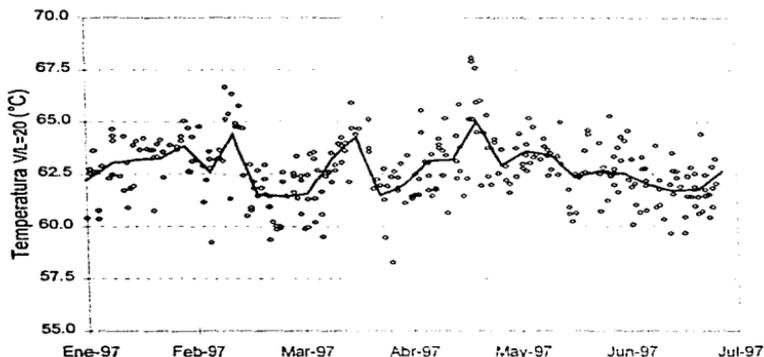
Tabla 30. Resultados del análisis estadístico al índice de manejabilidad y la temperatura de sello de vapor de la gasolina Magna durante el primer semestre de 1997.



Gráfica 7. Variación de la presión de vapor Reid (PVR) de la gasolina Magna durante el primer semestre de 1997.

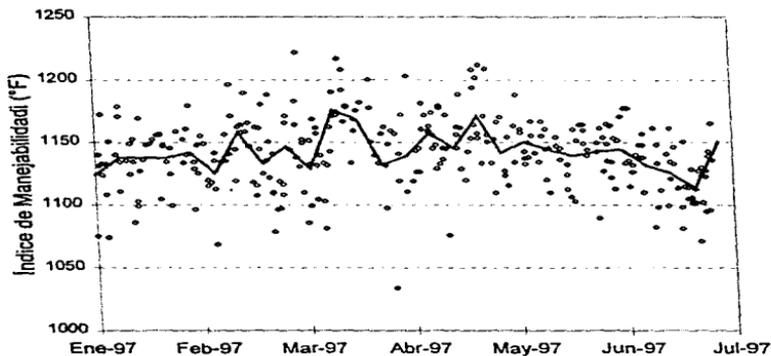
La **gráfica 7** muestra que la variación en la PVR durante el primer semestre de 1997 no tiene marcadas modificaciones en sus valores y tendencia, agrupándose la mayoría de los puntos en el intervalo comprendido entre 7.0 y 7.8 psi, lo cual es aceptable en conformidad con la NOM-086 y el acuerdo INE - PEMEX.

Al observar el comportamiento de los valores de la temperatura de sello de vapor que se muestran en la **gráfica 8**, durante el periodo de enero a junio de 1997 se infiere que los valores oscilaron alrededor del valor de 62.6 (valor promedio) sin tener modificaciones mayores a ± 2.5 °C en la mayoría de los lotes de gasolina, lo cual indica una calidad muy semejante de la gasolina y un valor aceptable para una gasolina con sello de vapor (2) según la norma ASTM que indica a una temperatura de 56 °C como valor mínimo.



Gráfica 8. Variación de la Temperatura de sello de vapor de la gasolina Magna durante el primer semestre de 1997 según la correlación de la norma ASTM D-439 y D-4814.

En el aspecto del *índice de manejabilidad* de la gasolina Magna se observa, en la **gráfica 9**, que su comportamiento durante los primeros seis meses del año de 1997 es mejor al presentado en los dos semestres anteriores, es decir durante todo el año de 1996, ya que solamente 15 lotes de 320 rebasaron el valor máximo recomendado de 1,200 °F y los demás ostentaron valores situados alrededor de 1,040 °F; es decir se observa un mejor comportamiento que el verificado en los lotes producidos en 1996 (**gráfica 6**) y especialmente si se comparan con los obtenidos durante el primer semestre de dicho año.



Gráfica 9. Variación del índice de manejabilidad de la gasolina Magna durante el primer semestre de 1997 según la ecuación propuesta por la SAE : $IM = 1.5 T_{10} + 3 T_{50} + T_{90}$.

CAPÍTULO 5

COMPOSICIÓN DE LA GASOLINA MAGNA PARA EL VALLE DE MÉXICO

Capítulo 5 Composición de la gasolina Magna para el Valle de México

El estudio del equilibrio líquido - vapor de la gasolina Magna se realizó a partir de la información proporcionada por el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) del análisis de una muestra de gasolina procesada en la "Gerencia de laboratorio central - División de estructuras químicas - Laboratorio de cromatografía" utilizando el método IMP-QA-305 el 22 de octubre de 1996.

En dicho estudio se lista la información del porcentaje en peso y volumen de 180 productos, de los cuales 142 eran especies químicas identificadas estructuralmente, 34 eran especies de las cuales se conocía su peso molecular y 2 eran no identificables. Con la información se realizó la simulación por computadora del equilibrio físico de la mezcla en el *Simulador de procesos Aspen Plus*, pudiendo utilizar 140 especies para dicho estudio, ya que por las características de la información no fue posible incluirlas a todas.

Debido a que no se contaba con la información de la PVR o la curva de destilación de la muestra de gasolina Magna, se utilizó el simulador *Aspen Plus* calculándose un valor de PVR de 0.49 atm (7.26 psi) y de T_{10} , T_{50} y T_{90} de 56.21, 100.19 y 157.09 °C respectivamente, pareciendo estos resultados congruentes si se comparan con los valores promedio de la gasolina Magna durante 1996 (**tabla 26 y 27**), como se observa en la **tabla 31** lo cual nos da la confianza de utilizar la información para simular el equilibrio entre la gasolina líquida y su vapor.

Parámetro de volatilidad	Aspen Plus	Promedio 1996
PVR	7.27 psi	7.5 psi
TIE	37.49 °C	36.74 °C
T10	56.21 °C	54.22 °C
T50	100.19 °C	96.98 °C
T90	157.09 °C	168.98 °C
TFE	188.37 °C	213.25 °C

Tabla 31. Comparación entre el valor de algunos parámetros de volatilidad calculados en el simulador *Aspen Plus* con el valor promedio de la gasolina *Magna* durante 1996.

El valor de índice de manejabilidad de esta gasolina es de 1,151.5 °F y su temperatura de sello de vapor es de 78.3 °C los cuales son valores adecuados para una gasolina, por lo cual podemos decir que estamos utilizando los datos de una gasolina adecuada para el correcto funcionamiento de un motor de combustión interna.

El equilibrio líquido - vapor se calculó en las condiciones a las que se mide la PVR, es decir 100 °F y en nuestro caso una presión parcial de la gasolina de 0.49 atm (7.27 psi). Los compuestos químicos presentes se clasificaron en aromáticos, saturados, olefinas y oxigenados, siendo el resultado de la simulación los datos de la **tabla 32** que se muestra a continuación :

Tipo	Total	Líquido	Vapor	Total	Líquido	Vapor
		mol			masa	
Aromático	26.70%	27.05%	2.45%	30.59%	30.90%	3.01%
Olefina	8.51%	8.44%	13.54%	7.20%	7.15%	12.19%
Saturado	54.78%	54.53%	73.09%	52.95%	52.74%	71.92%
Oxigenado	9.99%	9.98%	10.91%	9.25%	9.21%	12.87%
SUMA	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tabla 32. Concentración de los grupos químicos presentes en el vapor y el líquido de la gasolina *Magna* a la condiciones de la PVR.

Volatilidad de la gasolina en el Valle de México

De esta información se observa que los compuestos que menos aportación tienen a la composición del vapor son los aromáticos ya que representan el 30.6% del líquido y solo constituyen el 3% en el vapor; los compuestos oxigenados (MTBE y TAME) tienen una contribución en el líquido del 9.25% y en el vapor del 12.87%. Los hidrocarburos saturados constituyen el 52.95% del líquido y el 71.92% del vapor, mientras tanto las olefinas, que constituyen el 7.2% de la masa líquida, en el vapor son el 12.19%.

NOMBRE	K	Tipo	PM	Global	Líquido	Vapor
PROPANE	22.87	saturado	44	0.01%	0.01%	0.24%
ISOBUTANE	9.46	saturado	58	0.17%	0.15%	1.84%
ISOBUTYLENE	8.12	olefina	56	0.14%	0.13%	1.30%
N-BUTANE	6.73	saturado	58	1.08%	1.00%	8.62%
TRANS-2-BUTENE	6.40	olefina	56	0.17%	0.16%	1.29%
CIS-2-BUTENE	5.89	olefina	56	0.17%	0.16%	1.20%
2,2-DIMETHYL-PROPANE	5.17	saturado	72	0.02%	0.02%	0.13%
3-METHYL-1-BUTENE	3.53	olefina	70	0.06%	0.06%	0.28%
2-METHYL-BUTANE	2.95	saturado	72	7.58%	7.36%	27.78%
1-PENTENE	2.58	olefina	70	0.23%	0.23%	0.75%
2-METHYL-1-BUTENE	2.52	olefina	70	0.25%	0.25%	0.80%
N-PENTANE	2.25	saturado	72	4.52%	4.43%	12.77%
TRANS-2-PENTENE	2.07	olefina	70	0.56%	0.55%	1.47%
CIS-2-PENTENE	2.04	olefina	70	0.29%	0.28%	0.74%
2-METHYL-2-BUTENE	1.94	olefina	70	0.57%	0.56%	1.40%
1-TRANS-3-PENTADIENE	1.91	olefina	68	0.02%	0.02%	0.05%
CIS-1,3-PENTADIENE	1.74	olefina	68	0.04%	0.04%	0.09%
CYCLOPENTENE	1.72	olefina	68	0.13%	0.13%	0.28%
CYCLOPENTANE	1.43	saturado	70	0.46%	0.45%	0.83%
2,2-DIMETHYL-BUTANE	1.38	saturado	86	0.66%	0.65%	1.15%
SUMA				17.15%	16.64%	63.01%

Tabla 33. Concentración de las 20 especies químicas más volátiles presentes en la gasolina Magna y sus concentraciones en el líquido y vapor a la condiciones de la PVR.

Es importante el rubro de las olefinas debido a que estas, al ser hidrocarburos insaturados, presentan la mayor fotorreactividad en relación con los demás compuestos en el vapor y pueden constituir un foco de producción de ozono en la atmósfera.

En la **tabla 33** se pueden leer las 20 especies más volátiles presentes en la gasolina *Magna*, ordenados en base al valor de volatilidad relativa (K) de cada compuesto proporcionado por el simulador. Estos veinte compuestos que representan el 17.15% de la composición global de la gasolina son sin embargo el 16.64% del líquido y el 63% del vapor.

Destaca en la lista la presencia de 12 olefinas, esto es debido a que son compuestos de bajo peso molecular a causa de su insaturación, la cual las hace más reactivas que otros compuestos. El reducir su concentración en la gasolina podría ser una importante medida para disminuir uno de los factores productores de ozono en la ZMVM.

CAPÍTULO 6

LA GASOLINA MAGNA Y LAS ESPECIFICACIONES DE CALIFORNIA

Capítulo 6 La gasolina Magna y las especificaciones de California

En los *Estados Unidos de Norteamérica* (EUA) se ha reconocido, desde hace ya varios años, que en el estado de California se presentan los problemas más serios de deterioro en la calidad del aire; parámetros referentes al contenido de ozono (O_3), monóxido de carbono (CO), óxidos de Nitrógeno (NO_x), dióxidos de azufre (SO_2) y materia particulada son violados varias veces al año. Existe, además, preocupación por la existencia de hidrocarburos volátiles (HV) en el ambiente, tales como : *benceno, acetaldehído, formaldehído, 1,3-butadieno* así como compuestos *poliaromáticos*. Es importante señalar que todos los contaminantes antes mencionados, con excepción del ozono, se encuentran presentes en los gases de combustión emitidos por los vehículos automotores y que los HV y los NO_x son a su vez promotores de la formación de ozono a nivel del suelo.

El estado de *California* realizó un estudio en el cual encontró que los vehículos automotores producen cerca de la mitad de las emisiones totales de HV y NO_x , siendo así la principal fuente de contaminantes en la mayor parte del estado.

En 1992 el estado de *California* dió inicio a la primera etapa de la reformulación de gasolina sin plomo (RFG Fase 1), una legislación en la cual se exigió que la gasolina utilizada en el estado tuviera una *presión de vapor Reid* (PVR) máxima de 7.8 psi durante el verano - para el invierno exigía la PVR establecida por EPA y ASTM -, incluir un aditivo que evitara la formación de depósitos en los motores, incluir la adición de compuestos oxigenados durante el invierno y a su vez exigir la desaparición de la gasolina con plomo.

En 1996 entró en vigor la segunda etapa de reformulación (RFG Fase 2); en esta legislación se exige que la gasolina cumpla las especificaciones que se muestran en la **tabla 34** a continuación :

Parámetro	Limite al productor		Limite Promedio al productor		Limite Absoluto	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Presión de Vapor Reid (PVR), psi	-	7.00	No permitido		-	7.00
T ₅₀ , °C (°F)	-	98.9 (210)	-	93.3 (200)	-	104.4 (220)
T ₉₀ , °C (°F)	-	148.9 (300)	-	143.3 (290)	-	165.5 (330)
Olefinas, % vol	-	6.0	-	4.0	-	10.0
Aromáticos, % vol	-	25.0	-	22.0	-	30.0
Benceno, % vol	-	1.0	-	0.80	-	1.20
Oxígeno, % masa	-	-	-	-	-	-
En invierno	1.80	2.20	No permitido		1.80	2.70
En verano	1.80	2.20	No permitido		0.00	2.70
Azufre, ppm (peso)	-	40	-	30	-	80
Aditivo antidepositante	-	-	-	-	El necesario.	

Tabla 34. Parámetros legislados a partir de 1996 para la gasolina que se expende en el estado de California - EUA - dentro del plan : gasolina reformulada 2da etapa.

En la **tabla 34** se consignan tres tipos de especificaciones, los *límites al productor*, *promedio al productor* y *absolutos*; los dos primeros son aplicables a la industria de la refinación de gasolina, a la cual se le permite seleccionar cualquiera de los dos parámetros para especificar las propiedades de la gasolina que elaboran o incluso utilizar un tercer criterio el cual - con fundamento en pruebas de emisiones vehiculares - permite cambiar especificaciones siempre y cuando no se sobrepase el nivel de emisiones de *HV* correspondientes a una gasolina especificada y no se exceda de los límites absolutos. El límite al productor exige que la gasolina que produce una empresa deberá tener, en una o en todas las características legisladas, un valor igual o inferior al legislado, mientras el *límite promedio al productor* exige que estas características, en los lotes de gasolina producida, mantengan un promedio igual o menor al valor legislado y además que en ningún lote se exceda el *límite absoluto*.

Los límites absolutos son, a final de cuentas, los valores especificados más importantes dentro de los canales de distribución de la gasolina, ya que las especificaciones de ninguna gasolina que se expenda en California puede sobrepasar dichos límites.

En la **tabla 35** - que se muestra a continuación - se comparan los valores de las especificaciones legisladas para la gasolina de California con aquellos valores legislados para la gasolina Magna a utilizarse en la ZMVM y la información, proveniente del análisis por cromatografía y del cálculo de especificaciones en el simulador de procesos *Aspen Plus*, de una muestra de gasolina Magna, todas ellas del mes de octubre de 1996.

Parámetro	Especificaciones vigentes en California a partir de enero de 1996 (RFG 2)		Especificaciones vigentes a partir de octubre de 1996 para la gasolina Magna de la ZMVM		Especificaciones de una muestra de gasolina Magna característica en octubre de 1996
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Aspen Plus
Presión de Vapor Reid (PVR), psi	-	7.0	6.5	7.8	7.27
T50, °C	-	104.4	77	121	100.19
T90, °C	-	165.5	-	190	157.09
Olefinas, %Vol	-	10.0	-	10	6.51
Aromáticos, % Vol	-	30.0	-	25	25.16
Benceno, % Vol	-	1.2	-	1	0.85
Oxígeno, % masa	0 - 1.80	2.70	1	2	1.61

Tabla 35. Comparación de los límites legislados en octubre de 1996, en el estado de California - EUA - en la Zona Metropolitana del Valle de México - México - y de una muestra de gasolina Magna del mismo mes.

En base a la información consignada en la tabla anterior podemos manifestar que las especificaciones de la gasolina californiana son de una gasolina con volatilidad media y final mayores a la mexicana, de ahí se deduce que ésta pueda presentar un valor de *Índice de manejabilidad* (IM) menor - lo cual es adecuado - pero con una PVR inferior

a la acordada entre el INE y PEMEX lo cual permite reducir la volatilidad de la gasolina a temperatura ambiente.

En el rubro de contenido de olefinas encontramos que la gasolina mexicana al compararla con la californiana muestra una menor cantidad de este tipo de compuestos, así como también de contenido de benceno, además, se observa que en México la gasolina tiene un contenido de oxígeno - presente en forma de MTBE y TAME - inferior al legislado en California para el invierno, pero con un valor aceptable para el verano.

Lo escrito en párrafos anteriores, nos permite expresar que la gasolina que se expende en la ZMVM posee características adecuadas de volatilidad según el criterio californiano- mayores en números legislados para PVR, T_{50} y T_{90} pero en la práctica las muestras de gasolina presentan valores de temperaturas ligeramente superiores a las de California según se observa en las **tablas 26 y 29**- un contenido de olefinas y benceno dentro de las especificaciones californianas, sin embargo al observar la información surge la pregunta ¿es necesario disminuir la PVR de la gasolina en la ZMVM?, la respuesta no puede ser contundente, sin antes realizar un estudio experimental donde se investiguen las consecuencias físicas de su utilización en motores dentro del marco de un estudio costo - beneficio con consideraciones ambientales.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Capítulo 7 Conclusiones y recomendaciones

- I. La gasolina *Magna* que se distribuye en la zona metropolitana del Valle de México (ZMVM) cumple con las especificaciones de la *NOM-086-ECOL-1994* y del acuerdo *INE-PEMEX*.

- II. Se recomienda especificar el *índice de manejabilidad* (IM) con un valor máximo de 1,200°F (568.8°C). No obstante que esta propiedad no está normada se infiere - con base a la tendencia de los valores informados en 1996 y 1997 - que la gasolina *Magna* para el Valle de México satisfará este parámetro.

- III. Se recomienda especificar la temperatura mínima de sello de vapor para la gasolina en la ZMVM en un valor de 56°C, de acuerdo con el criterio *ASTM*. Es importante hacer notar que aunque este parámetro no se encuentra normado, la gasolina *Magna* para el Valle de México satisfará este parámetro, según se observa en la tendencia de los valores calculados con base a la información en 1996 y 1997.

- IV. El contenido de olefinas (C₄ y C₃) en la gasolina es del 7.5% y su contenido en el vapor es del 12.2%; en virtud de que son altamente reactivas se estima que contribuyen en una cuarta parte de la fotorreactividad de las emisiones evaporativas de la gasolina *Magna*, por lo tanto se propone incorporar en las especificaciones el contenido de olefinas (C₄ y C₃) en la gasolina para reducir las en la medida de lo posible.

V. En conformidad con la norma *ASTM* y los criterios de la *EPA* la gasolina adecuada en la *ZMVM* para el periodo comprendido entre los meses de mayo y la primera quincena de septiembre es del tipo AA-2 (*PVR* máxima de 7.8 psi, T_{10} máxima de 70°C, T_{50} mínima de 77°C y máxima de 121°C, T_{90} máxima de 190°C y *TFE* máxima de 225°C, residuo máximo de destilación del 2% y temperatura de sello de vapor mínima de 56°C) y para el resto del año tipo A-2 (*PVR* máxima de 9 psi y demás parámetros iguales a la AA-2). Actualmente la gasolina Magna para el Valle de México satisface durante todo el año las especificaciones del tipo AA-2.

Bibliografía

- (1) **American Society for Testing and Materials**, ASTM-D-2533-90, "Standard Test Method for Vapor-Liquid Ratio of Spark-Ignition Engine Fuels", Annual Book of ASTM Standards, 1991.
- (2) **American Society for Testing and Materials**, ASTM-D-323-90, "Standard Test Method for Vapor Pressure of Petroleum Products (Reid Method)", Annual Book of ASTM Standards, 1991.
- (3) **American Society for Testing and Materials**, ASTM-D-439-89, "Standard Specification for Automotive Gasoline", Annual Book of ASTM Standards, 1991.
- (4) **American Society for Testing and Materials**, ASTM-D-4814-88a, "Standard Specification for Automotive Spark Ignition Engine Fuel", Annual Book of ASTM Standards, 1991
- (5) **American Society for Testing and Materials**, ASTM-D-4814-95, "Standard Specification for Automotive Spark Ignition Engine Fuel", Annual Book of ASTM Standards, 1996
- (6) **American Society for Testing and Materials**, ASTM-D-86-90, "Standard Test Method for Distillation of Petroleum Products", Annual Book of ASTM Standards, 1991.
- (7) **Barnes, Gerald J.**; "Reformulated gasoline and fuel oxygenates versus low Reid vapor pressure gasoline", Informe Inédito, World Conference on Refining Technology and Reformulated Fuels, Marzo 18-20 de 1997, San Antonio, Texas, Estados Unidos de Norteamérica.

- (8) **Departamento del Distrito Federal; Gobierno del Estado de México; Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca; Secretaría de Salud; "Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995 - 2000"**, Idem, México, marzo de 1996.
- (9) **Environmental Protection Agency; "U.S. EPA Phase II volatility regulations"**, Federal register 56, 215, 56694, Noviembre 6 de 1991.
- (10) **Garfías y Ayala, Francisco Javier; García-Moreno C., Carlos; "Calidad de combustibles vehiculares e impacto ambiental"**, Artículo inédito, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Instituto Nacional de Ecología, Enero de 1997.
- (11) **Instituto Mexicano del Petróleo, Gerencia de laboratorio central, División de estructuras químicas, Laboratorio de cromatografía, Proyecto BBC000EIA-4010, Badillo García, Antonio; Flores, Miguel Angel; 22/X/96.**, informe inédito.
- (12) **Instituto Mexicano del Petróleo, Petróleos Mexicanos; "Caracterización de combustibles en las zonas metropolitanas de México, Monterrey y Guadalajara"**, González C., Leonel; Guzmán L. F, Francisco; Rodríguez M., Nicolas; Rosas J., José A., Ruíz S., María E.; Wilson G., Edscott., Informe inédito.
- (13) **Instituto Mexicano del Petróleo; Petróleos Mexicanos; "Zonificación de combustibles en la república Mexicana"**, informe inédito, clasificación: DOB8140.
- (14) **Nelson, W. L.; "Petroleum Refinery Engineering"**, Mc Graw Hill, Nueva York, Cuarta edición, 1964.
- (15) **Norma Oficial Mexicana, NOM-086-ECOL-1994, "Contaminación atmosférica - Especificaciones sobre protección ambiental que deben reunir los combustibles fósiles líquidos y gaseosos que se usan en fuentes fijas y móviles"**, Diario Oficial, viernes 2 de diciembre de 1994.

- (16) Owen, Keith; Coley, Trevor; Weaver, Christopher S.: "Automotive Fuels Reference Book", Society of Automotive Engineers Inc., Estados Unidos de Norteamérica, Segunda Edición, 1995.
- (17) Oxy-Fuel News, "Low-RVP may not be effective choice for Phoenix ozone control", Agosto 26 de 1996, pág. 3.
- (18) Perry, Robert H.; Green, Don W.: "Perry's Chemical Engineers' Handbook", McGraw Hill Book Company, Singapore, Sexta edición, 1984.
- (19) Petróleos Mexicanos, "Memoria de labores 1986", Marzo de 1987, México.
- (20) Petróleos Mexicanos, "Memoria de labores 1996", Marzo de 1997, México.

APÉNDICE

Apéndice

Preparación de reactivos especiales :

Mezcla crómica :

Para su preparación se requieren los siguientes reactivos en la cantidad indicada o en la misma proporción :

Substancia	Cantidad
Dicromato de sodio ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)	200 g
Agua	100 ml
Acido sulfúrico (H_2SO_4)	1,500 ml

Procedimiento :

Se disuelve el dicromato de sodio en agua y después se añade el ácido sulfúrico lentamente manteniendo una agitación continua.

Bibliografía :

"The pharmacopeia of the United States of America", decimosegunda revision, Mack Printing Company, Easton PA., noviembre 1, 1942, pp 566.

Información de la composición una muestra de gasolina Magna típica para el Valle de México

En las siguientes páginas se muestra una lista que contiene la información alimentada al simulador de procesos *Aspen Plus* para calcular las características fisicoquímicas de la gasolina Magna, a partir del análisis cromatográfico realizado por el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) a una muestra típica de gasolina Magna para la Zona Metropolitana del Valle de México.

Nombre de los compuestos químicos	Fracción Peso	Fracción Mol
PROPANE	0.01%	0.023%
ISOBUTANE	0.17%	0.280%
ISOBUTYLENE	0.14%	0.236%
N-BUTANE	1.08%	1.787%
TRANS-2-BUTENE	0.17%	0.290%
CIS-2-BUTENE	0.17%	0.290%
2,2-DIMETHYL-PROPANE	0.02%	0.028%
3-METHYL-1-BUTENE	0.06%	0.087%
2-METHYL-BUTANE	7.58%	10.077%
1-PENTENE	0.23%	0.319%
2-METHYL-1-BUTENE	0.25%	0.348%
N-PENTANE	4.52%	6.012%
TRANS-2-PENTENE	0.56%	0.770%
CIS-2-PENTENE	0.29%	0.392%
2-METHYL-2-BUTENE	0.57%	0.784%
1-TRANS-3-PENTADIENE	0.02%	0.030%
CIS-1,3-PENTADIENE	0.04%	0.060%
CYCLOPENTENE	0.13%	0.179%
CYCLOPENTANE	0.46%	0.624%
2,2-DIMETHYL-BUTANE	0.66%	0.733%
METHYL-TERT-BUTYL-ETHER	8.79%	9.553%
2,3-DIMETHYL-BUTANE	1.15%	1.276%
2-METHYL-PENTANE	3.78%	4.207%
3-METHYL-PENTANE	2.30%	2.564%
CIS-2-HEXENE	1.98%	2.250%
N-HEXANE	2.64%	2.942%
METHYLCYCLOPENTANE	1.15%	1.307%

Volatilidad de la gasolina en el Valle de México

Nombre de los compuestos químicos	Fracción Peso	Fracción Mol
TERT-BUTYL-ETHYL-ETHER	0.47%	0.438%
BENZENE	1.08%	1.330%
2,2-DIMETHYLPENTANE	0.21%	0.203%
2,4-DIMETHYLPENTANE	0.66%	0.630%
2,2,3-TRIMETHYLBUTANE	0.07%	0.071%
CYCLOHEXENE	0.28%	0.322%
3,3-DIMETHYLPENTANE	0.10%	0.091%
1,1-DIMETHYLCYCLOPENTANE	0.04%	0.041%
2-METHYLHEXANE	1.85%	1.768%
CIS-1,3-DIMETHYLCYCLOPENTANE	0.22%	0.218%
TRANS-1,3-DIMETHYLCYCLOPENTANE	0.18%	0.176%
3-METHYLHEXANE	1.23%	1.179%
3-ETHYLPENTANE	0.28%	0.264%
2,2,4-TRIMETHYLPENTANE	6.36%	5.340%
2-METHYLHEPTANE	0.53%	0.446%
CIS-2-HEPTENE	1.16%	1.130%
N-HEPTANE	1.12%	1.067%
METHYLCYCLOHEXANE	0.56%	0.550%
ETHYLCYCLOPENTANE	0.14%	0.135%
2,2-DIMETHYLHEXANE	0.04%	0.036%
2,5-DIMETHYLHEXANE	1.04%	0.874%
TOLUENE	6.54%	6.797%
2,4-DIMETHYLHEXANE	0.72%	0.606%
3,3-DIMETHYLHEXANE	0.03%	0.027%
2,3,4-TRIMETHYLPENTANE	3.07%	2.576%
TRANS-1,4-DIMETHYLCYCLOHEXANE	0.05%	0.045%
CIS-1,3-DIMETHYLCYCLOHEXANE	0.13%	0.109%
2,2,4,4-TETRAMETHYLPENTANE	0.58%	0.437%
3,4-DIMETHYLHEXANE	0.04%	0.036%
4-METHYLHEPTANE	0.28%	0.232%
1,1,2-TRIMETHYLCYCLOPENTANE	0.10%	0.082%
3-METHYLHEPTANE	0.61%	0.508%
2,2,4-TRIMETHYLHEXANE	0.10%	0.071%
2,2,5-TRIMETHYLHEXANE	0.10%	0.071%
TRANS-1,2-DIMETHYLCYCLOHEXANE	0.19%	0.163%
CIS-1,2-DIMETHYLCYCLOHEXANE	0.12%	0.100%
CIS-1,2-DIMETHYLCYCLOHEXANE	0.08%	0.073%
ISOPROPYLCYCLOPENTANE	0.06%	0.054%
CIS-2-OCTENE	0.34%	0.290%
N-OCTANE	0.76%	0.642%
2,4,4-TRIMETHYLHEXANE	0.06%	0.048%

Volatilidad de la gasolina en el Valle de México

Nombre de los compuestos químicos	Fracción Peso	Fracción Mol
2,4,4-TRIMETHYLHEXANE	0.04%	0.032%
2,4,4-TRIMETHYLHEXANE	0.04%	0.032%
N-PROPYLCYCLOPENTANE	0.13%	0.109%
2,2-DIMETHYL-3-ETHYLPENTANE	0.06%	0.048%
2,2-DIMETHYL-3-ETHYLPENTANE	0.01%	0.008%
2,2-DIMETHYLHEPTANE	0.79%	0.588%
2,2-DIMETHYLHEPTANE	0.03%	0.024%
2,2-DIMETHYLHEPTANE	0.02%	0.016%
ETHYNYLBENZENE	0.05%	0.050%
ETHYLBENZENE	1.20%	1.084%
2,6-DIMETHYLHEPTANE	0.21%	0.159%
2,6-DIMETHYLHEPTANE	0.21%	0.159%
2,6-DIMETHYLHEPTANE	0.10%	0.071%
2,4-DIMETHYL-3-ETHYLPENTANE	0.02%	0.016%
P-XYLENE	1.24%	1.122%
M-XYLENE	2.72%	2.455%
O-XYLENE	1.66%	1.496%
4-METHYLOCTANE	0.25%	0.191%
3-ETHYLHEPTANE	0.08%	0.064%
3-ETHYLHEPTANE	0.02%	0.016%
2-METHYLOCTANE	0.31%	0.230%
3,3-DIETHYLPENTANE	0.01%	0.008%
3-METHYLOCTANE	0.42%	0.318%
3-METHYLOCTANE	0.27%	0.198%
1-NONENE	0.12%	0.089%
N-PROPYLCYCLOHEXANE	0.05%	0.040%
ISOPROPYLBENZENE	0.18%	0.144%
ISOPROPYLCYCLOHEXANE	0.30%	0.226%
ISOPROPYLCYCLOHEXANE	0.07%	0.056%
ISOPROPYLCYCLOHEXANE	0.05%	0.040%
N-NONANE	0.68%	0.508%
2,2-DIMETHYL-OCTANE	0.08%	0.057%
2,2-DIMETHYL-OCTANE	0.06%	0.043%
N-BUTYLCYCLOPENTANE	0.17%	0.129%
N-BUTYLCYCLOPENTANE	0.05%	0.040%
N-PROPYLBENZENE	0.72%	0.576%
1-METHYL-3-ETHYLBENZENE	1.09%	0.873%
2,5-DIMETHYLOCTANE	0.07%	0.050%
1-METHYL-2-ETHYLBENZENE	2.47%	1.965%
1-METHYL-2-ETHYLBENZENE	1.04%	0.830%
2,6-DIMETHYLOCTANE	0.03%	0.021%

Nombre de los compuestos químicos	Fracción Peso	Fracción Mol
SEC-BUTYLBENZENE	0.06%	0.046%
1,3,5-TRIMETHYLBENZENE	1.26%	1.008%
5-METHYLNONANE	0.10%	0.064%
4-METHYLNONANE	0.28%	0.186%
1,2,4-TRIMETHYLBENZENE	3.70%	2.948%
2-METHYLNONANE	0.06%	0.043%
3-METHYLNONANE	0.03%	0.021%
1-METHYL-3-ISOPROPYLBENZENE	0.62%	0.440%
1-METHYL-3-ISOPROPYLBENZENE	0.03%	0.023%
ISOBUTYLBENZENE	0.09%	0.061%
1,2,3-TRIMETHYLBENZENE	0.84%	0.669%
1-METHYL-2-ISOPROPYLBENZENE	0.20%	0.144%
1-METHYL-2-ISOPROPYLBENZENE	0.16%	0.114%
INDENE	0.03%	0.026%
N-DECANE	0.37%	0.250%
N-BUTYLBENZENE	0.43%	0.303%
1,4-DIETHYLBENZENE	0.20%	0.144%
1,4-DIETHYLBENZENE	0.06%	0.046%
1,2-DIMETHYL-3-ETHYLBENZENE	0.78%	0.554%
1,2-DIMETHYL-3-ETHYLBENZENE	0.45%	0.319%
1,2-DIMETHYL-3-ETHYLBENZENE	0.14%	0.099%
1-METHYLINDENE	0.10%	0.070%
1,2,4,5-TETRAMETHYLBENZENE	0.23%	0.167%
1,2,3,5-TETRAMETHYL-BENZENE	0.31%	0.220%
N-UNDECANE	0.46%	0.280%
N-UNDECANE	0.14%	0.085%
NAPHTHALENE	0.04%	0.032%
N-PENTYLBENZENE	0.62%	0.398%
N-PENTYLBENZENE	0.35%	0.227%
N-DODECANE	0.15%	0.084%
P-ISOPROPENYLSTYRENE	0.03%	0.021%
	100.00%	100.00%

Macros utilizados en Excel

Los programas de Visual-Basic utilizados como macros dentro de Excel para calcular los valores contenidos en las **tablas 14 a 20** se listan a continuación; se incluye en la siguiente tabla una descripción de su función :

Nombre del Programa	Función
ASTM_D_4814	Calcular los valores requeridos por la norma ASTM en forma diaria y después mensual según el algoritmo del programa.
Temperatura_ZMVM	Determina las temperaturas de diseño aplicables a la ZMVM.
Volatilidad	Establecer el tipo de volatilidad de acuerdo con las temperaturas de diseño.
Volatilidad_NM	Calcula la volatilidad para el perfil de temperaturas al nivel del mar.
Resumen	Construir una tabla que contenga el resumen anual de la información.
Limpiar	Borra toda la información irrelevante generada al ejecutar la macro.
Calculo_Anual	Dar la secuencia de ejecución de los programas anteriores.

* ASTM_D_4814

* Macro grabada 15/05/97 por Raúl Huesca Cadena

Dim i, j

Sub ASTM_D_4814()

Sheets (1)

Range("A1").Select

If ActiveCell.Value = "FECHA" Then

Cells.Replace What:="-99.99", Replacement:="Error", LookAt:= _

xlPart, SearchOrder:=xlByColumns, MatchCase:=False

Columns("C:V").Select

```
Selection.Columns.AutoFit
Selection.NumberFormat = "0.00"
Columns("B:B").Select
Selection.Columns.AutoFit
Selection.NumberFormat = "0"
Columns("A:A").Select
Selection.NumberFormat = "d-mm-yy"
Columns("A:V").Select
With Selection
    .HorizontalAlignment = xlCenter
    .VerticalAlignment = xlBottom
    .WrapText = False
    .Orientation = xlHorizontal
End With
Range("b1").Select
For estacion = 1 To 10
    Selection.Offset(0, 2).Range("a1").Select
    Selection.ColumnWidth = 6
Next estacion
Range("W1:W6").Select
With Selection
    .HorizontalAlignment = xlCenter
    .VerticalAlignment = xlBottom
    .WrapText = False
    .Orientation = xlHorizontal
End With
Selection.Font.Bold = True
Range("W1").Select
Selection.ColumnWidth = 24
ActiveCell.Value = "Primera Fecha"
Selection.Offset(1, 0).Range("A1").Select
```

```
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=Min(C[-22])"  
Selection.NumberFormat = "d-mmm-yy"  
Selection.Offset(1, 0).Range("A1").Select  
ActiveCell.Value = "Última Fecha"  
Selection.Offset(1, 0).Range("A1").Select  
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=Max(C[-22])"  
Selection.NumberFormat = "d-mmm-yy"  
Selection.Offset(1, 0).Range("A1").Select  
ActiveCell.Value = "Numero de Dias"  
Selection.Offset(1, 0).Range("A1").Select  
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=R[-2]C-R[-4]C+1"  
Selection.NumberFormat = "0"  
Range("w1:w6").Select  
Selection.Copy  
Selection.PasteSpecial Paste:=xlValues, Operation:=xlNone, _  
    SkipBlanks:=False, Transpose:=False  
ActiveWindow.SmallScroll ToRight:=11  
Columns("Y:A").Select  
Selection.Font.Bold = False  
Selection.NumberFormat = "0.00"  
Selection.ColumnWidth = 5  
With Selection  
    .HorizontalAlignment = xlCenter  
    .VerticalAlignment = xlBottom  
    .WrapText = False  
    .Orientation = xlHorizontal  
End With  
Columns("X:X").Select  
Selection.NumberFormat = "d-mmm-yy"  
With Selection  
    .HorizontalAlignment = xlCenter
```

```
.VerticalAlignment = xlBottom
.WrapText = False
.Orientation = xlHorizontal
End With
Range("X1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Fecha"
Range("Y1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Temperatura Máxima (°C)"
Range("Y1:AH1").Select
With Selection
    .HorizontalAlignment = xlCenterAcrossSelection
    .VerticalAlignment = xlBottom
    .WrapText = False
    .Orientation = xlHorizontal
End With
Range("A11").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Promedio"
Selection.Columns.AutoFit
Range("AJ1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Temperatura máxima de las 6h mínimas (°C)"
Range("AJ1:AS1").Select
With Selection
    .HorizontalAlignment = xlCenterAcrossSelection
    .VerticalAlignment = xlBottom
    .WrapText = False
    .Orientation = xlHorizontal
End With
Range("AT1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Promedio"
Selection.Columns.AutoFit
Range("x3").Select
```

```
ActiveCell.Value = ("=w2")
For contador = 2 To Range("=W6").Value
    Selection.Offset(1, 0).Range("a1").Select
    ActiveCell.Formula = "=R[-1]C+1"
Next contador
Columns("X:X").Select
Selection.Copy
Selection.PasteSpecial Paste:=xlValues, Operation:=xlNone, _
    SkipBlanks:=False, Transpose:=False
Range("X1:AT1").Select
With Selection.Borders(xlLeft)
    .Weight = xlThin
    .ColorIndex = xlAutomatic
End With
With Selection.Borders(xlRight)
    .Weight = xlThin
    .ColorIndex = xlAutomatic
End With
With Selection.Borders(xlTop)
    .Weight = xlThin
    .ColorIndex = xlAutomatic
End With
With Selection.Borders(xlBottom)
    .Weight = xlThin
    .ColorIndex = xlAutomatic
End With
Selection.BorderAround Weight:=xlThin, ColorIndex:=xlAutomatic
Range("b2").Select
For dia = 1 To Range("=W6").Value
    For estacion = 1 To 10
        Selection.Offset(0, 2).Range("a1").Select
```

```
ActiveCell.FormulaR1C1 = _
    =IF(COUNT(RC[-1]:R[5]C[-1])>=1,MAX(RC[-1]:R[5]C[-1]),"Error")
Selection.Copy
Selection.Offset(1, 0).Range("A1:A18").Select
ActiveSheet.Paste
Selection.Offset(-1, 0).Range("A1:A19").Select
Selection.Copy
Selection.PasteSpecial Paste:=xlValues, Operation:=xlNone, _
    SkipBlanks:=False, Transpose:=False
Next estacion
Selection.Offset(24, -20).Range("a1").Select
Next dia
Range("y2").Select
For dia = 1 To Range("=W6").Value
    ActiveCell.FormulaR1C1 = _
        =IF(COUNT(RC[-21]:R[18]C[-21])>=12,MAX(RC[-21]:R[23]C[-21]),"Error")
    Selection.Offset(0, 1).Range("a1").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = _
        =IF(COUNT(RC[-20]:R[18]C[-20])>=12,MAX(RC[-20]:R[23]C[-20]),"Error")
    Selection.Offset(0, 1).Range("a1").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = _
        =IF(COUNT(RC[-19]:R[18]C[-19])>=12,MAX(RC[-19]:R[23]C[-19]),"Error")
    Selection.Offset(0, 1).Range("a1").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = _
        =IF(COUNT(RC[-18]:R[18]C[-18])>=12,MAX(RC[-18]:R[23]C[-18]),"Error")
    Selection.Offset(0, 1).Range("a1").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = _
        =IF(COUNT(RC[-17]:R[18]C[-17])>=12,MAX(RC[-17]:R[23]C[-17]),"Error")
    Selection.Offset(0, 1).Range("a1").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = _
        =IF(COUNT(RC[-16]:R[18]C[-16])>=12,MAX(RC[-16]:R[23]C[-16]),"Error")
```

```
Selection.Offset(0, 1).Range("a1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = _
    "=IF(COUNT(RC[-15]:R[18]C[-15])>=12,MAX(RC[-15]:R[23]C[-15]),"Error")"
Selection.Offset(0, 1).Range("a1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = _
    "=IF(COUNT(RC[-14]:R[18]C[-14])>=12,MAX(RC[-14]:R[23]C[-14]),"Error")"
Selection.Offset(0, 1).Range("a1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = _
    "=IF(COUNT(RC[-13]:R[18]C[-13])>=12,MAX(RC[-13]:R[23]C[-13]),"Error")"
Selection.Offset(0, 1).Range("a1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = _
    "=IF(COUNT(RC[-12]:R[18]C[-22])>=12,MAX(RC[-22]:R[23]C[-22]),"Error")"
Selection.Offset(0, 1).Range("a1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = _
    "=IF(COUNT(RC[-10]:RC[-1])=0,"Error",AVERAGE(RC[-10]:RC[-1]))"
Selection.Offset(0, 1).Range("a1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = _
    "=IF(RC[-11]="Error","Error",MIN(RC[-32]:R[18]C[-32]))"
Selection.Offset(0, 1).Range("a1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = _
    "=IF(RC[-11]="Error","Error",MIN(RC[-31]:R[18]C[-31]))"
Selection.Offset(0, 1).Range("a1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = _
    "=IF(RC[-11]="Error","Error",MIN(RC[-30]:R[18]C[-30]))"
Selection.Offset(0, 1).Range("a1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = _
    "=IF(RC[-11]="Error","Error",MIN(RC[-29]:R[18]C[-29]))"
Selection.Offset(0, 1).Range("a1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = _
    "=IF(RC[-11]="Error","Error",MIN(RC[-28]:R[18]C[-28]))"
Selection.Offset(0, 1).Range("a1").Select
```

```
ActiveCell.FormulaR1C1 = _
    "=IF(RC[-11]="Error","Error",MIN(RC[-27]:R[18]C[-27]))"
Selection.Offset(0, 1).Range("a1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = _
    "=IF(RC[-11]="Error","Error",MIN(RC[-26]:R[18]C[-26]))"
Selection.Offset(0, 1).Range("a1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = _
    "=IF(RC[-11]="Error","Error",MIN(RC[-25]:R[18]C[-25]))"
Selection.Offset(0, 1).Range("a1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = _
    "=IF(RC[-11]="Error","Error",MIN(RC[-24]:R[18]C[-24]))"
Selection.Offset(0, 1).Range("a1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = _
    "=IF(RC[-11]="Error","Error",MIN(RC[-23]:R[18]C[-23]))"
Selection.Offset(0, 1).Range("a1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = _
    "=IF(COUNT(RC[-10]:RC[-1])=0,"Error",AVERAGE(RC[-10]:RC[-1]))"
i = 2 + dia * 24
ActiveSheet.Cells(i, 25).Select
Next dia
For dia = 1 To Range("W6").Value
    i = (dia - 1) * 24 + 2
    j = dia + 2
    ActiveSheet.Cells(i, 25).Select
    Selection.Offset(0, 0).Range("A1:V1").Select
    Application.CutCopyMode = False
    Selection.Cut
    ActiveSheet.Cells(j, 25).Select
    Selection.Offset(0, 0).Range("A1:V1").Select
    ActiveSheet.Paste
    Selection.Copy
```

```
Selection.PasteSpecial Paste:=xlValues, Operation:=xlNone, _  
SkipBlanks:=False, Transpose:=False
```

```
Next dia
```

```
For estacion = 1 To 10
```

```
  i = estacion * 2 + 2
```

```
  j = estacion + 24
```

```
  ActiveSheet.Cells(1, i).Select
```

```
  Selection.Copy
```

```
  ActiveSheet.Cells(2, j).Select
```

```
  ActiveSheet.Paste
```

```
  j = estacion + 35
```

```
  ActiveSheet.Cells(2, j).Select
```

```
  ActiveSheet.Paste
```

```
Next estacion
```

```
Range("W7:W10").Select
```

```
Selection.NumberFormat = "0.0"
```

```
Selection.Font.Bold = True
```

```
With Selection
```

```
  .HorizontalAlignment = xlCenter
```

```
  .VerticalAlignment = xlBottom
```

```
  .WrapText = False
```

```
  .Orientation = xlHorizontal
```

```
End With
```

```
Range("W7").Select
```

```
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Percentil 90% Tmáx (*C)"
```

```
Range("W9").Select
```

```
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Percentil 10% T6hmn (*C)"
```

```
Range("W8").Select
```

```
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=PERCENTILE(R[-6]C[12]:R[24]C[12],0.9)"
```

```
Range("W10").Select
```

```
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=PERCENTILE(R[-8]C[23]:R[22]C[23],0.1)"
```

```
Range("w7:w10").Select
Selection.Copy
Selection.PasteSpecial Paste:=xlValues, Operation:=xlNone, _
SkipBlanks:=False, Transpose:=False
Range("W11").Select
Selection.Font.Bold = False
Else
MsgBox "No se logra identificar la base de datos de temperaturas del sistema R.A.M.A."
End If
End Sub
'
' Temperatura_ZMVM
' Macro grabada 19/05/97 por Raúl Huesca Cadena
Sub Temperatura_ZMVM()
Range("W11").Select
Selection.Font.Bold = True
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Altitud ZMVM (m)"
Range("W12").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "2200"
Range("W13").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Tmáx (°C)"
Range("W15").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "T6hmín (°C)"
Range("W14").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=R[-6]C+4.4*(R[-2]C/1000)"
Selection.NumberFormat = "0.0"
Range("W16").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=R[-6]C+3.6*(R[-4]C/1000)"
Selection.NumberFormat = "0.0"
Range("W11:W16").Select
Selection.Font.Bold = True
```

With Selection

.HorizontalAlignment = xlCenter

.VerticalAlignment = xlBottom

.WrapText = False

.Orientation = xlHorizontal

End With

Selection.Copy

Selection.PasteSpecial Paste:=xlValues, Operation:=xlNone, _

SkipBlanks:=False, Transpose:=False

Range("W17").Select

Selection.Font.Bold = False

End Sub

*** Volatilidad**

* Macro grabada 19/05/97 por Raúl Huesca Cadena

Sub Volatilidad()

Range("w17").Select

ActiveCell.FormulaR1C1 = "Tipo de Volatilidad"

Tmax = Range("W14").Value

T6hmin = Range("W16").Value

Range("W18").Select

If Tmax >= 43 And T6hmin > 16 Then

ActiveCell.FormulaR1C1 = "A"

Else

If Range("W14").Value < 43 And Range("W16").Value > 10 Then

ActiveCell.FormulaR1C1 = "B"

Else

If Tmax < 36 And T6hmin > 4 Then

ActiveCell.FormulaR1C1 = "C"

Else

If Tmax < 29 And T6hmin > (-7) Then

```
ActiveCell.FormulaR1C1 = "D"  
Else  
    If Tmax < 21 And T6hmin <= (-7) Then  
        ActiveCell.FormulaR1C1 = "E"  
    Else  
        ActiveCell.FormulaR1C1 = "NO COINCIDE"  
    End If  
End If  
End If  
End If  
Range("W17:W18").Select  
Selection.Font.Bold = True  
With Selection  
    .HorizontalAlignment = xlCenter  
    .VerticalAlignment = xlBottom  
    .WrapText = False  
    .Orientation = xlHorizontal  
End With  
Range("W19").Select  
Selection.Font.Bold = False  
End Sub
```

```
' Volatilidad_NM
' Macro grabada 19/05/97 por Raúl Huesca Cadena
Sub Volatilidad_NM()
  Range("w20").Select
  ActiveCell.FormulaR1C1 = "Volatilidad Nivel del Mar"
  Tmax = Range("W8").Value
  T6hmin = Range("W10").Value
  Range("W21").Select
  If Tmax >= 43 And T6hmin > 16 Then
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "A"
  Else
    If Tmax < 43 And T6hmin > 10 Then
      ActiveCell.FormulaR1C1 = "B"
    Else
      If Tmax < 36 And T6hmin > 4 Then
        ActiveCell.FormulaR1C1 = "C"
      Else
        If Tmax < 29 And T6hmin > (-7) Then
          ActiveCell.FormulaR1C1 = "D"
        Else
          If Tmax < 21 And T6hmin <= (-7) Then
            ActiveCell.FormulaR1C1 = "E"
          Else
            ActiveCell.FormulaR1C1 = "NO COINCIDE"
          End If
        End If
      End If
    End If
  End If
  Range("W20:W21").Select
  Selection.Font.Bold = True
```

```
With Selection
    .HorizontalAlignment = xlCenter
    .VerticalAlignment = xlBottom
    .WrapText = False
    .Orientation = xlHorizontal
End With
Range("W19").Select
Selection.Font.Bold = False
End Sub
'
' Resumen
' Macro grabada 20/05/97 por Raúl Huesca Cadena
Sub Resumen()
    Range("A1").Select
    ActiveWindow.ScrollWorkbookTabs Position:=xlFirst
    For mes = 1 To 12 Step 1
        Sheets(mes).Select
        Range("W1:W21").Select
        Application.CutCopyMode = False
        Selection.Copy
        ActiveWindow.ScrollWorkbookTabs Position:=xlLast
        Sheets(13).Select
        ActiveSheet.Paste
        Selection.Offset(0, 1).Range("a1").Select
    Next mes
    Range("A1:L21").Select
    Range("L21").Activate
    Selection.Columns.AutoFit
    Application.CutCopyMode = False
    Selection.Copy
    ActiveWindow.SmallScroll ToRight:=6
```

```
Range("N2").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlAll, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=True
For i = 1 To 9
    j = 13 + i
    ActiveSheet.Cells(2, j).Select
    Application.CutCopyMode = False
    Selection.Copy
    k = 14 + i
    ActiveSheet.Cells(1, k).Select
    ActiveSheet.Paste
    Columns(j).Select
    Application.CutCopyMode = False
    Selection.Delete Shift:=xlToLeft
Next i
Range("X2").Select
ActiveWindow.SmallScroll ToRight:=1
Selection.Copy
Range("Y1").Select
ActiveSheet.Paste
Columns("W:X").Select
Range("X1").Activate
Application.CutCopyMode = False
Selection.Delete Shift:=xlToLeft
Range("N1:W13").Select
Range("W13").Activate
Selection.Columns.AutoFit
With Selection.Borders(xlLeft)
    .Weight = xlThin
    .ColorIndex = xlAutomatic
End With
```

```
With Selection.Borders(xlRight)
    .Weight = xlThin
    .ColorIndex = xlAutomatic
End With
With Selection.Borders(xlTop)
    .Weight = xlThin
    .ColorIndex = xlAutomatic
End With
With Selection.Borders(xlBottom)
    .Weight = xlThin
    .ColorIndex = xlAutomatic
End With
Selection.BorderAround Weight:=xlThin, ColorIndex:=xlAutomatic
Range("N2:W13").Select
Range("W13").Activate
Selection.Font.Bold = False
Range("W14").Select
Sheets(13).Select
Columns("A:M").Select
Range("A14").Activate
Application.CutCopyMode = False
Selection.Delete Shift:=xlToLeft
Range("A14").Select
Sheets(13).Name = "Resumen"
End Sub
```

```
' Limpiar
' Macro grabada 27/05/97 por Raúl Huesca Cadena
Sub Limpiar()
  For columna = 4 To 22 Step 2
    ActiveSheet.Cells(2, columna).Range("A1:A744").Select
    Selection.ClearContents
    ActiveSheet.Cells(2, columna).Select
    Selection.ColumnWidth = 3
  Next columna
End Sub
```

' Calculo_Anual

' Macro grabada 25/05/97 por Raúl Huesca Cadena

Sub Calculo_Anual()

MsgBox "Se inicia el procesamiento de la información de Temperaturas del sistema R.A.M.A. de acuerdo con la norma ASTM-D-439-88, corrigiendo la temperatura para la altitud de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) y Determinando el tipo de Volatilidad"

```
  For mes = 1 To 12 Step 1
    Sheets(mes).Select
    ASTM_D_4814
    Temperatura_ZMVM
    Volatilidad
    Volatilidad_NM
  Limpiar
  Next mes
  Sheets(1).Name = "Enero"
  Sheets(2).Name = "Febrero"
  Sheets(3).Name = "Marzo"
  Sheets(4).Name = "Abril"
  Sheets(5).Name = "Mayo"
```

Sheets(6).Name = "Junio"

Sheets(7).Name = "Julio"

Sheets(8).Name = "Agosto"

Sheets(9).Name = "Septiembre"

Sheets(10).Name = "Octubre"

Sheets(11).Name = "Noviembre"

Sheets(12).Name = "Diciembre"

Resumen

End Sub

ÍNDICE DE TÉRMINOS

Índice de términos

D	Características	80
Determinación de la	En 1996	84
Curva de destilación	En 1997	91
Presión de Vapor Reid		
Relación V/L		
E	J	
Ecuación de	Índice de manejabilidad	54
Antonie	Ecuación	55
Clapeyron		
Riedel	M	
Sydney Young	Mezcla Crómica	115
Equilibrio líquido - vapor	P	
G	Perfil de temperaturas en la ZMVM	77
Gasolina	Presión de	
Índice de octano	Vapor	15
Norma ASTM	Vapor Reid	28
Norma vigente en la ZMVM	Punto de	
Gasolina Magna de la ZMVM	Burbuja	18
	Rocío	18
	T	
	Temperatura de Sello de vapor	45

ÍNDICE DE TABLAS, FIGURAS Y GRÁFICAS

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación de combustibles en grupos, en base a su naturaleza, según la norma ASTM-D-86-90.	37
Tabla 2. Características del muestreo y depósito de la muestra de combustible con base en los tipos de grupo de clasificación, según la norma ASTM-D-86-90.....	37
Tabla 3. Características del sistema de destilación del combustible con base en el grupo de clasificación, según la norma ASTM-D-86-90.....	38
Tabla 4. Características de la destilación del combustible con base en el grupo de clasificación, según la norma ASTM-D-86-90.....	40
Tabla 5. Constantes numéricas (A y B) aplicables a la ecuación (7) de <i>corrección del por ciento perdido</i>	43
Tabla 6. Características de la gasolina Magna en la ZMVM de acuerdo con la norma NOM-086-ECOL-1994 y el acuerdo INE-PEMEX de octubre de 1996.	60
Tabla 7. Características de la gasolina Magna en la ZMVM de acuerdo con la norma NOM-086-ECOL-1994 y el acuerdo INE-PEMEX de octubre de 1996.	61
Tabla 8. Clasificación de volatilidad de la gasolina, de acuerdo con las normas ASTM D-439-89 y D-4814-88a.	63
Tabla 9. Características de volatilidad de la gasolina según las normas ASTM D-439-89 y D-4814-88a.	65
Tabla 10. Características de volatilidad de la gasolina según la norma ASTM-D-4814-95a.	66
Tabla 11. Clasificación de volatilidad de la gasolina, de acuerdo con la norma ASTM D-4814-95a y comparación con la norma anterior.	67
Tabla 12. Nombre y clave de las 10 estaciones de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) utilizadas para el estudio.	69
Tabla 13. Formato de la base de datos de la RAMA con las temperaturas diarias horarias utilizadas para el estudio.....	70
Tabla 14. Temperatura máxima y mínima de diseño en la ZMVM durante el año de 1996.	73
Tabla 15. Temperatura máxima y mínima de diseño en la ZMVM durante el año de 1995.	73
Tabla 16. Temperatura máxima y mínima de diseño en la ZMVM durante el año de 1994.	74
Tabla 17. Temperatura máxima y mínima de diseño en la ZMVM durante el año de 1993.	74
Tabla 18. Temperatura máxima y mínima de diseño en la ZMVM durante el año de 1992.	75

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación de combustibles en grupos, en base a su naturaleza, según la norma ASTM-D-86-90.....	37
Tabla 2. Características del muestreo y depósito de la muestra de combustible con base en los tipos de grupo de clasificación, según la norma ASTM-D-86-90.....	37
Tabla 3. Características del sistema de destilación del combustible con base en el grupo de clasificación, según la norma ASTM-D-86-90.....	38
Tabla 4. Características de la destilación del combustible con base en el grupo de clasificación, según la norma ASTM-D-86-90.....	40
Tabla 5. Constantes numéricas (A y B) aplicables a la ecuación (7) de <i>corrección del por ciento perdido</i>	43
Tabla 6. Características de la gasolina Magna en la ZMVM de acuerdo con la norma NOM-086-ECOL-1994 y el acuerdo INE-PEMEX de octubre de 1996.....	60
Tabla 7. Características de la gasolina Magna en la ZMVM de acuerdo con la norma NOM-086-ECOL-1994 y el acuerdo INE-PEMEX de octubre de 1996.....	61
Tabla 8. Clasificación de volatilidad de la gasolina, de acuerdo con las normas ASTM D-439-89 y D-4814-88a.....	63
Tabla 9. Características de volatilidad de la gasolina según las normas ASTM D-439-89 y D-4814-88a.....	65
Tabla 10. Características de volatilidad de la gasolina según la norma ASTM-D-4814-95a.....	66
Tabla 11. Clasificación de volatilidad de la gasolina, de acuerdo con la norma ASTM D-4814-95a y comparación con la norma anterior.....	67
Tabla 12. Nombre y clave de las 10 estaciones de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) utilizadas para el estudio.....	69
Tabla 13. Formato de la base de datos de la RAMA con las temperaturas diarias horarias utilizadas para el estudio.....	70
Tabla 14. Temperatura máxima y mínima de diseño en la ZMVM durante el año de 1996.....	73
Tabla 15. Temperatura máxima y mínima de diseño en la ZMVM durante el año de 1995.....	73
Tabla 16. Temperatura máxima y mínima de diseño en la ZMVM durante el año de 1994.....	74
Tabla 17. Temperatura máxima y mínima de diseño en la ZMVM durante el año de 1993.....	74
Tabla 18. Temperatura máxima y mínima de diseño en la ZMVM durante el año de 1992.....	75

Tabla 19. Temperatura máxima y mínima de diseño en la ZMVM durante el año de 1991.	75
Tabla 20. Temperatura máxima y mínima de diseño en la ZMVM durante el año de 1990.	76
Tabla 21. Características de una gasolinas de volatilidad tipo B de acuerdo con las normas ASTM D-439-89 y D-4814-88a.	80
Tabla 22. Características de una gasolinas de volatilidad tipo B-2 de acuerdo con la norma ASTM D-4814-95.	80
Tabla 23. Características de una gasolinas de volatilidad tipo A-2 de acuerdo con la norma ASTM D-4814-95a.	81
Tabla 24. Características de la gasolina Magna en la ZMVM de acuerdo con la norma NOM-086-ECOL-1994 y el acuerdo INE-PEMEX de octubre de 1996.	82
Tabla 25. Características de una gasolinas de volatilidad tipo AA-2 de acuerdo con la norma ASTM D-4814-95a.	82
Tabla 26. Resumen de la información del análisis de 530 muestras de gasolina Magna, realizado por PEMEX en los centros de distribución durante los meses de enero a diciembre de 1996...	84
Tabla 27. Resumen de la PVR de 530 muestras de gasolina Magna analizadas por PEMEX en los centros de distribución, durante el periodo de enero a diciembre de 1996.	85
Tabla 28. Resultados del análisis estadístico al índice de manejabilidad y la temperatura de sello de vapor de la gasolina Magna durante 1996.	89
Tabla 29. Resumen de la información del análisis de 320 muestras de gasolina Magna, realizado por PEMEX en los centros de distribución durante los meses de enero a junio de 1997.	92
Tabla 30. Resultados del análisis estadístico al índice de manejabilidad y la temperatura de sello de vapor de la gasolina Magna durante el primer semestre de 1997.	93
Tabla 31. Comparación entre el valor de algunos parámetros de volatilidad calculados en el simulador <i>Aspen Plus</i> con el valor promedio de la gasolina Magna durante 1996.	99
Tabla 32. Concentración de los grupos químicos presentes en el vapor y el líquido de la gasolina Magna a la condiciones de la PVR.	99
Tabla 33. Concentración de las 20 especies químicas más volátiles presentes en la gasolina Magna y sus concentraciones en el líquido y vapor a la condiciones de la PVR.	100
Tabla 34. Parámetros legislados a partir de 1996 para la gasolina que se expende en el estado de California - EUA - dentro del plan : <i>gasolina reformulada 2da etapa</i>	104
Tabla 35. Comparación de los límites legislados en octubre de 1996, en el estado de California - EUA - en la <i>Zona Metropolitana del Valle de México - México</i> - y de una muestra de gasolina Magna del mismo mes.	105

Índice de Figuras

Figura 1. Tratamiento propuesto por Clapeyron para determinar la ecuación de la presión de vapor del agua.....	16
Figura 2. Curva de equilibrio de fases <i>Presión vs. Composición</i> para una mezcla binaria a temperatura constante.....	19
Figura 3. Ejemplo de una curva de destilación de una mezcla de 5 compuestos que presentan comportamiento ideal, fraccionados en una columna de alta eficiencia.....	22
Figura 4. Ejemplo de dos curvas de destilación de una misma gasolina; la línea continua representa el método ASTM-D-86-90 y la discontinua una columna de mayor eficiencia.....	23
Figura 5. Contenedor de la muestra de gasolina y material para efectuar la transferencia.....	32
Figura 6. Bureta para determinar la relación vapor / líquido (<i>V/L</i>).....	48
Figura 7. Acoplamiento del equipo para determinar la relación vapor / líquido (<i>V/L</i>).....	49

Índice de Gráficas

Gráfica 1. Tipo de volatilidad de la gasolina, de acuerdo con las normas ASTM D-439-89 y D-4814-88a, como una función de la temperatura.....	64
Gráfica 2. Perfil de temperaturas, percentil 90% de T _{máx} y 10% de T _{máx6hmin} en la ZMVM, de Enero de 1990 a Diciembre de 1996.....	77
Gráfica 3. Temperaturas máxima y mínima de diseño en la ZMVM de acuerdo con las normas ASTM D-439-89 y D-4814-95a, de Enero de 1990 a Diciembre de 1996.....	78
Gráfica 4. Variación de la presión de vapor Reid (PVR) de la gasolina Magna durante el año de 1996.....	87
Gráfica 5. Variación de la <i>Temperatura de sello de vapor</i> de la gasolina Magna durante el año de 1996 según la correlación de las normas ASTM D-439 y D-4814.....	88
Gráfica 6. Variación del índice de manejabilidad de la gasolina Magna durante el año de 1996 según la ecuación propuesta por la SAE : $IM=1.5 T_{10}+3 T_{50}+T_{90}$	90
Gráfica 7. Variación de la presión de vapor Reid (PVR) de la gasolina Magna durante el primer semestre de 1997.....	94
Gráfica 8. Variación de la <i>Temperatura de sello de vapor</i> de la gasolina Magna durante el primer semestre de 1997 según la correlación de la norma ASTM D-439 y D-4814.....	95
Gráfica 9. Variación del índice de manejabilidad de la gasolina Magna durante el primer semestre de 1997 según la ecuación propuesta por la SAE : $IM=1.5 T_{10}+3 T_{50}+T_{90}$	96