



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA

"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001

CURSOS INSTITUCIONALES

CURSO-TALLER DE MECÁNICA AUTOMOTRIZ

Del 04 AL 15 de Junio de 2001

APUNTES GENERALES

Ing. Juan Pelayo Rojas
Delegación Álvaro Obregón
junio /2001

CURSO TALLER DE MECANICA AUTOMOTRIZ

1. INTRODUCCIÓN
2. MARCO LEGAL. LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE (LGEEPA). REGLAMENTO DE LA LGEEPA, NORMAS OFICIALES MEXICANAS. (NOM's)
3. PANORAMA GENERAL DEL PROBLEMA
4. EL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA
5. EMISIONES DEL CARTER Y EVAPORATIVAS
6. EMISIONES POR EL TUBO DE ESCAPE
7. ALTERACIÓN DE LOS MOTORES Y PRUEBAS DE EMISIONES
8. EMISIONES DEL ALMACENAMIENTO Y TRANSFERENCIA
9. OTROS POSIBLES MOTORES DE POTENCIA
10. LOS EQUIPOS DE VERIFICACIÓN

OBJETIVO GENERAL

CONOCER EL SISTEMA DE VERIFICACIÓN VEHICULAR, INTEGRADO AL MARCO LEGAL Y EL PANORAMA LEGAL DEL PROBLEMA, ASÍ COMO EL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA, LAS EMISIONES Y OTROS POSIBLES MOTORES DE POTENCIA.

CURSO TALLER DE MECÁNICA AUTOMOTRIZ

1.0 INTRODUCCIÓN

Se ha podido disponer del vehículo de motor, en grandes números, sólo en este siglo. Los primeros automóviles impulsados por gasolina aparecieron en 1886 ; por 1900, la producción mundial era de sólo alrededor de 20 000 vehículos por año, en comparación con los aproximadamente 30 millones de 1990. El automóvil personal de motor ha dado a sus propietarios una movilidad y libertad que hubieran sido incomprensibles hace dos siglos. El autor ama su automóvil y supone que los lectores de este libro también aman los suyos. Pero, ¡oh, desgracia!, aunque cualquier automóvil consume poco combustible y emite pequeñas cantidades de contaminantes, en conjunto los alrededor de 300 millones de ellos que existen en el mundo consumen grandes cantidades de combustible y emiten grandes cantidades de contaminantes. La industria de los vehículos de motor, definida en términos generales, constituye más del 10% de la industria total de los países industrializados; la salud de sus economías sube y baja con la salud de su industria de los vehículos de motor. Más de una guerra se ha librado en relación con los suministros de petróleo para ellos.

2.0 MARCO LEGAL

- 2.1. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)
- 2.2. Reglamento de la LGEEPA en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera
- 2.3. Reglamento de la LGEEPA en materia de Prevención y Control de la Contaminación generada por los Vehículos Automotores que circulan en el D.F. y los Municipios de sus Zonas Conurbadas.
- 2.4. NOM-041-ECOL-1999.- Que establece los Límites Máximos Permisibles de Emisión de Gases Contaminantes provenientes del escape de los Vehículos Automotores en Circulación que usan Gasolina como Combustible.

3 PANORAMA GENERAL DEL PROBLEMA DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE PROVENIENTE DE LOS VEHÍCULOS DE MOTOR

3.1 Emisiones

En Estados Unidos, existen alrededor de 123 millones de automóviles (carros) y más o menos 40 millones de camiones ligeros (de menos de 10 000 lb de carga útil) que son semejantes a los automóviles en los detalles mecánicos y en el uso común. En la tabla 3.1 se ilustra su aportación a los problemas del CO, HC y NO_x en ese país. En esta tabla se ilustra que los vehículos de motor (incluyendo los que no son automóviles y camiones ligeros) son la fuente de más de la mitad de las emisiones nacionales (en E.U.) de CO y de más o menos el 35% de las emisiones de HC y NO_x. Los vehículos de motor también emiten partículas y SO₂, pero su aportación en porcentaje a esos problemas es mucho menor que los valores mostrados en esta tabla. En ésta, las "otras fuentes de transporte" inclu-

TABLA
Aportación de los automóviles y camiones ligeros
a las emisiones nacionales (en E.U.)

	CO	NO _x	HC
Emisiones totales provenientes de fuentes humanas, millones de toneladas métricas/año, 1990	60.1	19.6	18.7
Porcentaje emitido por los automóviles y camiones ligeros	45.0	15.8	24.8
Porcentaje emitido por otras fuentes de transporte	17.6	22.4	9.5
Porcentaje total debido a las fuentes de transporte	62.6	38.2	34.3

yen los camiones de servicio pesado, motocicletas, aviones, ferrocarriles, botes, equipo de construcción y equipo agrícola. Excepto para los NO_x, los automóviles y los camiones ligeros contribuyen mucho más a las emisiones que estas otras fuentes. Los automóviles realizan un mayor porcentaje de su recorrido en zonas urbanas intensamente pobladas que los camiones, aviones o botes. Por estas razones, el interés principal respecto a la contaminación del aire se relaciona con los automóviles.

Antes de 1970, los vehículos de motor eran la fuente principal de partículas atmosféricas de plomo. Desde entonces, la eliminación del tetraetilo de plomo de la gasolina los ha convertido en contribuyentes mucho menores

3. 2 Historia de la reglamentación del control de la contaminación del aire por los vehículos de motor

Hasta alrededor de 1950, los vehículos de motor no atraían mucho la atención como fuentes de contaminación del aire. Antes de esa época, existían emisiones muy grandes y sin control provenientes de la industria y, en la mayor parte de E.U., las emisiones de la combustión del carbón mineral eran las contribuyentes más importantes a la contaminación del aire. A medida que se controlaron esas fuentes y, en Estados Unidos, el carbón era reemplazado por el gas natural como el combustible principal para la calefacción urbana, en Los Ángeles se descubrió un nuevo tipo de contaminación del aire. Allí, el combustible principal para la calefacción doméstica y el calentamiento industrial era el gas natural y habían unas cuantas industrias de "chimenea humeante". Sin embargo, un tipo de contaminante del aire, irritante de los ojos y de la nariz, al que posteriormente se le dio el nombre de *esmog* (en inglés, *smog*; un mal nombre porque, en Los Ángeles, el *esmog* no está relacionado con el humo, *smoke*, o la niebla, *fog*, pero es un nombre que ha persistido), se presentaba allí, principalmente en el verano. (El mismo tipo de contaminante se observa ahora en el verano en la mayor parte de las ciudades importantes de E.U.) El profesor A. J. Haagen-Smit demostró que los materiales irritantes a los ojos se formaban en gran parte de las emisiones provenientes de los automóviles. Inicialmente, los fabricantes de automóviles negaron que éstos fueran los causantes, pero llegó el momento en que la evidencia científica se hizo demasiado grande como para negarse.

En California se empezaron a regular las emisiones de los automóviles en 1963. En la Clean Air Act (Ley del Aire Limpio) de 1970, el Congreso (de E.U.) inició la reglamentación federal de los automóviles, requiriendo reglas más estrictas para todos aquellos estados que ya las hubieran emitido (sólo California), pero exigiendo también reglas bastante estrictas para el resto del país. A principios de la década de 1970 se tuvo un importante conflicto político entre la industria del automóvil y la U.S. EPA, porque las reglamenta-

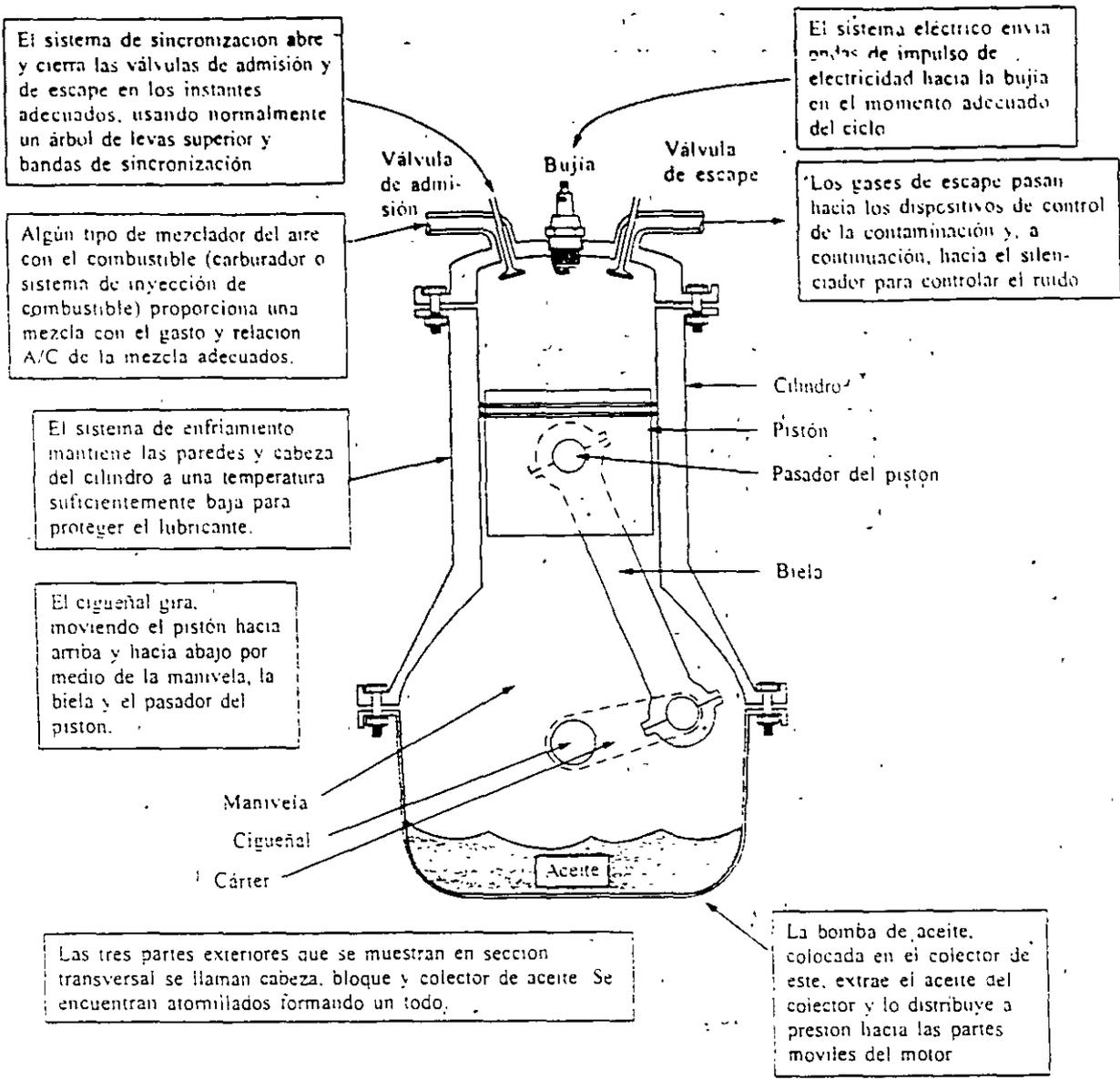


FIGURA .1

Esquema muy simplificado de un pistón y su cilindro de un motor de gasolina de IC de cuatro tiempos.

durante el primer tiempo el pistón se mueve hacia abajo al mismo tiempo que se abre la válvula de admisión, de modo que se succiona una mezcla de aire-combustible hacia la cámara de combustión (el espacio dentro del cilindro, arriba del pistón). Cuando el pistón se encuentra abajo (*punto muerto inferior, BDC, bottom dead center*), se cierra la válvula de admisión, finalizando la carrera de admisión. Conforme el pistón sube una vez más hasta la parte superior, durante la carrera de compresión, las dos válvulas se encuentran cerradas, de manera que se comprime la mezcla de aire-combustible. Al aproximarse a la parte superior de esa carrera, las bujías producen una chispa que enciende la mezcla aire-combustible. En su siguiente recorrido hacia abajo, la carrera de potencia, el pistón es impulsado por los gases de combustión a alta presión, los cuales realizan el trabajo real del motor. En la parte inferior del recorrido del pistón, se abre la válvula de escape y, en su siguiente recorrido hacia arriba, empuja los gases quemados hacia afuera por el sistema de escape.

El ciclo recibe su nombre por sus *cuatro tiempos*: de admisión, de compresión, de potencia y de expulsión (o escape). La bujía enciende cada segundo recorrido del pistón hacia arriba. La potencia sólo se produce durante la carrera de este nombre. Cada una de las otras tres carreras consume potencia. El motor debe tener inercia suficiente de modo que la potencia producida en la carrera correspondiente lo lleve hasta la siguiente carrera de este tipo. Para un motor de un cilindro, esto suele requerir un volante grande. Para los motores de cilindros múltiples, los tiempos de encendido de los cilindros no coinciden, de modo que resulta adecuado un volante más pequeño.

En esta sencilla imagen no se analiza el diseño mecánico de las diversas partes o los mecanismos para proporcionar la mezcla adecuada aire-combustible, para producir la chispa y sincronizarla para que ocurra en el momento apropiado o para lubricar, enfriar y balancear. Esos aspectos se mencionarán con brevedad más adelante, sólo según se necesiten con el fin de ilustrar el análisis de los problemas de contaminación del aire de estos motores. Esos temas se analizan en otras partes.

4.2 Formación de los contaminantes

Los contaminantes principales emitidos por los motores sencillos de IC impulsados por gasolina son monóxido de carbono, hidrocarburos y óxidos de nitrógeno. Todos éstos se forman en todos los demás procesos de combustión; por ejemplo, las plantas generadoras de electricidad de combustibles fósiles, las estufas de las cocinas, las fogatas y los asadores con carbón vegetal. Los motores de automóviles producen más de ellos, por unidad de combustible quemado, principalmente por las razones siguientes:

1. A menudo, en los motores de automóviles se tiene deficiencia de oxígeno, lo cual no ocurre en la mayor parte de los otros sistemas de combustión.
2. En los motores de automóviles se precalientan las mezclas aire-combustible, lo cual no se hace en la mayor parte de los sistemas de combustión.
3. En los motores de automóviles se tiene una combustión no estacionaria, en la cual cada llama dura alrededor de 0.0025 s. En casi todos los demás sistemas de combustión se tienen llamas estacionarias que permanecen mientras los materiales que se queman pasan por ellas.
4. En los motores de automóviles se tienen llamas que entran en contacto directamente con superficies enfriadas, lo que no es común en otros sistemas de combustión.

4.2.1 **Monóxido de carbono, CO.** El monóxido de carbono está presente en el gas de combustión de cualquier combustible que contenga carbono: gasolina, gas natural, carbón mineral, madera, carbón vegetal, incendios forestales, basura. Cuánto CO esté presente depende principalmente de la relación aire-combustible y, en segundo lugar, del grado de mezclado, extinción por la pared, etcétera. En la sección se considera el volumen y la composición de los productos de la combustión. Allí se supuso que se tenía el aire estequiométrico o exceso de aire, es decir, $E = 0$ (estequiométrico) o $E > 0$ (exceso de aire), lo cual se cumple para la mayor parte de los procesos de combustión. Sin embargo, en los motores de los automóviles, a menudo se tiene menos del aire estequiométrico. Se podrían realizar todos los cálculos de la combustión de este capítulo, usando las ecuaciones de la sección y haciendo que E tome valores negativos. No obstante, es mucho más fácil volver a escribir esas ecuaciones en términos del déficit de oxígeno, z .

A partir de la sección , se sabe que, para cualquier combustible de hidrocarburos con fórmula C_xH_y ,

$$n_{\text{oxígeno esteq}} = x + \frac{y}{4}$$

y, con exceso de aire presente, se podría multiplicar esta ecuación por $(1 + E)$. Si se tiene menos del oxígeno estequiométrico, se puede escribir

$$n_{\text{oxígeno}} = x + \frac{y}{4} - z = n_{\text{oxígeno esteq}} - z = n_{\text{oxígeno esteq}}(1 + E) \quad (1)$$

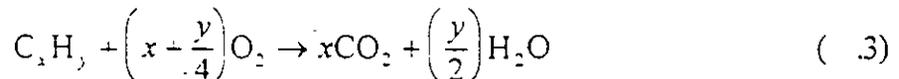
de lo cual se deduce que

$$z = -n_{\text{oxígeno esteq}}E \quad (2)$$

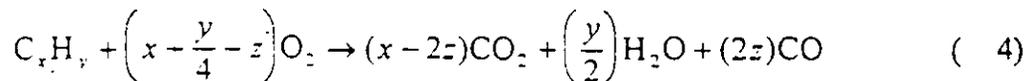
Se podrían convertir todas las ecuaciones de esta sección en su forma equivalente de la sección , al reemplazar el déficit de oxígeno z por su valor dado en la ecuación (2), con lo que, de este modo, se hacen las ecuaciones siguientes más largas y más complejas. En el tratamiento que sigue, también se ignora el contenido de humedad del aire para la combustión, lo cual es equivalente a hacer $X = 0$ en las ecuaciones de la sección .

Todas las gasolinas son mezclas de muchos componentes, pero éstos se pueden caracterizar como si tuvieran una fórmula promedio C_xH_y , en donde, para una gasolina típica, x es alrededor de 8 y y más o menos 17. Los fabricantes de gasolina cambian estos valores de un lugar a otro y con la estación del año (valores menores en invierno y en los climas fríos que en verano y en los climas cálidos).

Para la combustión completa (relación estequiométrica aire-combustible, $E = z = 0$) de este combustible, la ecuación es



Si no hubiera oxígeno suficiente para completar la reacción, entonces los productos de la combustión contendrán CO , H_2 e hidrocarburos no quemados. A las temperaturas de combustión, el más común de estos productos de combustión incompleta es el CO . (Recuérdese, que el CO es más lento y más difícil de quemar que la mayor parte de los hidrocarburos. Por tanto, la simplificación de que todo déficit de oxígeno da por resultado la producción de CO es una simplificación razonable de la compleja situación verdadera.) Si se supone que el oxígeno alimentado es menor que la cantidad estequiométrica, con un déficit de oxígeno de z moles por mol de combustible, y si se supone que todo el déficit de oxígeno causa la formación de CO , se puede volver a escribir la ecuación (3) como



Cada mol de oxígeno del aire lleva con él $(0.79/0.21 = 3.76)$ moles de nitrógeno, de modo que los moles totales de productos de la combustión serán

$$n_{\text{totales salida}} = 3.76\left(x + \frac{y}{4} - z\right) + (x - 2z) + \left(\frac{y}{2}\right) + (2z) \quad (5)$$

y la fracción molar de CO será

$$y_{CO} = \frac{2z}{3.76\left[x + (y/4) - z\right] + x + (y/2)} \quad (6)$$

Ejemplo 1. Calcúlese la fracción molar esperada de CO para la combustión de una gasolina con $x = 8$, $y = 17$, y siendo el aire alimentado el 90% del que se requiere para la combustión completa. En este caso, el oxígeno alimentado es

$$n_{\text{oxígeno}} = 0.9 n_{\text{oxígeno esteq}} = \left(x + \frac{y}{4} - z \right) = 0.9 \left(x + \frac{y}{4} \right)$$

de lo cual se puede escribir

$$z = 0.1 \left(x + \frac{y}{4} \right) = 0.1 \left(8 + \frac{17}{4} \right) = 1.225$$

y

$$y_{\text{CO}} = \frac{2 \cdot 1.225}{3.76 \left[8 + (17/4) - 1.225 \right] + 8 + (17/2)} = 0.042 = 4.2\% \quad \blacksquare$$

4.2.2 Relación aire-combustible, relación de equivalencia. Invariablemente, se analiza este tipo de problemas en términos de la *relación aire-combustible* (A/C), o bien, de la *relación de equivalencia* ϕ .

Ejemplo 2. Calcúlese A/C y ϕ para el ejemplo 1. La A/C siempre se expresa en términos de pesos, en la literatura de la IC (en Estados Unidos, por lo común en lb/lb). En general, se escribe como

$$\frac{A}{C} = \frac{[x + (y/4) - z](32 + 3.76 \cdot 28)}{12x + 1 \cdot y} \quad (7)$$

en donde 32 y 28 son los pesos moleculares del O_2 y N_2 ($3.76 = 0.79/0.21$) y 12 y 1 son los pesos atómicos del C y H, respectivamente. Para este ejemplo, se tiene

$$\frac{A}{C} = \frac{(8 + 17/4 - 1.225)(32 + 3.76 \cdot 28)}{12 \cdot 8 + 17} = 13.39$$

y

$$\left(\frac{A}{C} \right)_{\text{estequiométrica}} = \frac{(8 + 17/4)(32 + 3.76 \cdot 28)}{12 \cdot 8 + 17} = 14.88$$

La relación de equivalencia se define como

$$\text{Relación de equivalencia} = \phi = \frac{(A/C)_{\text{estequiométrica}}}{(A/C)_{\text{real}}} = \frac{14.88}{13.39} = 1.11 = \frac{1}{0.9} \quad (8)$$

Si hubiera más de la cantidad estequiométrica de oxígeno, entonces z , como se ha definido, sería un número negativo y ϕ sería menor que 1.0. En los términos usados en la sección , también se puede escribir esto como

$$\text{Relación de equivalencia} = \phi = \frac{n_{\text{oxígeno esteq}}}{n_{\text{oxígeno real}}} = \frac{1}{1 + E} \quad (9) \quad \blacksquare$$

En la literatura más antigua sobre IC y en los libros "prácticos" sobre el mismo tema, la mayor parte del análisis se hace en términos de A/C. En los libros más recientes o más teóricos, sobre IC, en su mayor parte se hace en términos de ϕ . A/C tiene la ventaja de tratar con las cantidades físicas manejadas en sistema de aire-combustible. Pero tiene el inconveniente de que $(A/C)_{\text{estequiométrica}}$ es una propiedad del combustible: es decir, dependen

de de la relación y/x (véase el problema 1). Un motor dado, que funcione con dos gaso-
linas diferentes, tiene prácticamente un comportamiento equivalente para valores iguales
de ϕ , pero no para valores iguales de A/C . Los recíprocos de estas cantidades también
aparecen en la literatura:

$$\text{Relación combustible-aire} = \frac{1}{\text{Relación aire-combustible}} = \frac{1}{A/C} = C/A \quad (10)$$

y $\lambda = 1/\phi$. Con la mayor frecuencia, a esta última cantidad se le menciona sencillamente
como "lambda".

Ahora es posible repetir el ejemplo 2 para diversos valores de ϕ y hallar los resulta-
dos que se ilustran en la figura 2. En ésta se ve que, con cualquier relación de equiva-
lencia menor que 1.0, o igual a este valor, existe suficiente oxígeno presente para consumir
todo el carbono y llevarlo hasta CO_2 y no debe haber CO en los gases de escape. Al
incrementarse las relaciones de equivalencia, la concentración calculada de CO aumenta
con rapidez. La figura 2 es una seria simplificación de lo que en realidad se encuentra:
se regresará a este tema unos cuantos párrafos más adelante.

Sería muy conveniente si las figuras como la 2 siempre se trazaran con ϕ avanza-
ndo en la misma dirección pero, por desgracia, dos terceras partes de estas figuras tienen a

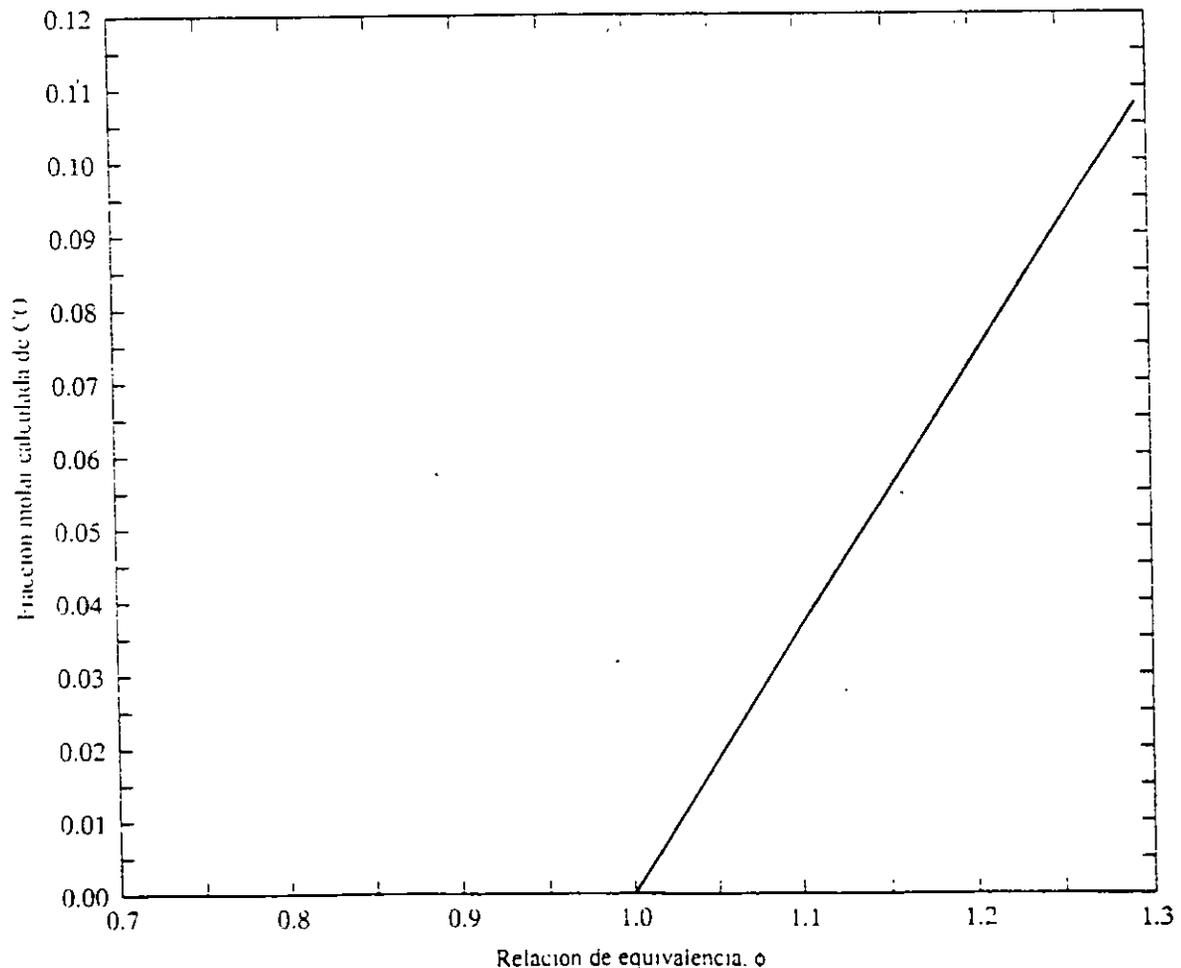


FIGURA 2. Concentración calculada de CO en el escape, para un combustible con composición promedio C_4H_{17} , suponiendo que el CO es la única especie en el gas de escape que no está por completo oxidada. Véase el problema 4 y la figura 11.

ϕ creciendo de izquierda a derecha y una tercera parte tienen a λ creciendo de izquierda a derecha, lo que significa que ϕ decrece de izquierda a derecha (véase la figura 11).

Con base en la figura 12, parecería que siempre que se hacen funcionar los motores con relaciones de equivalencia menores que 1.0 [relaciones A/C mayores que $(A/C)_{\text{estequiométrica}}$], nunca se produciría CO. En la tabla 3 se dan las relaciones A/C que en realidad se tienen en los motores de IC.

Si los automóviles sólo funcionaran calientes, a velocidad constante sobre caminos a nivel, siempre funcionarían con relaciones A/C pobres y sus problemas de contaminación del aire serían mínimos. Sin embargo, con regularidad se quiere que los motores arranquen con rapidez, cuando se encuentran muy fríos o muy calientes, funcionen a baja velocidad en ralentí, suministren repentinos estallidos de potencia para arrancar o pasar, den más potencia para ascender pendientes que al viajar sobre caminos a nivel, funcionen con la máxima eficiencia con cargas bastante bajas, respondan con mucha rapidez a los cambios en la posición del ahogador y lleven a cabo todo esto en silencio y con suavidad. Nadie ha inventado un motor que se pueda ajustar a toda esa lista de requisitos con una relación A/C constante.

A partir de la tabla 3 se ve que, con base en los límites de inflamabilidad dados en la tabla 1 para los constituyentes típicos de la gasolina, se supondría que un motor de IC funcionaría de manera satisfactoria para cualquier relación de equivalencia entre 0.5 y 3.5; sin embargo, con base en la experiencia con motores reales, el rango operable es de más o menos 0.8 a 1.2. En su mayor parte, el rango operable más pequeño se debe a las grandes pérdidas de calor de la pequeña cantidad de mezcla combustible (problema 2) que está en el interior del cilindro hacia las paredes y cabezal enfriados circundantes de este último. Los valores de la tabla 3 están basados en dispositivos con una pérdida despreciable de calor.

Para la operación estable a la mayor parte de las velocidades de conducción, la mejor economía de combustible (valor más alto de trabajo mecánico producido por unidad de

TABLA 3
Relaciones de equivalencia o A/C

	Pobre	Estequiométrica	Rica
A/C, lb/lb	> alrededor de 14.9	alrededor de 14.9	< alrededor de 14.9
Relacion de equivalencia ϕ	< 1.0	1.0	> 1.0
Rango posible de valores de ϕ , basado en la tabla		alrededor de 0.50 hasta alrededor de 3.5	
Rango real de valores de ϕ , basado en la operación del motor		alrededor de 0.8 hasta alrededor de 1.2	
Usos normales	Conduccion estable con carga ligera, por ejemplo, una autopista a nivel	Usada con catalizadores de 3 vias	Arranque, ralenti potencia máxima, por ejemplo, acelerar, ascender pendientes
Potencia	Baja	Promedio	La mas alta
Economia de combustible	La mejor	Promedio	La peor
Produccion de CO	Baja	Media	Alta
Produccion de HC	Baja	Media	Alta
Produccion de NO _x	Alta	Media	Baja

combustible consumido, o sea, el mayor número de millas por galón) se tiene con una ϕ de más o menos 0.9 a 0.95. Ésta fue la relación normal para la conducción estable, antes de la introducción de los catalizadores de tres vías, los que se analizan en la sección 5. Para la aceleración o el ascenso de pendientes, el requisito no es la mejor economía de combustible sino la salida máxima de potencia, la cual se encuentra con una ϕ entre 1.05 y 1.2. Incrementar ϕ tiene el efecto de quemar más combustible por revolución; declina la eficiencia del uso del combustible pero, hasta estos valores de ϕ , el efecto de aumentar la cantidad de combustible quemado excede en importancia a esa disminución. La mayor parte de los motores de IC de gasolina no funcionarán con éxito en ralenti (operarán con suavidad sin carga a alrededor de 500 revoluciones por minuto [rpm]) con una ϕ menor que 1.0. La mayor parte de los motores funcionarán en ralenti, con mayor suavidad, con valores entre 1.1 y 1.2. (A bajas velocidades, hay más tiempo para que las pérdidas de calor apaguen la llama.)

El arranque en frío plantea un problema especial para los motores de IC. Una vez que el motor está caliente, se transfiere suficiente calor a la mezcla aire-combustible que entra, desde el sistema de escape, de modo que las gotitas de combustible líquido casi se vaporizan por completo en la mezcla comprimida en la cámara de combustión, antes de que se aplique la chispa. Sin embargo, cuando el motor está frío, no se cuenta con este calor del escape y la temperatura en la mezcla comprimida es tan baja que no se vaporiza gran parte del combustible. En esta condición, sólo las partes más volátiles del combustible se vaporizarán. Para hacer que ϕ , que se basa en la parte vaporizada del combustible, sea suficientemente alta como para que arranque el motor, se debe poner más combustible total en la mezcla aire-combustible. Si sólo se vaporiza la mitad del combustible, se debe poner el doble de éste. En los automóviles de carburador, un *ahogador* agrega este exceso de combustible. En los automóviles más antiguos, este dispositivo se accionaba a mano y, en la actualidad, lo hacen funcionar sensores termostáticos o electrónicos (y se le menciona como *ahogador automático*), que lo aplican cuando el aire entrante está frío y la temperatura del motor es baja y, a continuación, se corta al elevarse la temperatura. En los motores con inyección de combustible se regula la cantidad inyectada de éste, tomando en cuenta las mismas variables. Las gasolinas se adecuan a la temperatura a la que es más probable se usen. Para el invierno o los climas fríos, se incrementa el contenido de materiales de bajo punto de ebullición (butanos y pentanos), en comparación con la gasolina para verano o los climas cálidos.

De este modo se ve que, aunque se preferiría jamás operar a la derecha de la figura 2, en algunas circunstancias se tiene que hacer. Por tanto, hay la certeza de producir algo de CO. En unos cuantos párrafos más, se regresará al problema del CO.

4.2.3 Hidrocarburos (HC). Con todos los valores de ϕ se miden hidrocarburos no quemados en los gases de escape de los motores de IC de gasolina. La mayor parte de éstos son el resultado de *extinción de la llama*. Los motores de IC deben contar con algún tipo de lubricación, en donde el pistón se deslice hacia arriba y hacia abajo en el cilindro. En los motores de automóviles es proporcionada por el aceite para el efecto, el cual se bombea desde un sumidero que se encuentra en el fondo del cárter, a través de agujeros taladrados o producidos en la fundición en el bloque, cojinetes, cigüeñal, bielas, pasadores de los pistones y cilindros, hasta agujeros que se encuentran en el costado del pistón. Los anillos del pistón, que constituyen la verdadera superficie deslizante entre éste y el cilindro, se trasladan sobre esta película de aceite. Hacer funcionar el motor sin aceite provoca que los pistones se agarren y destruyen ese motor en minutos.

Los lubricantes normales de hidrocarburos no pueden soportar temperaturas muy arriba de 350-360°C (o más) durante la operación normal del motor. Los lubricantes sintéticos

enfriamiento de un motor de automóvil es mantener la temperatura de la película de lubricante que se encuentra entre los anillos del pistón y la pared del cilindro a esa temperatura, o por debajo de ella. (¡Los motores que soportan cargas pesadas, en los camiones o automóviles que tiran de remolques, cuentan con radiadores por separado para enfriar el aceite!) Si la temperatura se vuelve significativamente superior a la antes mencionada, los lubricantes se descomponen, dejando residuos de carbón sólido que causan que el motor se amarre; un motor que se hace funcionar sin su sistema de enfriamiento se destruye en unos cuantos minutos. Se han construido motores experimentales en los que se usan lubricantes sólidos (MoS_2) y que pueden soportar temperaturas muy elevadas. Estos motores no tienen sistema de enfriamiento y operan a temperaturas comparables a la del punto de fusión del acero. Tienen excelentes economías del combustible, pero problemas muy difíciles de ingeniería de los materiales. (¡Fama y fortuna esperan al estudiante que pueda inventar un lubricante *no caro* que opere a temperaturas apreciablemente más altas que 250 a 300°F, permitiendo de esta manera que los fabricantes de automóviles disminuyan el tamaño, peso, costo y necesidades de potencia de sus sistemas de enfriamiento!)

El enfriamiento de las paredes y la cabeza del cilindro las hace suficientemente frías como para que, en una angosta *zona de extinción*, adyacente a ellas, la llama se extinga y no se quemen los hidrocarburos en esa parte de la mezcla aire-combustible.

Ejemplo 3. Estímese la concentración de hidrocarburos que se deben esperar en los gases de escape de un motor con un diámetro de pistón de 6 cm, una carrera de 5 cm y un espesor de la zona de extinción de 0.2 mm. con $\phi = 1$.

En este problema, se supone que toda la superficie del cilindro y de la cabeza tiene una zona de extinción. La parte superior del pistón no se enfría y, aparentemente, no desempeña un papel significativo en la extinción de la llama. La relación del volumen de la zona de extinción al volumen de la cámara de combustión con diámetro D , recorrido del pistón L y espesor de la zona de extinción t (suponiendo una cabeza plana) es

$$\left(\begin{array}{l} \text{Relación del volumen} \\ \text{de extinción al volumen} \\ \text{total} \end{array} \right) = \frac{tA}{V} = \frac{t\left(\frac{\pi}{4}D^2 + \pi DL\right)}{\frac{\pi}{4}D^2L} = t\left(\frac{1}{L} + \frac{4}{D}\right) \quad (11)$$

$$= 0.02 \text{ cm} \left(\frac{1}{5 \text{ cm}} + \frac{4}{6 \text{ cm}} \right) = 0.017 = 1.7\%$$

Por tanto, se esperaría que el 1.7% de los hidrocarburos totales del combustible apareciera en el escape. De la ecuación (5), para $z = 0$, $x = 8$, $y = 17$ y $\phi = 1$, se encuentra que, para un mol de combustible, se tiene

$$\left(\begin{array}{l} \text{Moles totales de} \\ \text{productos de la} \\ \text{combustión} \end{array} \right) = n_{\text{total}} = 3.76 \left(x + \frac{y}{4} \right) + x + \left(\frac{y}{2} \right)$$

$$= 3.76 \left(8 + \frac{17}{4} \right) + 8 + \left(\frac{17}{2} \right) = 32.5 \frac{\text{moles de productos de combustión}}{\text{mol de combustible}}$$

y

$$\left(\begin{array}{l} \text{Fracción molar} \\ \text{de combustible no} \\ \text{quemado en el escape} \end{array} \right) = y_{\text{no quemado}} = \frac{0.017 \frac{\text{moles no quemadas}}{\text{mol de combustible}}}{32.5 \frac{\text{moles de prods. comb.}}{\text{mol de combustible}}}$$

$$= 5.23 \cdot 10^{-4} = 523 \text{ ppm}$$

Este cálculo es una vasta simplificación de lo que en realidad pasa en un motor, pero

1. El espesor de la zona de extinción que se usó en este ejemplo se encuentra en el rango de los valores que en realidad se miden en motores experimentales especiales.
2. La concentración calculada de hidrocarburos está en el rango de los que normalmente se miden.
3. El cálculo hace ver que es de esperar una concentración más alta de hidrocarburos en el escape de un motor pequeño que en el de uno grande, lo cual se observa.

En este ejemplo se supone que los hidrocarburos en el escape tienen la misma composición química que los del combustible. En la tabla 4 se da la composición típica de los hidrocarburos en el escape no tratado de un automóvil. El metano, etano, acetileno, propileno, formaldehído y otros aldehidos no estaban presentes en el combustible y se deben haber formado por la combustión incompleta, en su mayor parte en la zona de extinción. El benceno, tolueno y xilenos estaban en el combustible. Son los componentes de la gasolina con las velocidades más lentas de combustión y, por consiguiente, tienen la probabilidad más elevada de pasar, sin ser quemados, hacia el escape.

Este cambio en la composición de los HC, del combustible hacia los gases de escape, hace que resulte complejo expresar la concentración de los hidrocarburos en el escape. Las reglamentaciones sobre las emisiones de los automóviles, en E.U., se basan en gramos de hidrocarburos que no son metano (NMHC, *nonmethane hydrocarbons*) por milla de recorrido del vehículo. (El metano siempre está presente en los gases de escape. Debido a que es bastante no reactivo en la producción de esmog fotoquímico, en general no se cuenta, para los fines de la contaminación del aire, como un hidrocarburo de escape.) Por lo general, la composición de los hidrocarburos se mide por cromatografía, y se totalizan los pesos de los diversos componentes. A veces, se ven los informes sobre los NMHC "como hexano" o "como C" (véase el problema 3).

Los estudios sugieren que, además de la extinción sobre las paredes de la cámara de combustión, también se tiene extinción de la llama en la rendija entre el pistón y el cilindro (arriba del anillo superior del pistón), en la rendija formada por el empaque de la cabeza y alrededor de la bujía. Además, en apariencia, durante la carrera de compresión la película de lubricante que está sobre la pared absorbe algo del combustible y, a continuación,

TABLA 4
Hidrocarburos principales
"no quemados", ppm

Metano	170
Etano	160
Acetileno	120
Formaldehído	100
Tolueno	55
Aldehidos, excluyendo el formaldehído	53
Xilenos	50
Propileno	49
Alquenos C ₄	36
Alquenos C ₃	35
Benceno	22

la desabsorbe durante la carrera de expansión, con lo que contribuye, de este modo, a la presencia de HC no quemados en el gas de escape. Por tanto, existen más áreas de extinción que sólo las paredes y la cabeza enfriadas, pero tienen el mismo efecto: algo del combustible no se quema y algo sólo se quema parcialmente.

Este cálculo sugiere que los hidrocarburos presentes en el escape del vehículo es independiente de la relación aire-combustible. La observación es más compleja. En la figura 3 se muestran en forma esquemática las emisiones típicas de NO_x , CO y HC de los motores de los automóviles, como función de ϕ . Con valores de ϕ mayores que 1 se ve que, para el CO, el comportamiento es semejante al que se muestra en la figura 13.2. Para los HC, se ve que, para valores de ϕ menores que 1, los valores forman una curva suave, más o menos constante, pero que, para valores de ϕ mayores que 1, las emisiones de HC se elevan con rapidez. Cuando no existe oxígeno suficiente para satisfacer las necesidades tanto del hidrógeno como del carbono del combustible, se encontrarán CO, H_2 y HC no quemados en el escape. Estos tres se incrementan a medida que ϕ se hace mayor. (Los tres, H_2 , HC y CO, compiten por el O_2 disponible. Los tres aumentan al incrementarse el déficit de oxígeno.)

También, de la figura 3, se puede ver que la concentración de CO no se hace cero al irse ϕ hacia cero sino, más bien, continúa con el mismo valor bajo, incluso cuando hay abundancia de aire en exceso en los gases de escape. A las temperaturas elevadas de la llama, la reacción que en realidad consume el CO



es una reacción de equilibrio que no va hasta su término. A medida que la temperatura baja hacia la del escape, el equilibrio se desplaza fuertemente hacia la derecha, pero la reacción se vuelve muy lenta por debajo de una temperatura de 2200 K (3500°F), de modo que algo del CO que se encuentra en el escape se debe a que esta reacción no se completa, aun cuando se encuentre presente el oxígeno adecuado.

Regresando a la figura 3, se puede decir que el CO consta de CO "de déficit de oxígeno" y de CO "de combustión incompleta", dominando el primero en los valores altos de ϕ y el último con un valor menor en forma apreciable y, prácticamente, independiente de ϕ . Los HC constan de HC "de déficit de oxígeno" y HC "de zona de extinción", en donde la cantidad de estos últimos es la misma con todos los valores de ϕ y la de aquéllos aumenta con rapidez al crecer los valores de ϕ . Las gráficas de los valores de HC, NO_x y CO de la figura 3 no están trazadas con una escala común; con $\phi = 1.1$, se esperaría alrededor del 4% de CO y más o menos 0.1% de HC.

En el problema 4 se hace una comparación de las concentraciones medidas de CO con las de la figura 2, demostrando que las concentraciones medidas siguen un patrón similar, pero son apreciablemente inferiores a las mostradas en esa figura.

4.2.4 NO_x . En se indicó cómo se forma el NO, a partir del N_2 y O_2 , en las llamas a alta temperatura. Es evidente que las llamas en el motor de un automóvil cumplen con esa descripción. Las temperaturas pico son del orden de 2700 K (4400°F). En la figura 4 se muestran la temperatura calculada y la trayectoria que sigue la concentración de NO, para una combustión sencilla en un motor de IC.

Ejemplo 4. Para el ejemplo que se ilustra en la figura 4, estímanse la temperatura antes del inicio de la combustión, la temperatura en el gas quemado, precisamente después de que se inicia la combustión, y la temperatura en el gas quemado al final de la combustión.

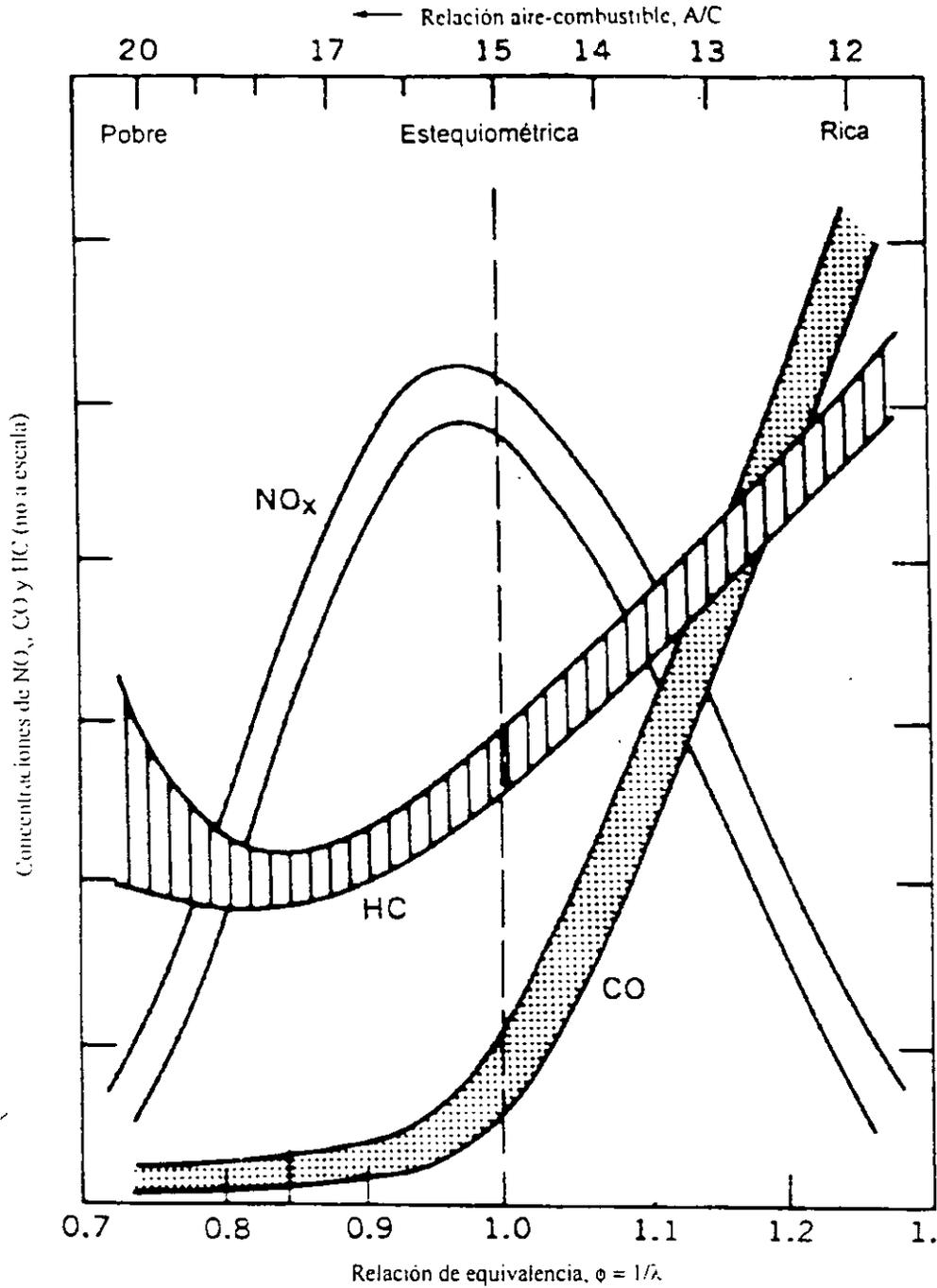


FIGURA 3

Relación general de diversas emisiones con ϕ (o con A/C, con su escala en la dirección opuesta, en la parte superior de la figura) para un motor de IC de gasolina. Las graficas de los contaminantes no se han trazado con una escala común: la escala para el CO es aproximadamente 500 veces la correspondiente a los HC

En la figura se hace ver que la combustión se inicia alrededor de 15° antes del TDC y continúa hasta más o menos 15° después de este punto. A 15° antes del TDC, el pistón ha recorrido alrededor del 98% de su carrera desde el BDC (véase el problema 17), de modo que, con seguridad, se puede ignorar el recorrido adicional del pistón y suponer que el gas que se encuentra en el interior del cilindro se ha comprimido en la relación de compresión establecida de 7. En los textos estándar de termodinámica, para la compresión

adiabática reversible, se encuentra

$$T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{k/(C_p - R)} \quad (13)$$

Si se toman los valores comunes de T_1 y C_p , se escribe

$$T_2 = 528^\circ \text{R} \cdot (7)^{R/(3.5R - R)} = 1154^\circ \text{R} = 694^\circ \text{F} = 641 \text{ K}$$

La elevación de la temperatura durante la primera parte del proceso de combustión, el cual se supone que es adiabático y que ocurre a presión constante, se expresa por

$$\Delta T = \frac{m_{\text{combustible}} \Delta h_{\text{combustion}}}{m_{\text{productos de combustión}} C_{p, \text{ productos de combustión}}} \quad (14)$$

Para una gasolina típica, $\Delta h_{\text{combustion}}$ es aproximadamente 19 020 Btu/lbm y $C_{p, \text{ productos de combustión}}$ es alrededor de 0.33 Btu/lbm · °F, de modo que

$$\Delta T = \frac{1 \text{ lbm de combustible} \cdot 19\,020 \text{ Btu/lbm}}{\left(\frac{15.88 \text{ lbm de prods. comb.}}{1 \text{ lbm de combustible}} \right) \left(0.33 \frac{\text{Btu}}{\text{lbm} \cdot ^\circ \text{F}} \right)} = 3629^\circ \text{F} = 2016 \text{ K}$$

En este cálculo se exagera el aumento en la temperatura porque se supone que toda la cámara de combustión está llena con la mezcla aire-combustible. En la figura 1 se ve que cuando se cierra la válvula de escape, en la parte superior de la carrera de escape, la cámara de combustión contendrá una cantidad apreciable de gases de escape. La mezcla entrante de aire-combustible se mezcla con *gas residual de escape*. Las mediciones indican que el gas residual de escape es de alrededor del 15% de la carga total que va al cilindro

Por tanto, el calor liberado por libra de gases totales será más o menos el 85% del que acaba de calcularse, y el aumento en la temperatura aproximadamente el 85% de la antes calculada, o sea, $\Delta T = 3085^\circ \text{F} = 1714 \text{ K}$. Si se suma este incremento en la temperatura a la temperatura inicial, se encontraría una temperatura de $694 + 3085 = 3779^\circ \text{F} = 4239^\circ \text{R} = 2355 \text{ K}$, lo cual es prácticamente el valor que se indica a 15° antes del TDC, en la figura 4. Además, a las temperaturas picos de combustión, las reacciones de combustión no son impulsadas por completo hacia la derecha. Es de esperar que, en el equilibrio, se encuentren presentes algo de oxígeno y de hidrocarburos sin reaccionar, reduciéndose de este modo, en la mayor parte de los motores de automóviles, ligeramente la temperatura pico.

Por último, se puede inquirir por qué la temperatura mostrada en la figura 4 se va desde 2350 K hasta alrededor de 2640 K, durante la combustión restante. Se calculó la elevación en la temperatura inicial bajo el supuesto de que la primera parte de la combustión ocurría a presión constante. Esta hipótesis es admisible porque, conforme se quema la primera parte (cerca de la bujía), se expande y empuja el gas restante. Pero, más tarde, cuando se quema el gas restante, también se expande y, por consiguiente, comprime el gas que se quemó primero, de modo que pasa por la combustión prácticamente a presión constante, seguida por una compresión adiabática. Al final del proceso de combustión, la temperatura del gas en la cámara de la misma no será uniforme: la primera parte en quemarse se encontrará más caliente (problema 6). Pero si se desea calcular la temperatura promedio, se puede proceder suponiendo que todo el proceso de combustión ocurre a volumen constante, para lo cual se puede escribir

$$\Delta T = \frac{m_{\text{combustible}} \Delta u_{\text{combustion}}}{m_{\text{productos de combustión}} C_{v, \text{ productos de combustión}}} \quad (15)$$

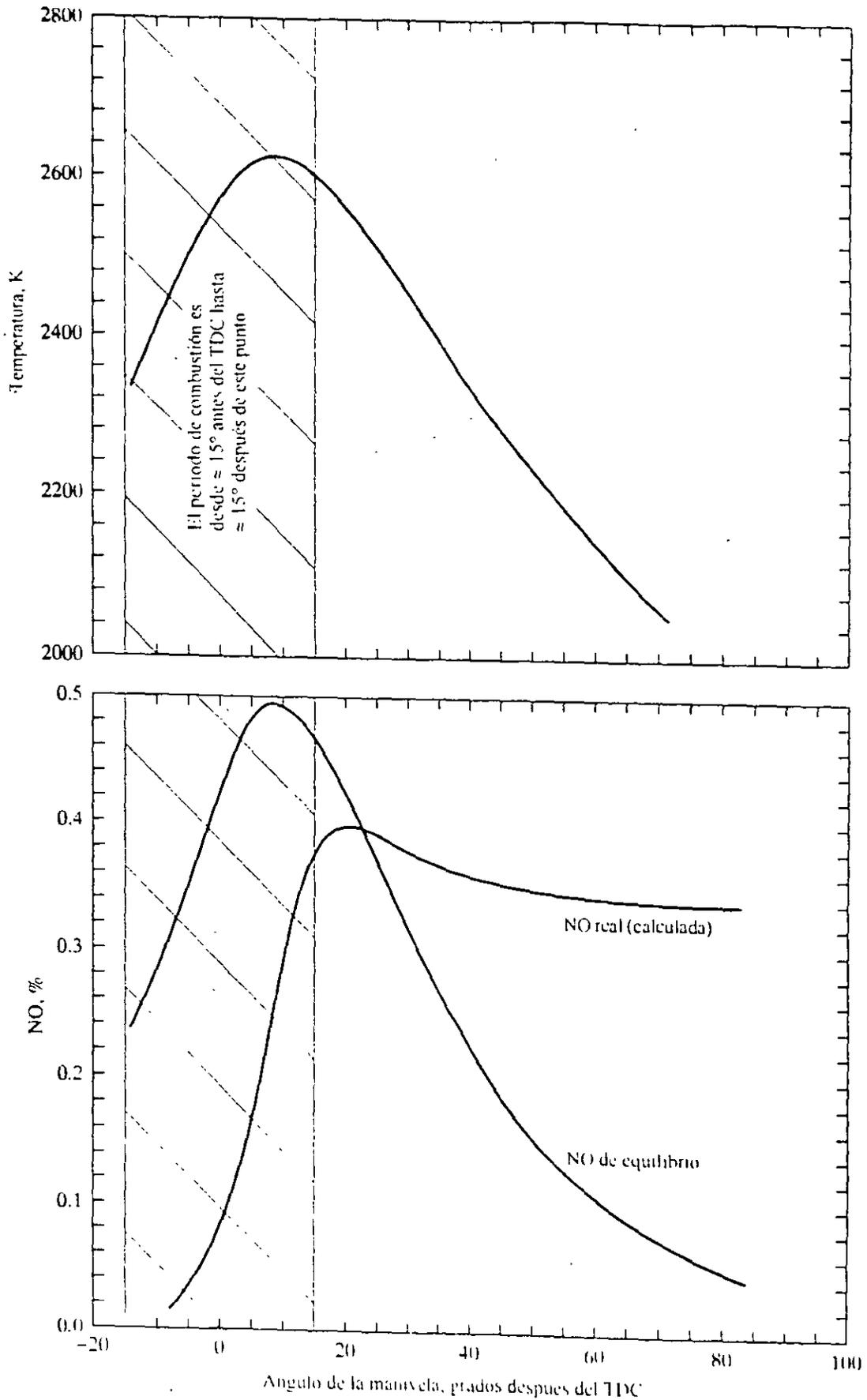


FIGURA 4

Variación calculada de la temperatura y de la concentración de NO en los gases quemados, durante la combustión y la expansión inicial. Estas son concentraciones promedio sobre la masa completa de gas quemado, para un motor pequeño de IC de gasolina con una relación de compresión de 7, funcionando a 2000 rpm y con $\phi = 1$. El periodo de combustión es desde 15° antes del TDC hasta 15° después del TDC.

El calor de combustión usado en este ejemplo y los calores de combustión que por lo común se tabulan (véase la tabla) no son $\Delta u_{\text{combustion}}$, sino $\Delta h_{\text{combustion}}$, normalmente a 1 atmósfera y 25°C. Sin embargo (véase el problema 8), en la mayor parte de los casos se comete un error despreciable al tratar éstos como si fueran los mismos. C_p , productos de combustión suele ser alrededor de 0.26 Btu/lbm · °F, de modo que, para la combustión global a volumen constante, se calcularía

$$\Delta T = \frac{1 \text{ lbm de combustible} \cdot 19\,020 \text{ Btu/lbm}}{\left(\frac{15.88 \text{ lbm de prods. comb.}}{\text{lbm de combustible}} \right) \left(0.26 \frac{\text{Btu}}{\text{lbm} \cdot ^\circ\text{F}} \right)} = 4607^\circ\text{F} = 2559 \text{ K}$$

lo cual hace ver que

$$\frac{\Delta T_{\text{volumen constante}}}{\Delta T_{\text{presión constante}}} \approx \frac{C_p}{C_v} = \frac{0.33}{0.26} = 1.27 \quad (16)$$

Los valores de la figura 4 son

$$\frac{\Delta T_{\text{pico}}}{\Delta T_{\text{combustion inicial}}} = \frac{2640 - 641}{2350 - 641} = 1.17$$

Las diferencias entre estos valores se deben a las pérdidas de calor de los gases de combustión y al trabajo de expansión realizado por esos gases sobre el pistón. ■

Después de esta larga digresión acerca de las temperaturas ilustradas en la figura 4, ahora se pueden considerar los valores del NO. La curva de NO de equilibrio de la figura 4 corresponde a los valores del NO térmico, mostrados en el capítulo (problema 11). La curva real sugiere que la velocidad de formación del NO es despreciable hasta que la temperatura alcanza un valor de más o menos 2400 K. La concentración se eleva con rapidez hacia el valor de equilibrio, cruzándolo aproximadamente a 22° después del TDC. De allí en adelante, la concentración es más alta que la de equilibrio en el gas que se enfría con rapidez, de modo que esa concentración cae; pero cuando la temperatura del gas llega a más o menos 2300 K, la velocidad de reacción se vuelve despreciable y la concentración de NO se "congela" a un valor por encima del valor de equilibrio. Este resultado es semejante al del ejemplo . El periodo de combustión mostrado corresponde a alrededor de 30° de ángulo de la manivela, o sea, $\frac{1}{12}$ de revolución, y el tiempo de combustión a poco más o menos 2.5 ms.

Existe muy poco nitrógeno en la gasolina, de modo que, en general, la cantidad de NO del combustible (véase el capítulo) es despreciable. La mayor parte del NO en el escape es térmico, producido en la parte de alta temperatura del proceso de combustión. (También se encuentra presente algo de NO inmediato; véase el capítulo .)

5.2 EMISIONES DEL CÁRTER Y EVAPORATIVAS

Las emisiones del cárter son principalmente de interés histórico, porque casi se han eliminado por completo de los automóviles modernos en E.U. Las emisiones evaporativas se han reducido de manera apreciable respecto de sus valores de 1960, pero conforme las emisiones por el tubo de escape se reduzcan todavía más, las evaporativas formarán una parte cada vez mayor de las emisiones totales y requerirán un control adicional.

En la tabla 2 se ve que, en 1960, las emisiones del cárter constituían alrededor del 25% de todas las emisiones de hidrocarburos de los automóviles. En la figura 1 se ve

que el pistón se mueve hacia arriba y hacia abajo en el cilindro. Este pistón se encuentra sellado contra los costados del cilindro por medio de los anillos, que están asentados en ranuras del propio pistón y se mantienen apoyados contra la pared del cilindro, forzados hacia afuera por una fuerza de resorte. Como se analiza en cualquier sello móvil de ese tipo, si se hace que selle demasiado apretado, la fuerza de fricción será demasiado grande; en tanto que si queda demasiado flojo, la fuga será demasiado grande. El ajuste adecuado es aquel que permite la existencia de una fuga pequeña.

Esta fuga se produce principalmente por el movimiento de los gases, conocido como *escape de gases del cilindro*, de la cámara de combustión, que se encuentra a alta presión, hacia el cárter, en donde la presión es baja. Si el cárter estuviera cerrado en forma total, el escape de gases del cilindro elevaría su presión interna hasta niveles inseguros. Este gas es semejante a los gases de escape, pero tiene un porcentaje más elevado de productos parcialmente quemados; por ejemplo, ácidos oxigenados. Si se permitiera que este gas permaneciera en contacto con el aceite que está en el colector, estos ácidos —más el agua de la combustión, más otros contaminantes en ella— se disolverían en ese aceite, formando productos que son corrosivos para el motor. Por esa razón, el gas de escape del cilindro se debe extraer con prontitud del cárter.

En los automóviles anteriores a los de 1960, este problema se resolvió mediante un sencillo desfogue del cárter hacia la atmósfera. Al desfogue se le dio forma de modo que, cuando el automóvil se encontraba en movimiento con velocidades aplicadas en carretera, el flujo del aire producía un ligero vacío sobre ese desfogue, succionando los gases hacia afuera del cárter. La tapa del llenador de aceite tenía ventilas (con filtros para el polvo), lo que permitía que este vacío llevara aire fresco, a través de la tapa, hacia el cárter y, de este modo, lo ventilara. Conforme los gases calientes de escape fluían por el cárter, vaporizaban o arrastraban algo del aceite caliente que se encontraba en éste, produciendo de este modo (como se muestra en la tabla 1) alrededor del 25% de las emisiones totales de hidrocarburos del motor.

La solución a este problema de emisiones ha sido la *ventilación positiva del cárter*. La ventilación positiva, en lugar de pasar hacia la atmósfera, pasa hacia el carburador o hacia el múltiple de admisión del aire-combustible, de modo que los gases cargados de hidrocarburos son succionados hacia el motor y quemados. Este cambio en el diseño da por resultado un ligero incremento en la economía de combustible; en lugar de tirar esos vapores y gotitas, se les quema. El flujo debe regularse porque, en ralenti, el aire adicional que pasa por el motor alteraría la relación A/C y causaría un funcionamiento irregular en este régimen. La válvula de ventilación positiva del cárter (PCV), en la línea de desfogue, detecta el vacío en el múltiple y reduce el flujo, cuando el vacío es alto (en ralenti), aumentándolo cuando el vacío cae (operación normal o a alta velocidad), con lo que permite, de este modo, que el vapor proveniente del cárter sea capturado. La tapa con desfogue del filtro de aceite ha sido reemplazada por una sellada, o por una que lleva hacia sí aire proveniente del limpiador de este último. Para los vehículos posteriores a los de 1968, en E.U., las emisiones del cárter son prácticamente cero. En la referencia se describen los detalles de diseño de este sistema.

Las pérdidas evaporativas son de dos tipos: evaporación proveniente del tanque de combustible y evaporación por el carburador. En el capítulo se analizaron las del primer tipo: es semejante a las pérdidas por respiración en cualquier tanque con desfogue que contenga VOC. Las pérdidas provenientes de los tanques de combustible son más significativas que las de los tanques estacionarios, debido a que, en la mayor parte de los automóviles, el tubo de escape pasa cerca del tanque de combustible, calentándolo de tal manera que la oscilación de la temperatura, de frío a caliente, será mucho mayor que para un

tanque estacionario de almacenamiento de VOC. Esta oscilación suele ser desde la temperatura de almacenamiento durante la noche hasta alrededor de 120°F (49°C) en un día cálido.

Las pérdidas evaporativas por el carburador ocurren durante el periodo de *saturación en caliente* que se presenta al detener un automóvil. Mientras el automóvil se está moviendo por el camino, el flujo del aire debajo del cofre limita la temperatura en el carburador a más o menos 120°F (49°C), si el aire exterior está a 60°F (16°C). Al detenerse el automóvil y apagarse el motor, cesa ese flujo de aire enfriador y el calor almacenado en el motor calienta el carburador hasta 160-180°F (71-82°C). El carburador tiene un recipiente pequeño que contiene aproximadamente 70 cm³ de combustible líquido. Éste se conserva en el carburador, de modo que este último pueda responder con rapidez cuando el conductor empieza a acelerar, sin tener que esperar que la bomba de combustible lleve el repentino estallido de éste desde el tanque del mismo. El nivel constante de este líquido también actúa como parte del sistema de dosificación del combustible. Una válvula de flotador controla este nivel, de modo muy semejante a la que se encuentra en los inodoros. Cuando, durante la saturación en caliente, se eleva la temperatura del carburador, alrededor del 30% del combustible que se encuentra en este recipiente se evapora. (En tiempo cálido incluso se evapora más. Cuando se arranca un automóvil en un día cálido, después de una saturación en caliente, se debe esperar a que la bomba de combustible llene este recipiente; por esta razón, la mayor parte de los automóviles de carburador son lentos para arrancar después de una de estas saturaciones en esos días cálidos.) En los automóviles anteriores a los de 1960, este combustible evaporado, alrededor del 19% de las emisiones totales de HC, pasaba a la atmósfera (tabla 2). Eso sólo es una aproximación, porque es un valor por saturación en caliente, y su valor por milla es aquel valor dividido entre la distancia promedio de recorrido. En la referencia 14 se presentan los detalles sobre las emisiones evaporativas. En los motores de inyección de combustible se almacena su gasolina a presión en un sistema totalmente cerrado: no tienen el problema de la saturación en caliente del carburador.

En la mayor parte de los automóviles, ahora se tratan tanto las emisiones por saturación en caliente del carburador como las pérdidas por respiración del tanque de combustible con el sistema que se muestra en la figura 5. En él se ve que el desfogue del carburador, en lugar de encontrarse abierto a la atmósfera, pasa por la línea de desfogue del carburador hasta el *canister de carbón vegetal activado*. Éste contiene un adsorbente, por lo general carbón vegetal activado. Los desfogues del tanque de combustible también pasan por este *canister*. En él, el carbón vegetal adsorbe el vapor de gasolina, con lo que se hace que aire limpiado salga a la atmósfera (la adsorción de vapores de HC se analiza en el capítulo 10). Cuando el motor está funcionando a velocidad suficiente, se lleva aire a través del *canister* de carbón vegetal en la dirección opuesta, desprendiendo el combustible adsorbido de ese carbón y regresándolo a la admisión de aire del motor, con lo que se regenera de este modo el adsorbente y se le alista para su siguiente tarea de adsorción. Se utilizan válvulas apropiadas para garantizar que los flujos se realizan siempre en la dirección correcta y en los momentos justos.

El *canister* de carbón vegetal es de tamaño suficientemente grande como para manejar las emisiones debidas a la expansión térmica en el tanque de combustible y las emisiones por saturación en caliente. No tiene el tamaño suficiente como para tratar con las emisiones de vapor por desplazamiento que se tienen al llenar el tanque (véase también el problema 13). Las empresas petroleras desean que los fabricantes de automóviles hagan más grande el *canister*, de modo que se puedan llenar los tanques con un sencillo giro del cerrador de llenado y que el *canister* capture las emisiones de HC. La

empresas automovilísticas desean mantener el *canister* pequeño y hacer que, por el contrario, las empresas petroleras instalen la Recuperación de vapores de etapa 2 en las bombas de sus gasolineras. Las Clean Air Act Amendments (Enmiendas de la Ley del Aire Limpio) de 1990 parecen haber determinado esto en favor de *canisters* más grandes a bordo.

Todavía permanecen pérdidas evaporativas diversas de HC en el tanque de combustible y el sistema de manejo del mismo. A medida que las emisiones por el tubo de escape, que se describen a continuación, se reduzcan a valores cada vez más bajos, estas pérdidas evaporativas restantes se volverán una parte más significativa del problema global (véase la tabla 2).

6.0 EMISIONES POR EL TUBO DE ESCAPE

En la tabla 2 se hace ver que todas las emisiones de CO y NO_x y alrededor de la mitad de las de HC son por el tubo de escape, es decir, las que se encuentran en los gases de escape. A continuación se analizan las posibilidades para enfrentarlas. Estas posibilidades

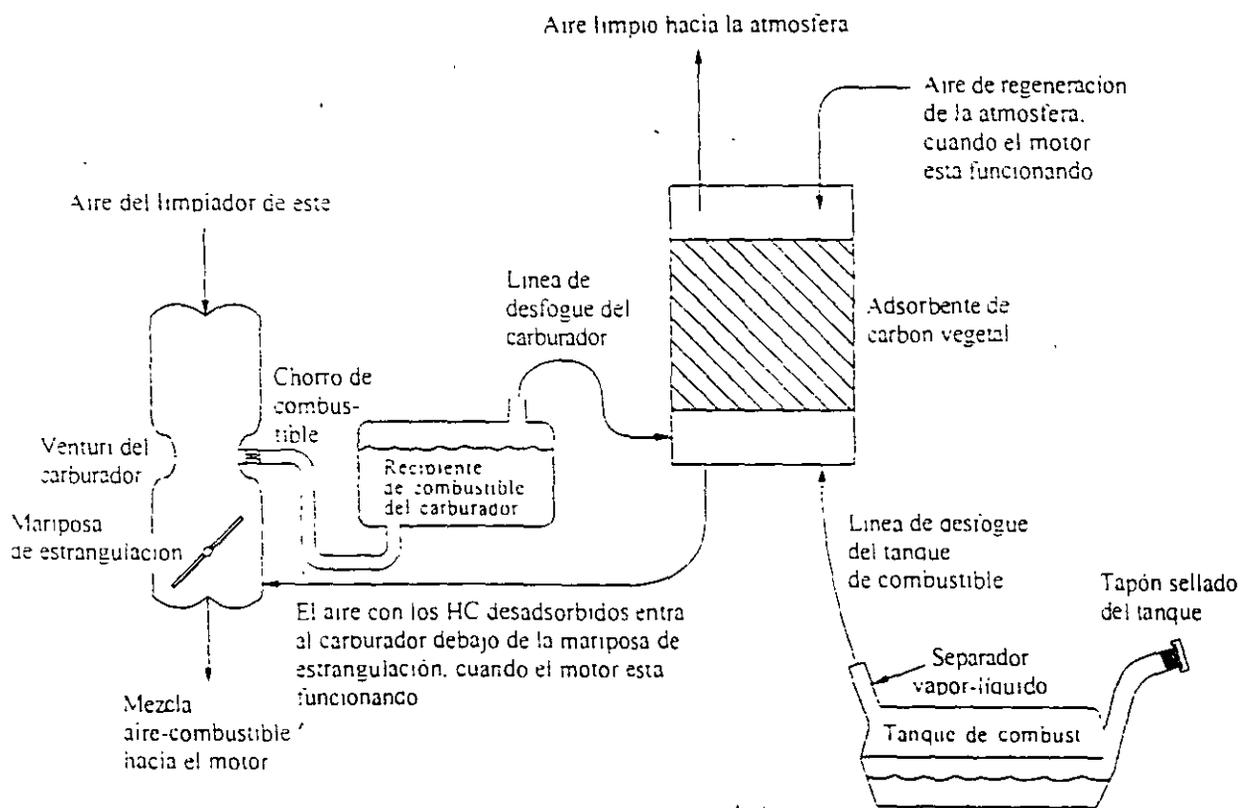


FIGURA 5

Control de la emisión evaporativa. Los vapores que contienen HC provenientes del carburador y del tanque de combustible pasan por un *canister* de carbon vegetal que extrae esos HC, antes de que los vapores se desfoguen hacia el aire. Cuando el motor se encuentra funcionando en otros regímenes que no sean en ralentí o a velocidades bajas, se succiona aire a través del *canister* en la dirección inversa, con lo que se extraen los HC del carbon vegetal, preparándolo para su siguiente servicio. Este aire de regeneración se regresa a la entrada de aire del motor, en donde se queman los HC que contiene. Válvulas apropiadas mantienen el flujo en la dirección adecuada. El *canister* tiene una resistencia al flujo suficientemente baja como para que la presión en la cámara del flotador del carburador esté bastante cercana a la atmosférica para que este último funcione en forma apropiada. Los automoviles con inyección de combustible no tienen carburador; en ellos se utiliza este sistema para controlar los vapores que salen del tanque de combustible.

no son mutuamente exclusivas; en la mayor parte de los automóviles actuales se aplica alguna combinación de ellas. El procedimiento más barato y más sencillo es cambiar lo que entra en el proceso de combustión, con el fin de minimizar la formación de contaminantes. En las cuatro primeras posibilidades que se analizan en seguida se hace eso. En las cuatro restantes se necesita algún cambio fuera del proceso de combustión.

6.1 Operación con mezcla pobre

En la figura 3 resulta evidente que la combustión pobre reduce mucho las emisiones de CO y HC, en comparación con la combustión rica. Por desgracia, la mayoría de los mecánicos siempre han sabido que un motor afinado para combustión rica arranca y funciona de manera más suave que uno afinado para combustión pobre (pero con una economía más mala de combustible). Antes de la década de 1970, los mecánicos cambiaban con regularidad los ajustes de fábrica del carburador para hacer que la combustión fuera más rica. A sus clientes les gustaba el funcionamiento más suave del automóvil, pero estos cambios aumentaban mucho las emisiones. Uno de los primeros pasos en el control de la contaminación del aire fue modificar los carburadores para hacer mucho más difícil (e ilegal) cambiar los ajustes de fábrica.

Muchos motores de automóviles de convertidor precatalítico funcionan en el modo pobre, tanto como se puede, por razones tanto de reducción de la contaminación como de economía de combustible. Más adelante se regresará a este tema.

6.2 Recirculación del gas de escape (EGR)

Como se muestra en la figura 3, se tienen las emisiones pico de NO con una relación A.C ligeramente más pobre que la estequiométrica ($\phi \approx 0.95$). Empezando en la década de 1970 y continuando en muchos motores actuales, se redujo esa producción de NO_x por medio de la Recirculación del gas de escape (EGR, *Exhaust Gas Recirculation*), en la que el aire entrante para la combustión se diluye con hasta un 20% del gas de escape. La EGR reduce las temperaturas pico de las llamas y el contenido de O₂ del gas quemado; estos dos efectos reducen la formación de NO_x. La EGR reduce la salida de potencia del motor (o requiere un motor más grande para la misma producción de potencia); también exige un control en extremo bueno del proceso de carburación y de la distribución de la mezcla aire-combustible. Con una operación pobre en extremo, la EGR puede conducir a falla de encendido y, por tanto, a emisiones mayores de HC. La mayor parte de los sistemas de EGR corta esta última a bajas velocidades del motor y durante el calentamiento, cuando puede conducir a un rendimiento muy malo del motor; además, en estas circunstancias, no se necesita la EGR porque las temperaturas picos son bajas, en comparación con las correspondientes a la operación a potencia parcial o a plena potencia. También cortan la EGR cuando se demanda la potencia pico, porque la EGR reduce la producción de potencia y porque, a la salida pico de potencia, la mezcla de combustible siempre es rica, de modo que no existe suficiente oxígeno para la formación de muchos NO_x.

En la figura 6 se dan algunos datos de ejemplo sobre el efecto de la EGR. Para este motor y condición de operación particulares, la adición de 20% de EGR redujo las emisiones de NO_x, expresadas como g/hp · h, desde 11.4 hasta 4.3; es decir, hasta un 37% del valor sin EGR. El consumo de combustible, expresado en g/hp · h, aumentó en 1%. La temperatura de escape cayó desde 1250° hasta 1200°F y la emisión de HC se elevó en 75%, quizá debido a fallas ocasionales de encendido (falla en encenderse la mezcla en la cámara de combustión).

6.3 Reducir la extinción de la llama

En el modo de combustión pobre, la mayor parte de los HC y el CO se forman por la extinción de la llama en la pared. Se han aplicado diversas técnicas para minimizar esto. La más obvia es hacer la cámara de combustión más cercana a lo esférico, con lo que se reduce de este modo la superficie por unidad de volumen. La reducción de los tamaños de las rendijas asociadas con el empaque de la cabeza, el empaque de la bujía y los anillos del pistón también contribuye a reducir la extinción de la llama.

Elevar la temperatura de la pared del cilindro y de la cabeza disminuye el espesor de la zona de extinción. Ésta fue una de las razones para cambiar el refrigerante del automóvil de agua, en el verano, y etilenglicol, en invierno, a una mezcla, para todo el año, de agua y etilenglicol. Con ese punto de ebullición más alto de la mezcla, fue posible tener temperaturas más elevadas del refrigerante sin presiones excesivas de éste. Esto no sólo redujo

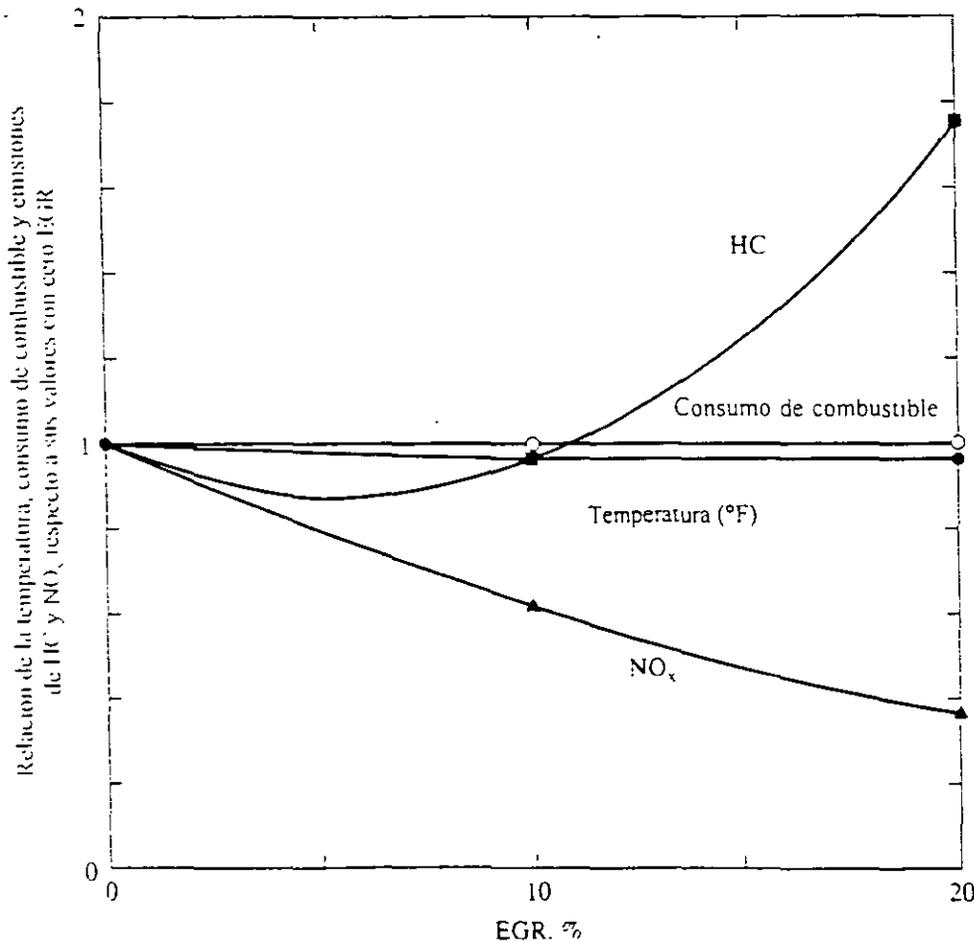


FIGURA 6

Algunos efectos de la EGR. Estos datos son para un motor V-8 de 6.56 litros y relación de compresión de 9.3, a 1700 rpm, salida de 32 kW, con A/C de 16.0 ($\phi \approx 0.94$) y retardo de la chispa de 10° , respecto al ajuste de potencia máxima. Los resultados se muestran como relaciones en comparación con el valor sin EGR. Por ejemplo, las emisiones de NO_x pasaron de 11.4 hasta 4.3 g/hp · h, conforme la EGR se incrementó desde 0 hasta 20%. Los otros valores de EGR cero son HC, 0.9 g/hp · h; consumo de combustible, 0.468 g/hp · h, y temperatura de escape, 1250°F. Quizá la elevación en la emisión de HC con la EGR al 20% se debió a fallas ocasionales de encendido, lo cual hizo que se descargaran HC en el múltiple de escape. Las curvas pasan por los tres valores medidos a 0, 10 y 20% de EGR.

las emisiones de HC, sino también permitió a los fabricantes de automóviles reducir el tamaño de todos los componentes del sistema de enfriamiento.

Si se pudiera colocar el combustible en medio de la cámara de combustión, en lugar de tener que mezclarlo con uniformidad en toda ella, se podría reducir mucho la extinción de la llama en las paredes de la misma. En los motores Diesel, en realidad se coloca el combustible en medio y tienen emisiones mucho más bajas de CO y HC que los motores convencionales de automóviles; en la sección se analizan las razones. Se han puesto a prueba varias cámaras modificadas de combustión con el fin de lograr el mismo resultado en los motores de automóviles, con cierto éxito; por ejemplo, el sistema de dos cámaras de la Honda o los diversos sistemas de remolino inducido de los fabricantes.

6.4 Acelerar el calentamiento

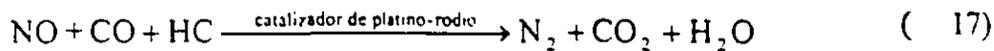
Mucho, si no la mayor parte, de las emisiones de CO y HC de un ciclo típico de conducción de un automóvil se tienen durante el primero o los dos primeros minutos, mientras el motor está frío. Como ya se ha analizado, para arrancar un motor frío se le debe hacer funcionar con una relación muy rica aire-combustible ($\phi > 1$), por lo general al emplear un ahogador automático. Esta condición de riqueza, combinada con las paredes frías de la cámara de combustión, conduce a emisiones muy elevadas de CO y HC. Como se verá en la sección 6.5, el catalizador diseñado para tratar estas emisiones no se "enciende" hasta que ha sido calentado por el gas caliente de escape, de modo que las emisiones mencionadas pasan sin ser tratadas hacia la atmósfera. En todos los motores modernos de IC se realizan varios pasos para acelerar su calentamiento, con el fin de minimizar las emisiones durante este periodo.

En la mayor parte de los motores se mide la temperatura tanto del aire debajo del cofre (en donde se encuentra ubicado el *snorkel* de admisión de aire del motor) como la del refrigerante del motor. Cuando éstos se encuentran fríos, el motor usa válvulas para llevar aire a través de una envoltura que se encuentra sobre el múltiple de escape hacia la admisión de aire del motor, para acelerar el calentamiento. Cuando el motor está caliente, estas válvulas se cierran, dejando que el motor absorba el aire más frío que está debajo del cofre, mejorando de este modo la eficiencia del mismo. El flujo de aire calentado durante el calentamiento hace que el ahogador automático deje de funcionar más pronto, dando fin así con mayor prontitud al periodo de arranque con altas emisiones. En algunos motores se usan calentadores eléctricos colocados entre el carburador y el motor, para calentar la mezcla aire-combustible durante este periodo de arranque en frío. Al calentar esa mezcla, incrementan la fracción vaporizada y, por consiguiente, hacen que el motor arranque con menos enriquecimiento de combustible. Incluso con estas medidas especiales, el periodo de arranque en frío todavía es el causante de una parte desproporcionada de las emisiones de CO y HC. La NAAQS para el CO rara vez se sobrepasa en las ciudades de E.U. durante el verano; con frecuencia se sobrepasan en invierno.

6.5 Tratar catalíticamente los productos de la combustión

La mayoría de los fabricantes de automóviles han concluido que no pueden cumplir con las normas actuales y futuras sobre emisiones sólo mediante las modificaciones del motor. Sus esfuerzos por llevarlo a cabo de esa manera, en la década de 1970, condujo a cierto rendimiento muy malo de los automóviles. En lugar de ello, han concluido que la solución más satisfactoria es modificar el motor de modo que produzca la mezcla correcta de conta-

minantes y, a continuación, tratarla catalíticamente para satisfacer las normas sobre emisiones. En los primeros intentos se usaron dos catalizadores pero, desde entonces, los fabricantes de automóviles han producido el "catalizador de tres vías", que fomenta la siguiente reacción:



Esta reacción requiere un control muy estrecho de la relación del agente oxidante (NO) a los agentes reductores (CO + HC). En la figura 7 se muestra que, con un control muy estrecho de la relación A/C, se pueden hallar condiciones que conduzcan hasta alrededor del 95% de destrucción de los tres contaminantes. La clave para realizar esto con éxito fue la producción del sensor de oxígeno de bióxido de zirconio con impurificación dosificada, mostrado en la figura 8. Éste consiste en un cilindro cerrado de ZrO_2 con impurificación dosificada que está revestido en ambos lados con una película de platino y se encuentra introducido en el múltiple de escape. El sensor es una celda electrolítica, en el que el ZrO_2 actúa como electrólito sólido; su voltaje de salida es una fuerte función del contenido de oxígeno del gas de escape. Utilizando el valor medido de ese contenido de oxígeno, la computadora del motor puede controlar la relación A/C para sostenerla dentro de la tolerancia de ± 0.05 (tolerancia de ϕ de ± 0.003) necesaria para mantenerse en la parte superior de las curvas de la figura 7.

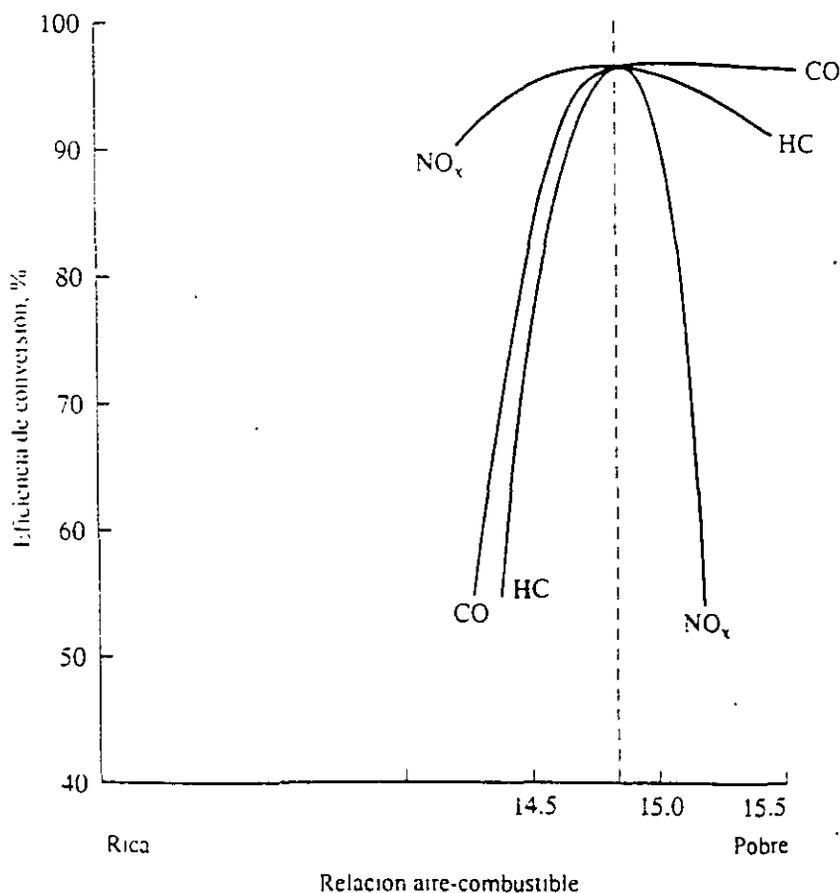


FIGURA 7

Eficiencia de conversión de un sistema catalizador de tres vías como función de la relación A/C. Tomado de J. B. Heywood y R. J. Tabaczynski. "Current Developments in Spark-Ignition Engines", en *A History of the Automotive Internal Combustion Engine*. Publication SP-409 de la SAE. 1976.

En el capítulo se analizaron los catalizadores. El catalizador típico para el gas de escape de los automóviles es una mezcla (5:1) de platino o paladio con rodio, sostenida sobre una capa de Al_2O_3 , que se deposita sobre una base más barata de cerámica. Los requisitos para una catalizador del escape de un automóvil son éstos:

1. Producir por lo menos el 90% de destrucción del CO , HC y NO_x , según la ecuación (17) en un paquete tan pequeño, ligero y no caro como se pueda. Si es posible, el catalizador debe tener la forma de un panqué para facilitar su colocación debajo de un automóvil.
2. Empezar a destruir el CO , HC y NO_x a una temperatura tan baja como se pueda. En realidad, los catalizadores típicos no empiezan a promover la reacción hasta que no han sido calentados por el gas de escape hasta su temperatura de "despegue" de más o menos 350°C (662°F). De este modo, se encuentran inactivos durante el periodo de emisiones más altas, es decir, durante el arranque en frío.
3. No tener un flujo excesivo de calor hacia los alrededores o temperaturas superficiales excesivas, con el fin de impedir un excesivo flujo de calor hacia el compartimiento de pasajeros del automóvil o el inicio de incendios de prados. (Muchos automóviles tienen blindajes contra el calor para resolver este problema.)
4. Tener un rendimiento satisfactorio por lo menos durante 50 000 millas o cinco años (requeridos por las reglamentaciones de la EPA) en un ambiente muy difícil (calor; frío; vibraciones; temperatura, presión y composición química variables del flujo de entrada).
5. Tener una caída mínima de presión.
6. Hacer que la pequeña cantidad de S que se encuentra en la gasolina escape como SO_2 ,

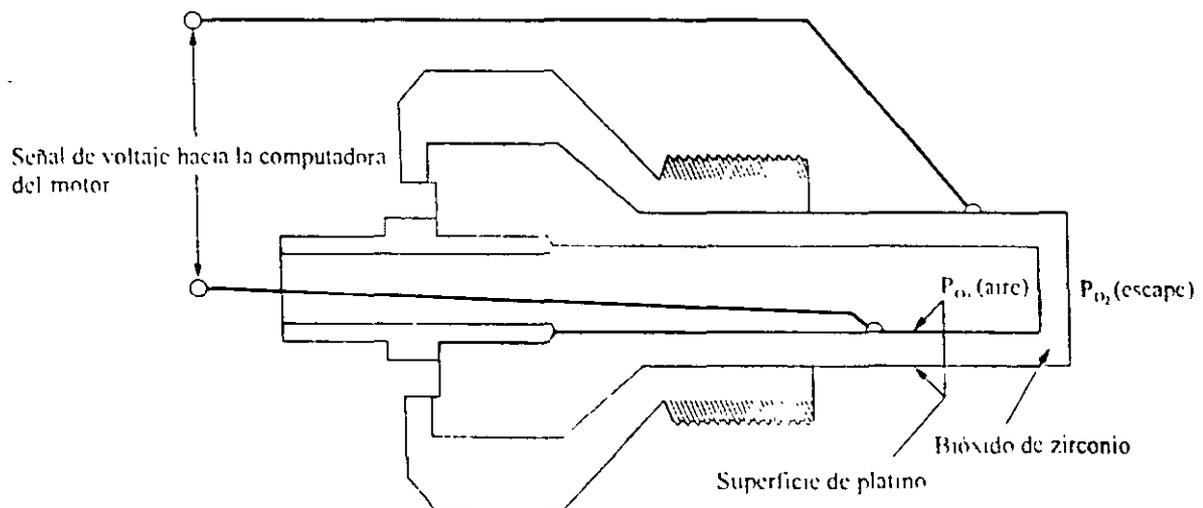


FIGURA 8

Esquema de un sensor de oxígeno en el gas de escape, de bióxido de zirconio con impurificación dosificada. El cilindro con el extremo cerrado de bióxido de zirconio sobresale hacia adentro del múltiple de escape del motor. Su extremo abierto se comunica con la atmósfera. La diferencia en el contenido de oxígeno entre el escape y la atmósfera genera una pequeña diferencia de voltaje entre los electrodos de platino depositados sobre la superficie del óxido de zirconio, suministrando de esta manera una lectura continua del contenido de oxígeno de los gases de escape. Tomado de J. B. Heywood y R. J. Tabaczynski, "Current Developments in Spark-Ignition Engines", en *A History of the Automotive Internal Combustion Engine*, Publication SP-409 de la SAE, 1976.

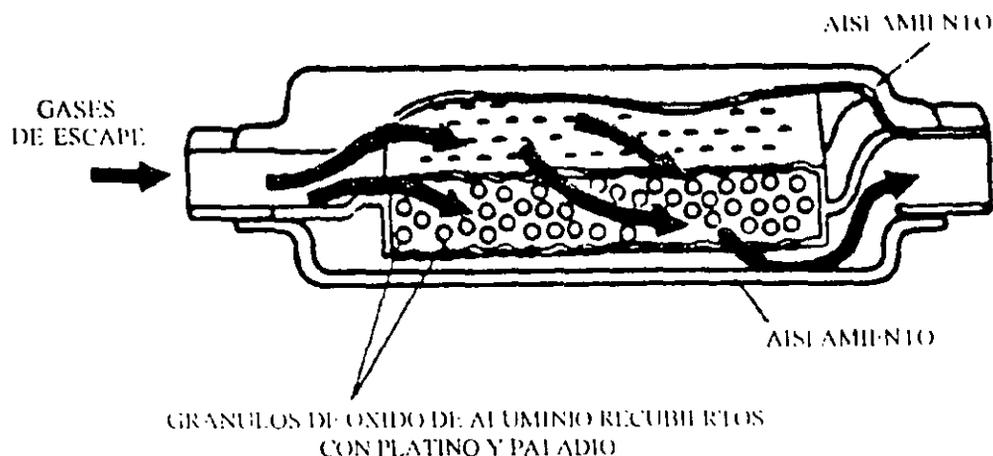


FIGURA 9
Disposiciones mecánica y del flujo de un convertidor catalítico del tipo de gránulos

en lugar del mucho más oloroso H_2S , pero no oxidar el SO_2 hasta llevarlo al SO_3 más tóxico.

Un catalizador típico de un automóvil moderno realiza estas cosas. Tiene un volumen de más o menos un litro y un contenido de metal noble de aproximadamente 1.5 g. Se usan dos disposiciones mecánicas. En la disposición de gránulos (Fig. 9), el metal noble se dispersa en gránulos de cerámica porosa de poco más o menos 1 cm de diámetro, de modo muy semejante a los catalizadores en gránulos que se usan con amplitud en la industria química y en la refinación del petróleo. Estos gránulos se colocan en un recipiente con el tamaño y la forma de un libro de texto pequeño, cuyas cubiertas de lámina metálica tienen múltiples agujeros para el flujo del gas de escape. Este recipiente se coloca dentro de una cubierta exterior; unos desviadores dirigen el gas de escape a lo largo de uno de los lados de la cámara del catalizador, a continuación a través de él en su dimensión más angosta y, en seguida, a lo largo de su otro lado para salir del automóvil.

En la otra disposición, se usa una estructura sencilla llamada monolito de panel. Ésta es una sola pieza de cerámica, con forma semejante a la de un panel, con muchos pasos rectos a través de ella, cada uno con más o menos $1/20$ in de ancho (400 pasos por in²) y alrededor de un pie de largo. Los pasos pueden ser hexagonales, cuadrados o triangulares; la mayor parte son cuadrados. Se encuentra empacado como se muestra en la figura

10. En este diseño, la pieza básica de cerámica sólo sirve para dar solidez, una capa delgada de Al_2O_3 está depositada sobre ella y, en seguida, el metal noble se deposita sobre el Al_2O_3 . En las dos disposiciones, en general las partes metálicas son de acero inoxidable, para proporcionar una larga duración en el ambiente a alta temperatura de los catalizadores.

6.6 Cambiar el combustible

Los requisitos para el combustible de un motor de IC, de encendido por chispa, son los siguientes:

1. Valor calorífico alto (Btu/lbm), de modo que el vehículo tenga un recorrido adecuado

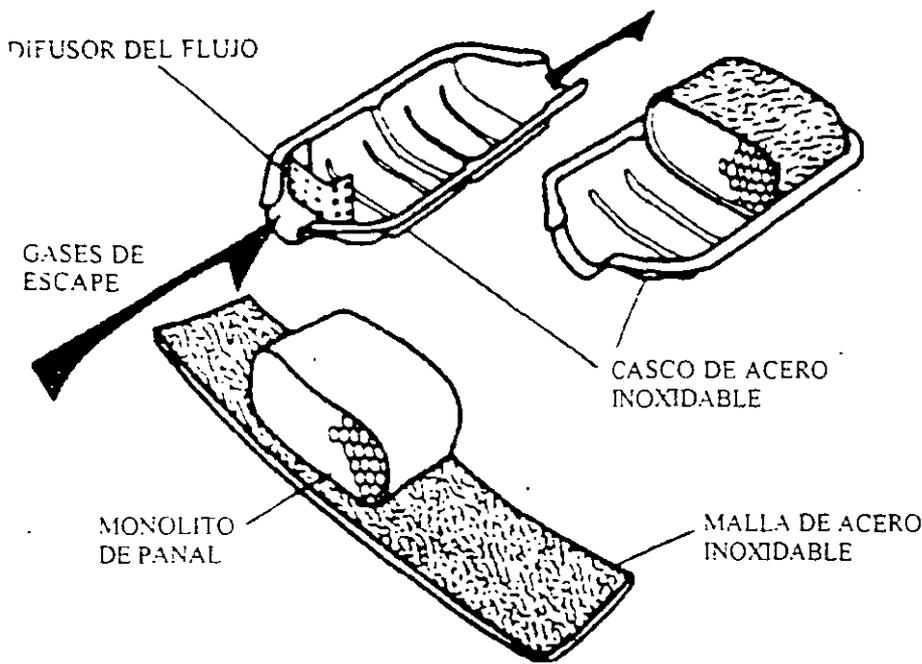


FIGURA 10
Disposiciones mecánica y del flujo de un convertidor catalítico del tipo de monolito de panal

1. Una densidad alta, de modo que el recipiente de almacenamiento del combustible sea de tamaño aceptable.
3. Manejarse con facilidad, normalmente como líquido a las temperaturas ambientes.
4. Buenas propiedades antidetonantes (las que se analizan a continuación).
5. Capacidad para vaporizarse en el sistema de aire-combustible (volatilidad adecuada).
6. Otras propiedades diversas, como buena estabilidad en almacenamiento, toxicidad limitada, etcétera.

Las propiedades antidetonantes, que no se han analizado con anterioridad, son una parte muy importante de esta lista. Regresando a la figura 1, se ve que la mezcla combustible se enciende por medio de la bujía, la cual normalmente está colocada en medio de la parte superior de la cámara de combustión, o cerca de ese sitio. La llama se inicia allí y se dispersa por toda la cámara. Los gases quemados tienen un volumen mucho mayor que el que tenían cuando no se habían quemado, de modo que se expanden y comprimen el gas sin quemar. Como resultado, la temperatura de los gases aún no quemados se eleva antes de que la llama los alcance. (La velocidad de propagación del incremento de presión es mucho mayor que la del frente de la llama.) Si el gas todavía no quemado se calienta hasta su temperatura de autoignición, antes de que la llama lo alcance, se encenderá en forma espontánea, produciendo un golpe sonoro. Este golpeteo es molesto para el conductor y destructivo para el motor. Los fabricantes de motores y los abastecedores de combustible han trabajado con intensidad para impedirlo.

Pronto, en la historia del automóvil, se observó que al elevar la relación de compresión —es decir, (el volumen contenido en el BDC)/(el volumen contenido en el TDC)— se incrementaba la eficiencia de los motores, pero también se incrementaba su tendencia al golpeteo. Los primeros motores tenían relaciones de compresión de más o menos 4, los motores más recientes de automóviles tienen relaciones de compresión de 7 a 10, y los motores Diesel tienen relaciones de compresión de entre 16 a 20, aproximadamente. En los

motores Diesel, el combustible y el aire no se premezclan; el combustible se rocía hacia adentro de la cámara cerca del TDC. En ese caso, los gases calientes encienden el combustible, sin una bujía. En los motores Diesel se tendría un terrible problema de golpeteo si se premezclaran el combustible y el aire, pero no tienen problema si el combustible se añade con lentitud y se quema a medida que se añade. De este modo, la misma propiedad del combustible —facilidad de autoignición— que lo hace bueno para el motor Diesel lo convierte en uno malo para los motores de automóvil, debido al golpeteo. El golpeteo fija los límites de las relaciones admisibles de compresión en los motores de gasolina.

Las diferentes familias de hidrocarburos tienen resistencias distintas al golpeteo. Los hidrocarburos de cadena recta son los peores, las parafinas intensamente ramificadas son las mejores, las olefinas son mejores que las parafinas correspondientes y los aromáticos son casi tan buenos como las parafinas intensamente ramificadas. (El orden de calidad es precisamente el inverso del correspondiente a los combustibles diesel.) Los combustibles se califican por *número de octano*, el cual es equivalente al porcentaje de isooctano (2,2,5-trimetilpentano) en una mezcla de isooctano y *n*-heptano que tenga las mismas propiedades antidetonantes. (Esto es equivalente a asignar un número de octano de 100 al isooctano y de cero al *n*-heptano y suponer linealidad del número de octano al mezclar estos dos.)

Los números de octano se prueban en motores especiales de laboratorio, de un cilindro, con relaciones variables de compresión. El motor se calibra con mezclas cuidadosamente preparadas de isooctano y *n*-heptano y, a continuación, se hacen funcionar con los combustibles que se van a probar. La relación de compresión se incrementa hasta que se presenta el golpeteo. El número de octano que se da es el de la mezcla de prueba que produce golpeteo con la misma relación de compresión. El número de octano que se anuncia en las bombas de gasolina se lista como $(R + M)/2$, con lo que se indica que es el promedio del Research Octane Number (Número de octano de investigación) y el Motor Octane Number (Número de octano del motor). Estos dos valores se refieren a dos conjuntos diferentes de condiciones de operación en los mismos motores básicos de laboratorio.

En Estados Unidos, los combustibles típicos para motores tienen números de octano en el rango de 85-90. Los combustibles para los motores de pistón para aviones tienen números de octano de más de 100; éstos son caros, pero permiten tener una relación de compresión más alta y, de este modo, una mejor economía de combustible y una mayor distancia recorrida. Una parte importante de la refinación del petróleo consiste en modificar la estructura química de los componentes de la gasolina, con el fin de incrementar el número de octano, al cambiar los hidrocarburos de bajo número de octano para convertirlos en hidrocarburos con ese número mayor, principalmente por reforma catalítica, isomerización, alquilación y craqueo catalítico. También se puede mejorar el número de octano con aditivos. El que ha tenido más éxito es el plomo tetraetilo (TEL, *tetraethyl lead*). Cuando se agrega a la gasolina en la relación de hasta 0.1% en peso, puede incrementar el número de octano en hasta 6. Por desgracia, aun cuando el plomo sale de la cámara de combustión como un gas, forma partículas finas al enfriarse. Estas partículas desactivan los catalizadores automotrices de emisiones y aumentan el contenido de plomo de la atmósfera. En los países en desarrollo todavía se usa el TEL pero, en la actualidad, sólo se usa en una fracción muy pequeña de las gasolinas de E.U. La búsqueda continua de otros aditivos que mejoren el número de octano y que sean más eficaces que el TEL, sin sus desventajas, es intensa; la recompensa financiera por encontrar uno sería inmensa.

Durante muchos años se han usado varios combustibles en motores ligeramente modificados de automóviles, por razones de costo y disponibilidad. El gas natural se usa con regularidad en lugares como las estaciones de bombeo de este gas. Cumple con todos los requisitos que antes se mencionaron, excepto el de facilidad de almacenamiento en el vehículo. *Es no es un problema para los motores estacionarios. Se puede utilizar*

otros combustibles gaseosos, por ejemplo, CO o H₂, en motores ligeramente modificados para automóviles, si se puede resolver el problema de contar con un sistema apropiado de almacenamiento. Hasta ahora, el único combustible gaseoso para el que se ha hecho eso comercialmente es el gas natural, el cual se almacena en el vehículo en recipientes a alta presión (2500 psia). Estos recipientes son más grandes que los tanques para gasolina que dan distancias recorridas comparables y no se pueden fabricar con la forma de panqué para facilitar su acomodo debajo del vehículo, como los tanques de gasolina. Las estaciones de servicio que los llenan son más complejas que las gasolineras y el tiempo para surtir el combustible es mayor. Sin embargo, para vehículos de flotas que se abastecen de combustible en una estación y que nunca se trasladan hasta zonas sin estaciones para reabastecerse del gas, son bastante prácticos y, quizá, económicos. (El gas natural suele ser más barato que la gasolina, sobre la base de dólares/Btu y, en muchos estados, en E. U., goza de una tasa de impuesto menor que la gasolina.)

El propano comercial, a veces conocido como LPG (*liquefied petroleum gas*) o “gas licuado del petróleo”, es una mezcla que, típicamente, es propano en más del 90%. Su presión de vapor a 100°F es de alrededor de 200 psig; suele almacenarse y transportarse en tanques a esa presión. Es un combustible perfectamente satisfactorio para los motores de gasolina, muchos de los cuales se equipan con posibilidades de “combustible dual”, lo que les permite cambiar de propano a gasolina, dependiendo de la disponibilidad y el precio de los mismos.

Los dos alcoholes de peso molecular más bajo —metanol, CH₃OH, y etanol, C₂H₅OH— se pueden usar en motores de gasolina con ligeras modificaciones. Por ejemplo, Brasil tiene muy poco petróleo; en ese país se ha perfeccionado un sistema de combustible para automóviles con base de etanol, utilizando este último que se produce por la fermentación del azúcar y otros cultivos propios de la región y reduciendo, de este modo, su problema de balanza comercial.

Todos los combustibles que se analizan en esta sección producen emisiones más bajas de contaminantes del aire, por las razones siguientes:

1. Todos ellos tienen puntos de ebullición más bajos que los componentes de mayor peso molecular de la gasolina, de modo que se convierten con más facilidad al estado por completo gaseoso. Eso conduce a un mezclado mejor y más completo con el aire que el que puede lograrse con la gasolina. Esto fomenta la combustión completa. En algunas circunstancias, existe gasolina líquida en la cámara de combustión de los motores que utilizan este combustible: esta gasolina pasa a las paredes del cilindro y no se quema en la zona de extinción. Con el gas natural y el propano no sucede en lo absoluto la formación de líquido sobre las paredes del cilindro, y ésta es mucho menor con los alcoholes que con la gasolina. Por esta razón, todos estos combustibles producen emisiones más bajas de HC que la gasolina.
2. Todos tienen moléculas más sencillas que la gasolina y, por tanto, requieren menos pasos químicos para quemarse por completo hasta formar CO₂ y agua. Es más probable que se complete la combustión con ellos que con la gasolina, lo que conduce a emisiones más bajas de HC y CO. (Del mismo modo, se forman menos productos de combustión incompleta o de polimerización, o de ambos tipos, de modo que, con estos combustibles, el motor está más limpio, la duración de éste se prolonga y son menos frecuentes los cambios de aceite del motor.)
3. Los alcoholes tienen dentro de su molécula algo del oxígeno que necesitan para la combustión. La presencia de oxígeno orgánico parece fomentar una combustión más completa, lo que da por resultado emisiones más bajas de CO y HC.

Por todas estas razones, el gas natural, el propano, el metanol y el etanol se están promoviendo como "combustibles limpios". Además, todos ellos tienen altos números de octano, de modo que los motores que los usen pueden tener relaciones de compresión más elevadas y una mejor economía de combustible que los motores comunes de gasolina.

La observación de que los combustibles que contienen oxígeno conducen a emisiones más bajas de HC y CO (principalmente emisiones más bajas de CO) ha dado por resultado que en las 1990 Clean Air Amendments se exija que en las regiones con graves problemas de CO en invierno sólo se use gasolina que contenga por lo menos 2.7% en peso de oxígeno, durante los meses de esa estación. Parece que este requisito se satisfará principalmente al mezclar la gasolina con metanol, etanol o éter metil-*terc*-butílico (MTBE, *methyl-tert-butyl ether*), el cual se produce a partir de isobuteno y metanol. Estos tres compuestos químicos mejoran el número de octano del combustible con el que se mezclan.

6.7 Control por computadora

Antes de más o menos 1980, en todos los automóviles se controlaban la A/C, sincronización de la chispa, y razón de EGR con dispositivos mecánicos o neumáticos que detectaban la velocidad del motor, posición de la mariposa del ahogador, vacío del múltiple y diversas temperaturas. A partir de la década de 1980, los fabricantes de automóviles cambiaron al control por computadora, utilizando las mismas clases de *microchips* que se usan en las computadoras personales. Con ellos, los controles pueden reaccionar a los cambios con mayor rapidez que como hacían los dispositivos mecánicos o neumáticos y se pueden utilizar algoritmos más complicados de control. Por ejemplo, la chispa normalmente no se descarga en la parte superior del recorrido del pistón (TDC) sino, más bien, cierto tiempo antes ("avance de la chispa"). El número de grados de avance de la chispa que se requiere está en función de la velocidad del motor y de la carga. Sin embargo, si se incrementa el avance de la chispa, lo cual mejora el rendimiento, también se aumenta la probabilidad de golpeteo. En los automóviles anteriores a las computadoras, el avance de la chispa se controló mecánicamente, con base en mediciones de la velocidad del motor y del vacío en el múltiple de admisión. En la actualidad, en algunos automóviles controlados por computadora viene incluido un medidor de golpeteo (un micrófono que detecta el golpeteo, sujeto al motor), lo que les permite funcionar muy cerca del límite de golpeteo del avance de la chispa y, en consecuencia, mejorar la economía de combustible. Este tipo de control mejorado del motor abre la puerta tanto de la economía mejorada de combustible como del control mejorado de las emisiones.

6.8 Combustión con mezcla pobre

Un grave inconveniente con los catalizadores de tres vías es que requiere operar el motor con $\phi = 1$, o cerca de ésta. Con esto se reduce la economía global de combustible en alrededor del 10%. A principios de la década de 1970, algunos fabricantes de automóviles intentaron resolver sus problemas de emisiones mediante *combustión con mezcla pobre*, es decir, un diseño de motor con base en la operación casi siempre con $\phi = 0.9-0.95$. Esto dio lugar a una buena economía de combustible pero, normalmente, puso los motores cerca del pico de los NO_x de la figura 3, lo que hizo, al final, que esta clase de motor saliera del mercado. Con la llegada de los controles por computadora, se hizo posible hacer funcionar con éxito los motores más cerca de los límites de la combustión estable que con los controles mecánicos anteriores, de modo que se renovó el interés en la combustión con mezcla pobre. La meta es operar con pobreza suficiente como para quedar del lado izquier-

do de la joroba de los NO_x de la figura 3 y, de este modo, reducir la producción de ellos con la suficiencia necesaria como para cumplir con las normas sobre emisiones (con EGR y un catalizador oxidante), al mismo tiempo que se gana la ventaja de economía de combustible al operar con un valor bajo de ϕ . Con fecha de 1995, éste es uno de los temas calientes en la investigación y perfeccionamiento de la ingeniería automotriz, pero no de la producción actual de automóviles.

7.0 ALTERACIÓN DE LOS MOTORES Y PRUEBAS DE EMISIONES

Los fabricantes de automóviles pasan por pruebas rigurosas de certificación de diversas combinaciones de motor y tren de potencia en la instalación de pruebas de la EPA, antes de que esas combinaciones de motor y tren de potencia pasen a la producción en masa. Se exige a los fabricantes demostrar que, en el uso normal, con mantenimiento programado con regularidad, sus motores y trenes de potencia cumplirán con las normas sobre emisiones de la tabla 2, durante cinco años o 50 000 millas.

No todos los usuarios dan mantenimiento a sus vehículos con propiedad. Con muchos de los vehículos de 1970, al quitar los dispositivos de control de emisiones mejoraron la economía de combustible y la "facilidad de conducción". Aun cuando la ley prohíbe esas modificaciones [conocidas como *tampering* (alteración) en la literatura de la EPA], ocurrió mucho ese hecho. Las concentraciones medidas de los contaminantes cerca de carreteras o en túneles mostraron que las emisiones promedios de los automóviles eran apreciablemente mayores que las de los vehículos que habían recibido mantenimiento apropiado y no habían sido alterados. Esta diferencia condujo a las pruebas de emisiones de los automóviles, en las que los estados (en E.U.) exigían que los automóviles se inspeccionaran con regularidad para ver que no habían sido alterados y que sus emisiones eran comparables a las de los automóviles nuevos (para su año de fabricación y modelo).

La duración promedio de un automóvil es de diez años. Por consiguiente, las emisiones promedio de los vehículos siempre serán mayores que las de los vehículos más recientes, a los que se les ha hecho cumplir con las normas recientes.

8.0 EMISIONES DEL ALMACENAMIENTO Y TRANSFERENCIA

Un enfoque de sistemas para el problema del vehículo de motor hace ver que es necesario considerar lo que sucede desde el momento en que el petróleo sale del suelo hasta que se ha quemado todo. Se tienen emisiones en la producción del petróleo, en el transporte y refinación del mismo, en el almacenamiento de la gasolina, en la transferencia de ésta hasta la gasolinería, en la transferencia de esa gasolina al automóvil del cliente y, en seguida, en el uso por parte del automóvil. En el capítulo se analizan algunas de estas emisiones, algunas otras en este capítulo. A medida que se controla alguna de éstas, las restantes se vuelven una parte más grande del problema remanente.

9.0 OTRAS PLANTAS POSIBLES DE POTENCIA

Se han usado o propuesto otros tipos de motor de IC para ser usado en los automóviles. En esta sección se analizan los más sobresalientes de éstos.

9.1 Motores Diesel

En la tabla 5 se muestran las diferencias entre los motores convencional de gasolina y el Diesel. En un motor Diesel, el encendido lo causa no una chispa sino la ignición espontánea del combustible en contacto con el aire caliente en la cámara de combustión. Ese aire está más caliente que el correspondiente en la cámara de combustión del motor de un automóvil debido a la relación de compresión mucho más alta del Diesel (16-20 contra 7-10 del motor de gasolina). Cuando un motor de gasolina se hace funcionar a su temperatura máxima, a veces seguirá funcionando, incluso después de haberlo apagado, como resultado de esta misma clase de ignición. La mayor parte de los motores de automóviles tienen dispositivos "antifuncionamiento Diesel", en sus sistemas de combustible, para impedir esto.

En un automóvil convencional, la velocidad y la potencia del motor se controlan por la posición de la mariposa de estrangulación (o el dispositivo de admisión del aire de los

TABLA 5
Comparación de los motores comunes de gasolina y Diesel

	Motor convencional de automóvil	Motor convencional Diesel
Causa de la ignición	Chispa eléctrica	Ignición espontánea del combustible por el mezclado con aire caliente
Relación de compresión	7-10	16-20
Masa de aire admitida al motor por revolución	Varía, baja en ralentí, alta con la mariposa ampliamente abierta	Prácticamente constante
Relación aire-combustible	Prácticamente constante, cercana a la estequiométrica	Fuertemente variable: muy pobre, excepto con la carga máxima
Medios para controlar la salida de potencia y la velocidad	Restricción del flujo de aire hacia el motor, con la mariposa del carburador o con el dispositivo en la admisión del aire	Variación de la relación aire-combustible al hacer variar la cantidad de combustible por inyección
Colocación de la mezcla aire-combustible	En la cámara completa de combustión, por medio de un carburador o por inyección hacia la válvula de admisión, antes de que esta se abra	En el centro de la cámara de combustión, lejos de las paredes, por inyección hacia el centro de la cámara de combustión
Emissiones no tratadas de CO y HC	Altas	Bajas
Emissiones no tratadas de NO _x	Bajas	Medianas
Otros problemas	—	Partículas (hollín negro), olor, ruido, más difícil de arrancar que el motor de automóvil
Economía de combustible	Buena	La mejor de cualquier tipo de motor de combustión
Costo y peso para una salida dada de potencia	—	Mayores que los de un motor típico de gasolina

motores con inyección de combustible), el cual está directamente eslabonado al acelerador del piso. En ralentí (mariposa cerrada) entra una pequeña cantidad de aire por revolución al motor y, con la mariposa por completo abierta entra una cantidad mucho más grande (la relación para un motor típico entre el flujo máximo y el mínimo de aire es aproximadamente 80:1). Los motores Diesel no tienen ahogador; en ellos se pone prácticamente la misma cantidad de aire por revolución en el motor, en ralentí y a plena potencia. En ellos se controla la velocidad y la potencia del motor al hacer variar la cantidad de combustible en cada inyección: en ralentí, usan muy poco combustible; a plena potencia, mucho más.

Excepto a plena potencia, los motores Diesel funcionan con mezcla muy pobre en forma global. En el centro de la cámara de combustión, en donde se atomiza el combustible, la combustión es rica, pero la llama es pequeña y no llega hasta las paredes enfriadas de la propia cámara. A plena potencia, la llama es mucho más grande y, a menudo, la mezcla global es suficientemente rica como para producir el humo negro que se ve cuando los motores Diesel funcionan a plena potencia (por ejemplo, al arrancar desde la inmovilidad o al subir pendientes).

Los motores Diesel también producen cierta clase de combustión en dos etapas, en la que la mayor parte de la misma se lleva a efecto en el centro rico en combustible de la cámara y, a continuación, la combustión final se realiza en la periferia pobre en combustible. Esto conduce a emisiones más bajas de NO_x , en comparación con la combustión en una sola etapa.

Los motores Diesel tienen una eficiencia térmica más elevada que la de cualquier otro tipo de planta térmica de potencia (con la posible excepción de las plantas de potencia de ciclo combinado turbina de gas y de vapor). Se utilizan en muchos camiones, casi todos los motores de ferrocarril, muchos barcos y algunas plantas pequeñas de generación de energía eléctrica. En algunos automóviles también se usan motores Diesel. Estos son más caros, más pesados, más difíciles de arrancar, más ruidosos y despiden más olores que los motores comparables de gasolina.

9.2 Motores de dos tiempos que queman gasolina

En estos motores se descargan los gases de escape y se introduce el gas de admisión simultáneamente. Sus bujías producen una chispa en cada revolución. No tienen válvulas mecánicas, pero en ellos se usan lumbreras, pasos y compresión del cárter para llevar el gas de admisión hacia el cilindro. Se usan en algunas cortadoras de césped, sierras de cadena, muchas herramientas mecánicas portátiles, algunas motocicletas y en la mayor parte de los botes de motor fuera de borda. Son más sencillos, más baratos, más pequeños y más ligeros para una salida dada de potencia que los motores típicos de automóviles; pero son menos eficientes respecto al combustible y tienen emisiones mucho más altas en el escape. En la actualidad existe un renovado interés en estos motores porque algunos ingenieros creen que, con control por computadora e inyección de combustible, es posible que mejoren su eficiencia respecto al combustible y las emisiones en el escape, conservando al mismo tiempo su tamaño, sencillez, costo y ventaja de peso sobre los motores de cuatro tiempos. *Puede ser el motor del futuro.*

9.3 Motores de turbina de gas

Estos motores realizan su compresión y expansión con compresores y turbinas que giran con rapidez (por ejemplo, 20 000 rpm), en lugar de la disposición de pistón y cilindro de la mayor parte de los motores de IC. Sus quemadores operan en un flujo estable, en lugar de

manera intermitente, como en los otros motores de IC y utilizan grandes cantidades de aire en exceso. Se utilizan en aviones de chorro, helicópteros, instalaciones pequeñas de generación de energía eléctrica y en unos cuantos camiones. Las turbinas tienen menos peso para una salida dada de potencia que un motor típico de automóvil, de modo que son la planta estándar de potencia en los helicópteros y, en forma modificada, en los aviones de chorro. Tienen una economía satisfactoria de combustible a plena carga, pero muy mala economía a carga parcial, y responden con lentitud a los cambios en la posición del ahogador. Estos inconvenientes han frustrado todos los esfuerzos para construir un motor automotriz de turbina de gas que sea competitivo respecto al costo.

9.4 Otras posibilidades

Quizá la mejor solución es abandonar el motor de IC y usar alguna otra planta de potencia. El problema es: ¿cuál otra planta de potencia? La sugerencia más común es el automóvil impulsado por batería. Éste produce emisiones locales despreciables de contaminantes del aire (las emisiones se tienen en la planta generadora que carga las baterías, la cual se puede encontrar en una zona remota, no en el vehículo en el centro de una ciudad). Un automóvil eléctrico también es más silencioso que el impulsado por IC. Por desgracia, no se sabe cómo construir uno con una independencia y facilidad de reabastecimiento de combustible que sea comparable con el motor de IC. Recuérdese que el motor de IC toma su oxidante del aire, típicamente 14 libras de aire por libra de combustible. El automóvil de batería lleva tanto el combustible como el oxidante con él. El peso adicional es una desventaja importante para los automóviles en los que se usan las baterías tradicionales de plomo-ácido. Otros tipos de baterías que usan aire (por ejemplo, la batería de zinc-aire) tienen un peso menor por unidad de energía que el de la batería de plomo-ácido, pero ningún sistema conocido de batería se acerca a la combinación de tanque de gasolina y motor de IC en (potencia · tiempo)/peso. Además, un automóvil típico de gasolina se puede reabastecer de combustible en un minuto; recargar las baterías es mucho más lento.

Los motores de combustión externa como las máquinas de vapor, los motores Stirling, etc., se han propuesto con regularidad para uso automotriz. En virtud de que usan combustores estables, no comprimen los gases de combustión y no necesitan lubricarse ni enfriarse las paredes de la cámara de combustión, pueden operar con emisiones muy bajas (comparables a las de los calentadores de agua y hornos domésticos). No obstante, su peso, costo, tamaño y mala economía de combustible han impedido que compitan en forma exitosa con los motores de IC.

Las celdas de combustible hacen reaccionar éste con oxígeno, sin quemarlo. Tienen una eficiencia térmica más elevada que cualquier motor en el que se quema el combustible. Hasta la fecha, sólo son prácticas con el hidrógeno como combustible, lo cual resulta satisfactorio para los viajes espaciales, pero no para los automóviles. Se están realizando serios esfuerzos para perfeccionar una planta de potencia automotriz de celda de combustible.

Las reglamentaciones de California exigen que, para 1998, el 2% de los vehículos de motor vendidos por cualquier fabricante en Los Ángeles deben ser de emisiones cero y, para el año 2003, el 10% deben ser de este tipo. La mayor parte de los fabricantes planean satisfacer este requisito con automóviles impulsados por baterías, con independencia suficiente de conducción entre recargas para ir de un lado a otro, pero no para viajes largos. El mundo está esperando la invención de un sustituto adecuado para el motor de IC accionado por gasolina.

REDUCCIÓN DE NUESTRA DEPENDENCIA DE LOS VEHÍCULOS DE MOTOR

Las emisiones totales diarias provenientes de los automóviles en una zona metropolitana son

$$\text{Emisiones diarias} = \left(\frac{\text{vehículo - millas conducidas}}{\text{día}} \right) \left(\frac{\text{emisiones}}{\text{vehículo - milla}} \right) \quad (18)$$

Las partes previas de este capítulo se han referido al segundo término de la derecha. En algún punto se vuelve más fácil y más eficaz respecto al costo trabajar sobre el primer término. Los Ángeles, que tiene los problemas más graves de contaminación del aire relacionada con los automóviles en Estados Unidos, ha forzado a los empresarios a reducir este factor respecto a sus empleados haciendo obligatorio el uso en grupos del automóvil, la utilización de camionetas para varios pasajeros y cualesquiera otras medidas que puedan tomar. La mayor parte de la gente está perfectamente dispuesta a que otros pierdan algo de comodidad y conveniencia al compartir los viajes y usar el transporte público (o que caminen, usen bicicletas o patinetas). Tomar la decisión de perder la propia comodidad y conveniencia es menos popular. En el futuro es posible que deba hacerse.

RESUMEN

1. Las fuentes de transporte colaboran con más de la mitad del CO y más de la tercera parte de los HC y NO, emitidos en Estados Unidos. Aunque cualquier vehículo emite poco, los 170 millones de ellos que existen en Estados Unidos emiten bastante en conjunto como para causar graves problemas de contaminación del aire.
2. Casi todos los automóviles y camiones ligeros usan motores de gasolina de cuatro tiempos. Éstos producen emisiones de HC y CO al operar en ocasiones en un modo deficiente en oxígeno, por la combustión incompleta causada por la extinción de la llama en las paredes de la cámara de combustión y por la combustión incompleta debida a limitaciones cinéticas en el gas que se enfría. Producen NO principalmente por el mecanismo térmico.
3. En la mayor parte de los automóviles modernos en E.U. se usan catalizadores de tres vías con controles por computadora para cumplir con sus normas sobre emisiones y por necesidades de economía de combustible y rendimiento.
4. La mayor parte de los automóviles de E.U. tienen cero emisiones del cárter. Sus emisiones evaporativas son mucho menores que las de los automóviles de 1960, pero no cero.
5. Los requisitos futuros sobre emisiones pueden hacer que alguna otra planta de potencia desafíe al motor de gasolina de cuatro tiempos. Durante los 100 años anterior este motor ha salido triunfador de todos esos desafíos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Monaghan, M. L.: "Introduction", en C. Arcoumanis (ed.), *Internal Combustion Engines*, Academic Press, London, p. 6, 1988.
2. *Statistical Abstract of the United States 1991*, 111a. ed. U.S. Department of Commerce, Bureau of the Census, Washington, DC, 1991.
3. Chambers, L. A.: "Classification and Extent of Air Pollution Problems", en A. C. Stern (ed.), *Air Pollution*, Vol. 1, 3a. ed., Academic Press, New York, p. 11, 1976.
4. "Clean Air Amendments of 1990", PL 101-549, Sections 203, "Emission Standards for Conventional Motor Vehicles", y 243. "Standards for Light-Duty Clean Fuel Vehicles".
5. "Supplement A to Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume II. Mobile Sources", U.S. Environmental Protection Agency Report AP-42 Supplement A, A-2, U.S. EPA, Ann Arbor, MI, enero de 1991.
6. Klein, M., "The Diesel Revolution". *American Heritage of Invention and Technology*, Vol. 6, número 3, pp. 16-22, 1991.
7. Arcoumanis, C., ed.: *Internal Combustion Engines*. Academic Press, London, 1988.
8. Taylor, C. F., *The Internal-Combustion Engine in Theory and Practice*, Vol. I, rev. ed., The MIT Press, Cambridge, MA, p. 56, 1985.
9. Campbell, I. M. *Energy and the Atmosphere*, 2a. ed., John Wiley & Sons, New York, p. 70, 1986.
10. Ramos, J. I., *Internal Combustion Engine Modeling*, Hemisphere, New York, p. 290, 1989.
11. Annand, W. J. D.: "Gasoline Engines", en C. Arcoumanis (ed.), *Internal Combustion Engines*, Academic Press, London, p. 69, 1988.
12. Taylor, C. F. op. cit., Vol. I, rev. ed., p. 512.
13. Patterson, D. J. y N. A. Henein: *Emissions from Combustion Engines and Their Control*, Ann Arbor Science, Ann Arbor, MI, p. 197, 1972.
14. Patterson, D. J. y N. A. Henein: op. cit., p. 181.
15. "Clean Air Amendments of 1990", PL 101-549, Section 202(a)(6). "Control of Vehicle Refueling Emissions".
16. Morgan, C. R. y S. S. Hetrick: "The Effects of Engine Variables and Exhaust Gas Recirculation on Emissions, Fuel Economy and Knock—Part II", *Trans. Soc. Automotive Engineers*, Vol. 85, pp. 893-900, 1976.
17. Thomas, A.: "Automotive Fuels", en C. Arcoumanis (ed.), *Internal Combustion Engines*, Academic Press, London, p. 228, 1988.
18. "Clean Air Amendments of 1990", PL 101-549, Section 219. "Reformulated Gasoline and Oxygenated Gasoline".
19. Patterson, D. J. y N. A. Henein: op. cit., p. 99.
20. Taylor, C. F. op. cit., p. 158.
21. Lavoie, G. A., J. B. Heywood y J. C. Keck. "Experimental and Theoretical Study of Nitric Oxide Formation in Internal Combustion Engines", MIT Fluid Mechanics Laboratory, Publication No. 69-10, Cambridge, MA, 1969.

UNIDADES Y VALORES COMUNES PARA LOS PROBLEMAS Y EJEMPLOS

Para todos los problemas y ejemplos de este libro, a menos que se diga explícitamente lo contrario supóngase lo siguiente:

La aceleración de la gravedad es $g = 32.17 \text{ ft/s}^2 = 9.81 \text{ m/s}^2$.

La presión atmosférica circundante es la "presión atmosférica estándar", $P_{\text{alrededores}} = P_{\text{atmosférica}} = 1 \text{ atm} = 14.696 (\approx 14.7) \text{ lbf/in}^2 = 33.89 \text{ ft de agua} = 10.33 \text{ m de agua} = 29.92 \text{ pulgadas de mercurio} = 760 \text{ mm de mercurio} = 760 \text{ torr} = 101.3 \text{ kilopascal} = 1.013 \text{ bar} = 1.033 \text{ kgf/cm}^2$.

Si el fluido del problema o ejemplo es agua, entonces se trata de agua a una presión de 1 atm y $20^\circ\text{C} = 68^\circ\text{F}$, para la cual

$$\rho = 62.3 \text{ lbf/ft}^3 = 998.2 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 1.002 \text{ centipoise} = 1.002 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s} = 1.002 \times 10^{-3} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$$

$$= 6.73 \times 10^{-4} \text{ lbf/ft} \cdot \text{s} = 2.09 \times 10^{-5} \text{ lbf} \cdot \text{s/ft}^2$$

$$\nu = \mu/\rho = 1.004 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} = 1.004 \text{ centistoke} = 1.077 \times 10^{-5} \text{ ft}^2/\text{s}$$

Si el fluido del problema o ejemplo es aire, entonces se trata de aire a una presión de 1 atm y $20^\circ\text{C} = 68^\circ\text{F} = 528^\circ\text{R}$, para el cual

$$\rho = 0.075 \text{ lbf/ft}^3 = 1.20 \text{ kg/m}^3 = 2.59 \times 10^{-3} \text{ lb mol/ft}^3 = 41.6 \text{ mol/m}^3$$

$$\mu = 0.018 \text{ centipoise} = 1.8 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s} = 1.8 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$$

$$\nu = \mu/\rho = 1.613 \times 10^{-4} \text{ ft}^2/\text{s} = 1.488 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$C_p = 3.5R = 6.95 \text{ Btu/lb mol} \cdot ^\circ\text{R} = 6.95 \text{ cal/mol} \cdot \text{K}$$

Cualquier gas no especificado se supondrá que tiene las propiedades del aire a 1 atm y 20°C , antes dadas.

Cualquier partícula no especificada se supondrá que tiene una gravedad específica de 2.00 y, por consiguiente, una densidad de $2000 \text{ kg/m}^3 = 124.8 \text{ lbf/ft}^3$.

Se supone que el aire es un gas perfecto con $M = 28.964 \approx 29 \text{ g/mol}$, con una composición química, en términos de base seca, expresada como fracción molar, de 78.08% de N_2 , 20.95% de O_2 , 0.93% de Ar, 0.03% de CO_2 , todos los demás en menos de 0.01%. Debido a que el argón se comporta en la mayor parte de las situaciones, por ejemplo, en la combustión, de la misma manera que el nitrógeno, normalmente se simplifica y redondea la composición a 79% de N_2 , 21% de O_2 . Aun cuando los valores

normalmente se dan respecto a una base seca, a menudo resulta importante conocer el contenido de agua de la atmósfera. A 20°C y con una humedad relativa del 50%, el agua es 0.0116 mol de agua/mol de aire = 0.0072 lb de agua/lb de aire.

En la literatura sobre la contaminación del aire y de otro tipo, "condiciones estándar" casi siempre significa 1 atmósfera, pero se usan diversas temperaturas, siendo las más comunes 0°C, 20°C y 25°C. En este libro, se supone 20°C. Para conveniencia del lector, a continuación se hace una comparación de algunas propiedades del aire a diversas temperaturas "estándar":

Temperatura, °C	Viscosidad del aire, centipoise	Densidad del aire, kg/m ³	Volumen molar, ft ³ /lb mol	Volumen molar, litros/mol	Densidad molar, mol/cm ³
0	0.0172	1.292	359.02	22.415	4.46 × 10 ⁻⁵
20	0.0182	1.204	385.30	24.056	4.16 × 10 ⁻⁵
25	0.0185	1.184	391.88	24.466	4.08 × 10 ⁻⁵

Para cualquier gas perfecto, el volumen por mol se expresa por $V = RT/P$. En cualquier parte que aparezca R en este libro, es la constante universal de los gases (véase el apéndice A). Para los gases reales de interés para la contaminación del aire, a 1 atm de presión ésta es una aproximación excelente. En la tabla anterior, se muestran los valores correspondientes para una atmósfera.

Los pesos moleculares de los gases de interés para la contaminación del aire son los siguientes: N₂—28; O₂—32; O₃—48; CO—28; CO₂—44; NO—30; NO₂—46; SO₂—64; SO₃—80; benceno (C₆H₆)—78; vapor de gasolina típica—alrededor de 100, si está toda vaporizada, alrededor de 65 para el espacio superior de un tanque que contiene gasolina líquida (véase el capítulo 10).

Los carbones minerales son enormemente variables. Los contenidos de azufre varían desde alrededor de 0.4% hasta 4%. Para simplificar los cálculos y los ejemplos, a menos que se exprese lo contrario, se supondrá que los carbones en los ejemplos y problemas de este libro son un "carbón de veta típica de Pittsburgh", el cual tiene el último análisis siguiente, en peso: carbono, 75.8%; hidrógeno, 5.0%; oxígeno, 7.4%; nitrógeno, 1.5%; azufre, 1.6%; ceniza, 8.7%; valor calorífico, 13 600 Btu/lbm (seco). Véase el apéndice C en relación con más detalles acerca de la amplia variedad de carbones minerales.

**Normas Oficiales Mexicanas
para la Protección Ambiental**

**Para Control de la Contaminación Atmosférica
(Vehículos)**

**Norma Oficial Mexicana
NOM-041-ECOL-1999**

**Que establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes
provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan
gasolina como combustible.**

(Publicada en el D.O.F. de fecha 6 de agosto de 1999)

JULIA CARABIAS LILLO, Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, con fundamento en los artículos 32 Bis fracciones I, II, IV y V de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 5o fracciones V, y XIX, 6o, 7o fracciones III y XIII, 8o fracciones III y XII, 9o, 36, 37 Bis, 111 fracción IX, 112, fracciones V, VII, X y XII, 113, 160 y 171 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 7o fracciones II y IV, 46 y 49 de su Reglamento en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera; 38 fracción II, 40 fracción X, 41, 45, 46 y 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, y

C O N S I D E R A N D O

Que en cumplimiento a lo dispuesto en la fracción I del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización el 8 de marzo de 1999, se publicó en el Diario Oficial de la Federación con carácter de Proyecto la presente Norma Oficial Mexicana NOM-041-ECOL-1999, que establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible, con el fin de que los interesados en un plazo de 60 días naturales, presentaran sus comentarios al Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, sito en Avenida Revolución 1425, Mezzanine planta alta, Colonia Tlacopac San Ángel, C.P. 01040, Delegación Álvaro Obregón, de esta Ciudad.

Que durante el plazo a que se refiere el considerando anterior, la Manifestación de Impacto Regulatorio que se realizó al efecto en términos del artículo 45 del ordenamiento legal antes citado, estuvo a disposición del público para su consulta en el domicilio del citado Comité.

Que de acuerdo con lo que disponen las fracciones II y III del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, los comentarios presentados por los interesados al citado proyecto fueron analizados en el seno del mencionado Comité, realizándose las modificaciones procedentes; las respuestas a los comentarios de referencia, así como las modificaciones, fueron publicadas en el Diario Oficial de la Federación de fecha 23 de junio de 1999.

Que habiéndose cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, para la elaboración de Normas Oficiales Mexicanas, el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, en sesión de fecha 28 de mayo de 1999, aprobó la presente Norma Oficial Mexicana NOM-041-ECOL-1999, que establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible, misma que deja sin efectos a su similar NOM-041-ECOL-1996, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 25 de febrero de 1997, por lo que he tenido a bien expedir la siguiente

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-041-ECOL-1999, QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN DE GASES CONTAMINANTES PROVENIENTES DEL ESCAPE DE LOS VEHÍCULOS AUTOMOTORES EN CIRCULACIÓN QUE USAN GASOLINA COMO COMBUSTIBLE.

ÍNDICE

- ① Objetivo y campo de aplicación
- ① Referencias
- ① Definiciones
- ① Especificaciones
- ① Grado de concordancia con normas y lineamientos internacionales y con las Normas Mexicanas tomadas como base para su elaboración
- ① Bibliografía
- ① Observancia de esta Norma

1. Objetivo y campo de aplicación

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos, monóxido de carbono, oxígeno; nivel mínimo y máximo de dilución, medición de óxidos de nitrógeno, y es de observancia obligatoria para los responsables de los vehículos automotores que circulan en el país, que usan gasolina como combustible, así como para los responsables de los centros de verificación autorizados, a excepción de vehículos con peso bruto vehicular menor de 400 kilogramos, motocicletas, tractores agrícolas, maquinaria dedicada a las industrias de la construcción y minera.

[Índice](#) [Inicio](#) [Siguiente](#)

2. Referencias

Norma Mexicana NMX-AA-23-1986, Protección al Ambiente-Contaminación Atmosférica Terminología, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 15 de julio de 1986.

Norma Oficial Mexicana NOM-047-ECOL-1993, que establece las características del equipo y el procedimiento de medición para la verificación de los límites de emisión de contaminantes, provenientes de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 22 de octubre de 1993. Esta Norma contiene la nomenclatura en términos del Acuerdo Secretarial por el cual se actualizan 58 Normas Oficiales Mexicanas, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 29 de noviembre de 1994.

[Índice](#) [Inicio](#) [Anterior](#) [Siguiente](#)

3. Definiciones

3.1 Año modelo

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

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

3.2.1 Vehículo de pasajeros (VP)

Automóvil, o su derivado, excepto el vehículo de uso múltiple o utilitario y remolque, diseñado para el transporte de hasta 10 personas.

3.2.2 Camiones ligeros (CL1)

Camiones ligeros (grupo 1) cuyo peso bruto vehicular es de hasta 2,722 kg. y con peso de prueba (PP) de hasta 1,701 kg.

3.2.3 Camiones ligeros (CL2)

Camiones ligeros (grupo 2) cuyo peso bruto vehicular es de hasta 2,722 kg y con peso de prueba (PP) mayor de 1,701 y hasta 2,608 kg.

3.2.4 Camiones ligeros (CL3)

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

3.2.5 Camiones ligeros (CL4)

Camiones ligeros (grupo 4) cuyo peso bruto vehicular es mayor de 2,722 y hasta 3,856 kg y con peso de prueba (PP1) mayor de 2,608 y hasta 3,856 kg.

3.2.6 Camión mediano

El vehículo automotor cuyo peso bruto vehicular es mayor de 3,856 y hasta 8,864 kg.

3.2.7 Camión pesado

El vehículo automotor con peso bruto vehicular de más de 8,864 kg.

3.2.8 Vehículo automotor

El vehículo de transporte terrestre de carga o de pasajeros que se utiliza en la vía pública, propulsado por su propia fuente motriz.

3.2.9 Vehículo de uso múltiple o utilitario

Vehículo automotor diseñado para el transporte de personas y/o productos, con o sin chasis o con equipo especial para operar ocasionalmente fuera del camino. Para efectos de prueba se clasificarán igual que los camiones ligeros.

3.2.10 Vehículo en circulación

El vehículo automotor que transita por la vía pública.

3.3 Centro de verificación

Las instalaciones o local establecido por las autoridades competentes o autorizado por éstas, en el que se lleve a cabo la medición de las emisiones contaminantes provenientes de los vehículos automotores en circulación.

3.4 Gases, los que se enumeran a continuación:

3.4.1 Hidrocarburos totales (HC).

3.4.2 Monóxido de Carbono (CO).

3.4.3 Oxígeno (O₂).

3.4.4 Bióxido de carbono (CO₂).

3.4.5 Oxidos de nitrógeno (Nox).

3.5 Motor

El conjunto de componentes mecánicos que transforma el combustible en energía cinética para autopropulsar un vehículo automotor, que se identifica entre otros, por su disposición y distancia entre los centros de los cilindros, tipo de combustible, así como por el número de pistones y volumen de desplazamiento.

3.6 Peso bruto vehicular (PBV)

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

3.7 Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM)

El área integrada por las 16 Delegaciones del Distrito Federal y los siguientes 18 municipios del Estado de México: Atizapán de Zaragoza, Coacalco, Cuautitlán Izcalli, Cuautitlán de Romero Rubio, Chalco de Covarrubias, Chimalhuacán, Ecatepec de Morelos, Huixquilucan, Ixtapaluca, La Paz, Naucalpan de Juárez, Nezahualcoyotl, San Vicente Chicoloapan, Nicolás Romero, Tecámac, Tlanepantla de Baz, Tultitlán y Valle de Chalco Solidaridad.

[Índice](#) [Inicio](#) [Anterior](#) [Siguiete](#)

4. Especificaciones

4.1 Especificaciones de los límites máximos permisibles de emisiones provenientes del escape de vehículos en circulación en el país, que usan gasolina como combustible a excepción de lo establecido en el punto número 4.2 de esta Norma Oficial Mexicana.

4.1.1 Los límites máximos permisibles de emisión de gases provenientes del escape de los vehículos de pasajeros en circulación en función del año-modelo son los establecidos en la Tabla 1 de esta Norma Oficial Mexicana.

TABLA 1

Año-Modelo del Vehículo	Hidrocarburos	Monóxido de Carbono	Oxígeno (Máx.)*	Dilución	
				Min.	Máx.
	(HC) (ppm)	(CO) (% Vol.)	(O ₂) (% Vol.)	(CO + CO ₂) (% Vol.)	
1986 y anteriores	500	4.0	6.0	7.0	18.0
1987-1993	400	3.0	6.0	7.0	18.0
1994 y posteriores	200	2.0	6.0	7.0	18.0

* Los vehículos de cualquier año-modelo que cuenten con bomba de aire como equipo original, tienen un límite máximo en oxígeno de 15 % en volumen.

4.1.2 Los límites máximos permisibles de emisión de gases por el escape de los vehículos de usos múltiples o utilitarios, camiones ligeros CL.1, CL.2, CL.3 y CL.4 camiones medianos y camiones pesados en circulación en función del año-modelo, son los establecidos en la Tabla 2 de esta Norma Oficial Mexicana.

TABLA 2

Año-Modelo del Vehículo	Hidrocarburos	Monóxido de Carbono	Oxígeno (Máx.)*	Dilución	
				Mín.	Máx.
	(HC) (ppm)	(CO) (% Vol.)	(O ₂) (% Vol.)	(CO + CO ₂) (% Vol.)	
1985 y anteriores	600	5.0	6.0	7.0	18.0
1986-1991	500	4.0	6.0	7.0	18.0
1992-1993	400	3.0	6.0	7.0	18.0
1994 y posteriores	200	2.0	6.0	7.0	18.0

* Los vehículos de cualquier año-modelo que cuenten con bomba de aire como equipo original, tienen un límite máximo en oxígeno de 15 % en volumen

4.2 Especificaciones de los límites máximos permisibles de emisiones provenientes del escape de vehículos en circulación en la Zona Metropolitana del Valle de México.

4.2.1 Los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos, monóxido de carbono, oxígeno y límites mínimos y máximos de dilución provenientes del escape de los vehículos de pasajeros en circulación que usan gasolina como combustible, en función del año-modelo, son los establecidos en la Tabla 3 de esta Norma Oficial Mexicana.

TABLA 3

Año-Modelo del Vehículo	Hidrocarburos	Monóxido de Carbono	Oxígeno (Máx.)*	Dilución	
				Mín	Máx.
	(HC) (ppm)	(CO) (% Vol.)	(O ₂) (% Vol.)	(CO + CO ₂) (% Vol.)	
1990 y Anteriores	300	3.0	6.0	7.0	18.0
1991 y posteriores	200	2.0	6.0	7.0	18.0

* Los vehículos de cualquier año-modelo que cuenten con bomba de aire como equipo original, tienen un límite máximo en oxígeno de 15 % en volumen.

4.2.2 Los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos, monóxido de carbono, oxígeno y límites mínimos y máximos de dilución provenientes del escape de los vehículos de pasajeros, camiones ligeros CL1, CL2, CL3 y CL4, vehículos de usos múltiples o utilitarios, camiones medianos y camiones pesados en circulación que usan gasolina como combustible independientemente de su año-modelo, utilizados como taxis, colectivos, microbuses y todo tipo de transporte público de pasajeros, con placas local, federal y/o metropolitana, son los establecidos en la Tabla 4 de esta Norma Oficial Mexicana.

TABLA 4

Tipo de Vehículo	Hidrocarburos	Monóxido de Carbono	Oxígeno * (Máx.)	Dilución	
				Mín.	Máx.
	(HC) (ppm)	(CO) (% Vol.)	(O ₂) (% Vol.)	(CO + CO ₂) (% Vol.)	
Taxis, Colectivos, Microbuses y todo tipo de transporte público de pasajeros	100	1.0	6.0	7.0	18.0

* Los vehículos de cualquier año-modelo que cuenten con bomba de aire como equipo original, tienen un límite máximo en oxígeno de 15 % en volumen.

4.2.3 Los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos, monóxido de carbono, oxígeno y límites mínimos y máximos de dilución provenientes del escape de los vehículos de usos múltiples o utilitarios, camiones ligeros CL.1, CL.2, CL.3 y CL.4, camiones medianos y camiones pesados en circulación que usan gasolina como combustible, en función del año-modelo, con placa local y/o federal, exceptuando los

contemplados en el punto 4.2.2, antes referido, son los establecidos en la Tabla 5 de esta Norma Oficial Mexicana.

T A B L A 5

Año-Modelo del Vehículo	Hidrocarburos	Monóxido de Carbono	Oxígeno (Máx.)	Dilución	
				Min.	Máx.
	(HC) (ppm)	(CO) (% Vol.)	(O ₂) (% Vol.)	(CO + CO ₂) (% Vol.)	
1993 y Anteriores	350	3.0	6.0	7.0	18.0
1994 y Posteriores	200	2.0	6.0	7.0	18.0

* Los vehículos de cualquier año-modelo que cuenten con bomba de aire como equipo original, tienen un límite máximo en oxígeno de 15 % en volumen.

4.3 Los Gobiernos de los Estados, en coordinación con los Municipios y de conformidad con las disposiciones legales aplicables, cuando lo consideren necesario podrán aplicar los límites máximos permisibles de emisiones establecidos en las Tablas 3, 4 y 5 de esta Norma Oficial Mexicana.

4.4 Los vehículos año-modelo 1999 y 2000 que cumplan con los límites máximos permisibles de emisiones en planta establecidos en la Tabla 3 de la Norma Oficial Mexicana NOM-042-ECOL-1999 vigente, podrán quedar exentos de la verificación vehicular obligatoria por un periodo hasta de dos años posteriores a partir de su adquisición, y de acuerdo a lo establecido en las disposiciones expedidas por las autoridades federales y locales competentes. A partir del año-modelo 2001 los vehículos podrán obtener este u otros beneficios acordados por las citadas autoridades.

4.5 Procedimiento de prueba

4.5.1 El procedimiento de prueba para medir las emisiones provenientes del tubo de escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible, es el establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-047-ECOL-1993, referida en el punto 2 de esta Norma Oficial Mexicana.

4.5.2 En la Zona Metropolitana del Valle de México para los efectos de cuantificación de las emisiones se debe utilizar el procedimiento de prueba dinámica referida en la Norma Oficial

Mexicana citada en el punto anterior, exceptuando los vehículos que sean definidos por sus fabricantes como inoperables en dinamómetro. Adicionalmente y sólo como referencia se deben medir los óxidos de nitrógeno.

4.5.3 Se considera que un vehículo pasa la prueba cuando cumplió con la revisión previa (inspección visual) y la prueba de humo, y ninguno de los valores registrados en las lecturas de las pruebas en marcha lenta (Ralenti) y en marcha en cruceo rebasan los límites establecidos en esta Norma Oficial Mexicana.

[Índice](#) [Inicio](#) [Anterior](#) [Siguiente](#)

5. Grado de concordancia con normas y lineamientos internacionales y con las normas mexicanas tomadas como base para su elaboración

5.1 No hay normas equivalentes, las disposiciones de carácter interno que existen en otros países no reúnen los elementos y preceptos de orden técnico y jurídico que en esta Norma Oficial Mexicana se integran y complementan de manera coherente con base en los fundamentos técnicos y científicos reconocidos internacionalmente. Tampoco existen normas mexicanas que hayan servido de base para su elaboración.

6. Bibliografía

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

6.2 Código de Reglamentos de California, Estados Unidos de América, (Título 16, Cap. 33).

7. Observancia de esta norma

7.1 La vigilancia del cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca por conducto de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, los Gobiernos del Distrito Federal, de los Estados y, en su caso, de los Municipios, en el ámbito de sus respectivas atribuciones.

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

7.3 La presente Norma Oficial Mexicana, debe colocarse en un lugar visible en los centros de verificación autorizados.

7.4 La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor a los 60 días siguientes de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

7.5 La presente Norma Oficial Mexicana cancela la Norma Oficial Mexicana de Emergencia NOM-EM-127-ECOL-1998, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de diciembre de 1998 y su aviso de próroga, asimismo abroga a la NOM-041-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible, publicada en el citado órgano informativo el 25 de febrero de 1997.



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**

"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001

CURSOS INSTITUCIONALES

TALLER DE MECÁNICA AUTOMOTRÍZ

Del 04 al 29 de Junio de 2001

ANEXOS

Ing. Justo Gutiérrez Moyado
Delegación Álvaro Obregón
junio /2001

COMISION AMBIENTAL METROPOLITANA

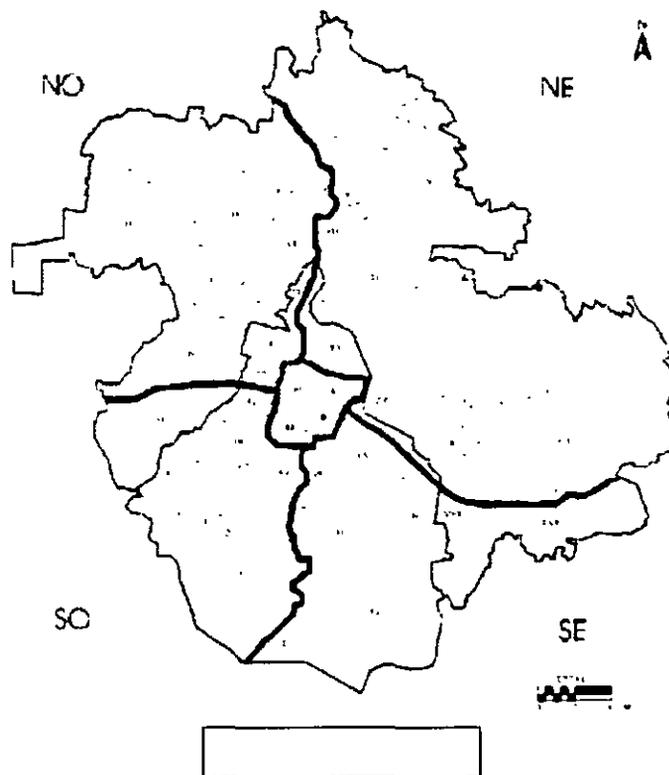
Antecedentes

- El 8 de enero de 1992 se publicó en el Diario oficial de la Federación el Acuerdo Presidencial que creó a la Comisión para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en la Zona Metropolitana del Valle de México.
- El 22 de agosto de 1996, se publicó en el Diario Oficial de la Federación el Decreto por el que se reformó el artículo 122 Constitucional que establece que para la eficaz coordinación de las distintas jurisdicciones locales y municipales entre sí y de éstas con la Federación y el Distrito Federal, en la planeación y ejecución de acciones en las zonas conurbadas limítrofes con el Distrito Federal, se podrán suscribir convenios para la creación de comisiones metropolitanas en las que concurren y participen con apego a sus leyes.
- El 12 de septiembre de 1996, se publicó en el Diario Oficial de la Federación, el Acuerdo del Presidente de los Estados Unidos Mexicanos, por el que se abrogó el Acuerdo por el que se creó la Comisión para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en la Zona Metropolitana del Valle de México.
- El 17 de septiembre de 1996, se publicó en el Diario Oficial de la Federación, el Acuerdo por el que se creó la Comisión Ambiental Metropolitana.
- El 30 de junio de 1996, se publicó en la Gaceta Oficial del Distrito Federal, el Reglamento Interno de la Comisión Ambiental Metropolitana.

Objetivo

Definir, coordinar y dar seguimiento, en forma concurrente a las políticas, programas, proyectos y acciones en materia de protección al ambiente, y de preservación y restauración del equilibrio ecológico en el territorio del Distrito Federal y su zona conurbana, (Figura 1).

Figura 1. Zona Metropolitana del Valle de México.



Distrito Federal		Estado de México	
01 Azcapotzalco	09 Coyoacán	I Atizapán de Zaragoza	X Chimalhuacán
02 M.Hidalgo	10 Cuajimalpa	II Cuautitlán	XI Ecatepec
03 G. A. Madero	11 Magdalena C.	III Cuautitlán Izcalli	XII Ixtapaluca
04 B.Juárez	12 Tlalpan	IV Naucalpan	XIII La Paz
05 Cuauhtémoc	13 Iztapalapa	V Nicolás Romero	XIV Nezahualcóyotl
06 Iztacalco	14 Milpa Alta	VI Tlalnepantla	XV Tecámac
07 V. Carranza	15 Tláhuac	VII Tultitlán	XVI Huixquilucan
08 A.Obregón	16 Xochimilco	VIII Coacalco de B.	XVII Chalco
		IX Chicoloapan	XVIII Valle de Chalco S.

La Comisión se integra por:

Miembros de carácter permanente, que son: el Secretario de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca; el Jefe de Gobierno del Distrito Federal y el Gobernador del Estado de México.

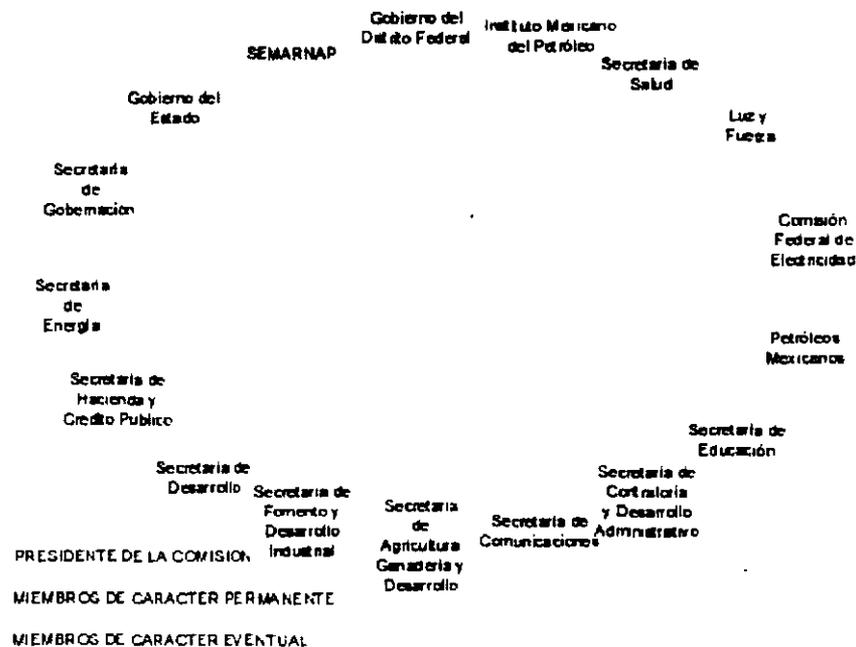
Miembros de carácter eventual, que son: El Secretario de Gobernación, el Secretario de Hacienda y Crédito Público, el Secretario de Desarrollo Social, el Secretaria de Energía, el Secretario de Comercio y Fomento Industrial, el Secretario de Agricultura, Ganadería y

Desarrollo Rural, el Secretario de Comunicaciones y Transportes, el Secretario de Contraloría y Desarrollo Administrativo, el Secretario de Educación Pública, el Secretario de Salud, el Director General de Petróleos Mexicanos, el Director General de Pemex –Refinación, el Director General de Pemex-Gas y Petroquímica Básica, el Director General de la Comisión Federal de Electricidad, el Director General de Luz y Fuerza del Centro y el Director General del Instituto Mexicano del Petróleo.

Para el desarrollo y cumplimiento de sus funciones, la Comisión cuenta con los siguientes órganos:

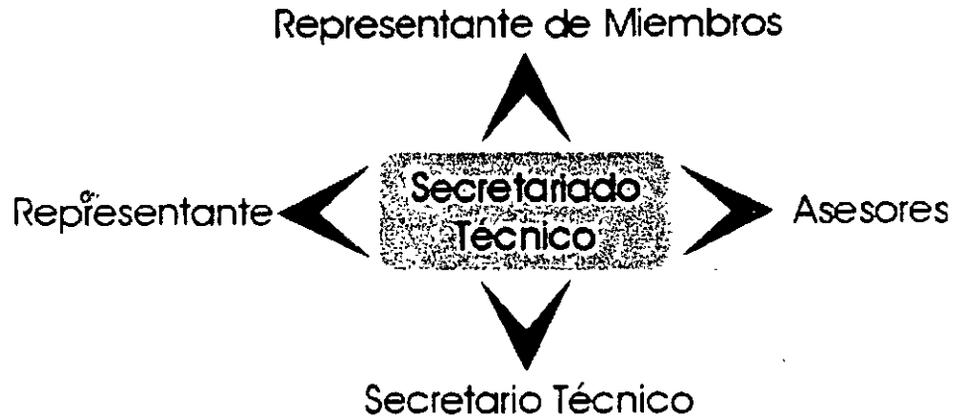
El pleno que se encuentra integrado por los miembros permanentes y eventuales de la Comisión.

El Presidente de la Comisión será de manera alternada cada dos años el Jefe de Gobierno del Distrito Federal y el Gobernador del Estado de México. El presidente de la Comisión preside las sesiones del pleno, designa o ratifica al titular del Secretario Técnico y asigna funciones complementarias al Secretariado Técnico y Grupos de Trabajo de la Comisión.



Secretariado Técnico que es el órgano encargado de preparar, coordinar, dar seguimiento, evaluar y someter a la consideración del Pleno los proyectos y trabajos relativos a la Comisión. El Secretariado Técnico se encuentra conformado por un titular, un representante de cada uno de los miembros permanentes de la Comisión, así como de la

Secretaría de Salud, y los asesores, especialistas y personal de apoyo que acuerde el Pleno.



Secretario Técnico quien es designado o ratificado, según el caso, por el Presidente en turno de la Comisión y cuyas funciones son:

- Elaborar y someter a la consideración de la Comisión el programa anual de trabajo.
- Proponer programas y proyectos.
- Dar seguimiento a los acuerdos adoptados.
- Coordinar actividades para el desarrollo de grupos de trabajo.
- Convocar a las reuniones de la Comisión

Consejo Consultivo formado por representantes de la comunidad científica, especialistas de reconocido prestigio en materia ecológica y miembros de los sectores social, privado, así como representantes de las Cámaras de Diputados y de Senadores del Congreso de la Unión, Asamblea de Representantes del Distrito Federal y Legislatura del Estado de México.

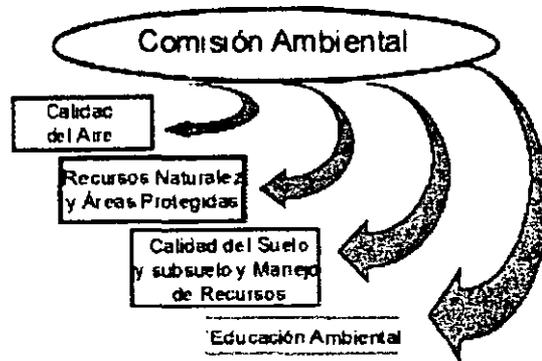
La función del Consejo Consultivo es el opinar y formular propuestas respecto de las políticas, programas, proyectos y acciones ambientales, así como de los resultados del funcionamiento y cumplimiento de los acuerdos de la Comisión, a fin de coadyuvar a la toma de decisiones por parte del Pleno de ésta.

Actualmente, los miembros del Consejo consultivo llevan a cabo la revisión y modificación del Reglamento Interno de la Comisión Ambiental Metropolitana.

Grupos de Trabajo que son aquellos que la Comisión acuerde crear con carácter permanente o transitorio para el seguimiento, análisis y evaluación de las políticas, proyectos, programas, acuerdos y acciones determinados por la Comisión.

A la fecha existen en la Comisión Ambiental Metropolitana tres grupos de trabajo para los temas de aire, recursos naturales y suelo.

A continuación se describen algunas de las acciones más importantes realizadas por los diferentes grupos de trabajo:



Grupo de aire

- Elaboración y seguimiento del Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México. Este programa está integrado por cuatro grandes metas, que son:

I. Industria Limpia: Reducción de emisiones por unidad de valor agregado

II. Vehículos Limpios: Disminución de emisiones por kilómetro recorrido

III. Nuevo Orden Urbano y Transporte Limpio: Regulación de total de kilómetros recorridos por los vehículos automotores

IV. Recuperación Ecológica: Abatimiento de la erosión.

Las estrategias que permitirán avanzar en el logro de cada una de estas metas comprenden mejorar e incorporar nuevas tecnologías y combustibles para la industria, servicios y vehículos automotores; integrar políticas metropolitanas (desarrollo urbano, transporte y medio ambiente); proporcionar incentivos económicos; reforzar la inspección y vigilancia; y desarrollar una mayor información y educación ambiental, así como lograr una mayor participación social.

No. de Instrumentos	Meta
20	Meta I Industria Limpia
24	Meta II Vehículos Limpios
38	Meta III Nuevo Orden Urbano y

	Transporte Limpio
12	Meta IV de Recuperación Ecológica

Tabla 2				
	Meta I	Meta II	Meta III	Meta IV
Terminados	16	18	30	11
En Proceso	1			
Sin terminar	3	6	8	1

Grupo de Calidad del Suelo y Subsuelo y Manejo de Residuos
 Los objetivos propuestos dentro de este grupo de trabajo son:

- Análisis y evaluación de las políticas, proyectos y programas involucrados tanto con el manejo de los residuos peligrosos como de los no peligrosos.
- Creación de grupos de trabajo que analicen y/o propongan medidas de solución concensadas, adecuadas a las necesidades de nuestra sociedad contemporánea
- Instrumentación de proyectos tendientes al mejoramiento del manejo integral de los residuos en general.
- Creación de marcos de referencia para la restauración de sitios contaminados avalados con la normatividad adecuada.

Debido a la problemática ambiental generada por el manejo de los residuos, se acordó conformar subgrupos de trabajo en materia de Residuos Sólidos Municipales, Residuos Peligrosos y Suelo. Considerando de esta manera la amplitud de los temas existentes en cada uno de los subgrupos, se instauraron comisiones de trabajo con un número reducido de integrantes con la finalidad de efectuar reuniones ejecutivas y dinámicas de análisis.

Subgrupo de Residuos Sólidos

- Este subgrupo llevó a cabo el análisis del borrador de la NOM-084-ECOL-98, que se refiere a la construcción y operación de rellenos sanitarios.
- En lo concerniente al Subgrupo de Residuos Peligrosos, se han llevado a cabo las siguientes acciones:
- Desarrollo e instrumentación del Proyecto Piloto para el Acopio de los Aceites Usados en la ZMVM;, en el cual se desea sentar los primeros lineamientos que permitan vincular todos los sectores involucrados e impulsar el mercado ya existente relacionado con los aceites usados, garantizando su manejo adecuado

- Desarrollo de los términos de referencia para sentar un primer borrador del Programa Metropolitano de Comunicación Social.
- Elaboración de una estrategia de comunicación para el proyecto piloto de acopio de aceites usados.
- Con el fin de generar información homogénea para la toma de decisiones en materia se lleva a cabo el análisis de las bases de datos de generación de residuos peligrosos del Gobierno del Distrito Federal y del Instituto Nacional de Ecología.
- Elaboración de manuales de minimización, tratamiento y disposición para cada uno de los seis giros identificados como principales generadores de residuos peligrosos.
- Elaboración del primer borrador del Programa que sienta las bases para el manejo integral de los residuos peligrosos en la Zona Metropolitana del Valle de México a 10 años.

Grupo de Recursos Naturales

Actualmente este grupo se encuentra realizando el seguimiento de las acciones comprendidas en el Programa Metropolitano de Recursos Naturales.

Grupo de Educación Ambiental

El 4 de agosto de 1999, se constituyó el grupo de trabajo de Educación Ambiental de la CAM. La coordinación de este grupo de trabajo se encuentra a cargo de la Coordinación de Educación Ambiental de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal y los integrantes se conforman por las siguientes instancias. Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, Coordinación de asuntos educativos del Gobierno del Distrito Federal, Comisión Ejecutiva de Coordinación Metropolitana, Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de México, Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, parque Ecológico de Xochimilco, Instituto Politécnico Nacional, Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Iztapalapa, Fundación Xochitla, Instituto Autónomo de Investigaciones Ecológicas Comunicación y Educación Ambiental.

El objetivo general es el promover entre los habitantes del Distrito Federal una cultura ambiental orientada a favorecer el desarrollo sustentable, a través de acciones educativas que impulsen entre la población una ética de la responsabilidad ambiental.

Entre los objetivos específicos se encuentran:

1. Elaborar los contenidos fundamentales y los criterios de orientación práctica de una política de educación ambiental, adoptada a la problemática específica del Distrito Federal.
2. Generar procesos de educación ambiental dirigidos a los tomadores de decisiones gubernamentales y de la sociedad civil, para que

incorporen los criterios de sustentabilidad en sus marcos de referencia y políticas.

3. Desarrollar actividades y estrategias tendientes a promover, entre la población en general, conocimiento de los problemas ambientales de la entidad, así como alternativas para la superación de los mismos, promoviendo el cambio de hábitos y la creciente participación ciudadana.

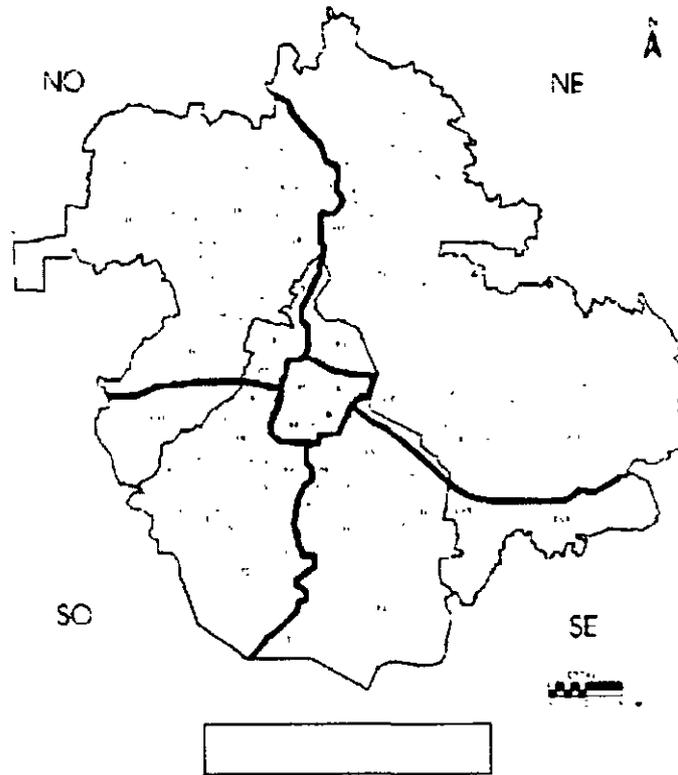
Antecedentes

- El 8 de enero de 1992 se publicó en el Diario oficial de la Federación el Acuerdo Presidencial que creó a la Comisión para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en la Zona Metropolitana del Valle de México.
- El 22 de agosto de 1996, se publicó en el Diario Oficial de la Federación el Decreto por el que se reformó el artículo 122 Constitucional que establece que para la eficaz coordinación de las distintas jurisdicciones locales y municipales entre sí y de éstas con la Federación y el Distrito Federal, en la planeación y ejecución de acciones en las zonas conurbadas limítrofes con el Distrito Federal, se podrán suscribir convenios para la creación de comisiones metropolitanas en las que concurren y participan con apego a sus leyes.
- El 12 de septiembre de 1996, se publicó en el Diario Oficial de la Federación, el Acuerdo del Presidente de los Estados Unidos Mexicanos, por el que se abrogó el Acuerdo por el que se creó la Comisión para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en la Zona Metropolitana del Valle de México.
- El 17 de septiembre de 1996, se publicó en el Diario Oficial de la Federación, el Acuerdo por el que se creó la Comisión Ambiental Metropolitana.
- El 30 de junio de 1996, se publicó en la Gaceta Oficial del Distrito Federal, el Reglamento Interno de la Comisión Ambiental Metropolitana.

Objetivo

Definir, coordinar y dar seguimiento, en forma concurrente a las políticas, programas, proyectos y acciones en materia de protección al ambiente, y de preservación y restauración del equilibrio ecológico en el territorio del Distrito Federal y su zona conurbana, (Figura 1).

Figura 1. Zona Metropolitana del Valle de México.



Distrito Federal		Estado de México	
01 Azcapotzalco	09 Coyoacán	I Atizapán de Zaragoza	X Chimalhuacán
02 M.Hidalgo	10 Cuajimalpa	II Cuautitlán	XI Ecatepec
03 G. A. Madero	11 Magdalena C.	III Cuautitlán Izcalli	XII Ixtapaluca
04 B.Juárez	12 Tlalpan	IV Naucalpan	XIII La Paz
05 Cuauhtémoc	13 Iztapalapa	V Nicolás Romero	XIV Nezahualcóyotl
06 Iztacalco	14 Milpa Alta	VI Tlalnepantla	XV Tecámac
07 V. Carranza	15 Tláhuac	VII Tultitlán	XVI Huixquilucan
08 A.Obregón	16 Xochimilco	VIII Coacalco de B.	XVII Chalco
		IX Chicoloapan	XVIII Valle de Chalco S.

La Comisión se integra por:

Miembros de carácter permanente, que son: el Secretario de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca; el Jefe de Gobierno del Distrito Federal y el Gobernador del Estado de México.

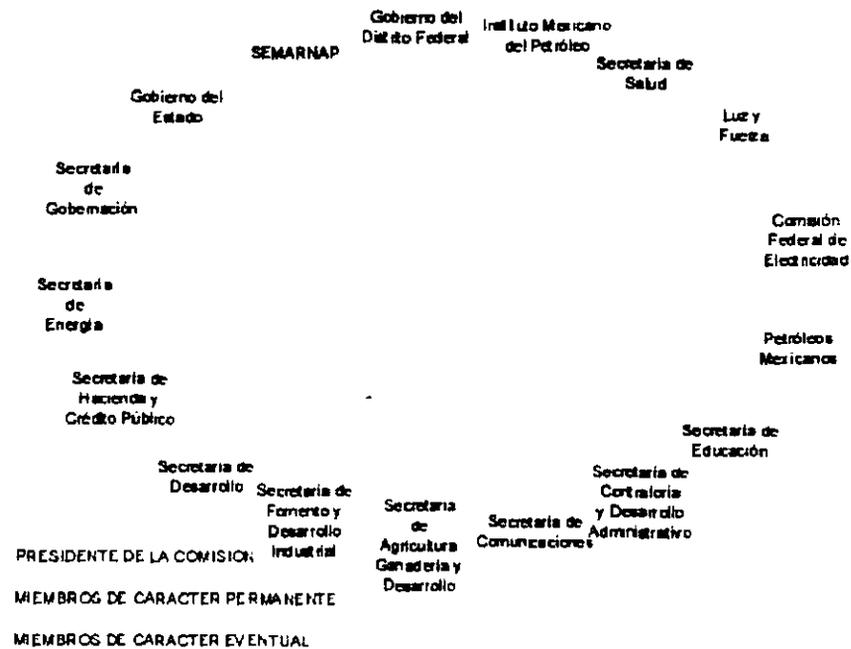
Miembros de carácter eventual, que son: El Secretario de Gobernación, el Secretario de Hacienda y Crédito Público, el Secretario de Desarrollo Social, el Secretario de Energía, el Secretario de Comercio y Fomento Industrial, el Secretario de Agricultura, Ganadería y

Desarrollo Rural, el Secretario de Comunicaciones y Transportes, el Secretario de Contraloría y Desarrollo Administrativo, el Secretario de Educación Pública, el Secretario de Salud, el Director General de Petróleos Mexicanos, el Director General de Pemex –Refinación, el Director General de Pemex-Gas y Petroquímica Básica, el Director General de la Comisión Federal de Electricidad, el Director General de Luz y Fuerza del Centro y el Director General del Instituto Mexicano del Petróleo.

Para el desarrollo y cumplimiento de sus funciones, la Comisión cuenta con los siguientes órganos:

El pleno que se encuentra integrado por los miembros permanentes y eventuales de la Comisión.

El Presidente de la Comisión será de manera alternada cada dos años el Jefe de Gobierno del Distrito Federal y el Gobernador del Estado de México. El presidente de la Comisión preside las sesiones del pleno, designa o ratifica al titular del Secretario Técnico y asigna funciones complementarias al Secretariado Técnico y Grupos de Trabajo de la Comisión.



Secretariado Técnico que es el órgano encargado de preparar, coordinar, dar seguimiento, evaluar y someter a la consideración del Pleno los proyectos y trabajos relativos a la Comisión. El Secretariado Técnico se encuentra conformado por un titular, un representante de cada uno de los miembros permanentes de la Comisión, así como de la

Secretaría de Salud, y los asesores, especialistas y personal de apoyo que acuerde el Pleno.



Secretario Técnico quien es designado o ratificado, según el caso, por el Presidente en turno de la Comisión y cuyas funciones son:

- Elaborar y someter a la consideración de la Comisión el programa anual de trabajo.
- Proponer programas y proyectos.
- Dar seguimiento a los acuerdos adoptados.
- Coordinar actividades para el desarrollo de grupos de trabajo.
- Convocar a las reuniones de la Comisión

Consejo Consultivo formado por representantes de la comunidad científica, especialistas de reconocido prestigio en materia ecológica y miembros de los sectores social, privado, así como representantes de las Cámaras de Diputados y de Senadores del Congreso de la Unión, Asamblea de Representantes del Distrito Federal y Legislatura del Estado de México.

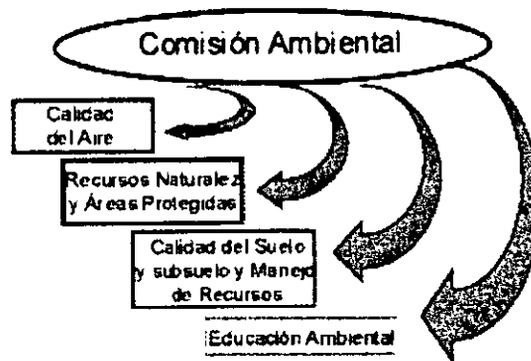
La función del Consejo Consultivo es el opinar y formular propuestas respecto de las políticas, programas, proyectos y acciones ambientales, así como de los resultados del funcionamiento y cumplimiento de los acuerdos de la Comisión, a fin de coadyuvar a la toma de decisiones por parte del Pleno de ésta.

Actualmente, los miembros del Consejo consultivo llevan a cabo la revisión y modificación del Reglamento Interno de la Comisión Ambiental Metropolitana.

Grupos de Trabajo que son aquellos que la Comisión acuerde crear con carácter permanente o transitorio para el seguimiento, análisis y evaluación de las políticas, proyectos, programas, acuerdos y acciones determinados por la Comisión.

A la fecha existen en la Comisión Ambiental Metropolitana tres grupos de trabajo para los temas de aire, recursos naturales y suelo.

A continuación se describen algunas de las acciones más importantes realizadas por los diferentes grupos de trabajo:



Grupo de aire

- Elaboración y seguimiento del Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México. Este programa está integrado por cuatro grandes metas, que son:

I. Industria Limpia: Reducción de emisiones por unidad de valor agregado

II. Vehículos Limpios: Disminución de emisiones por kilómetro recorrido

III. Nuevo Orden Urbano y Transporte Limpio: Regulación de total de kilómetros recorridos por los vehículos automotores

IV. Recuperación Ecológica: Abatimiento de la erosión.

Las estrategias que permitirán avanzar en el logro de cada una de estas metas comprenden mejorar e incorporar nuevas tecnologías y combustibles para la industria, servicios y vehículos automotores; integrar políticas metropolitanas (desarrollo urbano, transporte y medio ambiente); proporcionar incentivos económicos; reforzar la inspección y vigilancia; y desarrollar una mayor información y educación ambiental, así como lograr una mayor participación social.

Tabla 1.	
No. de Instrumentos	Meta
20	Meta I Industria Limpia
24	Meta II Vehículos Limpios
38	Meta III Nuevo Orden Urbano y

	Transporte Limpio
12	Meta IV de Recuperación Ecológica

Tabla 2				
	Meta I	Meta II	Meta III	Meta IV
Terminados	16	18	30	11
En Proceso	1			
Sin terminar	3	6	8	1

Grupo de Calidad del Suelo y Subsuelo y Manejo de Residuos
 Los objetivos propuestos dentro de este grupo de trabajo son:

- Análisis y evaluación de las políticas, proyectos y programas involucrados tanto con el manejo de los residuos peligrosos como de los no peligrosos.
- Creación de grupos de trabajo que analicen y/o propongan medidas de solución concensadas, adecuadas a las necesidades de nuestra sociedad contemporánea
- Instrumentación de proyectos tendientes al mejoramiento del manejo integral de los residuos en general.
- Creación de marcos de referencia para la restauración de sitios contaminados avalados con la normatividad adecuada.

Debido a la problemática ambiental generada por el manejo de los residuos, se acordó conformar subgrupos de trabajo en materia de Residuos Sólidos Municipales, Residuos Peligrosos y Suelo. Considerando de esta manera la amplitud de los temas existentes en cada uno de los subgrupos, se instauraron comisiones de trabajo con un número reducido de integrantes con la finalidad de efectuar reuniones ejecutivas y dinámicas de análisis.

Subgrupo de Residuos Sólidos

- Este subgrupo llevó a cabo el análisis del borrador de la NOM-084-ECOL-98, que se refiere a la construcción y operación de rellenos sanitarios.
- En lo concerniente al Subgrupo de Residuos Peligrosos, se han llevado a cabo las siguientes acciones:
- Desarrollo e instrumentación del Proyecto Piloto para el Acopio de los Aceites Usados en la ZMVM;, en el cual se desea sentar los primeros lineamientos que permitan vincular todos los sectores involucrados e impulsar el mercado ya existente relacionado con los aceites usados, garantizando su manejo adecuado

- Desarrollo de los términos de referencia para sentar un primer borrador del Programa Metropolitano de Comunicación Social.
- Elaboración de una estrategia de comunicación para el proyecto piloto de acopio de aceites usados.
- Con el fin de generar información homogénea para la toma de decisiones en materia se lleva a cabo el análisis de las bases de datos de generación de residuos peligrosos del Gobierno del Distrito Federal y del Instituto Nacional de Ecología.
- Elaboración de manuales de minimización, tratamiento y disposición para cada uno de los seis giros identificados como principales generadores de residuos peligrosos.
- Elaboración del primer borrador del Programa que sienta las bases para el manejo integral de los residuos peligrosos en la Zona Metropolitana del Valle de México a 10 años.

Grupo de Recursos Naturales

Actualmente este grupo se encuentra realizando el seguimiento de las acciones comprendidas en el Programa Metropolitano de Recursos Naturales.

Grupo de Educación Ambiental

El 4 de agosto de 1999, se constituyó el grupo de trabajo de Educación Ambiental de la CAM. La coordinación de este grupo de trabajo se encuentra a cargo de la Coordinación de Educación Ambiental de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal y los integrantes se conforman por las siguientes instancias. Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, Coordinación de asuntos educativos del Gobierno del Distrito Federal, Comisión Ejecutiva de Coordinación Metropolitana, Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de México, Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, parque Ecológico de Xochimilco, Instituto Politécnico Nacional, Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Iztapalapa, Fundación Xochitla, Instituto Autónomo de Investigaciones Ecológicas Comunicación y Educación Ambiental.

El objetivo general es el promover entre los habitantes del Distrito Federal una cultura ambiental orientada a favorecer el desarrollo sustentable, a través de acciones educativas que impulsen entre la población una ética de la responsabilidad ambiental.

Entre los objetivos específicos se encuentran:

1. Elaborar los contenidos fundamentales y los criterios de orientación práctica de una política de educación ambiental, adoptada a la problemática específica del Distrito Federal.
2. Generar procesos de educación ambiental dirigidos a los tomadores de decisiones gubernamentales y de la sociedad civil, para que

incorporen los criterios de sustentabilidad en sus marcos de referencia y políticas.

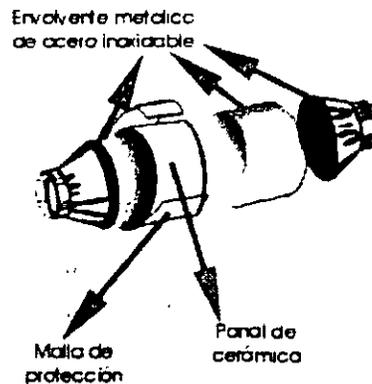
3. Desarrollar actividades y estrategias tendientes a promover, entre la población en general, conocimiento de los problemas ambientales de la entidad, así como alternativas para la superación de los mismos, promoviendo el cambio de hábitos y la creciente participación ciudadana.

¿Qué es un Convertidor Catalítico?

Es un dispositivo en forma de mofle, que disminuye casi a cero los elementos nocivos de los gases de escape de un vehículo.

Consta de un panal (preferentemente de cerámica) al cual se le han incrustado partículas de metales preciosos (Platino, Paladio, Rodio). Todo ésto en un envoltente metálico (de preferencia de acero inoxidable).

La combustión incompleta produce compuestos inestables dañinos al organismo humano, al entrar los gases de escape a la zona del panal en presencia de calor, se generan reacciones químicas que transforman los gases nocivos en otros de moléculas muy estables, que no perjudican a los seres vivos.



El convertidor catalítico es un dispositivo de post-tratamiento para los gases de escape con el objeto de tomar gases de poca estabilidad molecular (dañinos al cuerpo humano) para convertirlos en productos

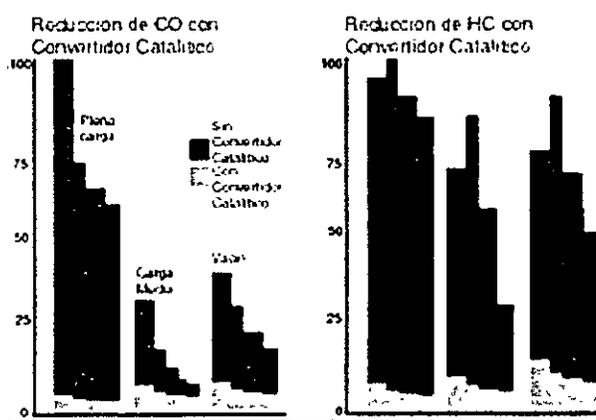
de alta estabilidad molecular y con casi nula reactividad en condiciones normales de presión y temperatura.

Para lograr este objetivo el convertidor catalítico de tres vías realiza dos reacciones de oxidación y una de reducción.

Dada la poca temperatura de los gases de escape, cuenta con elementos catalizadores que logran que las reacciones se lleven a cabo a relativamente bajas temperaturas.

Las reacciones de oxidación se catalizan por medio de platino paladio y la acción reductora mediante el rodio.

Sus metales preciosos están depositados en un módulo reticular de cerámica de 64 celdas por cm² y un envolvente de acero inoxidable formado por engargolado a alta temperatura.



¿Como Funciona?

Para los vehículos con motores a gasolina es recomendado utilizar gasolina sin plomo para no "envenenar" el catalizador con este metal.

El catalizador es calentado a través del calor de los gases del escape, estos gases alcanzan una temperatura superior a 200°C.

Las mejores condiciones de funcionamiento de los catalizadores suceden a partir de 200°C. Un vehículo en condiciones normales de uso, arrancando en frío, alcanza estas condiciones en apenas 30 segundos.

A medida que los gases de escape pasan por el catalizador, reaccionan con el recubrimiento de metales preciosos y se transforman en gases inertes como agua, Nitrógeno y Bióxido de Carbono, menos perjudiciales a la salud. Algunos sistemas de escape pueden tener un catalizador

adicional colocado más cerca del motor, esto minimiza el tiempo necesario para llegar a la temperatura ideal de operación, ayudando de esta forma a reducir aún más los gases contaminantes cuando un vehículo arranca.

Los motores Diesel utilizan un sistema de combustión diferente a los motores a gasolina. Esta combustión ocurre con una mayor proporción de aire, proporcionando de esta forma niveles más bajos de CO, HC y NOx.

Sin embargo, producen otro tipo de contaminación en forma de hollín, micropartículas que aparecen en el humo que se ve con frecuencia en vehículos sin mantenimiento.

Algunos vehículos a Diesel utilizan catalizadores especialmente diseñados para reducir las emisiones de micropartículas.

Convertidores Catalíticos

Indice
1. Antecedentes
2. Control de las emisiones de escape
3. Tratamiento posterior a los gases de escape mediante convertidor catalítico

Antecedentes

En la Ciudad de México se pueden enumerar cantidad de problemas ambientales que se tienen a diario, como es la generación de una gran cantidad de gases contaminantes al hacer uso del automóvil, que son causantes de enfermedades respiratorias y otros efectos nocivos para el ser humano. Esto se debe a que no se realiza una combustión completa. Por lo cual, es importante estudiar estos efectos y la manera en que se puede actuar para aminorarlos.

El automóvil ha cambiado nuestra sociedad e impulsado su crecimiento, también ha sido un contribuyente a la contaminación del aire. Las emisiones de los automóviles afectan la vida de todos los que vivimos en áreas urbanas.

En otros países se hizo un uso masivo de autos nuevos a mediados de los años 1970's, en México se comercializaron los primeros vehículos con convertidor catalítico hasta 1991, siendo de dos y tres vías; debido a la aplicación de una normatividad más estricta para los vehículos año-

modelo 1993 y posteriores, fue introducido el convertidor catalítico de tres vías en todos los vehículos.

Se han estudiado varios métodos y tecnologías para tratar los gases de escape. La situación es tan compleja como las mismas emisiones; los efectos en la salud, la calidad del aire y el calentamiento global no están completamente definidas.

Con lo que respecta al proceso "teórico" de combustión, para que sea completo en un motor de combustión interna, consiste en prender una mezcla de combustible con aire (mezcla de O_2 y N_2) no es dañino a la salud humana, ya que el Hidrógeno y Carbono, constituyentes del combustible, se combinan con el Oxígeno en el aire para formar bióxido de carbono (CO_2) y vapor de agua descargando Nitrógeno (gas inerte) a la atmósfera.

El CO_2 , vapor de agua y N_2 son productos que no causan contaminación. Lo que sucede realmente es que al existir una gran liberación de CO_2 contribuye al calentamiento global de la tierra.

Los efectos dañinos de la combustión se deben a una combustión incompleta; productos secundarios de la combustión debido a temperaturas y presiones generadas, óxidos de nitrógeno; contaminantes y aditivos del combustible (azufre, plomo y otros).

Debido a lo anterior, el vehículo a gasolina emite tres principales gases contaminantes:

- Hidrocarburos no quemados (HC)
- Monóxido de Carbono (CO)
- Óxidos de Nitrógeno (NO_x)

Los hidrocarburos son una mezcla de compuestos los cuales son dañinos para la salud de las personas, al ambiente y algunos (benceno y aldehidos) son reconocidos como cancerígenos y fuertes agentes productores de ozono.

Las partículas de carbón se incrustan en los pulmones humanos, causando daños a la salud y en la presencia de otros contaminantes (sulfatos) forman núcleos de partículas que también son dañinos para la salud.

Los hidrocarburos (HC) reaccionan con otros compuestos a la luz del sol para formar ozono, éste irrita el sistema respiratorio causando tos, dolores de cabeza, agrava el asma, la bronquitis y enfisema.

Recientemente se ha descubierto que causa daño permanente en e le

tejido pulmonar y puede destruir vegetación, reducir el rendimiento de cosechas y dañar material de construcción expuesto.

El monóxido de carbono (CO), al ser respirado por humanos o animales, se combina con el oxígeno en la sangre y causa daños serios y potencialmente mortales. Causa estrés en corazón y pulmones; retrasa el crecimiento fetal y el desarrollo mental.

Los Óxidos de Nitrógeno dañan el sistema respiratorio y reducen la resistencia a infecciones respiratorias. También contribuyen a la formación de ozono y a la lluvia ácida.

[Inicio]

Control de las Emisiones de Escape

La manera más efectiva de reducir emisiones de escape (dañinas o no dañinas) es quemar menos combustible. Independientemente de las medidas que se tomen para reducir la toxicidad y otros efectos dañinos de los gases de escape, la eficiencia en el uso de combustible sigue siendo la tecnología clave.

Es por eso que para el control de las emisiones de escape y reducir sus efectos dañinos a través de:

- Control de la combustión.
- Combustibles limpios.
- Eficiencia en el uso de combustible.

Los beneficios de una especificación mejorada de combustible son inmediatos en todo el parque vehicular, mientras que los beneficios de nuevas tecnologías de control de emisiones en vehículos nuevos son graduales con la penetración en el parque vehicular.

Las tecnologías utilizadas para el control de emisiones de escape son dos:

- Control de la combustión para lograr una combustión más completa y reducir emisiones dañinas.
- Tratamiento posterior a los gases de escape, mediante convertidor catalítico para convertir los gases dañinos en gases inertes.

[Inicio]

Tratamiento posterior a los gases de escape mediante convertidor catalítico

Consiste en reducir los gases dañinos provenientes de la cámara de combustión. Los convertidores catalíticos son la pieza central de este proceso y es uno de los grandes triunfos de ingeniería de este siglo. Un convertidor catalítico es un dispositivo en forma de mofle, consta de un "panal" (preferiblemente de cerámica) que disminuye casi a cero los elementos nocivos de los gases de escape de un vehículo; encierra un sustrato, con la mayor relación posible de superficie a volumen, e

impregnado con una emulsión que incorpora el material catalítico. Este material generalmente consiste en metales preciosos como Platino (Pt), Paladio (Pd) y Rodio (Rh) en diferentes mezclas y proporciones. Todo esto en un envoltorio metálico (de preferencia de acero inoxidable). La combustión incompleta produce compuestos inestables dañinos al organismo humano, al entrar los gases de escape a la zona del panel en presencia de calor, se generan reacciones químicas que transforman los gases nocivos en otros de moléculas muy estables, que no perjudican a los seres humanos.

Existen dos tipos de convertidores catalíticos:

- Por Oxidación o de Dos vías: añade de oxígeno para convertir HC y CO a gases no contaminantes pero no controla el NOx.
- De tres vías: convierte los tres contaminantes de mayor impacto, HC, CO y NOx a emisiones no contaminantes.



El convertidor catalítico ha sido considerado a la fecha como el dispositivo para el tratamiento de los gases de combustión más eficiente, para reducir las emisiones contaminantes de monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no quemados (HC) y óxidos de nitrógeno (NOx), generados por los vehículos con motor a gasolina.

Hasta la fecha se siguen instalando convertidores catalíticos de tres vías con buenos resultados en la reducción de las emisiones y el de dos vías poco a poco ha sido sustituido por el anterior debido a que solamente reduce solamente hidrocarburos y monóxido de carbono.