

---

---

# **DISPOSITIVOS ANTICONTAMINANTES PARA MOTORES DE COMBUSTION INTERNA**

**Instituto Mexicano del Transporte**  
**Secretaría de Comunicaciones y Transportes**

Publicación Técnica No. 43  
Querétaro, Qro.  
1993

---

**INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES**

**Dispositivos anticontaminantes para  
motores de combustión interna**

Publicación Técnica No. 43  
Querétaro Qro.  
1993

---

**CIUDAD DE MEXICO**

**Av. Popocatépetl 506 B  
Xoco-Benito Juárez  
03330 México, D.F.  
Tels. 688 76 29  
688 76 03  
Fax 688 76 08**

**SAN FANDILA**

**Km 4 + 000, Carretera  
Querétaro-Los Galindo  
76700 P. Escobedo, Oro.  
Tels. (42) 16 97 77  
16 96 46  
16 95 97  
Fax (42) 16 96 71**

Este trabajo ha sido realizado en el Instituto Mexicano del Transporte por el Ing. Jorge Ramírez Lara en colaboración con la M. en C. Mercedes Rafael Morales y el Dr. Carlos S. López Cajún de la Coordinación de Equipamiento para el Transporte. Los autores agradecen los comentarios y sugerencias del Dr. Alejandro Lozano Guzmán, así como el valioso apoyo brindado por la Sección de Emisiones del Laboratorio de Equipamiento del mismo Instituto.

	Página
Resumen	vii
1. Introducción	1
2. Contaminantes	2
2.1 Proceso de combustión de hidrocarburos con el aire y productos de la misma	2
2.2 Reacciones de disociación	4
3. Normas para control de emisiones contaminantes de motores de combustión interna	5
4. Dispositivos y sistemas anticontaminantes para vehículos equipados con motores de combustión interna	8
4.1 Actualmente en uso	8
4.1.1 Control de emisiones evaporativas	10
4.1.2 Inyección electrónica de combustible	10
4.1.3 Control electrónico de encendido	11
4.1.4 Turbocompresores	11
4.1.5 Convertidores catalíticos	12
4.1.6 Recirculación de gases de escape	12
4.2 Tecnologías en estudio	13
4.2.1 Combustibles de sustitución	13
4.2.1 Control de partículas	13
5. Comentarios	15
6. Referencias	16
Apéndice	18

El objetivo de este trabajo es dar una visión general de los avances en materia de control de las emisiones contaminantes provenientes de los motores de combustión interna, siendo éstos la principal fuente motriz con la que están equipados la mayor parte de los vehículos de transporte terrestre.

Se presenta primero un análisis del proceso de la combustión de hidrocarburos con el aire y de las sustancias contaminantes resultantes, así como algunas de las reacciones de disociación que ocurren durante el mismo proceso. Después se listan las normas ecológicas emitidas hasta la fecha referentes a niveles de contaminación, tanto en Estados Unidos como en México. También se presentan los dispositivos y sistemas anticontaminantes utilizados hoy en día y algunas de las investigaciones que se llevan a cabo para dispositivos a usar en el futuro en vehículos equipados con motores de combustión interna. Se sugieren, en la sección de Comentarios, las líneas de investigación factibles de realizar en México. Finalmente se incluyen en el Apéndice, como información complementaria, las normas referidas en el texto.

# DISPOSITIVOS ANTICONTAMINANTES PARA MOTORES DE COMBUSTION INTERNA

## 1. Introducción

Como una consecuencia de las crisis petroleras que se han presentado en las dos últimas décadas, cada país del mundo se ha visto obligado a economizar en el consumo de productos derivados del petróleo, ya que éstos han aumentado considerablemente su precio. Las investigaciones encaminadas a eficientar los procesos en los que se utilizan dichos productos fueron impulsadas fuertemente, dando como resultado el ahorro de combustibles tanto en la industria como en el transporte e inclusive en los mismos procesos de refinación.

Particularmente, para el ahorro de combustible en el transporte, se ha visto que en la evolución de los vehículos se han incorporado, cada vez más, avances tecnológicos, siendo algunos de ellos [1]:

- Disminución del peso total del vehículo, mediante la utilización de: estructuras autoportantes, materiales más ligeros (plásticos, compuestos (*composites*), etc.).
- Aumento de la eficiencia de los motores.
- Aplicación de algunos resultados de la aerodinámica tal como la disminución de la resistencia al aire en el avance de las carrocerías.
- Transmisiones con relaciones de velocidad mejor adaptadas y uso de la sobremarcha.

En general, estos avances están enfocados al ahorro de combustible y al aumento de la eficiencia de los motores. Ambas, de manera indirecta, ayudan a una disminución de las emisiones de contaminantes, ya que como es lógico, al consumir menos combustible los productos de la combustión también disminuyen. No obstante lo anterior, en la actualidad los problemas de contaminación han alcanzado proporciones alarmantes, sobre todo en las grandes concentraciones industriales y urbanas, con los consecuentes daños al medio ambiente y poniendo en peligro la salud y la vida misma de los habitantes de estos sitios. Esto ha obligado a los gobiernos de la mayor parte del mundo a promover la investigación y el desarrollo de tecnologías para resolver los problemas de contaminación.

## 2. Contaminantes

Los contaminantes son sustancias indeseables que al encontrarse presentes en un entorno o ambiente determinado, afectan la calidad y la pureza del mismo.

En condiciones normales, esto es, a una presión atmosférica de 760 mm de mercurio y temperatura ambiente de 25°C, el aire tiene una composición volumétrica de 21% de oxígeno (O<sub>2</sub>), 78% de nitrógeno (N<sub>2</sub>), poco menos de 1% de argón (Ar) y pequeñas cantidades de varios gases inertes, como vapor de agua (H<sub>2</sub>O), bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), helio (He), hidrógeno (H<sub>2</sub>) y neón (Ne) [2]. Sin embargo, la composición del aire y por lo tanto su calidad, es afectada por compuestos contaminantes tales como el monóxido de carbono (CO), el bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), los hidrocarburos (HC), los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), los derivados del plomo, las partículas de carbón, los sulfuros, los compuestos fluoro-cloro-carbonados, etc.

### 2.1 Proceso de combustión de hidrocarburos con aire y productos resultantes de la misma

En el sector transporte, particularmente en el autotransporte, casi todos los vehículos utilizan motores a gasolina o Diesel<sup>(1)</sup>, los cuales proporcionan energía mecánica a partir de procesos de combustión de hidrocarburos con el aire.

Es conveniente mencionar que mientras exista un proceso de combustión, siempre estarán presentes los productos de la misma. Es por eso que lo primero que se ha buscado (y se sigue buscando) es la manera de realizar una combustión completa, esto es, aprovechar íntegramente el combustible y el aire, para que los productos finales de la combustión sean estables; sin embargo, en la práctica no ha sido posible realizarla. Esto se debe, entre otras causas [3], a lo siguiente:

- La combustión no es instantánea.
- El tiempo disponible para realizar la combustión es muy corto.
- El efecto de confinamiento<sup>(2)</sup>.

---

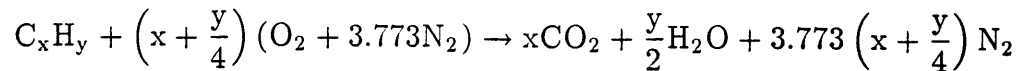
(1) En todo este trabajo se escribirá con mayúscula, en honor al Dr. Rudolph Diesel, inventor del motor que lleva su nombre, aún cuando se refiera específicamente al combustible y no al motor en sí.

(2) Este efecto se debe a que parte de la mezcla aire-combustible queda en lugares con poco espacio dentro de la cámara de combustión, impidiendo con ello su inflamación.



- El efecto de pared<sup>(3)</sup>.
- El combustible no es homogéneo.
- En el motor Diesel, existe un exceso de aire.
- En el motor Otto, se requiere introducir una mezcla homogénea de combustible con aire; etc.

Teóricamente, la ecuación de la reacción de combustión completa (también llamada *combustión estequiométrica*) del combustible con el aire es:

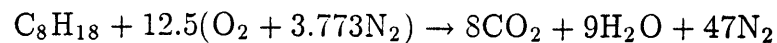


donde

x: cantidad de carbono

y: cantidad de hidrógeno

Esta ecuación define la relación entre el aire y el combustible en donde existe la cantidad exacta de oxígeno para convertir todo el combustible en productos completamente oxidados. Cabe hacer notar que el nitrógeno presente en la reacción no se combina con ningún otro elemento. En general, las relaciones estequiométricas aire/combustible o combustible/aire dependen de la composición del combustible. Por ejemplo, la reacción ideal de la combustión del isooctano (que es el combustible de referencia de las gasolinas) con el aire sería:



De la reacción anterior puede verse que los productos de la combustión completa serían: CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y N<sub>2</sub>. Los dos últimos no son contaminantes; sin embargo, el CO<sub>2</sub>, en grandes cantidades, contribuye al efecto de invernadero. (Una forma de combatir el efecto del CO<sub>2</sub> es mediante la reforestación ya que las plantas lo utilizan en su proceso de fotosíntesis).

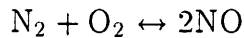
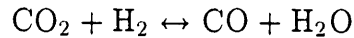
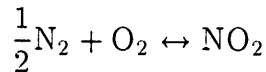
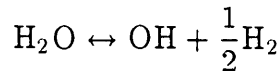
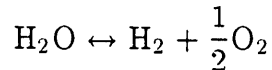
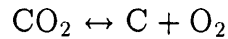
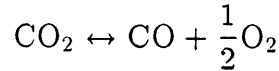
---

(3) Este se debe a que parte de la mezcla aire-combustible se enfría al contacto con las paredes de la cámara de combustión y por ello no alcanza las condiciones para inflamarse. Además, existen intercambios de radicales libres con las paredes mientras se realiza la combustión, lo cual impide que ésta sea completa.

## 2.2. Reacciones de disociación

Como se mencionó anteriormente, el proceso de combustión en los motores de combustión interna no es completo y los productos de disociación están presentes debido a las altas temperaturas instantáneas que se alcanzan. Las reacciones de disociación son reacciones químicas en las cuales los compuestos individuales que se encuentran presentes en los gases quemados, se rompen produciendo compuestos más sencillos, los cuales, cuando se presentan las condiciones de equilibrio de la reacción, pueden volver a formar el compuesto original. Las reacciones que ocurren en dicho proceso, se caracterizan por sus propiedades endotérmicas (esto es, absorben calor) y afectan el resultado de la combustión ya que limitan el rendimiento de la misma. Más aún, la disociación aumenta cuando la temperatura aumenta, esto es, hasta aproximadamente 1800°C el fenómeno de disociación no se presenta o sus efectos son despreciables; no obstante, a partir de los 2000°C, las reacciones de disociación afectan sustancialmente el resultado de la combustión [2, 3, 4].

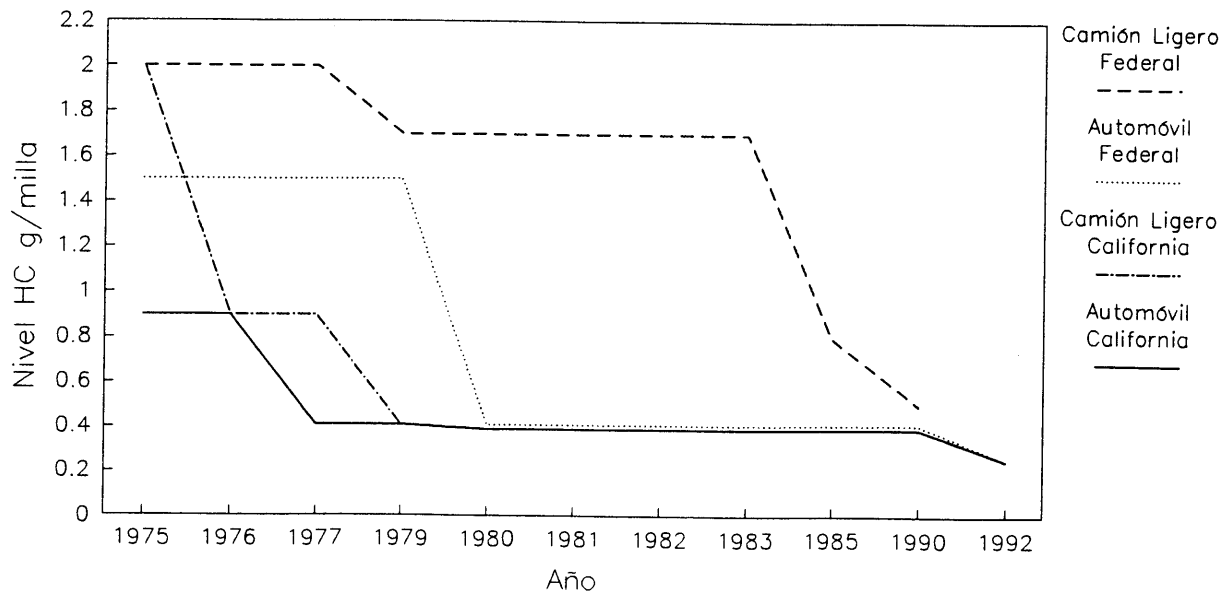
Algunas de las reacciones (reacciones reversibles) de disociación que ocurren durante el proceso de combustión se muestran a continuación:



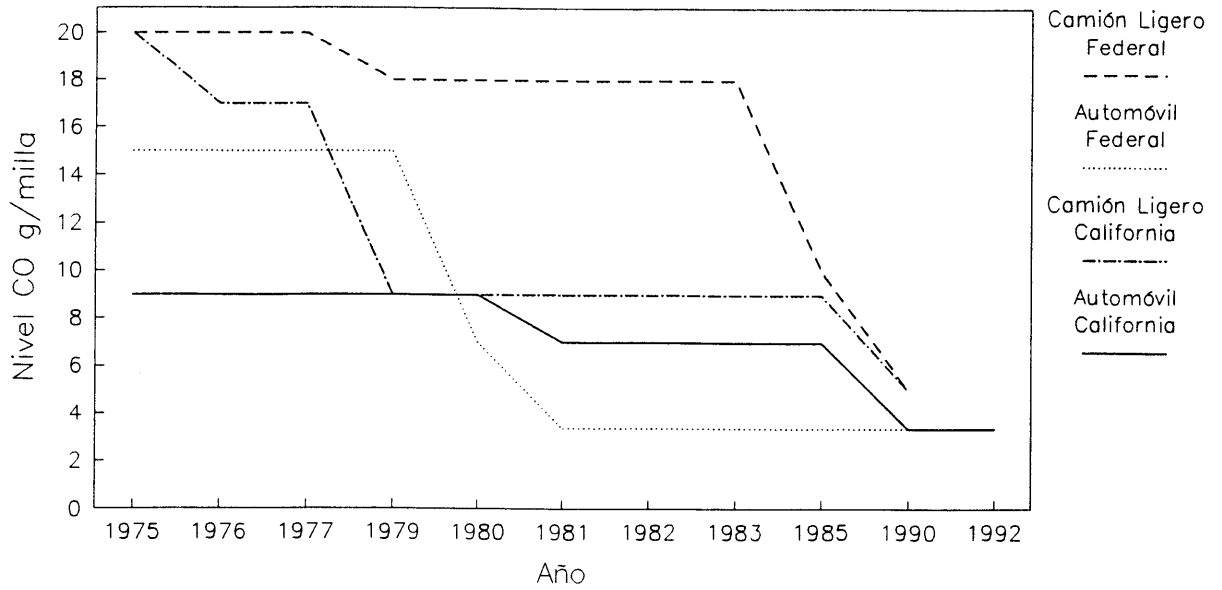
### 3. Normas para control de emisiones contaminantes de motores de combustión interna

Debido al inevitable (por lo menos hasta ahora) proceso de combustión incompleta, los gobiernos de casi todo el mundo han elaborado normas para la protección del medio ambiente, las que año con año han sido más y más restrictivas. Para la industria automotriz, ésto ha representado realizar esfuerzos permanentes de investigación y desarrollo con el fin de reducir los niveles de emisión de contaminantes de los motores de combustión interna.

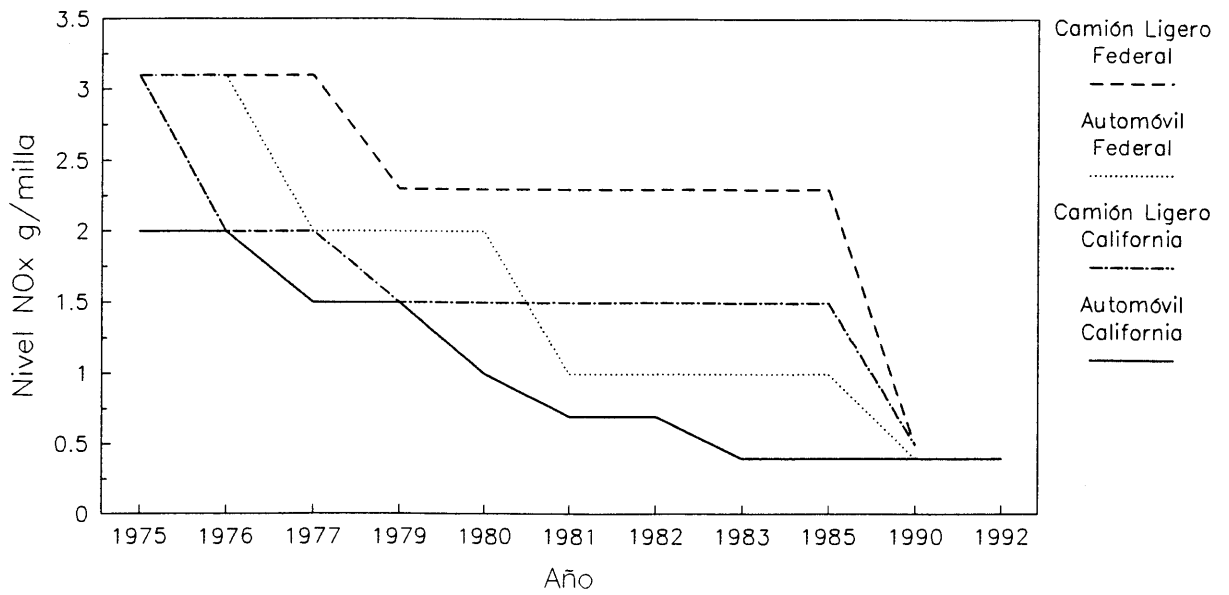
En el ámbito internacional, es en los Estados Unidos de Norteamérica donde existen las normas más estrictas para el control de emisiones contaminantes. Es así que la *Environmental Protection Agency (EPA)* y el *California Air Resources Board (CARB)*, han impuesto niveles de emisión para motores a gasolina y Diesel aplicados en camiones ligeros y automóviles [5, 6], así como para autobuses y camiones de servicio pesado [7]. La evolución de dichas normas se muestra en las figuras 1, 2, 3, 4 y 5.



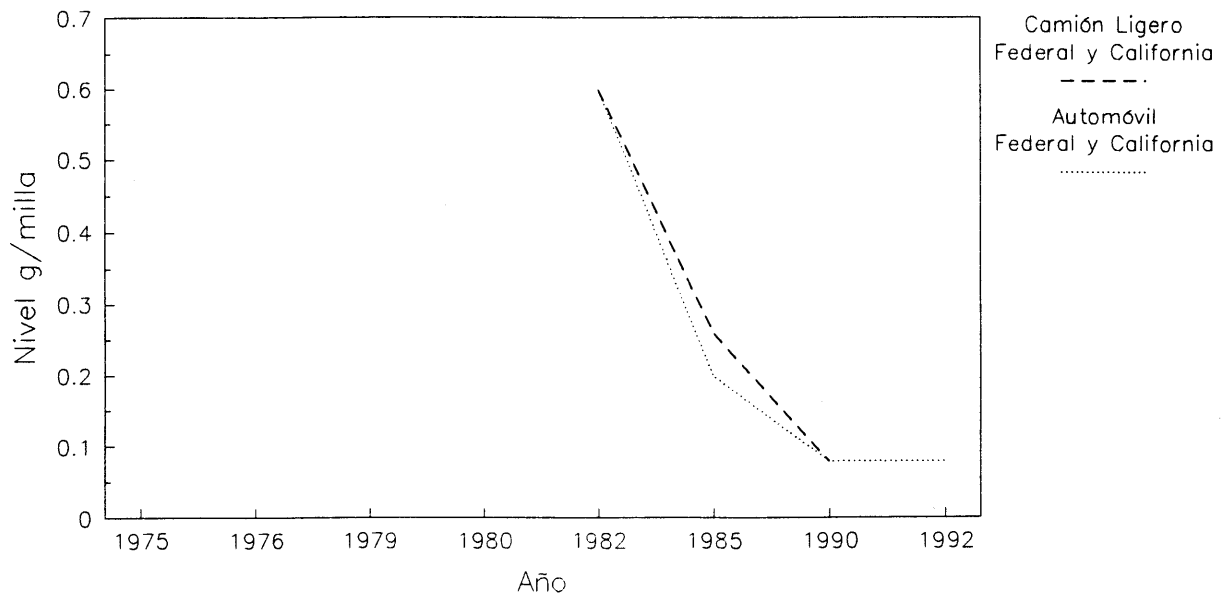
**Figura 1.** Evolución de los niveles de emisiones de HC para motores a gasolina y Diesel aplicados en camiones ligeros y automóviles, impuestos por la EPA y la CARB.



**Figura 2.** Evolución de los niveles de emisiones de CO para motores a gasolina y Diesel aplicados en camiones ligeros y automóviles, impuestos por la EPA y la CARB.

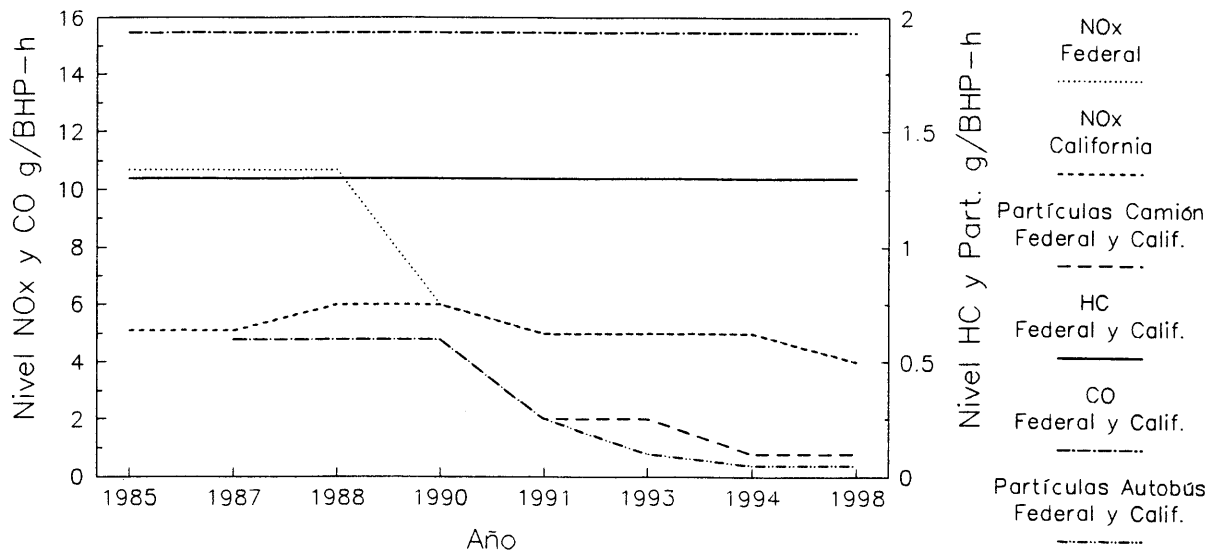


**Figura 3.** Evolución de los niveles de emisiones de NO<sub>x</sub> para motores a gasolina y Diesel aplicados en camiones ligeros y automóviles, impuestos por la EPA y la CARB.



**Figura 4.** Evolución de los niveles de emisiones de partículas para motores a gasolina y Diesel aplicados en camiones ligeros y automóviles, impuestos por la EPA y la CARB.

Para motores Diesel de servicio pesado [7], la evolución de los niveles permitidos de emisiones se muestra en la figura 5. Los requerimientos en cuanto a humos, expresados en porcentaje de opacidad, son: 20% en aceleración, 15% en estabilizado y 50% en potencia máxima.



**Figura 5.** Evolución de los niveles permitidos de emisiones para motores Diesel de servicio pesado impuestos por la EPA y la CARB.

En México, particularmente en el D.F. y el área conurbada, se implementó el control de emisiones de los vehículos de transporte privado y público, para lo cual, la Dirección General de Normas (DGN) de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI) y la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), antes SEDUE (Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología), han elaborado las siguientes normas [8-11], las cuales se incluyen en el Apéndice:

- NTE-CCAT-003/88 (para motores a gasolina).
- NTE-CCAT-011/88 (para motores Diesel).
- DGN-AA-13-1976 (pruebas para dinamómetros de chasis y de aceleración libre).

Se prevé que en años posteriores se aplicarán normas más restrictivas y tendrán que utilizarse motores con tecnología más moderna y dispositivos o sistemas anticontaminantes más eficaces, algunos de los cuales (inclusive ya en uso) se listan a continuación.

#### **4. Dispositivos anticontaminantes para vehículos equipados con motores de combustión interna**

##### **4.1 Actualmente en uso**

Los fabricantes de vehículos han desarrollado varios dispositivos para el control de emisiones con el fin de que sus productos cumplan con las normas correspondientes. Los dispositivos más comunes que se han utilizado en los vehículos actualmente en circulación son:

- a) Control de emisiones evaporativas.
- b) Inyección electrónica de combustible.
- c) Control electrónico de encendido.
- d) Turbocompresores.
- e) Convertidores catalíticos<sup>(4)</sup>.
- f) Recirculación de gases de escape.

---

(4) Con la evolución de las normas para el control de emisiones en México, a partir del año-modelo 1991, todos los vehículos nuevos de motor a gasolina están equipados con convertidores catalíticos.

Otras alternativas (actualmente en fase de estudio) que probablemente se usen en años venideros son:

- a) Combustibles alternos.
- b) Control de partículas.

En la Tabla 1 se muestran las aplicaciones de los diferentes dispositivos para vehículos a gasolina o Diesel.

**Tabla 1** Aplicaciones de dispositivos anticontaminantes

Dispositivo	Vehículo	
	a gasolina	Diesel
Emisiones evaporativas	+	
Inyección electrónica	+	+
Encendido electrónico	+	
Turbocompresores <sup>(†)</sup>	+	+
Convertidor catalítico	+	
Recirculación de gases de escape	+	+
Combustibles alternos	+	+
Purificador catalítico		+
Trampas de partículas		+

(†) Estos se usan principalmente en motores Diesel

A continuación se describen en forma breve el principio y funcionamiento de cada uno de dichos dispositivos.

#### 4.1.1 Control de emisiones evaporativas

Algunas de las fuentes de contaminación del aire ambiente causada por los motores de combustión interna, no se deben a la combustión misma sino a los hidrocarburos provenientes de la evaporación del combustible y del lubricante.

Con el fin de evitar lo anterior, se utiliza el control de emisiones evaporativas que se basa en el uso de un condensador de carbón activado [12]. Con eso se logra retener los vapores provenientes del depósito de combustible y de la cuba del carburador, así como los vapores del lubricante del motor. Mediante la purga del condensador de carbón activado con aire fresco, los condensados son introducidos al motor, para ser quemados durante la marcha normal del vehículo. La capacidad de absorción de estos dispositivos es normalmente de entre 30 y 40 g de hidrocarburos.

#### 4.1.2 Inyección electrónica de combustible

Este dispositivo se utilizó, en un principio, para lograr economía de combustible en los motores a gasolina, ya que con él se puede dosificar de manera más exacta la cantidad de combustible, de acuerdo a las condiciones de operación del motor [13]; sin embargo, su aplicación fué limitada debido al costo relativamente elevado respecto al carburador mejorado y a la inyección monopunto (*throttle body injection*). Estudios recientes han demostrado que la mejor relación entre las emisiones de CO, HC y NO<sub>x</sub>, se encuentra cuando el motor funciona con una relación aire-combustible muy próxima a la estequiométrica, esto es, 14.7:1. No obstante, ésto es imposible de lograr con el carburador mejorado y aún con la inyección monopunto, debido a las perturbaciones de flujo que se generan en el múltiple de admisión, las cuales ocasionan que los cilindros no sean alimentados de la misma forma; sólo la inyección multipunto (*fuel-injection*) ofrece resultados satisfactorios.

Respecto al motor Diesel, en el cual el combustible es introducido al motor por medio de inyectores y bombas de inyección mecánicos y aún cuando el problema no es alcanzar la relación estequiométrica, ya que este motor funciona con relaciones *pobres* (superiores al valor de la relación estequiométrica y sólo a plena carga se aproxima a este valor), la evolución de las normas para el control de sus emisiones, está obligando a los fabricantes a usar sistemas de inyección con controles electrónicos para lograr un funcionamiento óptimo según las condiciones de operación del motor y con ello reducir en forma sustancial las emisiones de partículas, humo y NO<sub>x</sub>, sin descuidar el consumo de combustible.



### 4.1.3 Control electrónico de encendido

Los primeros controles de encendido electrónico [14] se usaron para aumentar la energía de la chispa producida en las bujías y con ello mejorar la calidad de la combustión. Actualmente se encuentran integrados en microprocesadores que mediante la información de variables tales como temperatura del agua de enfriamiento, posición del acelerador, temperatura del aire de admisión, flujo de aire, temperatura de los gases de escape, revoluciones por minuto, etc., así como presencia de cascabeleo<sup>(5)</sup>, determinan de una manera muy precisa la cantidad de combustible a inyectar y el momento en que debe producirse la chispa (avance o retardo al encendido). Los parámetros de calibración se obtienen, a su vez, a partir de información resultante de pruebas en dinamómetros de motor y de chasis que se encuentra almacenada en la memoria del microprocesador.

### 4.1.4 Turbocompresores

El turbocompresor [14] se ha utilizado para obtener mayor potencia por unidad de volumen de cilindrada del motor. Como ventaja adicional este dispositivo compensa la pérdida de potencia que se observa en los motores de aspiración natural al aumentar la altitud sobre el nivel del mar, evitando así el aumento en las emisiones que ocurre en dichos motores cuando no cuentan con correctores altimétricos.

El uso del turbocompresor ha ido en aumento en los motores Diesel ya que con él se reduce en gran parte la emisión de humo negro, compuesto principalmente de hollín y partículas (ésta ha sido la causa por la que se ha culpado a dicho motor de ser muy contaminante).

---

(5) Efecto debido a la inflamación de la mezcla aire-combustible antes de que se produzca la chispa en la bujía produciendo un golpeteo característico.

#### 4.1.5 Convertidores catalíticos

Para el control de los gases de escape de los motores se están aprovechando las características de los catalizadores. Un catalizador es un agente que tiene la propiedad de cambiar la velocidad de una reacción química; esta reacción debe ser termodinámicamente posible considerando una relación que depende de las temperaturas de los reactantes. Por lo general a altas temperaturas se tienen mayores relaciones de reacción.

Con base en lo anterior, se han diseñado los convertidores catalíticos [15]. Estos son dispositivos que contienen un catalizador (platino, paladio, rodio) y un soporte de cerámica con una estructura especial en forma de panel. Al pasar los gases de escape por el convertidor se acelera la formación de compuestos estables a partir de los productos disociados.

Existen dos tipos de convertidores catalíticos, denominados de *dos vías* y de *tres vías*. El convertidor de dos vías contiene como elemento activo (catalizador) el platino y/o el paladio y se utiliza para la oxidación de los hidrocarburos y el monóxido de carbono, con lo cual se obtienen agua y bióxido de carbono (compuestos estables). El convertidor de tres vías contiene además de platino o paladio, otro elemento activo que es el rodio, el cual se utiliza para la reducción de los óxidos de nitrógeno, con esto se obtienen nitrógeno y oxígeno; este último se utiliza en el proceso de oxidación, además del bióxido de carbono y agua.

Para el uso adecuado de estos dispositivos es necesario:

- I Usar gasolina sin plomo, ya que éste se deposita sobre el catalizador inhibiendo su acción;
- II Controlar la temperatura de los gases de escape en un rango específico dentro del cual la acción del elemento activo es muy eficiente y se protege la estructura cerámica.

En la práctica, el uso del convertidor de tres vías requiere de un microprocesador como el descrito en el inciso 4.1.1, el cual detecta, además, la temperatura de escape y la relación aire-combustible, a partir de una sonda de oxígeno (conocida como *sonda lambda*).

#### 4.1.6 Recirculación de gases de escape

Recirculando una cierta cantidad de gases de escape se reduce la temperatura global del ciclo termodinámico así como las emisiones de óxidos de nitrógeno, tanto en motores a gasolina como Diesel [16, 17], ya que el mecanismo de formación de estos óxidos es dependiente de la temperatura. Desafortunadamente la cantidad de gases que puede recircularse

está limitada aproximadamente a 15% ya que su uso tiende a incrementar la emisión de partículas en el motor Diesel.

## 4.2 Tecnologías en estudio

### 4.2.1 Combustibles alternos

Se ha investigado también la utilización de combustibles que proporcionen una combustión más limpia en los motores de combustión interna [18]. Como ejemplos se tienen el uso de alcoholes como el metanol y el alcohol de caña (etanol), el uso del gas doméstico (mezcla de butano y propano), del gas natural (metano), etc. Sin embargo, el problema hasta ahora, es que los motores tienen que ser diseñados específicamente para funcionar con cada combustible en particular y contar con una fuente segura de abastecimiento. Los combustibles alternos en general son más caros que los tradicionales y su disponibilidad es limitada.

### 4.2.2 Control de partículas

Como se mencionó anteriormente, los niveles autorizados de emisión de contaminantes han ido decreciendo rápidamente, especialmente en lo que se refiere a las partículas emitidas por el motor Diesel. La definición de partículas según la EPA es:

*Todo material que se puede colectar en un filtro de plástico con recubrimiento de fibra de vidrio, a una temperatura que no exceda 125° F (52° C), excluyendo las gotas de agua condensada [19].*

De acuerdo con esta definición, las partículas son: carbón (cuya dimensión va de 0.1 a 1.0 micras), hidrocarburos complejos, gases inorgánicos, ácido sulfúrico, vapor de agua, cenizas de combustible y lubricante y algunos productos provenientes del desgaste del motor. La mayor parte de las partículas proviene de una combustión incompleta, producto de la heterogeneidad de dicho proceso en el motor Diesel. La composición de las partículas varía mucho dependiendo de las condiciones de operación del motor. Se cree que algunos de los componentes orgánicos de las partículas son potenciales productores de mutaciones diversas (entre ellas el cáncer) en el hombre. Los efectos sobre la salud son a largo plazo y se dice que su grado de peligrosidad aumenta en presencia de los óxidos de nitrógeno.

A través de los años se han utilizado diferentes métodos para el control de estos contaminantes, iniciando con el diseño adecuado de los motores. En general, la optimización

de los sistemas de combustión y de inyección de combustible y todo trabajo relativo a la reducción de las emisiones de hidrocarburos, reditúa en una disminución de la emisión de partículas. Sin embargo, para lograr niveles más bajos de estas emisiones, los esfuerzos deben enfocarse específicamente a su reducción. Un parámetro muy importante para tal reducción es la calidad del combustible; aquéllos que tienen un contenido elevado de azufre producen más emisiones de partículas.

En la actualidad se encuentran también en fase de estudio para combatir la emisión de partículas:

- a) El purificador catalítico [20].
- b) Las trampas de partículas [20].

A continuación se describen brevemente ambos sistemas.

#### **a) El purificador catalítico**

Los purificadores catalíticos tienen una estructura metálica en forma de panal, con un depósito de catalizador (usualmente metales del grupo del platino que son activos alrededor de 200°C) en las paredes de las celdas. Los gases de escape fluyen sin restricción, en tanto que el monóxido de carbono, los aldehidos, los hidrocarburos gaseosos y la materia orgánica se oxidan rápidamente debido a la presencia del catalizador, logrando así una reducción en la concentración de partículas. La diferencia entre un convertidor catalítico y un purificador catalítico es que el primero se activa a una mayor temperatura que el segundo (el gas de escape del motor Diesel es más frío que el del motor a gasolina).

#### **b) Las trampas de partículas**

Las trampas o filtros de partículas tienen una estructura cerámica en forma de panal, pero en este caso, las celdas están bloqueadas en forma alterna, con lo cual se forza al gas de escape a pasar a través de la pared de cada celda, removiendo el 90% del hollín. Si se usa el filtro con depósitos de catalizador, los contaminantes gaseosos pueden también oxidarse. Estos dispositivos ya se han usado con éxito en equipos para minas subterráneas en varias partes del mundo.

Respecto al funcionamiento del dispositivo se puede decir que atrapar el hollín no es un gran problema, pero removerlo de la trampa es complicado. En los motores que están en operación continua, el nivel de hollín atrapado se incrementa, formando un tapón que hace aumentar la contrapresión en el escape. Cuando el motor trabaja con cargas

elevadas, la temperatura del escape aumenta considerablemente (a 420°C o más), el hollín se quema y el filtro se limpia. Sin embargo, no siempre se trabaja en estas condiciones y particularmente los autobuses urbanos raras veces alcanzan la temperatura a la cual esta regeneración es posible. Debido a esto, se ha usado un quemador auxiliar de Diesel para quemar las partículas atrapadas en el filtro. Tales sistemas de regeneración forman un sistema complejo, ya que no sólo se requiere el quemador, sino también de un sistema de alimentación de combustible, dos trampas (mientras una se encuentra en uso, la otra se regenera) y un conjunto de válvulas y circuitos lógicos para el control automático del sistema. Todo esto representa un costo adicional significativo.

La falta de confiabilidad de estos dispositivos ha propiciado que la EPA haya fijado para las trampas en desarrollo los requisitos siguientes [21]:

- Buena eficiencia de recolección.
- Regeneración periódica confiable.
- Materiales durables.
- 240,000 km de operación sin mantenimiento.
- 466,700 km de duración.

## 5. Comentarios

La preocupación por la protección del medio ambiente está obligando a definir normas y a utilizar equipos más eficientes para el control de contaminantes. En este contexto, se sugieren las siguientes áreas básicas de desarrollo tecnológico e investigación que seguramente tendrán gran auge en los próximos años:

- a) Sustitución de los metales nobles (de costo elevado) como elementos catalizadores en los convertidores catalíticos.
- b) Desarrollo de nuevos materiales para los soportes del catalizador de los convertidores catalíticos y establecimiento de técnicas para su regeneración.
- c) Diseño de trampas de partículas autoregenerativas y desarrollo de técnicas para su fabricación.
- d) Desarrollo de nuevos materiales para los filtros de las trampas de partículas.
- e) Desarrollo de combustibles y aditivos alternos.
- f) Estudios para el establecimiento de normas para los niveles máximos permisibles de emisión de contaminantes en México.

## 6. Referencias

- [1] Centre de Recherches Economiques, 1981, "Rapport de la cinquante-deuxième Table Ronde D'Economie des Transports", *Conférence Européenne des Ministres des Transports*, Paris.
- [2] Faires, V. M., 1980, *Termodinámica*, 2a. Ed., UTEHA, México.
- [3] Brun, R., 1976, "Science et Technique du Moteur Diesel Industriel et de Transport", Technip, Paris, Tomo I, pp. 85-210.
- [4] Salvi, G., 1975, *La Combustión*, 2a. Ed., Dossat, Madrid.
- [5] Taylor, K. C., 1989, "Automobile Catalytic Converters", *Reporte Interno*, Physical Chemistry Department, General Motors Research Laboratories, Warren, Michigan, USA.
- [6] Matthews, R. D., 1990, "Emissions and Fuel Economy Regulations", *Mechanical Engineer's Handbook*, Kutz/Wiley, pp. 2109-2112.
- [7] Ullman, T. L., 1989, "Investigation of the Effects of Fuel Composition on Heavy-Duty Diesel Engine Emissions", *SAE Technical Paper Series*, No. 892072.
- [8] SEDUE, 1988, "Norma Técnica Ecológica NTE-CCAT-003/88", *Diario Oficial de la Federación*, 6 de junio.
- [9] SEDUE, 1988, "Norma Técnica Ecológica NTE-CCAT-011/88", *Diario Oficial de la Federación*, 14 de diciembre.
- [10] SEDUE, 1988, "Norma Técnica Ecológica NTE-CCAT-010/88", *Diario Oficial de la Federación*, 14 de diciembre.
- [11] SECOFI, 1976, "Norma Oficial DGN-AA-13-1976".
- [12] McArragher, J. S., Betts, W. E., Brandt, J., Kiessling, D., Marchesi, G. F., Owen, K., Pearson, J. K., Schug, K. P., Snelgrove, D. G., 1989, "Evaporative Emission Control in Europe", *Automotive Engineering*, pp. 87-92.
- [13] Obert, E. F., 1973, *Internal Combustion Engines and Air Pollution*, Harper & Row, New York.
- [14] Patterson, D. J. and Henien, N. A., 1972, *Emissions from Combustion Engines and Their Control*, Ann Arbor Science, Michigan.

- [15] Church, M. L., Cooper, B. J., Willson, P. J., Matthey, J., 1989, "Catalysts in Automobiles: a History", *Automotive Engineering* pp. 69-75.
- [16] Lilly, L. R. C., 1984, *Diesel Engine Reference Book*, Butterworths, London, pp. 18/9.
- [17] Chilton Book Company, 1986, *Repair & Tune-up guide Datsun/Nissan 1200-210 Sentra 1973-86*, Part No. 7197, pp. 94.
- [18] Saricks, C. L., 1990, "Review of Technological and Policy Options for Mitigating Greenhouse Gas Emissions from Mobile Sources", *Transportation Research Record No. 1267*, Washington, D.C.
- [19] Springer, K. J., 1989, "Particulate Trap for Two-Stroke Cycle Detroit Diesel Powered City Bus", *ASME Book No. 100295*, pp. 9-20.
- [20] Fraser, R., 1990, "Application of Diesel Emissions Control Devices in the 90's", *Engine Control Systems LTD.*, Ontario, Canada.
- [21] Detroit Diesel Corporation, 1989, "Autobús con Trampa de Partículas NYSERDA", *Información al Día*, julio.

## APENDICE

### Normas mexicanas para el control de emisiones

#### Norma para motores a gasolina

La Norma Técnica Ecológica NTE-CCAT-003/88, publicada en el Diario Oficial de la Federación con fecha 6 de junio de 1988, establece los siguientes niveles de emisión de gases:

Año-Modelo de la unidad	Monóxido de carbono (CO) en % del volumen	Hidrocarburos Partes por millón (PPM)
hasta 1979	6.0	700
1980-1986	4.0	500
1987-1990	3.0	400

#### Notas:

En lugares con altitud menor a 1500 m sobre el nivel del mar, los niveles máximos permisibles de emisión en modelos de los años 1979 y anteriores son 5.5% volumen de CO y 650 ppm de HC.

En lo referente a la verificación de emisiones de monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC) provenientes del escape de vehículos con motor a gasolina de peso bruto vehicular superior a 3000 kg, los valores serán los siguientes:

#### Límites máximos permisibles(\*)

Año-Modelo de la unidad	Monóxido de carbono (CO) en % del volumen	Hidrocarburos Partes por millón (PPM)
hasta 1979	6.0	700
1980-1986	5.0	600
1987-1990	4.0	500

(\*) Estos valores se utilizarán en tanto no se publique la norma técnica ecológica correspondiente.



## Normas para motores Diesel

La norma técnica ecológica NTE-CCAT-011/88, publicada en el Diario Oficial de la Federación con fecha 14 de diciembre de 1988, establece los siguientes niveles de emisión de humos:

Flujo nominal del motor (l/s)	Niveles máximos permisibles de opacidad (Unidades Hartridge)
65	76.1
70	75.1
75	74.2
80	73.3
85	72.5
90	71.6
95	70.9
100	70.1
105	69.5
110	68.8
115	68.1
120	67.6
125	67.0
130	66.5
135	65.9
140	65.4
145	64.8
150	64.4
155	63.9
160	63.4
165	62.9
170	62.6
175	62.2
180	61.8
185	61.3
190	61.2
195	60.7
200	60.3

A continuación se indican los límites máximos permisibles de emisión de humo para los tipos de motor más comúnmente usados en la República Mexicana:

Marca del motor	Tipo	Niveles máximos permisibles de opacidad (Unidades Hartridge)
Cummins	6BTA.59	72.2
Perkins	T6.60CC	71.6
Mercedes	OM.36CLA	71.6
Cummins	6CT8.3	68.6
Detroit	6V.53T	66.1
Cummins	6CTA8.3	68.6
Volkswagen	1500	75.4
Detroit	8V.71N	58.9
I. H.	D.310	72.2
I. H.	D.358	70.4
Detroit	7087.7530	52.1
Detroit	7067.7530	64.5

**Notas:**

En caso de que existan unidades a verificar con motor diferente a los señalados en este Apéndice, se deberán solicitar los límites máximos permisibles a la Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental o a las Delegaciones Estatales de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología.

Si se aplica otro equipo que proporcione lecturas en unidades Ringelmann, es necesario consultar el nomograma de conversiones que aparece en la Sección 8.4 de la norma DGN-AA-13-1976 [11] (esta última se transcribe a continuación).

## Norma mexicana DGN-AA-13-1976

### P R E F A C I O

A efecto que se disponga en el país de un método adecuado para evaluar opacidades de humos, el Grupo de Trabajo "Fuentes Móviles" se avocó a la tarea de elaborar esta Norma, lo que significó un considerable despliegue de esfuerzos y recursos tanto de la iniciativa privada como del sector oficial.

Con el establecimiento de esta Norma se podrá, de manera confiable, determinar si una fuente de emisión está o no dentro de los límites fijados en el citado Reglamento.

El Grupo de Trabajo "Fuentes Móviles" pertenece al Subcomité Núm. 2 "Contaminación Atmosférica" del "Comité Consultivo de Normalización para el Mejoramiento Ambiental".

En la elaboración de esta Norma participaron los siguientes organismos e instituciones:

- Comité Técnico de Estudios para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental de la Asociación Mexicana de la Industria Automotriz.
- Consejo Técnico de la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente.
- Departamento de prevención de Contaminación Ambiental de la Secretaría de Industria y Comercio.
- Subcomité Núm. 2 "Contaminación Atmosférica" del Comité Consultivo de Normalización para el Mejoramiento Ambiental.
- Comité para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental en el Distrito Federal del Departamento del Distrito Federal.

**EVALUACION DE LA OPACIDAD DEL HUMO PROVENIENTE DE  
VEHICULOS AUTOMOTORES EQUIPADOS CON MOTOR DIESEL**  
(METHOD FOR MEASUREMENT OF THE OPACITY  
OF EXHAUST GAS FROM DIESEL ENGINES)

## **0. INTRODUCCION**

Esta Norma contiene dos métodos de prueba: de laboratorio y de campo para evaluar las emisiones de humo de los vehículos que se encuentran en circulación. El primero de estos métodos (con carga) contempla el procedimiento de laboratorio para evaluar con mayor exactitud las emisiones del vehículo. Este es el método más adecuado para determinar si un vehículo puede o no circular en la vía pública.

El segundo método (aceleración libre) establece las bases para determinar rápidamente si un vehículo excede los límites establecidos.

## **1. OBJETIVO**

Esta Norma Oficial establece las condiciones y el método de prueba para evaluar las emisiones de humo en vehículos equipados con motor Diesel que se encuentran en circulación.

## **2. CAMPO DE APLICACION**

**2.1** Se aplica para evaluar las emisiones de humo provenientes de los motores Diesel utilizados en la propulsión de vehículos en circulación.

NOTA: No se aplica a motores estacionarios, marinos, de locomotoras, de aviación, de tractores agrícolas y para maquinaria de construcción, aún en el caso de que circulen en la vía pública.

## **3. REFERENCIAS.**

**3.1** Draft International Standard. ISO/R3173.

Road vehicles apparatus for measurement of the opacity of exhaust gas from Diesel engines operating under steady state conditions.

## **4. DEFINICIONES.**

**4.1** Para los propósitos de esta Norma se entiende:

**4.1.1** Motor de encendido por compresión (Diesel).- Una fuente de potencia en la cual el combustible se inyecta a las cámaras de combustión del motor, para ser encendido durante la operación normal del pistón, mediante el calor generado por la compresión.

**4.1.2** Par de Torsión (torque).- Momento de giro en la flecha de salida.

NOTA: Si el vehículo está equipado con convertidor de torsión o cople hidráulico, el torque debe medirse directamente en el cigüeñal.

**4.1.3** Potencia al freno.- Es la potencia medida en el cigüeñal o su equivalente.

- 4.1.4 Temperatura del aire de admisión.- Es la temperatura ambiente medida en el momento de efectuarse la prueba.
- 4.1.5 Lecturas observadas.- Son los valores registrados durante el desarrollo de la prueba.
- 4.1.6 Lecturas corregidas .- Son los valores observados, modificados por medio de los factores de corrección apropiados.
- 4.1.7 Velocidad de potencia máxima efectiva.- Es la velocidad en la cual se obtiene la lectura de máxima potencia en condiciones estables.
- 4.1.8 Flujo nominal del gas expresado en litros por segundo, para motores de aspiración natural y turbocargados. ( $G$ ).
- 4.1.9 Coeficiente de absorción de la luz expresado en  $m^{-1}$  de una columna diferencial de gas de escape a la presión atmosférica y a una temperatura de  $70^{\circ}C$ . ( $K$ ).
- 4.1.10 Desplazamiento del motor expresado en litros. ( $V$ ).
- 4.1.11 Velocidad angular del motor expresado en revoluciones por minuto registradas al momento de la medición del coeficiente de absorción de la luz. ( $n$ ).
- 4.1.12 Longitud efectiva del haz de luz. ( $L$ ).

## **5. METODO DE PRUEBA A REGIMENES ESTABILIZADOS A PLENA CARGA DEL MOTOR (METODO DE LABORATORIO).**

### **5.1 Fundamento:**

Al operar un motor con el acelerador totalmente abierto aplicándole gradualmente carga por medio de un dinamómetro de chasis, se obtienen diferentes regímenes de operación y condiciones estabilizadas de emisión de humo, en los que se determina la opacidad del humo emitido.

### **5.2 Aparatos.**

- 5.2.1 Opacímetro de flujo continuo (en unidades Hartridge). Debe cumplir con las especificaciones y características del aparato mencionado en la Norma citada en 3.1.
- 5.2.2 Dinamómetro de chasis, con una capacidad mínima de 400 HP, para absorber la energía liberada en las ruedas motrices del vehículo en prueba.

### **5.3 Preparación del vehículo:**

- 5.3.1 El aire de los neumáticos del vehículo bajo prueba debe estar a la presión indicada por el fabricante del dinamómetro.
- 5.3.2 El vehículo de prueba debe estar sin pasaje y/o carga.
- 5.3.3 Se prepara el dinamómetro según las instrucciones de operación del fabricante.
- 5.3.4 Se coloca el vehículo con sus ruedas motrices sobre los rodillos del dinamómetro.
- 5.3.5 Se introduce la sonda del opacímetro en el tubo de escape, de acuerdo a las instrucciones del fabricante del equipo.

- 5.3.6 El motor del vehículo debe estar en condiciones normales de funcionamiento especificadas por el fabricante. En particular el agua del sistema de enfriamiento y el aceite deben estar a la temperatura normal de operación.
- 5.3.7 El sistema de escape no debe tener ningún orificio adicional a los de diseño susceptible de provocar una dilución o fuga de los gases emitidos.

#### **5.4 Procedimiento.**

Se procede a la medición de la opacidad del humo producido por el motor, funcionando éste a plena carga y en régimen estabilizado. Se efectúan 6 mediciones repartidas uniformemente entre el régimen correspondiente a la velocidad de potencia máxima efectiva y el mayor de los 2 regímenes de rotación siguientes: 45% del régimen de rotación de la velocidad de potencia máxima efectiva o 1000 rpm. (la que sea mayor de ambas).

### **6. METODO DE PRUEBA DE ACELERACION LIBRE (METODO DE CAMPO)**

#### **6.1 Fundamento:**

Al someterse un motor a una serie de aceleraciones libres se obtienen lecturas indicativas de la emisión del humo del motor sometido a una prueba con carga.

#### **6.2 Aparatos.**

- 6.2.1 Opacímetro de flujo continuo (en unidades Hartridge). Debe cumplir con las especificaciones y características del aparato mencionado en la Norma citada en 3.1.

#### **6.3 Preparación del vehículo.**

- 6.3.1 El motor debe ponerse, previamente por medio de un recorrido, en condiciones normales de funcionamiento. El ensayo debe efectuarse tan pronto como sea posible al final del recorrido.
- 6.3.2 La cámara de combustión no debe ensuciarse o enfriarse por causa de un período prolongado de marcha lenta en vacío, que preceda al ensayo.

#### **6.4 Procedimiento.**

- 6.4.1 La caja de cambios de velocidad debe estar en posición neutral y con el pedal del embrague sin accionar.
- 6.4.2 Con el motor operando en marcha lenta y en vacío se acciona rápidamente pero sin brusquedad, el acelerador hasta obtener la intervención del gobernador, cuando se obtenga ésta, se suelta el pedal del acelerador hasta que el motor regrese a su velocidad de marcha lenta y el opacímetro se encuentre en las condiciones mínimas de lectura.
- 6.4.3 La operación descrita en el párrafo anterior se debe repetir 6 veces como mínimo, verificando el ajuste del opacímetro al concluir la serie. Se registran los valores

máximos obtenidos en cada una de las aceleraciones sucesivas, hasta obtener cuatro valores consecutivos que se sitúan en una banda cuyo intervalo sea igual a  $0.25 \text{ m}^{-1}$  y no formen una secuencia decreciente. El valor a considerar es el promedio aritmético de estas cuatro lecturas.

## 7. EXPRESION DE RESULTADOS Y VALORES LIMITE.

7.1 Para cada una de las mediciones efectuadas en los 6 regímenes de rotación, en la prueba con carga se procede al cálculo del flujo nominal de gases  $G$ , expresado en litros por segundo. Para el caso de aceleración libre, el flujo nominal se calcula únicamente para el régimen del 45% de velocidad máxima efectiva o 1000 rpm según sea el caso. Para ambos casos el flujo nominal  $G$  se calcula de acuerdo a las siguientes fórmulas:

$$G = Vn/60, \quad \text{para motores de dos tiempos}$$

$$G = Vn/120, \quad \text{para motores de cuatro tiempos}$$

7.2 Para cada régimen de rotación, el coeficiente de absorción no debe sobrepasar el valor límite que figura en el punto 8.1 siempre y cuando la prueba se haya efectuado a una presión barométrica de 760 mm Hg. (nivel del mar).

7.3 Para las pruebas efectuadas a diferentes condiciones de altitud sobre el nivel del mar, al valor obtenido del coeficiente de absorción del punto 8.1 se le suma el valor del factor de corrección correspondiente del punto 8.3.

7.4 Cuando el valor del flujo nominal no sea uno de los que aparecen en el punto 8.1 el valor límite a considerar se obtiene por interpolación, por partes proporcionales.

7.5 Para la prueba de aceleración libre al valor límite del punto 8.1 correspondiente al flujo indicado en 7.1 se le suma  $1.0 \text{ m}^{-1}$  para obtener el límite en condiciones de presión barométrica de 760 mm Hg. Para pruebas en diferentes altitudes se suma el factor de corrección al igual que en el punto anterior.

7.6 Para obtener la correlación de unidades absolutas a unidades lineales se emplea la siguiente fórmula:

$$K = -\frac{1}{L} \log_e \frac{1-n}{100}$$

NOTA: En el punto 8.2 se encuentra la tabla de conversión para el caso de unidades Hartridge. En el punto 8.4 se encuentra la tabla de conversión de unidades Hartridge a escala Ringelmann.

## 8. APENDICE.

### 8.1 Valores límites dados en coeficiente de absorción correspondientes al flujo nominal.

FLUJO NOMINAL $G$ (l/s)	COEFICIENTE DE ABSORCION $K$ ( $m^{-1}$ )
65	2.34
70	2.275
75	2.22
80	2.165
85	2.12
90	2.075
95	2.035
100	1.995
105	1.965
110	1.925
115	1.895
120	1.87
125	1.845
130	1.82
135	1.80
140	1.77
145	1.75
150	1.725
155	1.705
160	1.69
165	1.67
170	1.655
175	1.64
180	1.625
185	1.61
190	1.595
195	1.58
200	1.565



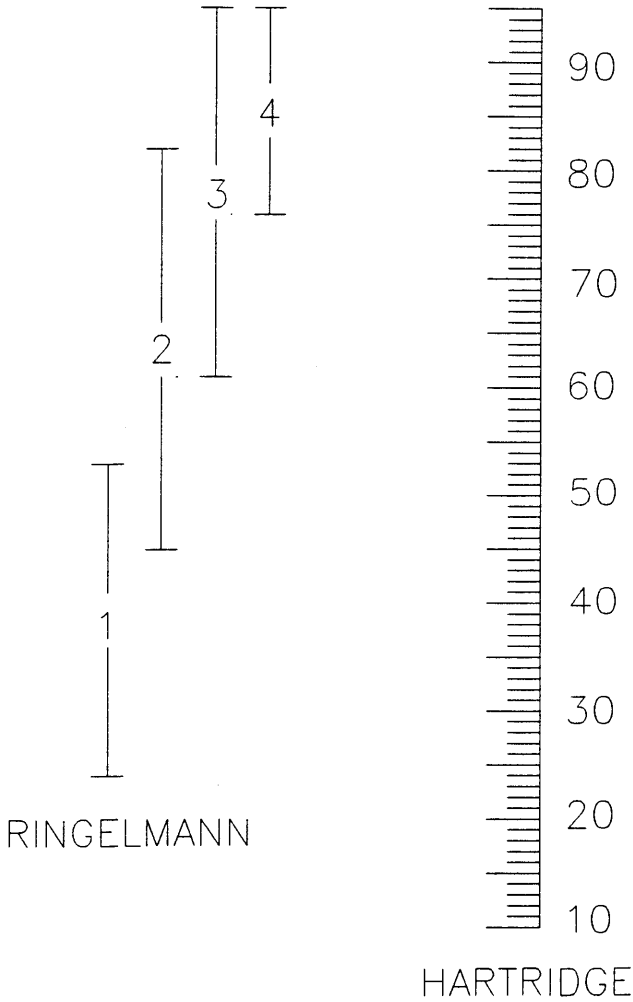
## 8.2 Correlación de unidades Hartridge al coeficiente de absorción.

COEFICIENTE DE ABSORCION	UNIDADES HARTRIDGE	COEFICIENTE DE ABSORCION	UNIDADES HARTRIDGE
0.1	4.2	2.3	62.8
0.2	8.2	2.4	64.5
0.3	12.1	2.5	65.9
0.4	15.8	2.6	67.4
0.5	19.3	2.7	68.7
0.6	22.7	2.8	70.0
0.7	26.0	2.9	71.2
0.8	28.1	3.0	72.5
0.9	32.1	3.1	73.7
1.0	34.9	3.2	74.8
1.1	37.7	3.3	75.8
1.2	40.3	3.4	76.8
1.3	42.9	3.5	77.8
1.4	45.2	3.6	78.8
1.5	47.5	3.7	79.6
1.6	49.3	3.8	80.5
1.7	51.9	3.9	81.4
1.8	53.3	4.0	82.1
1.9	55.3	4.04	83.0
2.0	57.7	5.0	88.4
2.1	59.4	6.0	92.5
2.2	61.2	7.0	95.1

**8.3 Factores de corrección para diferentes presiones barométricas mm Hg vs coeficiente de absorción.**

	0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
500	2.60	2.59	2.58	2.57	2.56	2.55	2.54	2.53	2.52	2.51	
510	2.50	2.49	2.48	2.47	2.46	2.45	2.44	2.43	2.42	2.41	
520	2.40	2.39	2.38	2.37	2.36	2.35	2.34	2.33	2.32	2.31	
530	2.30	2.29	2.28	2.27	2.26	2.25	2.24	2.23	2.22	2.21	
540	2.20	2.19	2.18	2.17	2.16	2.15	2.14	2.13	2.12	2.11	
550	2.10	2.09	2.08	2.07	2.06	2.05	2.04	2.03	2.02	2.01	
560	2.00	1.99	1.98	1.97	1.96	1.95	1.94	1.93	1.92	1.91	
570	1.90	1.89	1.88	1.87	1.86	1.85	1.84	1.83	1.82	1.81	
580	1.80	1.79	1.78	1.77	1.76	1.75	1.74	1.73	1.72	1.71	
590	1.70	1.69	1.68	1.67	1.66	1.65	1.64	1.63	1.62	1.61	
600	1.60	1.59	1.58	1.57	1.56	1.55	1.54	1.53	1.52	1.51	
610	1.50	1.49	1.48	1.47	1.46	1.45	1.44	1.43	1.42	1.41	
620	1.40	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.33	1.32	1.31	
630	1.30	1.29	1.28	1.27	1.26	1.25	1.24	1.23	1.22	1.21	
640	1.20	1.19	1.18	1.17	1.16	1.15	1.14	1.13	1.12	1.11	
650	1.10	1.09	1.08	1.07	1.06	1.05	1.04	1.03	1.02	1.01	
660	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	
670	0.90	0.89	0.88	0.87	0.86	0.85	0.84	0.83	0.82	0.81	
680	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	
690	0.70	0.69	0.68	0.67	0.66	0.65	0.64	0.63	0.62	0.61	
700	0.60	0.59	0.58	0.57	0.56	0.55	0.54	0.53	0.52	0.51	
710	0.50	0.49	0.48	0.47	0.46	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	
720	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	
730	0.30	0.29	0.28	0.27	0.26	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	
740	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	
750	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	
760	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**8.4 Conversión de unidades Hartridge a escala Ringelmann.**



DGN-AA-13	DIRECCION GENERAL DE NORMAS
EVALUACION DE LA OPACIDAD DEL HUMO PROVENIENTE	
DE VEHICULOS AUTOMOTORES EQUIPADOS CON MOTOR DIESEL	

## **9. BIBLIOGRAFIA.**

- 9.1. "The Measurement of Diesel Exhaust Smoke Control" 1965/10. A.E. Dodd y Z. Holubeki. MIRA (Motor Industries Research Association).
- 9.2. "The Performance of Diesel Engines for Road Vehicles". BS-AU141a-1971.
- 9.3. "Diesel Exhaust Smoke Control". Informe del grupo de trabajo Fuentes Móviles en colaboración con Leslie Hartridge.

## **10. CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES**

Esta Norma concuerda básicamente con parte del Reglamento SE-24 de la Comunidad Económica Europea.

México, D. F., a 29 de abril de 1976  
Rúbrica del C. DIRECTOR GENERAL DE NORMAS  
ING. CESAR LARRAÑAGA ELIZONDO.