



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“SUSTENTO TÉCNICO PARA MODIFICAR LAS  
NORMAS OFICIALES MEXICANAS  
ECOLÓGICAS 045 Y 077, A FIN DE MEJORAR  
LAS EMISIONES DE HUMO DE LOS  
VEHÍCULOS EN CIRCULACIÓN QUE USAN  
DIESEL COMO COMBUSTIBLE”**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

P R E S E N T A :

AQUINO CORTÉS JUAN MANUEL



DIRECTOR DE TESIS: DR. ROGELIO GONZÁLEZ OROPEZA.

MÉXICO, D. F., 2013

## **Agradecimientos**

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México por darme la oportunidad de formarme como profesional y crecer como ser humano.

A los profesores y sinodales por su apoyo y su tiempo para la culminación de este proyecto.

M.I. José Esteban Barrios Sierra

Dr. William Vicente y Rodríguez

Ing. Alejandro Rojas Tapia

Ing. Octavio Santiago Cruz

Al director de tesis Dr. Rogelio González Oropeza por haber confiado en mi y mis compañeros.

Quiero agradecer a mi familia por darme la confianza y los medios para cerrar este ciclo, a mi hermana Norma y mi Madre Antonia por ser los pilares de la persona que soy ahora y por supuesto a mi hermano por apoyarme siempre cuando así lo necesite, siempre estaré agradecido porque este logro fue gracias a ustedes desde mi niñez hasta ahora. También quiero agradecer a personas que aunque no estén ahora fueron y serán parte de mi formación como ser humano mi abue María Cruz y mi tío Perfecto Cortes quienes me inculcaron las bases y los principios fundamentales en la culminación de este y todos los proyectos en mi vida.

Por supuesto quiero ofrecer este trabajo a las tres mujeres más importantes en mi vida, Ivonne, Zoe e Iran, que son la razón de prepararme personal y profesionalmente. Ustedes son el motor de mi existir sin su presencia, ánimo, cariño, amor y apoyo esto y todo lo que represento no sería lo mismo, gracias por su apoyo y más por el hecho de ser parte de mi existir.

Por último agradezco a todos mis familiares, amigos, compañeros por su apoyo y amistad, ya que de ese apoyo y amistad he podido seguir adelante en mis proyectos, quiero agradecer en especial a Enoch y Karla, ya que literalmente sin ellos no habría concluido este trabajo.

**Manuel Aquino**

# ÍNDICE

## Resumen

## Introducción

<b>Cap. I.- Motores Diesel.....</b>	<b>1</b>
I.1.- Prospectos del motor diesel.	1
I.2.- Combustibles para motores diesel.	14
I.2.1.- Diesel convencional.	14
I.2.2.- Gas Natural Comprimido (GNC)	20
I.2.3.- Biodiesel.	24
I.3.- Principios de operación del sistema de inyección mecánica y su comparación con la inyección electrónica.	29
I.4.- Impacto ambiental.	40
<b>Cap. II.- Normas Ecológicas para Vehículos Diesel en Circulación.....</b>	<b>46</b>
II.1.- Normativa Ecológica Internacional de vehículos diesel en operación 2003 y anteriores.	46
II.2.- Antecedentes de Normas Ecológicas Mexicanas.	56
II.3.- Normas Vigentes (NOM-045,NOM-077).	60
II.4.- Proyecto de Norma Oficial Mexicana (Proy NOM-045).	66
<b>Cap. III.- Estudio de pruebas de opacidad.....</b>	<b>74</b>
III.1.- Muestreo del parque vehicular diesel a nivel nacional.	74
III.2.- Análisis de pruebas realizadas.	85
III.3.- Propuesta de nuevos límites.	97

<b>Conclusiones.....</b>	<b>110</b>
--------------------------	------------

**Apéndices.**

<b>Apéndice. A</b>	
Bombas de Inyección para Motores Diesel.....	112
<b>Apéndice. B</b>	
Norma Oficial Mexicana NOM-045-ECOL-1996.....	171
<b>Apéndice. C</b>	
Norma Oficial Mexicana NOM-077-ECOL-1995.....	181
<b>Apéndice. D</b>	
Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-045-SEMARNAT-2005.....	202

**Bibliografía**

## RESUMEN

En la actualidad existe un problema con respecto a la contaminación ambiental en México, la cual se debe a muchos factores, de los principales es las emisiones contaminantes expulsadas por los vehículos debido a la combustión, y por tal razón se han creado métodos ecológicos. A partir de métodos y normas que regulan los índices de gases contaminantes en los vehículos en circulación, las autoridades correspondientes están en una constante investigación, con el fin de disminuir los niveles máximos de emisiones contaminantes. En el año 2003 se propuso una nueva norma referente a los niveles máximos de contaminación en los motores diesel, esta norma se modificó con respecto al método de prueba con el fin de disminuir en gran medida la contaminación en el ambiente.

El presente trabajo se desarrolló con la finalidad de establecer nuevos límites para disminuir la emisión de opacidad expulsada por los vehículos a diesel que se encuentran en circulación, aplicando la propuesta del método de prueba que es una homologación con el protocolo internacional y consiste en acelerar el motor súbitamente, desde su régimen de giro de ralentí hasta la velocidad de corte de gobernador, sustituyendo al método actual donde se permite que el motor alcance una estabilidad en las revoluciones por minuto en un cierto lapso de tiempo. El aplicar el nuevo protocolo de prueba, nos permite semejar las condiciones normales de operación tal y como ocurre en los caminos y carreteras nacionales, donde se alcanzan los máximos niveles de opacidad.

Es de gran interés medir la opacidad arrojada por los vehículos diesel, pero ligado a ello, también es necesario saber con cuantos vehículos se cuenta a nivel nacional y como pueden influir en la contaminación del aire. Actualmente en nuestro país no existe una dependencia o institución que se dé a la tarea de llevar un registro de vehículos diesel y, sumado a esto, tampoco se tiene un control de los vehículos ilegales que entran al país; todo esto hace aún más difícil saber el número de vehículos en circulación existente en la

República Mexicana, por tal motivo en el presente trabajo se hace la propuesta de un método estadístico a fin de obtener una estimación del parque vehicular aplicable a cualquier base de datos con la que se pudiera contar.

A lo largo del año 2004, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en compañía de diversas instituciones públicas y privadas, se dieron a la tarea de hacer pruebas de opacidad para estimar los niveles de opacidad arrojados por los vehículos diesel que circulan en el país, midiendo el coeficiente de absorción de luz ( $K [m^{-1}]$ ). Las pruebas fueron aplicadas a automotores con un peso bruto vehicular arriba de los 3,856 Kg., ya que este tipo de vehículo circula en su mayoría dentro del país.

Haciendo uso de opacímetros se realizaron pruebas a 232 vehículos con motor diesel, ocupando la Norma actual y la Norma propuesta, las cuales son para controlar los humos de estos vehículos. Al obtener los resultados se observó que los vehículos 1987 y anteriores pueden tener un límite máximo de opacidad de  $2.13m^{-1}$ , los de 1988 a 1993 un límite de  $1.31m^{-1}$  y los de 1994 en adelante con un límite de  $1.11 m^{-1}$ . De lo obtenido no concuerda con los límites propuestos en la Norma y se requiere hacer un estudio más extenso de los ensayos experimentales.

# **INTRODUCCIÓN**

## INTRODUCCIÓN

**Objetivo:** A partir del nuevo protocolo de prueba, desarrollar una propuesta para modificar los límites máximos en la medición y control de opacidad proveniente de vehículos en circulación impulsados con motor diesel, sustentado en el análisis y estudio de ensayos experimentales.

El presente trabajo del Anteproyecto de norma (NOM-045), el cual se refiere a modificar el procedimiento de medición de la Norma Oficial Mexicana vigente y al mismo tiempo, revisa y determina las características del equipo de medición que se emplea para este fin.

En este contexto se hace una revisión de las tecnologías actuales que operan conjuntamente con el motor diesel. Es decir, realizamos un recorrido por los campos de aplicación de este motor, los combustibles que los complementan, el funcionamiento de los elementos más importantes que trabajan dentro del motor de estos vehículos, los antecedentes de la normativa internacional que hacen posible este trabajo, y por supuesto, se llevo a cabo la evaluación, análisis y documentación de las pruebas realizadas al parque vehicular con el que se apoyó esta investigación del anteproyecto de norma.

El Gobierno Federal crea a través de dependencias gubernamentales leyes que garantizan una mejor calidad del aire estableciendo límites y procedimientos, a fin de disminuir la contaminación atmosférica en las principales concentraciones urbanas del país.

De esta forma el Anteproyecto de la Norma Oficial Mexicana 045, establece los niveles máximos permisibles de opacidad del humo proveniente del escape de los vehículos automotores en circulación que usan diesel como combustible, así como su método de



medición y características técnicas del equipo y su cumplimiento es obligatorio para los responsables de los vehículos y de los centros de verificación autorizados.

Este control se logra a partir del análisis de la cantidad de humo expulsado por el escape del motor, el cual es introducido en cierta cantidad a una cámara, que está proveída por un emisor y un receptor de haz de luz. Al estar el humo dentro de la cámara obstruye el paso de luz y, dependiendo de la intensidad de luz registrada, se obtiene un valor característico denominado índice de opacidad y, por ende, al equipo con el que se mide este valor se le llama opacímetro. Cabe destacar que el hecho de mencionar sólo dicho concepto y no profundizar en la explicación del mismo no les resta importancia, por el contrario es de vital importancia pero no se podría hablar al detalle de tal aparato de medición por lo complejo y extenso que resultaría el manejo de información, que en realidad no es el propósito en el desarrollo de este proyecto.

Para los propósitos de este trabajo, es necesario mencionar aquellos aspectos que no se consideran para el control y desarrollo del mismo ya que no aportan un valor agregado al desempeño de los vehículos en estudio. Por lo tanto, no se contemplan las marcas de los equipos de medición, estos sólo deben cumplir con las especificaciones requeridas por la norma.

Se excluye de la aplicación en la presente norma, la maquinaria equipada con motores a diesel empleada en las actividades agrícolas, de la construcción y de la minería, que por su disposición, características o dimensiones no sea susceptible de ser verificada.

No son objeto de ser tomados en cuenta factores climatológicos para la realización de las pruebas, como son lluvia, temperatura ambiente, neblinas y vientos, cuyo comportamiento varía de acuerdo a la región, tales como la altura sobre el nivel del mar y por ende la presión atmosférica, la temperatura y la humedad de la zona.

No se consideran las condiciones viales a las que puedan estar sometidos los distintos automóviles diesel, es decir que no influyen las rutas, tráfico o zona urbana -de acuerdo a las ciudades y regiones del país- en las que se operen los vehículos dado que el proyecto sólo se enfoca a las pruebas estáticas, es decir, el vehículo permanece sin movimiento y sin carga mientras que el motor está en marcha. Tampoco se hace distinción al tipo de servicio que preste cada uno de los automotores mencionados, ya que es igual para todos la aplicación de las pruebas, lo que importa son las características del vehículo en cuanto a la expulsión de humo negro por el tubo de escape.

Con esto se puede ver el campo de aplicación de este trabajo y así, dejar a la vista de los lectores, lo importante que es el estudio de la modificación al procedimiento para el control de la opacidad en motores diesel.

**CAPITULO I**  
**MOTORES DIESEL**

## CAPÍTULO I

### **MOTORES DIESEL**

En la actualidad, las áreas de desarrollo de los motores diesel están teniendo apertura hacia otras tecnologías que, en conjunto, buscan un beneficio al medio ambiente y un ahorro en costos por mantenimiento, entre otras cosas, que logran que los vehículos diesel tengan una evolución importante en el ramo del transporte terrestre particular y público principalmente. Por tal motivo, en este capítulo se presentan algunas tecnologías y combustibles alternativos que se emplean en conjunto con los motores a diesel, con el propósito de mostrar el campo de aplicación donde se encuentran.

Como complemento, se menciona el impacto ambiental que generan las emisiones del motor diesel y las investigaciones realizadas a fin de encontrar una correlación existente entre la opacidad y la medición de partículas, ya que este aspecto ayudará en un futuro a renovar los métodos de prueba en vehículos a diesel en circulación.

#### **I.1 Prospectos del motor diesel.**

El objetivo del desarrollo de las tecnologías híbridas es combinar dos fuentes de energía, de manera que las cualidades de cada sistema sean utilizadas en conjunto, de tal forma que las ventajas del empleo del sistema híbrido sea mucho mayor que el costo de su fabricación.

##### *Vehículos Híbridos Diesel-Eléctricos*

Un vehículo híbrido es aquel que combina dos o más formas de generación de energía, y por ende puede, directa o indirectamente, proveer energía de propulsión. Cada vez estas máquinas van tomando mayor importancia en la vida cotidiana. Muchas de las locomotoras que se ven en algunos países son híbridos diesel-eléctricos y en algunas ciudades se usan autobuses diesel-eléctricos que pueden circular con energía eléctrica proveniente de la carga

eléctrica de cables de alta tensión o, incluso, cuando no cuentan con una fuente de energía eléctrica.

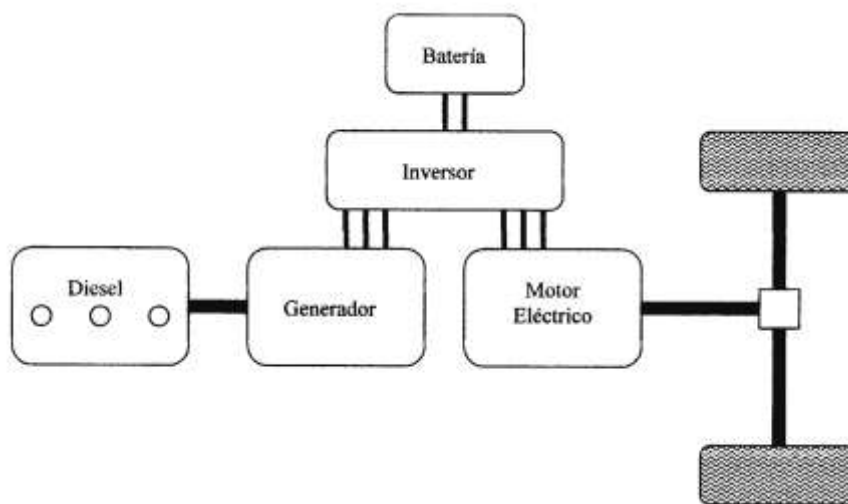
Actualmente, diferentes marcas de vehículos están invirtiendo por este tipo de tecnologías, con el fin de reducir el consumo de combustible y así disminuir la contaminación ambiental. Se han creado diferentes tipos de vehículos híbridos dependiendo de su funcionamiento y su uso.

### Soluciones MCI-eléctricas

Aquellos híbridos que combinan un Motor de Combustión Interna (MCI) y un motor eléctrico, son los únicos sistemas híbridos que han tenido un desarrollo serio. Existen dos tipos básicos de esta clase de sistema: en serie y en paralelo.

### Híbridos en serie

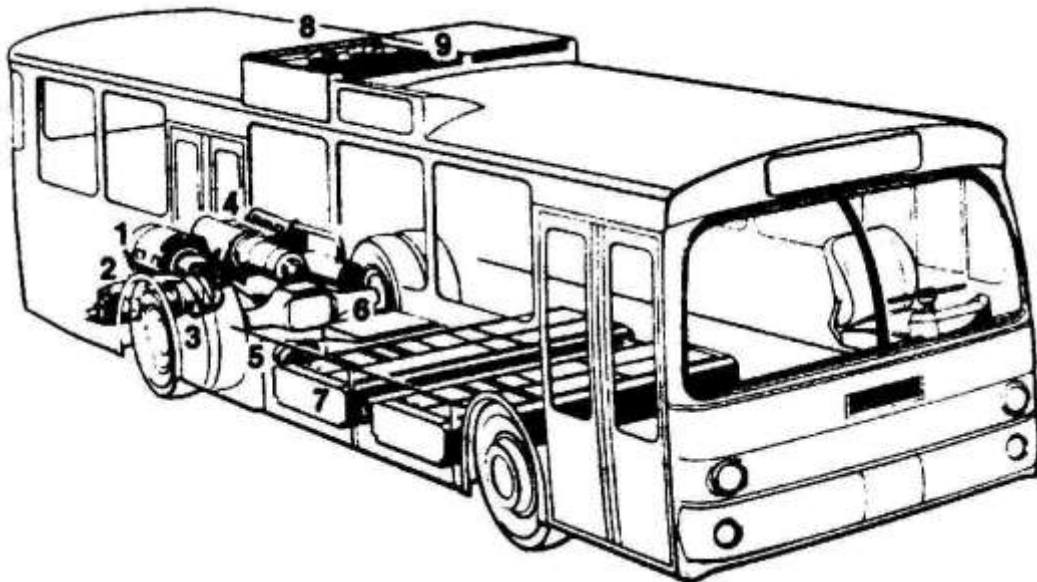
Utilizan el MCI acoplado a un generador que produce electricidad para el motor eléctrico que acciona el giro de las ruedas. Es llamado híbrido en serie porque el flujo de energía se mueve en línea directa. Al estar el MCI desacoplado de la tracción, puede seguir funcionando a una velocidad constante con el objetivo de cargar la batería.



**Figura 1.1 Sistema Híbrido en serie**

Una desventaja de este sistema es que la energía debe ser convertida varias veces, siendo la eficiencia mecánica entre el MCI y el eje de tracción difícilmente superior al 55% (esto incluye la eficiencia de almacenamiento de la batería). Otra desventaja es que requiere un motor más grande y pesado que en el sistema en paralelo, lo que no presenta graves consecuencias en autobuses para transporte público.

Se presenta la configuración de un autobús híbrido eléctrico de arreglo en serie.



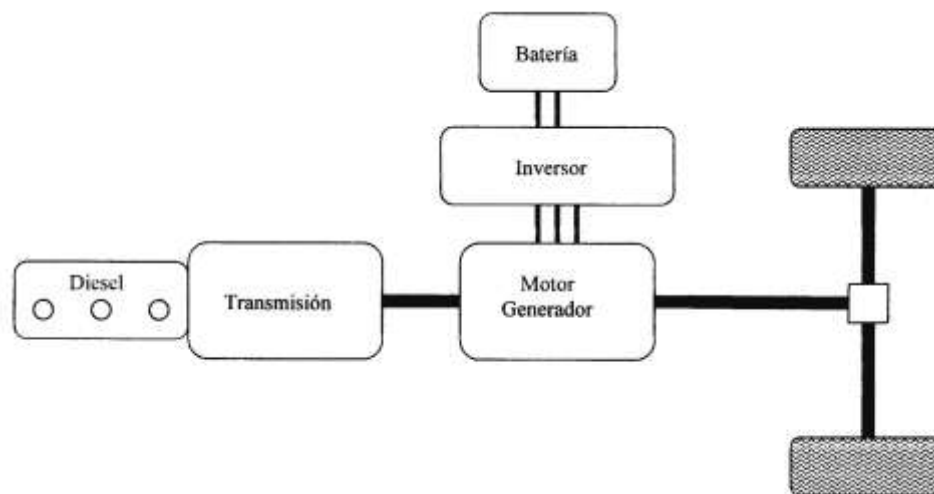
**Figura 1.2 Autobús híbrido eléctrico de arreglo en serie**

Los elementos que conforman a un autobús híbrido en serie son:

1. Motor eléctrico
2. Compresor y bomba de dirección
3. Ventilador para motor eléctrico
4. Motor diesel con alternador
5. Ventilador para enfriar las baterías
6. Control electrónico
7. Baterías
8. Equipo de enfriamiento para las baterías
9. Resistor para frenos.

### Híbridos en paralelo

Utilizan tanto el MCI como el eléctrico para accionar la tracción, asignando la energía de cada uno de acuerdo a las condiciones de conducción. Es llamado híbrido en paralelo pues la energía fluye en líneas paralelas. En este sistema, el MCI puede accionar la tracción al mismo tiempo que carga las baterías. Estos tipos de vehículos son los más populares y sobre los que más se investiga.

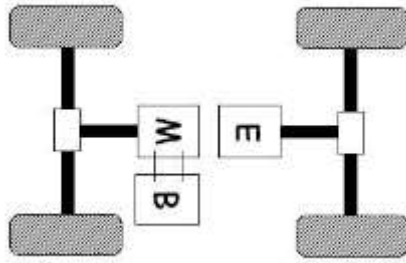


**Figura 1.3 Sistema Híbrido en paralelo**

Se pueden categorizar en cuatro tipos, de acuerdo a cómo combinan su energía:

- Combinación de fuerzas de tracción.

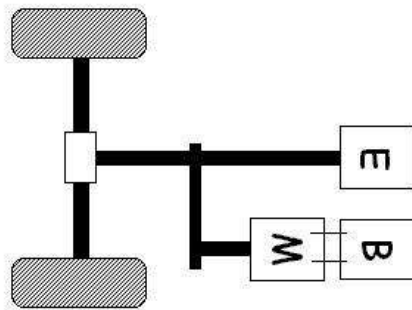
El torque producido en cada motor es entregado a distintos pares de ruedas, por ejemplo, el motor eléctrico (E) entrega torque a las ruedas traseras, mientras que el MCI (M) entrega torque al tren delantero.



**Figura 1.4** Combinación de fuerzas de tracción

- Combinación de torques.

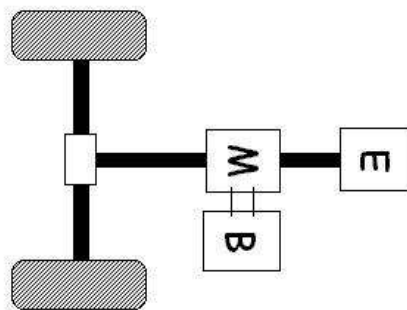
El torque de ambos motores es combinado mediante un arreglo de ejes, antes de ser aplicado a la transmisión.



**Figura 1.5** Combinación de torques

- Combinación de torque en el eje.

El torque de ambos motores es combinado en un mismo eje, antes de ser aplicado a la transmisión.

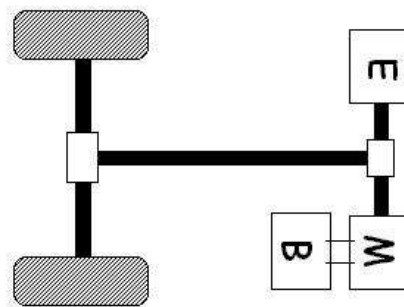


**Figura 1.6** Combinación de torque en el eje



- Combinación de velocidades.

Ambos motores funcionan a velocidades distintas y sus torques son acoplados en una compleja caja de engranajes antes de la transmisión. Este sistema fue desarrollado, construido y probado por “Southwest Research Institute” (SWRI). El desarrollo comprendió un MCI de 1,000 c.c.\*, 3 cilindros y 40 [KW] como potencia máxima, con un motor de inducción A. C. de 325 [V] y 53 [KW] como potencia máxima, además de un paquete de baterías de 7,5 [Kwh.]. Ambos sistemas acoplados en un sistema planetario de engranajes capaz de desacoplar al MCI, permitiendo así que éste opere en su región óptima. Para transmitir el torque a las ruedas del vehículo se utilizó una caja de transmisión continua (CVT), a diferencia de las que conocemos hasta hoy, que son discretas.



**Figura 1.7 Combinación de velocidades.**

La tecnología híbrida fue diseñada para operar en zonas urbanas, donde existan problemas de polución ambiental, por lo que el sistema híbrido es muy adecuado para cumplir con el objetivo de reducción de emisiones contaminantes atmosféricas, especialmente en autobuses de transporte público, operando únicamente como vehículo eléctrico, con la energía guardada en las baterías, teniendo una autonomía de 80 a 200 kilómetros.

\*c.c. Centímetros Cúbicos

### Elementos característicos

Sistema de frenos regenerativo: Al desacelerar o frenar, el motor eléctrico actúa como generador, recuperando la energía cinética desde las ruedas, convirtiéndola en electricidad que puede ser guardada en la batería. Se requieren frenos de fricción tradicionales, así como un sistema de control electrónico que permita maximizar la recuperación de energía y pueda operar el sistema dual de frenos. Los sistemas comerciales en uso, permiten recuperar alrededor de un 30% de la energía cinética típicamente perdida como calor en frenos de fricción. La energía recuperada al freno puede reducir el consumo energético en 15% en conducción en ciudad.

Generador: Un generador sincrónico de corriente alterna produce la electricidad para cargar las baterías. Funciona también como motor de partida para el motor diesel.

Motor eléctrico: un motor sincrónico de corriente alterna, compacto, de bajo peso y alta eficiencia, el cual es el encargado de darle movimiento al autobús.

Inversor: El inversor cambia la corriente continua de la batería en corriente alterna para mover el motor eléctrico, y también la corriente alterna del generador en corriente continua para cargar la batería. Así mismo, varía la frecuencia de la corriente dependiendo de las revoluciones del motor eléctrico para maximizar la eficiencia. El inversor debe ser enfriado por agua.

Divisor de potencia (híbridos en paralelo): El sistema híbrido en paralelo necesita de un divisor de potencia, que utilice un engrane planetario que distribuya el giro del motor MCI entre la tracción y el generador. Controlando las revoluciones del generador, el divisor funciona también como una transmisión continua y variable.

Baterías: Se utilizan las baterías diseñadas para vehículos eléctricos, requiriendo una alta densidad de energía, peso liviano y una larga vida.

Ultracapacitores: Se ha desarrollado también la tecnología de ultracapacitores para el almacenamiento de la energía. Al no depender de reacciones químicas (como las baterías) pueden ser cargados y descargados rápidamente.

El ultracapacitor entrega la energía almacenada en él como un pulso eléctrico poderoso. Se encuentran en etapa de desarrollo comercial. ( 1 )

### Autobuses Híbridos.

Actualmente, se están desarrollando autobuses híbridos diesel-eléctricos, marcando con ello el más grande desarrollo de tecnología en autobuses urbanos. Estos autobuses utilizan el sistema híbrido paralelo hecho por GM's Allison Transmission movidos por Caterpillar C9 ACERT engines. Se espera que estos autobuses híbridos sean un 20-30% más eficientes en combustible que los autobuses diesel convencionales. Están equipados con catalizadores diesel de partículas, los cuales le darán un 90% de reducción en emisiones contaminantes tales como los HC y el CO; y en cuanto a los NOx la reducción es aproximadamente del 50% debido al uso de un motor más reducido y un control del mismo más avanzado.

Cuando el autobús acelera desde alto total, las baterías proveen amplia energía para la aceleración, permitiendo mejorar la optimización del motor y su emisión de gases. Un autobús híbrido paralelo utiliza la energía mecánica del motor diesel para mantener la velocidad después de que el vehículo esté sobre el camino. En este modo el motor también carga la batería.

En contraste, en un sistema híbrido en serie, el autobús es siempre movido por motores eléctricos. El motor diesel es utilizado exclusivamente para mover el generador y que éste cargue las baterías. La energía de frenado es también recuperada desde las ruedas y usada para cargar las baterías, de esta manera se mejora la eficiencia del combustible.

Los híbridos paralelos son más complejos y más caros, pero más versátiles. Por ejemplo, la potencia de un híbrido paralelo podría ser usada para camiones en autopista, mientras la aplicación de híbridos en serie está prácticamente limitada a aplicaciones de paro-avance, incluyendo autobuses urbanos y camiones de entrega.

Un nuevo estudio hecho por el Instituto de Tecnología de Massachussets concluyó que los diesel híbridos serán mejor que los vehículos de celdas de combustibles en términos de eficiencia total de energía y emisiones de gases por lo menos hasta el 2020\*.

\*El estudio fue publicado por el Laboratorio para Energía y el Medio Ambiente del MIT (Instituto Tecnológico de Massachussets)

La tecnología híbridos-eléctricos no es específica para un tipo de combustible, las aplicaciones de manejo en híbridos han sido probadas usando diesel, CNG y Propano como combustibles. Varios productores han desarrollado la producción de modelos de autobuses híbridos, mucho más allá de la puerta experimental. Muchos de esos vehículos han mostrado significantes mejoras en ahorro de combustibles con emisiones más bajas que los autobuses diesel convencionales. Así, la tecnología híbrida tiende probablemente a mejorar y producir incluso emisiones más bajas al paso del tiempo.

Muchos datos de emisiones para combustible alternativo en autobuses han sido recopilados usando distintas metodologías. Los resultados de tales programas demuestran que los vehículos diesel híbridos-eléctricos ofrecen emisiones reducidas en ciclos de manejo en relación a los autobuses diesel convencionales y, en muchos casos, similar a lo que se ha logrado por autobuses CNG convencionales. Estas emisiones reducidas son el resultado de la disminución en la operación de motores transitorios y en el rendimiento mejorado de combustible en los vehículos. (2)

### *Sistemas Híbridos para Locomotoras*

Esta máquina combina varias tecnologías mecánicas, entre ellas el enorme motor diesel de 12 cilindros, con algunos motores pesados eléctricos y generadores, todo ello conectado a la tecnología computarizada para tener buenas mediciones de sus prestaciones.

Esta locomotora está diseñada para velocidades de hasta 177 kilómetros por hora (kph). El motor eléctrico genera 3200 HP, y el generador puede transformar esta energía en casi 4700 amperímetros de corriente eléctrica. El motor V12 y el generador proveen energía eléctrica para el resto del tren. Un generador de este tipo puede generar arriba de 560 Kilowatts (KW) de potencia eléctrica.

Esta combinación de motor diesel y generador eléctrico hace de la locomotora un vehículo híbrido. La principal razón del porqué son híbridas estas locomotoras es debido a que esto elimina la necesidad de una transmisión mecánica, como la hay en los automóviles.

El motor de la locomotora diesel tiene mucho menor régimen de giro. El régimen ideal es alrededor de 269 revoluciones por minuto (rpm), siendo el máximo de solamente 904 rpm.

Con un rango de velocidad como este, una locomotora necesitaría 20 ó 30 engranajes para moverla hasta 177 (kph).

Para avanzar con un arranque híbrido, el motor diesel principal puede correr a una velocidad constante, alternándose con el generador eléctrico. El generador manda energía eléctrica a un motor de tracción en cada eje, el cual mueve las ruedas. El motor eléctrico puede producir un torque adecuado a cualquier velocidad desde el alto total hasta los 177 kph, sin la necesidad de cambiar el engranaje.

### Motor principal y generador

El motor, turbocargado V12, y el generador eléctrico provee la mayor cantidad de energía necesaria para empujar la pesada carga a altas velocidades. El motor sólo pesa arriba de 13.6 tons., y el generador pesa 8 tons. La locomotora opera con un sistema de ocho baterías de 8 volts cada una, cuyo peso individual de 136 kg, y su función es proveer la energía necesaria para encender la máquina.

El motor principal en este caso particular, es un General Motors EMD 710, donde el número 710 significa que cada cilindro es turbo cargado, dos tiempos, diesel V12 con desplazamiento de 11,600 c.c. Esto es más del doble del tamaño de uno de los más grandes motores a gasolina V8 para tracción vehicular.



**Figura 1.8 Motor turbocargado V12.**

El hecho de que sea de dos tiempos es debido a que si éste operara con un ciclo diesel de cuatro tiempos, generaría solamente casi la mitad de la potencia. Esto es por que con el ciclo de dos tiempos, hay el doble de eventos de combustión por revolución, los cuales producen la potencia. Esto permite saber que el motor diesel de dos tiempos es realmente mucho más eficiente que el motor a gasolina de dos tiempos. (3)

Aquí algunas de la especificaciones de este motor.

- Número de cilindros: 12
- Relación de compresión: 16:1
- Volumen por cilindro: 11,600 c.c.
- Carrera del cilindro: 279 mm
- Régimen total: 904 rpm
- Régimen ideal normal: 269 rpm.

#### Motores diesel convertidos a gas natural vehicular (GNV) "Conjunto Dual"

El principio básico de operación del conjunto dual de combustible, es la sustitución de una cantidad de combustible líquido (diesel), con una cantidad equivalente de combustible gaseoso (GNV). La cantidad de gas que se utiliza debe ser tal que reemplace el valor calorífico del diesel, sin que se produzcan pérdidas de potencia. Existe una gran variedad de convertidores duales, que generalmente se instalan a la salida del filtro de aire antes del turbo-cargador y/o del múltiple de admisión, donde se mezcla el aire con el gas natural en la relación adecuada para la combustión.

El proceso más empleado para entregar el gas natural se denomina "fumigación", que se refiere a pre-mezclar el gas natural con el aire antes que entren al motor, sin cambiar el diseño original del múltiple de admisión. La mezcla aire/gas es distribuida en forma homogénea y pareja a través del múltiple de admisión y cuando la válvula de admisión de un cilindro se abre, la carga de la mezcla es introducida en el cilindro. La temperatura que se necesita para la ignición del gas natural, es mucho mayor que la que se requiere para el combustible diesel. Por lo tanto, la sustitución total del combustible diesel no es posible para

---

la operación normal, puesto que la temperatura generada durante el ciclo de compresión-ignición (CI) no es suficiente para la ignición del gas natural, requiriéndose una fuente alterna de encendido. Para ello se utiliza el propio sistema de inyección del motor, se inyecta una cantidad reducida de diesel en la cámara de combustión, encendiéndose de la misma forma que en el motor 100% diesel y creando un frente de onda para quemar el gas natural. Con este sistema se utilizan mezclas donde el combustible diesel está en el orden del (20 al 25) %. Este método de combustión es conocido como "Piloto de ignición", y tiene la ventaja de mantener el sistema de combustión con la lubricación requerida por el fabricante ya que a través de él continúa circulando combustible diesel.

En los motores duales se utiliza la inyección de un piloto de combustible diesel que enciende la mezcla. Existe un tipo de motor diesel/gas que opera de forma similar al motor diesel donde sólo se comprime aire en el cilindro, el gas se inyecta a alta presión al final de la etapa de compresión así como una pequeña cantidad de diesel. Es de amplio uso en motores estacionarios, generadores y en servicios de transmisión por tuberías, donde se utiliza un 95% de gas y 5% de diesel. Con ambos sistemas se ha tenido la ventaja de poder transformar un motor diesel sin incurrir en el gasto, muy costoso para muchas empresas, de adquirir un motor a gas nuevo, sin disminuir la potencia ni sacrificar la principal bondad del motor diesel (su eficiencia térmica). Actualmente están siendo utilizados por muchas empresas de transporte público, escolares, recolectores de basura, camiones de reparto, tractores y otros, como un mecanismo alternativo para disminuir costos de operación en equipos estacionarios y en el cumplimiento de las regulaciones ambientales en los vehículos de transporte.

Puesto que estos motores pueden ser utilizados indistintamente como motores duales o como motores a diesel, es recomendable ajustarse a los requerimientos de los fabricantes de los equipos, pudiendo escoger la calidad de servicio correspondiente al aceite diesel con bajo contenido de azufre y bajo nivel de cenizas sulfuradas. La formulación del lubricante ideal para este tipo de operación dual depende, en gran medida, de la composición, contaminantes y el porcentaje de mezcla de cada uno de los combustibles, requiriéndose de un cuidadoso balance de los aditivos ya que el aceite debe cumplir con los requerimientos

de un motor diesel y uno a gas simultáneamente, sin perder de vista los requerimientos particulares del fabricante del equipo original.

La mayoría de los motores diesel que se transforman al sistema dual corresponden a motores de esta última década, usualmente turbo-alimentados, post-enfriados, con sistemas de recirculación de gases de escape y, en algunos casos, con inyección directa por cilindro de la última generación.

Lo que sucede en un motor cuando se utiliza la mezcla diesel / GNV, es lo siguiente:

- No hay pérdidas de potencia. El volumen de combustible diesel es sustituido por gas para mantener el mismo valor de BTU requerido por el motor.
- El equipo dual no requiere modificar el sistema normal de ensamblaje del motor. Es instalado a la salida del purificador de aire antes del turbo-cargador o del múltiple de admisión, donde se produce la mezcla de aire/gas que ingresará a la cámara de combustión a través de la válvula de admisión. Por lo tanto, no se requiere de fuente piloto de ignición ya que el porcentaje de diesel es capaz de encender la mezcla; el sistema de combustible no sufre resequedad ya que continúa circulando diesel que imparte la lubricación necesaria.
- Posibilidad de extensión en los periodos de cambio de aceite. Ya que sólo se utiliza un 20 ó 30% de combustible diesel, se disminuye la probabilidad del paso de gases al sistema de lubricación, causantes de la acidificación del aceite y del consumo de los aditivos.
- Alarga la vida del motor, ya que disminuye el porcentaje de depósitos carbonáceos en la cámara de combustión a nivel de válvulas y sus asientos. La combustión casi completa del Gas Natural disminuye la cantidad de productos de oxidación en el escape, disminuyendo significativamente las emisiones de humos negros.

### Aplicaciones

El sistema dual provee un ahorro adicional cuando los generadores de diesel son usados para manejar la carga más alta durante los periodos de demanda de alta corriente.



Los grandes sistemas de refrigeración para el aire acondicionado, almacenes frigoríficos, sistema de agua y bombas de desagüe, y otros sistemas de energía necesarios, pueden utilizar los motores dual.

Camiones diesel, autobuses, camionetas, locomotoras y equipo industrial se pueden beneficiar del sistema dual, alcanzando pocos requerimientos de emisión de gases, bajos costos de combustible, reduciendo los gastos de mantenimiento y extendiendo la vida del motor. Los camiones recolectores de basura han resultado excelentes para el sistema dual, demostrando ser una prueba contundente para el proceso mencionado. Cada aplicación de gas tiene su propio alimentador de gas natural de forma segura, tanques de alta presión de compresión o de gas líquido natural. (4)

## **I.2 Combustibles para motores diesel.**

A continuación se mencionarán los tres principales energéticos utilizados en el empleo de las tecnologías diesel que se están desarrollando actualmente. Es decir, se verán por separado las particularidades del diesel, gas natural y biodiesel, ayudando, con ello, a entender el por qué están siendo empleados estos combustibles y el beneficio que de ellos se obtiene.

### *I.2.1. Diesel*

En México, Petróleos Mexicanos es el responsable de producir y abastecer los combustibles fósiles, que son utilizados en la industria, transporte y hogar. Entre estos combustibles se encuentra el Diesel que se obtiene a partir de la destilación del petróleo crudo.

La empresa Exxon Chemical realizó un estudio comparativo de los atributos del Diesel que se comercializa en diferentes países. De los 32 tipos estudiados, Pemex Diesel ocupó el cuarto lugar por su contenido de cetano y el quinto lugar por su contenido de azufre. Adicionalmente, en pruebas de laboratorio, la empresa Ethyl Petroleum Additives, certificó la calidad del Pemex Diesel debido a no que requiere del uso de aditivos.( Ver tabla 1.1)

Este combustible se consume principalmente en máquinas de combustión interna de alto aprovechamiento de energía, con elevado rendimiento y eficiencia mecánica.

Su uso se orienta fundamentalmente como energético en el parque vehicular equipado con motores diseñados para combustible Diesel, como camiones de carga de servicio ligero y pesado, autobuses de servicio urbano y de transporte foráneo, locomotoras, embarcaciones, maquinaria agrícola, industrial y de la construcción (trascabos, grúas, tractores, aplanadoras, entre otros).

Comparación del combustible PEMEX Diesel con estándares internacionales		
	Contenido de Azufre (% en peso)	Número de Cetano
Pemex-Diesel Promedio	0.03	55.0
EUA-EPA	0.03	44.0
CARB	0.03	48.6
Prom. Europa	0.09	50.5
Japón	0.13	53.2
Fuente: Winter Diesel Fuel Quality Survey. Worldwide 1996. Paramins. Los valores para México corresponden a Pemex Diesel.		

**Tabla 1.1 Comparativo de los atributos del Diesel con estándares internacionales.**

En este año, el Diesel de México era uno de los mejores del mundo, y por eso se menciona en esta tabla.

Los mejores combustibles diesel son los derivados por simple destilación del petróleo crudo, pero muchos combustibles comerciales contienen ciertas sustancias para mejorar el rendimiento.

Las propiedades importantes de los combustibles diesel son:

1. *Volatilidad.* Capacidad de evaporación de un líquido. Pasando de un estado a otro. La volatilidad de un combustible diesel tiene poca influencia en la operación del motor, excepto que afecta la tendencia de humo en el escape. Como los combustibles diesel son considerados como no flamables para propósitos de carga, se imponen restricciones mínimas del punto de inflamación.

2. *Valor calorífico.* Para las vías de transporte, es muy importante la economía del combustible. Se busca el combustible con mayor valor calorífico, y la densidad y el punto de ebullición tienen influencia en esta característica. Los combustibles de destilación, proceso del cual se obtiene el diesel, tienen puntos de inflamación superiores a 60°C y rangos de ebullición de 163°C a 371°C aproximadamente.

3. *Calidad de ignición/número de cetano.* El contenido de cetano de la mezcla que concuerda con el retardo de la ignición, en el análisis del combustible es el número de cetano. Este factor influye en el arranque, la duración del humo blanco después del arranque disminuye. Si la demora en la ignición es reducida, el proceso de combustión empieza más rápido y las emisiones de CO y HC son reducidas. El requerimiento del número de cetano, depende de la velocidad de operación del motor, los motores con bajas velocidades de operación, pueden usar un combustible con bajo número de cetano. Motores marinos grandes pueden tolerar combustibles con números de cetano de hasta 20, mientras que los motores de mayores revoluciones pueden llegar hasta 55. El número de cetano puede incrementarse usando nitratos orgánicos, dependiendo del tipo y cantidad de base usada.

4. *Viscosidad.* La viscosidad influye a la hora de inyectar de forma atomizada el combustible en el cilindro. Mínimos límites de viscosidad son impuestos para prevenir que el combustible cause recubrimientos en la bomba de inyección del combustible.

5. *Fluidez a bajas temperaturas.* A diferencia de las gasolinas, las cuales tienen puntos de congelación bajos hasta en el más severo ambiente de invierno, los combustibles diesel tienen puntos bajos y altos entre los rangos de temperaturas a los que son usados.

6. *Estabilidad de almacenamiento.* En almacenamiento el diesel es afectado por el oxígeno atmosférico, el cual puede causar deposición de barniz. Antioxidantes y dispersantes son añadidos para aminorar este problema, mientras que los desactivadores de cobre metálico reducen el efecto catalítico. En la presencia de agua, la actividad bacteriana puede formar limos en el sistema de almacenamiento, llevando a la obstrucción del filtro. Bactericidas son añadidos para evitar el crecimiento bacteriano. En ambientes fríos, se corre el riesgo de

cargas estáticas eléctricas producidas durante la dispensa del combustible destilado. Se añaden aditivos antiestáticos para prevenir explosiones.

*7. Compatibilidad de Componente.* La contaminación de suciedad y agua debe ser evitada para proteger los componentes del motor. Las especificaciones incluyen límites estrictos en el contenido de agua y sedimentos. Dependiendo de la fuente de crudo, los combustibles diesel contienen varias cantidades de sulfuros, los cuales forman óxidos sulfúricos en la combustión. Estos pueden causar altas capas de recubrimiento y deterioro de los aditivos de los aceites del motor. Se puede aumentar los intervalos de cambio de aceite para evitar estos contenidos de sulfuro.

*8. Contenidos de sulfuros.* Durante la combustión los componentes de sulfuro se queman para formar subproductos ácidos, como  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ , los cuales forman sulfuros en los gases de escapes. Los sulfuros son parte de las emisiones de un motor diesel, por ello si se controla el nivel de sulfuros se reduce el nivel de contaminación.

*9. Aromáticos.* Los aromáticos son moléculas del combustible que contienen al menos un anillo de benceno. El contenido de aromáticos afecta la combustión y la formación de PM $\ddot{O}$ s y de las emisiones de hidrocarburos poliaromáticos. El contenido de aromáticos influye en la temperatura de la flama y, por lo tanto, en las emisiones de NO $x$  durante la combustión. La influencia del contenido de poliaromáticos en el combustible afecta la formación de PM $\ddot{O}$ s y las emisiones de este tipo de hidrocarburos en el tubo de escape.

*10. Lubricidad.* Las bombas de diesel, a falta de un sistema de lubricación externa, dependen de las propiedades lubricantes del diesel para asegurar una operación apropiada. Se piensa que los componentes lubricantes del diesel son los hidrocarburos más pesados. Los procesos de refinación para remover el azufre del diesel tienden a reducir los componentes del combustible que proveen de lubricidad natural. A medida que se reducen los niveles de azufre, el riesgo de una lubricidad inadecuada aumenta.

*11. Densidad.* Las variaciones en la densidad y viscosidad del combustible resultan en variaciones en la potencia del motor y, consecuentemente, en las emisiones y el consumo.

Se ha encontrado, además, que la densidad influye en el tiempo de inyección de los equipos de inyección controlados mecánicamente. El diesel cuenta con un valor de densidad relativa entre 0.78-0.82 y una densidad promedio de 1,105 Kg/m<sup>3</sup>.

### Contenido de Azufre

El azufre se encuentra naturalmente en el petróleo. Si éste no es eliminado durante los procesos de refinación, contaminará al combustible. El azufre del diesel contribuye significativamente a las emisiones de partículas.

La reducción del límite de azufre en el diesel a 0.05 por ciento es una tendencia mundial. La correlación del contenido de azufre en el diesel con las emisiones de partículas y el SO<sub>2</sub> está claramente establecida. Para poder cumplir con los requerimientos de niveles bajos de azufre, es necesario construir capacidades adicionales de desulfuración. Así como las unidades de desintegración catalítica (FCC) son primordiales para la producción de gasolina, la hidrodésintegración es fundamental para la producción de diesel. En ambos procesos la cuestión se enfoca en la selección de la materia prima alimentada.

Mejorar la calidad del combustible no resolverá el problema de la contaminación a menos que se imponga un riguroso programa de inspección y mantenimiento para los vehículos viejos con motores a diesel, ya que estos representan una importante fuente de emisiones contaminantes. (5)

Clasificación de los combustibles Diesel.

La ASTM (American Society for Testing and Materials) clasifica los combustibles diesel en tres niveles:

<b>Número 1-D</b>	Destilado volátil para motores con requisitos de servicio de cambios de velocidad y carga.
<b>Número 2-D</b>	Destilado, de volatilidad más baja que el 1-D, para motores en servicio industrial y pesado. Este combustible puede contener componentes de primera destilación y/o de craqueo*
<b>Número 4-D</b>	Para motores de velocidades bajas y medias. Este combustible puede estar compuesto de productos de primera destilación o de craqueo con algunos productos residuales.

**Tabla I.2 Clasificación del Diesel según la ASTM.**

Para el grado 1-D, las exigencias de destilación tienen un punto extremo máximo de 3,300°C; para el 2-D, un punto del 90 por ciento máximo de 3,570°C y para el 4-D no se requieren especificaciones de destilación. Las exigencias de número de cetano mínimo son 40, 40 y 20, respectivamente. (6)

Datos medios de inspección para combustibles diesel

La National Annual Diesel Fuel Survey clasifica los combustibles diesel en cuatro tipos, dependiendo del servicio para el que los fabricantes los recomiendan. (6)

<b>Tipo C-B</b>	Combustible Diesel para autobuses de ciudad y operaciones similares.
<b>Tipo T-T</b>	Combustible para motores Diesel en camiones, tractores y servicios semejantes.
<b>Tipo R-R</b>	Combustible para motores de ferrocarril diesel.

**Tabla 1.3 Tipos de combustible Diesel según su uso.**

\*Es un proceso en donde se descompone (rompe) en fracciones de petróleo pesadas, de alto punto de ebullición, y los convierte en productos más valiosos

Tipo de Combustible	C-B	T-T	R-R
Densidad, ° API	42.3	37.7	36.0
Pt de anilina, °C	65.4	64.1	62.8
Pt de inflamabilidad	49-93	54-110	60-116
Temp. de fluidez crítica, °C	-54 a 0	-43 a -15	-40 a -9
Visc. Saybolt, seg	32.3	34.2	34.8
Peso azufre, %	0.888	0.158	0.201
Residuo de carbono, %	0.065	0.091	0.123
Núm de cetano	52.6	50.3	48.7

**Tabla 1.4 Datos medios de inspección.**

### 1.2.2 Gas Natural Comprimido (GNC)

El uso del gas natural comprimido (GNC) en motores de combustión interna, ha tenido un repunte importante en los últimos años debido a sus emisiones contaminantes excesivamente bajas y a la vasta producción y reserva de éste en el país. Por lo tanto este combustible gaseoso puede ser una alternativa ecológica. Los motores que operan con gas natural comprimido como combustible, emiten bajas emisiones de CO, lo que repercute en la protección de la capa de ozono, ya que, el CO tiende a incrementar los niveles de ozono.

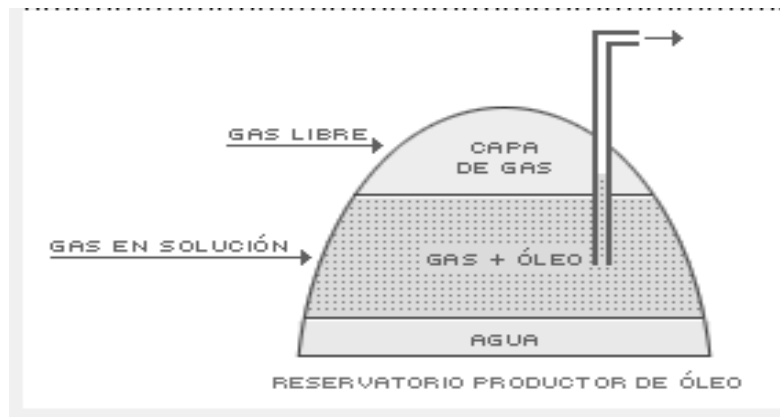
#### Características y obtención.

El gas natural es un combustible fósil, se encuentra en el subsuelo y normalmente se obtiene donde hay reservas de petróleo. Su formación se debe al acumulo de energía solar sobre materia orgánica soterradas a grandes profundidades.

El Gas Natural, se puede encontrar en dos condiciones:

Gas asociado.

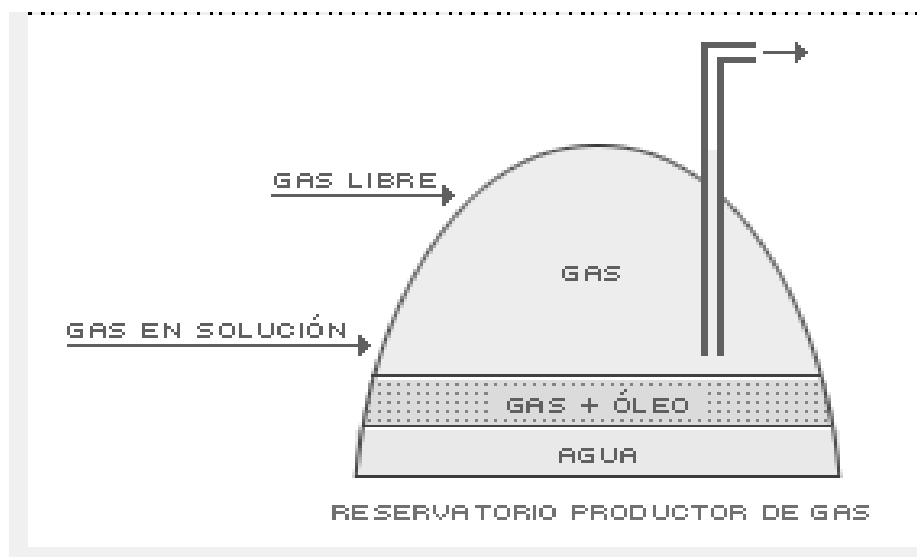
Es aquel que se obtiene en conjunto con el petróleo; en este caso la producción de gas natural queda directamente relacionada con la del petróleo.



**Figura 1.9 Extracción de gas asociado.**

Gas no asociado.

Es aquel que se encuentra libre o con pequeñas cantidades de petróleo; la mayoría de reservas de gas natural en el mundo son de gas no asociado.



**Figura 1.10 Extracción de gas no asociado.**



Composición.

Su composición depende si el gas está asociado o no al petróleo; resulta de diversos gases predominando el metano, y en menor proporción el butano y el propano, entre otros. Generalmente presenta bajos contenidos de Nitrógeno, CO<sub>2</sub>, agua y compuestos de azufre.

COMPOSICIÓN TÍPICA DEL GAS NATURAL			
ELEMENTOS	ASOCIADO (1)	NO ASOCIADO (2)	PROCESADO (3)
METANO	81.57	85.48	88.56
ETANO	9.17	8.26	9.17
PROPANO	5.13	3.06	0.42
I-BUTANO	0.94	0.47	-
N-BUTANO	1.45	0.85	-
I-PENTANO	0.26	0.20	-
N-PENTANO	0.30	0.24	-
HEXANO	0.15	0.21	-
HEPTANO Y SUPERIORES	0.12	0.06	-
NITRÓGENO	0.52	0.53	1.20
DIÓXIDO DE CARBONO	0.39	0.64	0.65
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
DENSIDAD	0.71	0.69	0.61
RIQUEZA (%MOL C <sub>3+</sub> )	8.35	5.09	0.42
PODER CAL. INF. (KCAL/M <sup>3</sup> )	9.916	9.583	8.621
PODER CAL. SUP. (KCAL/M <sup>3</sup> )	10.941	10.580	9.549

**Tabla 1.5 COMPOSICIÓN TÍPICA DEL GAS NATURAL**

El gas natural también puede ser utilizado en automóviles, autobuses y camiones y ofrece importantes ventajas como el costo de mantenimiento y bajas emisiones. Además, por ser un gas seco, no provoca residuos de carbono en las partes internas del motor.

La combustión del gas natural en automóviles es mejor que la de la gasolina, alcohol o diesel, por ende los vehículos que lo usan emiten menos emisiones contaminantes como son: óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y, principalmente, monóxido de carbono (CO), por lo que es una gran opción para las grandes urbes del mundo.

El gas natural es un combustible muy seguro, debido a que es mucho más ligero que el aire, por lo que en caso de fuga, se disipa hacia la atmósfera evitando así explosiones o incendios, aunque es importante mencionar que sus hidrocarburos sin quemar no pueden ser retenidos por los convertidores catalíticos.

<b>Nivel de Emisiones de Combustible Fósil</b>			
<b>Partes por millón Btu de Energía Entregada.</b>			
<b>Partículas</b>	<b>Gas Natural</b>	<b>Petróleo</b>	<b>Carbón</b>
Dióxido de Carbono	117,000	164,000	208,000
Monóxido de Carbono	40	33	208
Óxido de Nitrógeno	92	448	457
Dióxido de Sulfuro	1	1,122	2,591
Partículas	7	84	2,744
Mercurio	0.000	0.007	0.016
Fuente: EIA - Natural Gas Issues and Trends 1998			

**Tabla 1.6 Nivel de Emisiones de Combustible Fósil**

### CARACTERÍSTICAS DEL GNC.

- Es un combustible de bajo costo comparado con los demás.
- El costo de mantenimiento es menor por ser un combustible seco.
- Es un combustible limpio.
- Se puede utilizar alternadamente con motores de encendido provocado (MEP) y motores de encendido por compresión (MEC).
- Es muy seguro, ya que es menos denso que el aire, por lo cual se disipa a la atmósfera.
- Es altamente corrosivo
- Ocupa mucho espacio en los tanques

El poder calorífico del GNC es dado en  $\text{KJ/m}^3$ , ya que los combustibles se tratan volumétricamente como energía por unidad de volumen, estando este referido a estado normal de  $0^\circ\text{C}$  y 760mm de Hg.

La temperatura de ebullición del metano que es el hidrocarburo fundamental en el gas natural a una atmósfera, es  $-161.5^\circ\text{C}$ . Con lo que podemos decir que el gas natural no es muy sencillo de encontrar en fase líquida, como en el caso del GLP, ya que se tiene que llegar a temperaturas muy bajas para poder condensarlo. (7)

### 1.2.3 Biodiesel

Actualmente, una de las principales preocupaciones a nivel mundial es la preservación de las fuentes de energía, ya que esto no sólo afecta los ámbitos económicos, sino también políticos y sobre todo ambientales. Una de las formas de lograrlo es utilizando nuevas alternativas de combustibles que además de ser eficientes, limpios y fáciles de obtener, aseguren que la materia prima de donde son extraídos sea renovable. El Biodiesel es un combustible que se adquiere de aceites vegetales y grasas animales.

El Biodiesel ha demostrado ser un producto rentable, ya que además de ser de fácil obtención, es un combustible limpio ya que se reducen emisiones aromáticas y dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) por ausencia de azufre.

Por otra parte, es el único combustible alternativo que puede usarse directamente en cualquier motor diesel, sin ser necesario ningún tipo de modificación. Como sus propiedades son similares al combustible diesel de petróleo, se puede utilizar en estado puro 100% Biodiesel (B100) o mezclas, 20% Biodiesel y 80 % Diesel derivado del petróleo (B20), sin ningún tipo de problema.

El empleo de biodiesel aumenta la vida de los motores debido a que posee un poder lubricante mayor, mientras que el consumo de combustible, la auto ignición, la potencia y el par del motor permanecen inalterados.

En algunas pruebas de comparación entre Biodiesel puro y Diesel comercial, en dinamómetro de banco, se detectó que existe una reducción del 3.7% en la potencia y del 4.2% en el par máximo, mientras que en la misma prueba comparando una mezcla B20 contra Diesel comercial no se presentaron diferencias significativas en ningún parámetro. Las principales pruebas de durabilidad en motores que utilizan Biodiesel se han desarrollado en Brasil, utilizando biodiesel puro y mezclas.

<u>Datos físico – químicos</u>	<u>Biodiesel</u>	<u>Diesel</u>
Composición combustible	Ester metílico ac. Grasos C <sub>12</sub> -C <sub>22</sub>	Hidrocarburo C <sub>10</sub> -C <sub>21</sub>
Poder calorífico inferior, kcal/kg (aprox.)	9500	10800
Viscosidad cinemática, cst (a 40°C)	3,5 - 5,0	3,0 - 4,5
Peso específico, g/cm <sup>3</sup>	0,875 - 0,900	0,850
Azufre, % P	0	0,2
Punto ebullición, °C	190 - 340	180 - 335
Punto inflamación, °C	120 - 170	60- 80
Punto escurrimiento, °C	-15 / +16	-35 / -15
Número cetanos	48 - 60	46
Relación estequiométrica Aire/comb. p/p	13,8	15

**Tabla 1.7 Características típicas del biodiesel y diesel.**

### Características

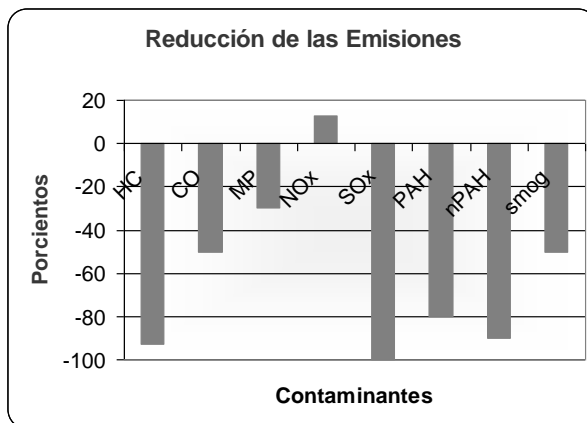
*Monóxido de carbono (CO).* La emisión durante la combustión del biodiesel en motores diesel es del orden del 50% inferior, comparada con aquella que produce el mismo motor con combustible diesel.

*Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).* No se produce emisión de dióxido de azufre por que el biodiesel no contiene azufre. El dióxido de azufre es nocivo para la salud así como para la vegetación.

*Partículas sólidas.* Se reducen en un 65% en comparación con el diesel convencional.

*Productos orgánicos aromáticos.* El biodiesel no contiene productos aromáticos como en el caso del diesel convencional que contiene benceno y derivados, siendo conocida la elevada toxicidad de los mismos para la salud.

El biodiesel no es nocivo para la salud, para la vegetación y los animales vivos. Por tal motivo su empleo es benéfico frente al diesel convencional, sobre todo para el transporte público en las grandes ciudades. Es seguro y fácil de transportar debido a que es biodegradable y posee un punto de inflamación superior al del diesel convencional.



**Figura 1.11 Reducción de emisiones del biodiesel**

### Obtención

Generalmente, los aceites empleados han sido aquellos que abundan en el país en donde se desarrollan las investigaciones. En Estados Unidos, el aceite de soya es el que ocupa un primer lugar en su utilización; en Europa lo es el aceite de colza, mientras que en países de clima tropical, se está investigando el aceite de coco, o el de palma. Desde el punto de vista químico, el biodiesel es una mezcla de ésteres\* metílicos de los ácidos grasos, triglicéridos de los aceites vegetales y o grasas animales, empleados como materia prima.

\*Esteres: Compuestos que se forman al sustituir el H de un ácido orgánico por una cadena hidrocarbonada, R'.



### Proceso de transesterificación

El proceso, mediante el cual se obtiene el biodiesel se denomina transesterificación\*\*, en el cual se hace reaccionar aceite vegetal o grasa animal con un alcohol de bajo peso molecular (metanol o etanol) en presencia de un catalizador adecuado, a baja presión y temperatura. Los catalizadores a emplear pueden ser sosa cáustica o metilato sódico, ambos en solución metanólica.

Éste es el método actualmente empleado para producirlo, ya que es el más económico, ofreciendo, entre otras, las siguientes ventajas:

- Cuenta con pocas reacciones secundarias y reducido tiempo de reacción.
- Conversión directa a éster metílico sin pasos intermedios.

A diferencia de otros procesos comerciales existentes en el mercado, el método se caracteriza por cuanto al equipamiento de la planta, es de fácil obtención y/o construcción en muchos países, sin necesidad de tener que recurrir a equipos costosos.

El proceso de transesterificación se desarrolla de la siguiente manera: en el mezclador estático (MX1) se integran el alcohol metílico y el aceite que contiene ácidos grasos libres.

Este producto se hace pasar luego a través del reactor (R1) que funciona con catalizador en un recipiente fijo, donde se produce la reacción de esterificación de los ácidos grasos libres. La corriente proveniente de esta unidad se mezcla en la unidad estática (MX2) con el metanol necesario para la transesterificación, más un pequeño exceso del mismo y el catalizador. Esta corriente ingresa en el reactor tubular (R2) en el que se produce la transesterificación de los triglicéridos. El producto de la reacción, compuesto por el metilester, la glicerina, el metanol en exceso y el catalizador, debe ser neutralizado. Para ello se mezcla en la unidad estática (MX3), con un ácido mineral en la cantidad necesaria.

---

\*\*Transesterificación. Reagrupar los ácidos grasos de forma aleatoria. De esta manera se cambian las propiedades físicas de la grasa

Posteriormente, en la unidad de destilación flash (FC), se despoja al producto de los volátiles, compuestos fundamentalmente por el alcohol metílico en exceso. Los vapores de metanol se condensan (C) y se envían al tanque de almacenamiento, del cual será nuevamente introducido en el ciclo.

El producto que queda en el fondo del evaporador flash (FC), que contiene el metilester, la glicerina, sales y agua se envía al decantador continuo (D), en el cual se separa el metilester del resto de los productos. La fase ligera (biodiesel) se envía al tanque de almacenaje, mientras la fase pesada (glicerina bruta) que contiene glicerina (aprox. 90%), agua y sales se envía asimismo al almacenaje. (8)

### DIAGRAMA PROCESO

El esquema simplificado de una planta continua para producir el biodiesel se puede observar en el siguiente diagrama:

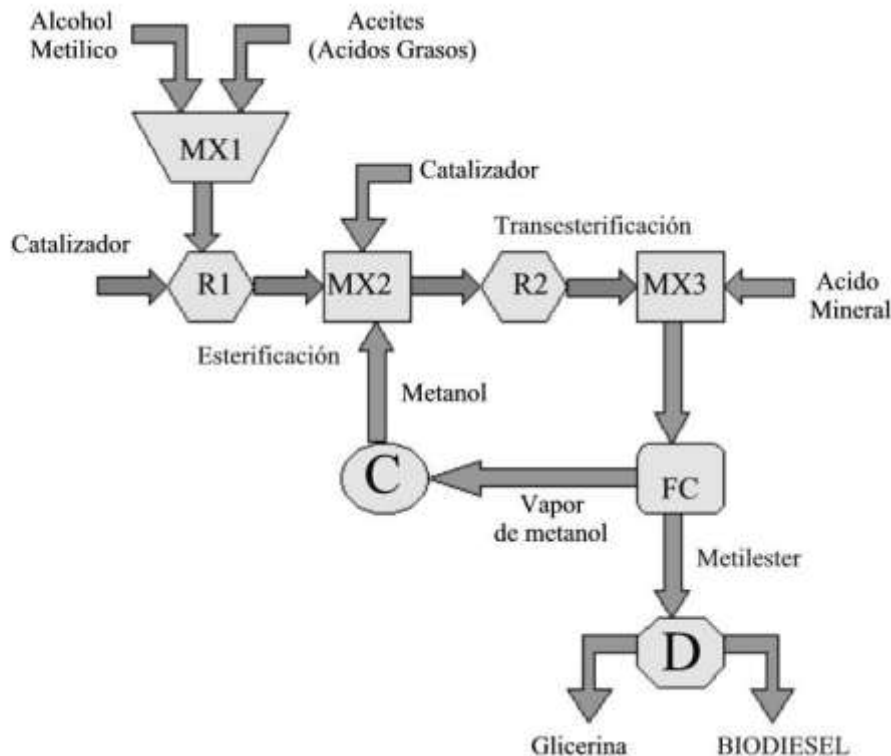


Figura 1.12 Proceso de elaboración del biodiesel.

A continuación se indican los consumos (valores aproximados), para la producción de una tonelada de biodiesel, así como los subproductos de recuperación:

ELEMENTOS	CONSUMO
<b>MATERIAS PRIMAS Y MATERIALES</b>	
Aceite vegetal refinado	1030 Kg.
Metanol	102 Kg.
Catalizador (metilato de sodio)	6,2 Kg.
Ácido mineral	6 kg
Glicerina bruta	112 Kg. (título: 85% min)

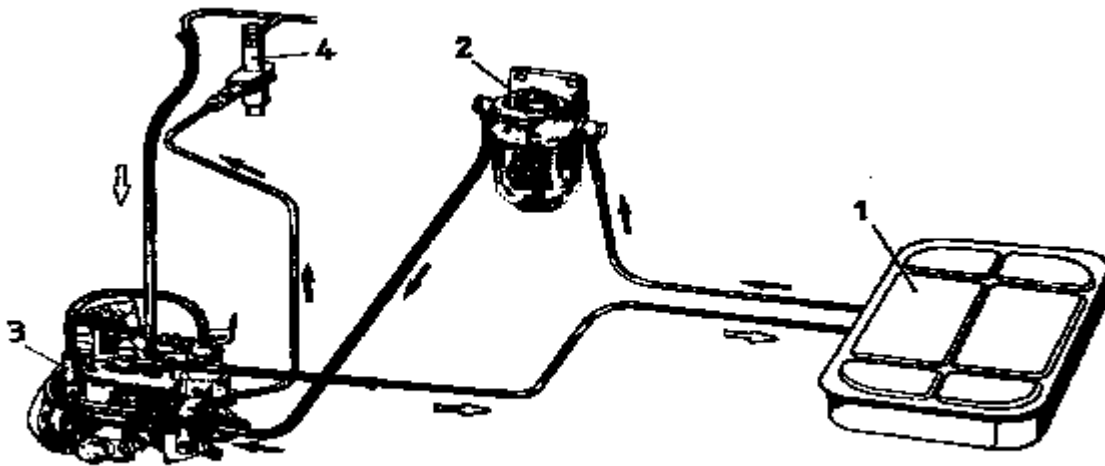
**Tabla 1.8 Subproductos del biodiesel.**

### **I.3 Principios de operación del sistema de inyección mecánica y su comparación con la inyección electrónica.**

Antes de hablar de las diferencias que existen entre los sistemas de inyección, podemos enfocarnos un poco a las partes fundamentales que lo conforman y son los responsables de transportar e inyectar el combustible desde el depósito hasta el interior de los cilindros del motor, estos componentes son:

- 1) Depósito de combustible
- 2) Filtro de combustible
- 3) Bomba de inyección de combustible
- 4) Inyector



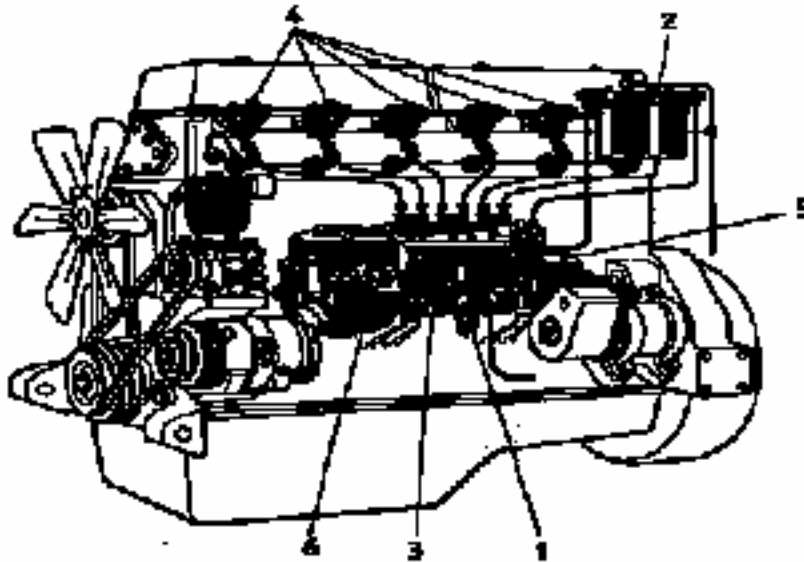


**Figura 1.13 Ejemplo del sistema de inyección.**

El depósito de combustible tiene la función de almacenar el diesel en el vehículo. Después tenemos el filtro de combustible que es el encargado de retener las impurezas al diesel para que no dañe la bomba ni los inyectores. Por otra parte, la bomba de inyección es la encargada de aumentar la presión del combustible e inyectar el mismo a cierta presión y en el momento indicado. Por último, el inyector es el elemento que finalmente introduce el combustible a la cámara para que se realice la explosión.

Estos elementos se encuentran distribuidos en el motor de la siguiente manera:

- 1) Cuerpo de la bomba
- 2) Filtro de combustible
- 3) Elementos para aumentar la presión del fluido
- 4) Inyectores
- 5) Variador de avance
- 6) Gobernador



**Figura 1.14 Distribución de elementos del sistema.**

La bomba se conforma de elementos importantes para su funcionamiento, como son el gobernador y el variador de avance, cuyas funciones permiten que el motor de combustión funcione en óptimas condiciones de trabajo, y esto lo logra al existir un funcionamiento en conjunto.

Tenemos que la parte más importante en el funcionamiento de los motores diesel es la bomba de inyección de combustible, que al ser manipulada en su funcionamiento el motor disminuirá o aumentará los gases contaminantes expulsados; se puede considerar que ésta es el corazón del motor diesel por todos los funcionamientos o tareas que realiza, mismas que se mencionan de la siguiente manera:

- Elevar la presión del combustible lo suficiente para inyectarlo dentro del cilindro antes y durante la combustión. Esto debido que al tener un incremento en la presión del combustible y una masa de aire a cierta temperatura, la combustión se realizará de una forma satisfactoria, la cual se realizará a través del inyector, que dosifica el combustible dentro del cilindro, esto ocurre debido a que este elemento se encuentra en contacto directo con la cámara de combustión.

- Medir con precisión la cantidad de combustible que debe ser inyectada y distribuida en la cámara, para diferentes condiciones de funcionamiento del motor, mejorando la eficiencia y disminuyendo los gases producto de la combustión.
- Medir con precisión la duración de la inyección de combustible en cada cilindro. Al tener el tiempo exacto de inyección de combustible el ciclo de trabajo tendrá un mejor funcionamiento y por tanto una mejor eficiencia, al obtener una combustión precisa.

Al tener estas tres características en la bomba de combustible, decimos que el motor diesel funciona en óptimas condiciones, que repercute en un ahorro de combustible, disminución de contaminantes y en un buen rendimiento del motor tanto en trabajo como vida útil.

La bomba de inyección consta de tres partes importantes; la primera es el sistema de inyección que se compone por un árbol de levas, resortes, válvulas; otra parte importante es el gobernador el cual tiene la función de mantener las revoluciones del motor a un cierto régimen de funcionamiento. Por último el sistema encargado de medir la cantidad de combustible. Mantiene las revoluciones del motor con base en la cantidad de combustible suministrado a los inyectores.

En conclusión, las bombas de inyección de combustible en un motor diesel deben tener una gran precisión en su construcción, como también estar conformadas de materiales resistentes a las altas presiones que se manejan.

En la actualidad, existen muchas formas de inyectar el combustible diesel a la cámara de combustión, tanto en el campo mecánico como en el electrónico, existen diferentes tipos de bombas de inyección de combustible como pueden ser bombas en línea, rotativas e independientes, que se utilizan según la actividad o motor que se desea emplear.

Las bombas de inyección se han desarrollado de tal forma que en estos momentos la inyección en los motores diesel es casi perfecta.

### Funcionamiento de las bombas de inyección de combustible tipo mecánico.

Los motores diesel de mando mecánico, son nombrados así debido a que la bomba de inyección de combustible funciona mecánicamente. Es decir, que su funcionamiento es a base de movimientos mecánicos. El principio fundamental de las bombas de inyección en los motores de automoción (motores de vehículos), es el llamado distribución de inyección por émbolo de la bomba, el cual consta de una serie de émbolos o émbolo, dependiendo del tipo de bomba que se tenga, los cuales tienen un movimiento alternativo como ocurre con los cilindros del motor, es importante decir que mientras el cigüeñal del motor da dos giros la bomba de inyección sólo da uno en los motores de cuatro tiempos, manteniendo una relación de dos a uno, mientras que en el caso de los motores de dos tiempos las revoluciones se dan en relación uno a uno.

Por lo tanto, en los motores de cuatro tiempos se tienen dos carreras del cilindro por cada ciclo de potencia, mientras que en los motores de dos tiempos se tiene una carrera del émbolo de inyección para realizar el trabajo de combustión por cada ciclo de trabajo. (9)

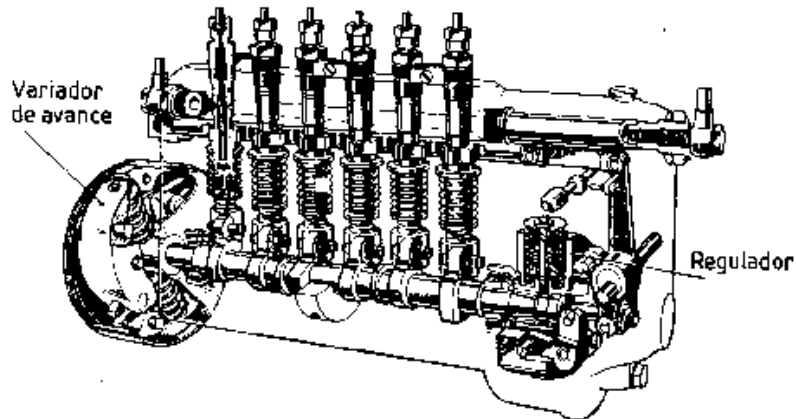
En la actualidad existen diferentes tipos de bombas de inyección de tipo mecánico y se denominan de la siguiente manera:

- 1) Bombas en línea o múltiples
- 2) Bombas rotativas o de distribuidor rotativo
- 3) Bombas de alta presión

Las bombas de inyección en línea, que tienen por cada cilindro un juego de cilindro y émbolo los cuales se encargan de que la inyección dentro del cilindro sea la indicada. Los elementos de cilindro émbolo en la bomba están dispuestos en línea, donde la carrera del émbolo es invariable y las variaciones en la inyección de combustible se dan con ranuras en la periferia del émbolo.

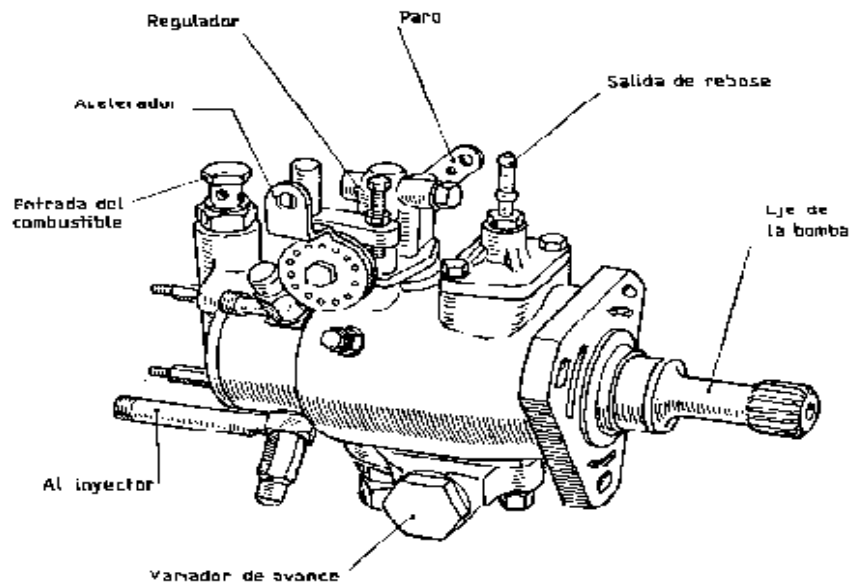
Entre la cámara de alta presión de la bomba y el principio de la tubería de impulsión existen válvulas de presión adicionales, las cuales determinan un final de inyección exacto, evitando inyecciones fuera de tiempo y procuran un campo característico uniforme de bomba.

En este caso en particular, tenemos un motor de seis cilindros por lo que se ven seis elementos de émbolos-cilindro.



**Figura 1.15 Bomba en línea o múltiples**

Debido al tamaño de las bombas en línea que son relativamente grandes, se crearon las bombas rotatorias, que ocupan un menor espacio, ya que el mecanismo de inyección de combustible es sólo uno para todos los cilindros del motor, el cual tiene la tarea de aumentar la presión en el combustible, además de repartir a cada uno de los cilindros del motor el combustible necesario. Existen dos tipos de bombas rotativas, de émbolo axial y de émbolos radiales desarrolladas por las empresas (Bosch y Lucas), alemana e inglesa respectivamente. Aunque su funcionamiento no es tan bueno como las bombas en línea, las bombas rotativas se encuentran más frecuentemente en motores pequeños (para automóvil) debido al espacio reducido.



**Figura 1.16 Bomba de inyección tipo mecánico rotativa**

Por otro lado, las bombas de alta presión son más utilizadas en motores de gran volumen debido a que éstas generan una presión muy grande, la cual es requerida para que la combustión pueda crear el movimiento necesario, en este caso se tiene un elemento de bomba por cada cilindro, y cada elemento tiene la tarea de aumentar la presión y el momento de inyección.

*Funcionamiento de las bombas de inyección de combustible tipo electrónico.*

En el caso de las bombas de inyección electrónicas, se tiene el mismo principio de los émbolos que hacen que el combustible aumente su presión hasta las presiones requeridas para el buen funcionamiento del motor. La diferencia se da en la forma por la cual el inyector suministra el combustible dentro de la cámara de combustión. En las bombas electrónicas se tienen sensores y un microprocesador que dan la orden para que los inyectores permitan la inyección de combustible, también se tienen sensores que cuantifican el número de revoluciones para que a ciertas revoluciones el microprocesador deje de mandar combustible para no sobrepasar las revoluciones establecidas. (10)

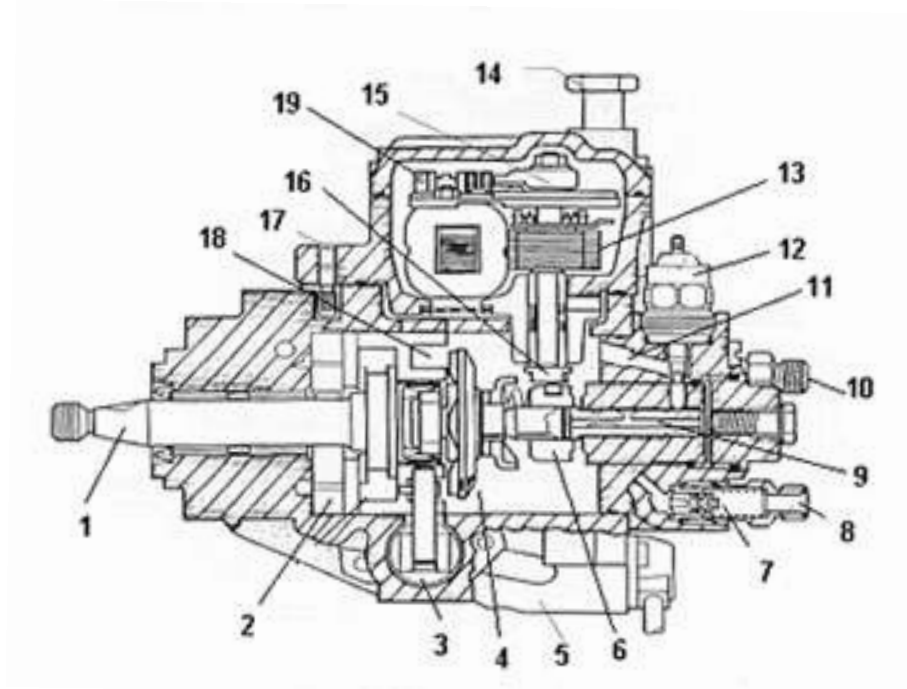
Las nuevas variantes en los motores o bombas de tipo electrónico son para mejorar la inyección en los motores, tener una mejor precisión en el momento que debe ser inyectado y la cantidad exacta de combustible para que así se obtenga el mejor rendimiento del combustible y una mejor combustión para tener menos productos contaminantes.

En esta parte daremos una breve explicación de las bombas de inyección electrónicas que existen hoy en día en el mercado, y veremos en qué motores son utilizables y cuál es su característica más importante.

En el caso de las bombas en línea, tenemos que son las más utilizadas en los motores diesel, ya que podemos encontrar bombas en línea muy pequeñas para motores estacionarios hasta bombas de gran tamaño para motores de barco. El funcionamiento electrónico se da en los elementos como el gobernador y el variador de avance en donde se sustituyen mecanismos mecánicos por mecanismos electrónicos. Este tipo de bombas se tienen en todos los campos de aplicación.

Otro caso en bombas de inyección son las rotativas, las cuales son iguales a las mencionadas anteriormente aunque, la parte electrónica de la bomba se da por el dispositivo de regulación de la inyección que, como en el caso mecánico, se tiene un variador centrifugo y por el electrónico un mecanismo actuador regulado electrónicamente que determina la carrera útil y dosifica el caudal para la inyección. El suministro de la bomba puede regularse mediante la posición del anillo de rodillos (variador de avance), que en el caso electrónico se controla con una válvula electromagnética en donde la electro-válvula de alta presión es la que dosifica el caudal de inyección. En el caso de las bombas rotativas de émbolos radiales, se tiene un anillo de levas y entre dos o cuatro émbolos radiales, asumiendo la generación de alta presión y el suministro, aquí también se tiene una electroválvula de alta presión la cual realiza las mismas tareas que en el caso anterior. Las señales de control y regulación son procesadas en unidades de control electrónicas que se mencionarán después. Como se puede ver las bombas electrónicas tienen muchos elementos electrónicos como sensores y actuadores, pero el principio de aumento de presión se da por émbolos y cilindros y la inyección se tiene a través de electroválvulas.

A continuación se muestra un esquema de una bomba de mando electrónico con los elementos que la conforman



**Figura 1.17 Esquema de una bomba de mando electrónico**

- |                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| 1- Eje de arrastre                    | 12- Electroválvula de STOP                         |
| 2- Bomba de alimentación              | 13- Servomotor                                     |
| 3- Regulador de avance a la inyección | 14- Retorno de gas-oil al depósito de combustible. |
| 4- Plato de levas                     | 15- Sensor de posición                             |
| 5- Válvula magnética                  | 16- Perno de excéntrica                            |
| 6- Corredera de regulación            | 17- Entrada de combustible                         |
| 7- Válvula de reaspiración            | 18- Plato porta-rodillos                           |
| 8 y 10- Salida hacia los inyectores   | 19- Sensor de temperatura de combustible           |
| 9- Pistón distribuidor                |  |
| 11- Entrada de combustible al pistón  |  |



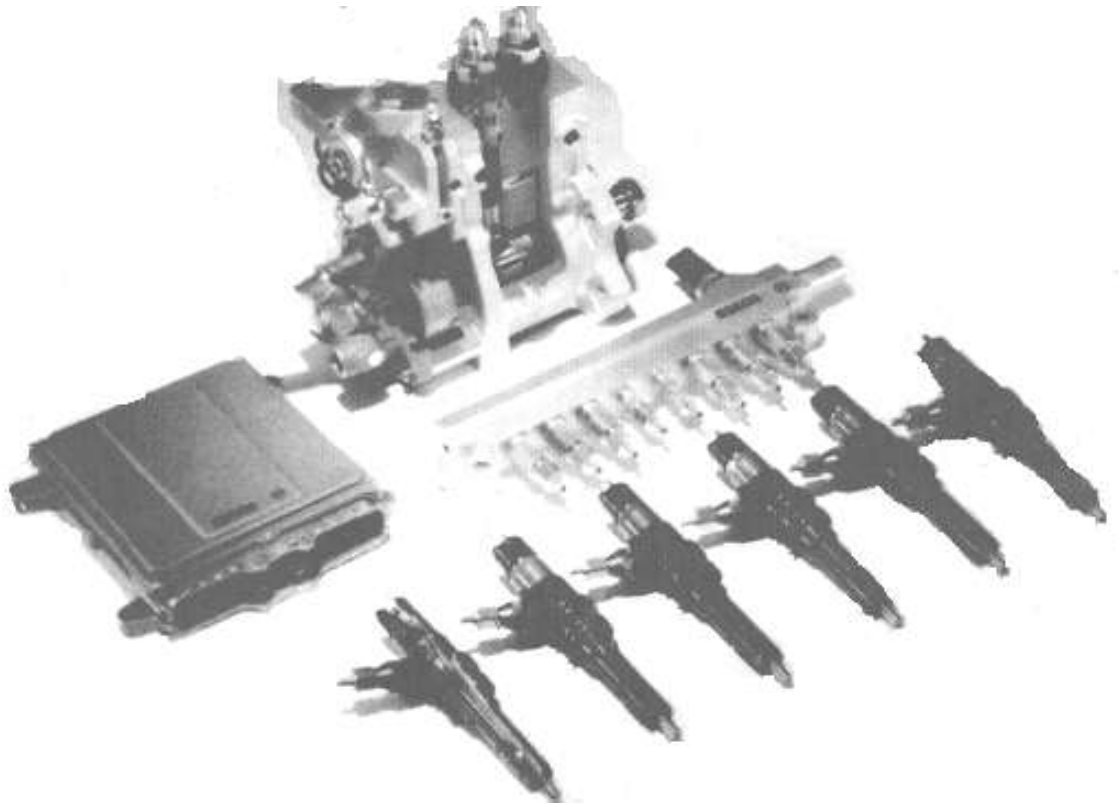
Bombas de inyección individuales. Las bomba-inyector (PF) son ocupadas en varios rubros desde motores pequeños hasta de grandes magnitudes como los navales; en este caso el regulador de avance puede ser mecánico-hidráulico o electrónico está unido directamente al cuerpo del motor y la regulación del caudal determinada por él se transmite mediante un varillaje integrado en el motor. Estas bombas son apropiadas para el funcionamiento de aceites pesados y viscosos.

Las nombradas Unidad de bomba-inyector, la bomba de inyección y el inyector, constituyen una unidad, montada en la cabeza del motor. Como no se requiere de tuberías para la inyección, es posible manejar presiones mayores de 2,000 bar. Con esta presión y mediante la regulación electrónica en el comienzo y la duración de la inyección, es posible una reducción importante de las emisiones contaminantes del motor diesel. Este tipo de bombas, son utilizadas en los motores de gran magnitud, como los de locomotoras y barcos.

El sistema de bomba-tubería-inyector el cual está estructurado modularmente, ya que, la bomba y el inyector están unidos por una tubería corta de inyección, por lo que el sistema bomba-tubería-inyector consta de una bomba, tubería y combinación de porta inyector por cada cilindro del motor, el cual es accionado por el árbol de levas del motor y con una regulación electrónica. En este caso, las bombas también se utilizan, generalmente, en motores de grandes dimensiones.

Por último tenemos un sistema de inyección que está revolucionando el funcionamiento de los motores diesel y se denomina de acumulador, "Common Rail". Se realiza por separado la generación de presión y la inyección. La presión de inyección se genera independientemente del régimen del motor y del caudal de inyección y está a disposición del "Rail" (acumulador de combustible) para la inyección. El momento y el caudal de inyección se calculan en la unidad de control electrónica y se realizan por el inyector (unidad de inyección) en cada cilindro del motor, mediante una electroválvula controlada. Por su gran eficiencia en su funcionamiento, estos sistemas son utilizados generalmente en motores donde se requieran altos regímenes, o sea en los automóviles de turismo compactos. (11)

La descripción del funcionamiento de estos sistemas, con mayor detalle, se desarrolla en el Apéndice A.



**Figura 1.18 Sistema Common Rail ( CRS )**

## I.4 Impacto Ambiental

El principal interés por tener un control de las emisiones producidas por los automotores a diesel en circulación, es reducir el impacto que estas provocan al medio ambiente y a la salud.

Componentes como el Monóxido de Carbono, Hidrocarburos, Óxidos de Nitrógeno, Hidrocarburos precursores de ozono, tóxicos, así como partículas constituidas de Hidrocarburos policíclicos aromáticos, sulfatos y trazas, son elementos expulsados dentro de la pluma de humo opaco de un motor diesel que, al ser combinados con la luz solar son capaces de formar contaminantes secundarios. Sumado a esto, se sabe que debido a la altitud en la Cd. de México se tiene una disminución del 23% de oxígeno, lo que ocasiona que la ignición en la cámara de combustión de un motor diesel sea ineficiente y, como consecuencia, se tiene una mayor expulsión de partículas contaminantes.

Las partículas emitidas por los motores diesel son un núcleo sólido constituido de carbón, fracción orgánica soluble, sulfatos y trazas de elementos, que a medida que aumentan generan un efecto recíproco con los NO<sub>x</sub>, es decir, que al aumentar las partículas los No<sub>x</sub> disminuirán y viceversa. Las partículas contaminantes se clasifican en PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> según su tamaño.

Las PM<sub>10</sub> son partículas con un diámetro menor o igual a 10 micrómetros ( $10 \times 10^{-6}$  [m]), pueden ser detectadas por aparatos de medición de emisiones contaminantes, su impacto en el ser humano es combatido por las defensas propias del cuerpo ubicados en la nariz, así que la única forma de entrar a las vías respiratorias es por medio de la boca. Viajan distancias cortas a través del aire y duran en él poco tiempo, ya sea horas o minutos, por lo que esta categoría es menos nociva para la salud en comparación con partículas de menor tamaño como las PM<sub>2.5</sub>

Las PM<sub>2.5</sub> son partículas con un diámetro menor o igual a 2.5 micrómetros, que es una medida 100 veces más pequeña que un cabello humano. Esta categoría es muy dañina ya que por sus características pueden circular a través de las vías respiratorias y depositarse en los pulmones, repercutiendo en enfisema o cáncer pulmonar. Debido a su tamaño no es fácil detectarlo por equipos de medición incluyendo los opacímetros, éstas son capaces de viajar largas distancias y pueden durar en el aire días o semanas.

Tanto las partículas PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> son factores en problemas de salud ocasionando enfermedades respiratorias leves como tos o dolor de garganta, hasta afectar principales órganos como el corazón y los pulmones, disminuyendo así el tiempo de vida de la población, aunque, como ya se menciono, las más perjudiciales son las PM<sub>2.5</sub>.

Valores AQI	Descripción de la Calidad del Aire	Problemas en la Salud	
		PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>
0-50	Buena	Ninguno	Ninguno
51-100*	Moderada	Ninguno	Ninguno
101-150	Insalubre para grupos sensitivos	Gente con enfermedades respiratorias o del corazón deben limitar esfuerzos prolongados.	Personas con enfermedades de las vías respiratorias deben limitar esfuerzos al aire libre.
301-500	Peligroso	Todos deben evitar cualquier esfuerzo al aire libre; gente con enfermedades del corazón o respiratorias deben permanecer en casa.	Todos deben evitar cualquier esfuerzo al aire libre. Gente con enfermedades respiratorias como asma, deben permanecer en casa.

\* • Un AQI de 100 para PM<sub>2.5</sub> corresponde a un nivel de 40 microgramos por metro cúbico (Promediado por 24 horas).  
 • Un AQI de 100 para PM<sub>10</sub> corresponde a un nivel de 150 microgramos por metro cúbico (promediado por 24 horas).

**Tabla 1.9. Índice de calidad de Aire (AQI por sus siglas en inglés) y sus problemas en la Salud para las PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>**

La constante exposición a las partículas emitidas por los motores diesel repercute en un incremento en gastos de salud pública reflejado en más visitas al médico y un elevado consumo de medicamentos. Por tal motivo, es necesario encontrar alternativas que ayuden a controlar y disminuir las emisiones contaminantes.

INDICADOR DEL IMPACTO A LA SALUD	TASA BASAL 2002 ZMVM (100,000 PERSONAS)
<b>Admisión en Hospitales</b>	
Respiratoria	263
<b>Visitas a la Sala de Emergencia (VSE)</b>	
Respiratoria	2,027
<b>Días de Actividad Restringida</b>	
Días Laborables Perdidos	198,184
<b>Efectos en Asmáticos</b>	
Ataques de Asma	299
<b>Síntomas Respiratorios</b>	
Síntomas en Vías Respiratorias Superiores	14,330
Síntomas en Vías Respiratorias Inferiores	5,758
Bronquitis Agudas	28,013

**Tabla 1.10 Padecimientos asociados a exposición por PM<sub>10</sub> ZMVM (2002)**

Actualmente el método para controlar las emisiones generadas por automotores a diesel en circulación es la medición de opacidad, ya que es una técnica fácil de aplicar y de bajo costo, pero no nos garantiza una disminución o control en la emisión de partículas PM<sub>2.5</sub>, que, se dijo, es el principal problema que se presenta en cuestiones de salud. Sin embargo, la categoría de partículas PM<sub>10</sub>, pueden disminuir al aplicarse el proyecto de norma reflejándose en un ahorro económico sustancial a nivel nacional.

INDICADOR DEL IMPACTO A LA SALUD	BENEFICIOS
<b>Admisión en Hospitales</b>	
Respiratoria	\$166,106.07
<b>Visitas a la Sala de Emergencia (VSE)</b>	
Respiratoria	\$1,535,807.34
<b>Días de Actividad Restringida</b>	
Días Laborables Perdidos	\$3,591,702.61
<b>Efectos en Asmáticos</b>	
Ataques de Asma	\$1,701,853.49
<b>Síntomas Respiratorios</b>	
Síntomas en Vías Respiratorias Superiores	\$26,759,161.39
Síntomas en Vías Respiratorias Inferiores	\$16,776,178.61
Bronquitis Agudas	\$190,703,520.85
<b>TOTAL</b>	<b>\$241,234,330.36</b>

**Tabla 1.11 Beneficios obtenidos por la reducción en las emisiones de PM<sub>10</sub>**

Aunque existen técnicas destinadas a medir partículas, su alto costo en materia de equipo es el principal impedimento para que se pueda aplicar a nivel masivo, por lo que hasta ahora sólo es destinado a los fabricantes de motores nuevos.

Por este motivo, diversos laboratorios alrededor del mundo se están dando a la tarea de buscar un estrecho comportamiento entre cantidad de partículas y porcentaje de opacidad, a fin de obtener una correlación que nos garantice controlar y disminuir la producción de partículas a un menor costo y elevar la calidad de aire.

En búsqueda de tener un mejor control de las emisiones contaminantes de los automotores a diesel en circulación, se han hecho estudios tratando de relacionar la opacidad del humo con la medición de partículas; sin embargo, se han encontrado dificultades en este sentido, dado que esa relación no es confiable debido a múltiples factores, los cuales serán mencionados a continuación. Existe una relación entre la concentración de masa de partículas  $M_c$  y la opacidad, la cual puede ser determinada por la ecuación 1, no obstante esta relación variará conjuntamente con las propiedades tanto físicas como químicas del humo a medir.

$$M_c = \frac{\ln (1 - \%opacidad)}{(-A)(L)} \quad (1)$$

donde:

- $M_c$  Concentración de masa  $\left[ \frac{g}{m^3} \right]$
- $L$  Distancia recorrida del haz de luz a través de un medio  $[m]$
- $A$  Coeficiente de extinción por unidad de masa  $\left[ \frac{m^2}{g} \right]$

Esta relación no es 100% confiable debido a que  $A$  dependerá de un gran número de factores como la composición química de las partículas de humo, su forma y tamaño, así como la longitud de onda de la luz utilizada. Por lo tanto, la medición de la concentración de masa a partir de mediciones de opacidad será válida sólo si  $A$  permanece constante, es decir, que  $A$  quede inalterable a los cambios de la naturaleza del humo.

En diversos estudios de diferentes tipos de humos se ha observado que  $A$  se encuentra entre  $1 \left[ \frac{m^2}{g} \right]$  y  $10 \left[ \frac{m^2}{g} \right]$  (o entre  $10^{-4} \text{ cm}^{-1} \left[ \frac{m^3}{g} \right]$  y  $10^{-5} \text{ cm}^{-1} \left[ \frac{m^3}{g} \right]$ ), como los de R. J. Charlson<sup>\*</sup>, estudio donde obtuvieron datos sobre la dispersión de la luz en diferentes tipos de aerosoles atmosféricos, tanto para urbanos como para rurales, donde encontró que estos tenían valores de  $A$  de aproximadamente 2 a  $3 \left[ \frac{m^2}{g} \right]$ . De igual manera D. S. Ensor y M. J. Pilat<sup>\*\*</sup> lograron obtener datos de  $A$  para humos negros de entre  $4.6 \left[ \frac{m^2}{g} \right]$  y  $8.7 \left[ \frac{m^2}{g} \right]$  lo que es aproximadamente dos veces el valor para humos blancos.

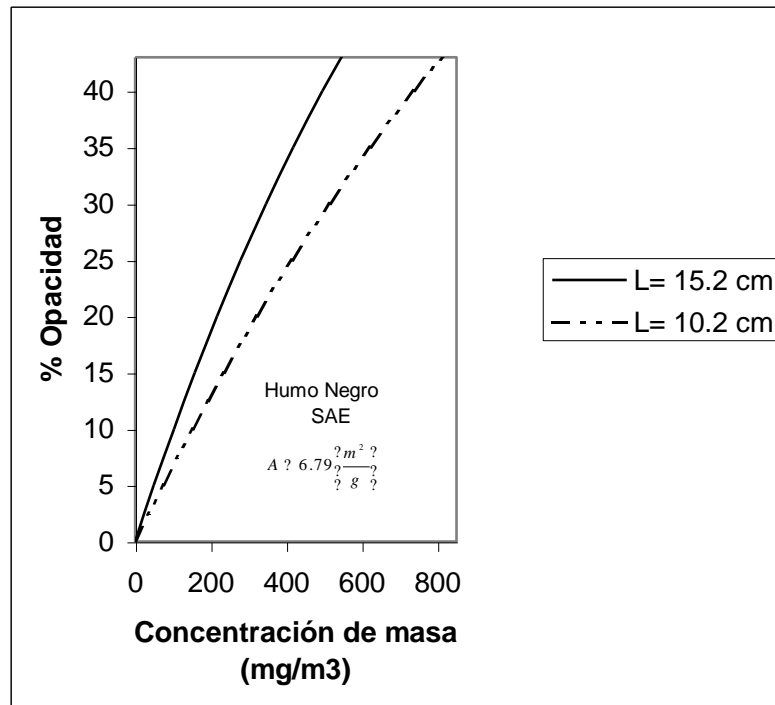
Para comprender lo anterior, hacemos uso de la Figura 3.10, donde se representa gráficamente la opacidad de una columna de humo, con una distancia recorrida por el haz de luz de 10.2 cm y 15.2 cm, como función de la concentración de masa, donde se observa que para opacidades por encima del 5% el ajuste es muy bueno, con un valor de  $A$  de  $6.79 \left[ \frac{m^2}{g} \right]$  para humos negros determinado por la SAE. Para el caso de concentraciones de masa muy bajas como  $10 \left[ \frac{mg}{m^3} \right]$ , resulta difícil determinar si el mismo valor de  $A$  es apropiado, aunque C. T. Vuk<sup>\*\*\*</sup> propone para humos producidos por la combustión de diesel valores de  $A$  de aproximadamente  $8.2 \left[ \frac{m^2}{g} \right]$ , pero con la condición de que la concentración de masa se encuentre dentro del rango de  $0-100 \left[ \frac{mg}{m^3} \right]$ .

Es importante señalar que todavía no se tiene claro si las variaciones en  $A$  para bajas concentraciones de masa reflejan un aumento en errores experimentales o manifiestan cambios importantes en las propiedades del humo.

\*R. J. Charlson, Environ. Sci. Technol. 3, 913

\*\*D. S. Ensor y M. J. Pilat, J. Air Pollut. Control Assoc. 21,496

\*\*\*C. T. Vuk, M. A. Jones y J. H. Jonson, "The Measurement and Analysis of the Physical Character of Diesel Particulate Emissions", SAE Tech. Pap. 760131.



**Figura 1.19 Típica opacidad de humo negro de los motores a diesel de uso pesado como una función de la concentración de masa.**

Aunque se han hecho estudios sobre la correlación entre la opacidad del humo y las mediciones de partículas (PM), los resultados arrojados no son muy alentadores debido a que la opacidad no es una buena medida para pronosticar emisiones de partículas, ya que en diversos estudios\* se obtiene un índice de correlación lineal ( $R^2$ ) alrededor de 0.23 a 0.40, es decir, que los datos experimentales obtenidos son muy dispersos y no presentan un seguimiento que nos haga considerarlo una relación lineal. Por lo que se puede concluir que la medición de opacidad no es suficiente para identificar y controlar las partículas emitidas por los motores diesel, altamente dañinas para la salud.

\* McGuckin, J.; Rykowski, R. *Correlation between Smoke and Particulate Emissions from Heavy-Duty Diesel Engines*; U.S. EPA, Office of Mobile Sources Technical Report: Washington, DC, 1981.

Alkidas, A. C. *SAE Tech. Pap. Ser.* **1984**, No. 840412.

Yanowitz, J.; Graboski, M. S.; Ryan, L. B. A.; Daniels, T. L.; McCormick, R. L. *Environ. Sci. Technol.* **1999**, 33, 209-216.

McCormick, R. L.; Alleman, T. L.; Graboski, M. S. *Emissions Testing of Heavy-Duty Vehicles: Phase 1*; Final Report to Colorado Department of Public Health and Environment and Regional Air Quality Council; Colorado Institute for Fuels and High Altitude Engine Research: June 1999.



**CAPÍTULO II**  
**NORMAS ECOLÓGICAS**  
**PARA VEHÍCULOS DIESEL**  
**EN CIRCULACIÓN**

## **CAPÍTULO II**

### **NORMAS ECOLÓGICAS PARA VEHÍCULOS DIESEL EN CIRCULACIÓN**

El objetivo de este capítulo es dar a conocer las características principales de las normas NOM-045 y NOM-077, además de resaltar las diferencias que existen con el Proy-045 que es el motivo de estudio en este trabajo.

#### **II.1 Normativa ecológica internacional de vehículos diesel en operación 2003 y anteriores.**

Para combatir el problema de la contaminación ambiental proveniente de los gases de escape que son producto de la combustión en motores diesel, se han desarrollado programas de verificación vehicular a nivel internacional en los cuales se buscan soluciones a este problema.

Uno de los aspectos que se consideran como parte importante en la detección de gases nocivos es el humo negro que se emite de los gases de escape, es decir, el hecho de que el humo esté más negro u opaco quiere decir que no está habiendo una buena combustión y, por ende, la emisión de partículas dañinas para la salud se acentúa aún más.

Por lo tanto, el estudio de los humos opacos en los vehículos en circulación resultan ser un factor trascendental en el control de emisiones, ya que así es posible monitorear el parque vehicular de circulación en las ciudades del mundo de una forma alternativa en la cual la opacidad de los gases determina si un vehículo contamina en exceso o no dentro de ciertos parámetros establecidos.

Dentro de la normatividad internacional se encuentran algunas instancias que se han preocupado por desarrollar tecnologías que permitan la medición del nivel de opacidad de los humos expulsados por los escapes automotrices, y por ello es necesario mencionar algunas de esas instituciones en este campo.

Agencia de Protección del Medio Ambiente (EE.UU.)

La EPA, por sus siglas en inglés, la más importante institución en el control de partículas contaminantes, a base de estudios ha propuesto límites de emisiones para los diferentes combustibles que son utilizados en los motores de combustión interna, para controlar la contaminación ambiental en ciudades donde existen grandes números de vehículos en circulación.

El Programa en Tecnología de Verificación del Medio Ambiente comenzó a operar en 1995, y lo hace a través de pruebas con colaboración pública y privada para evaluar el avance de este proyecto en todos los medios ambientales que se puedan presentar.

Los niveles de emisión de contaminantes en vehículos a diesel se presentan a continuación.

EPA Emisiones para motores de servicio pesado (g/bhp·hr )				
AÑO- Motor	HC	CO	NO <sub>x</sub>	PM
<b>Motores de camionetas de servicio pesado a diesel</b>				
1988	1.3	15.5	10.7	0.60
1990	1.3	15.5	6.0	0.60
1991	1.3	15.5	5.0	0.25
1994	1.3	15.5	5.0	0.10
1998	1.3	15.5	4.0	0.10
<b>Motores de autobuses urbanos</b>				
1991	1.3	15.5	5.0	0.25
1993	1.3	15.5	5.0	0.10
1994	1.3	15.5	5.0	0.07
1996	1.3	15.5	5.0	0.05
1998	1.3	15.5	4.0	0.05

**Tabla 2.1 Niveles de emisiones contaminantes según EPA**

Agencia de Protección Ambiental de California (EE.UU.)

Esta agencia en conjunto con la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) elaboraron una norma denominada SAE J-1667 “Procedimiento de Prueba de Humo en Aceleración Instantánea para Vehículos a diesel de carga pesada”, que refiere al método utilizado para la medición de opacidad que sale por el tubo de escape de un motor que utiliza diesel como

combustible y especifica las características con las cuales deben cumplir los equipos empleados para esta medición llamados opacímetros.

El proceso completo de la prueba consta de las siguientes fases:

#### *Preparación y seguridad en el vehículo*

El vehículo debe permanecer en neutral, las ruedas del vehículo deben estar aseguradas, el aire acondicionado debe estar apagado al igual que cualquier otro dispositivo que puedan alterar el comportamiento del motor, por último verificar que el gobernador este operando correctamente acelerando desde ralentí hasta llegar a corte de gobernador, complementando con una inspección visual.

#### *Preparación de la prueba y del mecanismo del equipo.*

Para las mediciones de opacidad en California, se ocupan dos tipos de opacímetros llamados de flujo completo (full flow) y de cámara cerrada. Para los opacímetros de flujo completo se tienen dos versiones, uno el que se encuentra al final del tubo de escape, en la parte exterior (end-of-line), y el colocado al final del tubo de escape en la parte interior. En el caso del opacímetro de cámara cerrada, la sonda no debe estar en contacto con las paredes del tubo de escape para evitar resultados erróneos al final de la prueba.

En el caso de existir múltiples salidas de escape, se tienen los siguientes criterios:

- Si éstas divergen de un mismo tubo se medirá la opacidad, en una sola salida. En el caso hallar una diferencia perceptible en la cantidad de humo emitido en algunas de las salidas, ésta será elegida para introducir la sonda e iniciar la prueba.
- Si las salidas de escape son independientes, la medición se realizará en cada tubo de escape.

*Preacondicionamiento del vehículo y ejecución de la Prueba de aceleración Instantánea.*

El motor debe estar en las condiciones óptimas de funcionamiento, con respecto a la temperatura del aceite y del refrigerante.

Para el procedimiento de prueba para la medición de opacidad, se efectuará el método de aceleración instantánea que consiste en que el operador del vehículo acelerará tan rápido como le sea posible hasta llegar a la velocidad de corte de gobernador, manteniéndolo así durante 4 segundos, después soltará el acelerador hasta llegar a la velocidad de ralentí permaneciendo así de 5 a 45 segundos antes de iniciar la siguiente prueba. Esta operación se realizará hasta completar tres pruebas consecutivas, si al finalizar éstas pruebas se tiene una variación de más/menos 2% de opacidad o más/menos  $0.15 \text{ m}^{-1}$ , las pruebas se consideraran inválidas, por lo que el método de prueba tendrá que repetirse.

*Código de prevención de la contaminación ambiental (Buenos Aires, Argentina)*  
*Ordenanza No. 39025 MCBA*

En este código se mencionan las fuentes de contaminación móviles: motores de encendido por compresión (diesel), motores de encendido provocado (gasolina).

Parte de este documento menciona el procedimiento de medición y los límites de opacidad para automotores a diesel; éste se puede realizar tanto en un motor de banco como en el vehículo.

Se procederá a la medición de opacidad cuando el motor se encuentre a plena carga y a un régimen estabilizado. Se realizarán seis mediciones a máxima potencia del motor con su régimen correspondiente, el cual se refiere al 45 % del régimen de rotación a la máxima potencia @1000 rpm., y la velocidad mínima permitida es la marcha lenta del motor (ralentí).

Para cada régimen de marcha se considerará como medición a los dos valores más altos. Al efectuarse el ensayo, el vehículo deberá encontrarse en buen estado mecánico, la regulación y los ajustes del motor estarán dados por el fabricante.

- El sistema de escape no presentara ningún orificio susceptible a provocar dilución de los gases de escape.
- Cuando existan varias salidas de escape, se conectarán a una misma salida para efectuar la medición.
- El motor deberá encontrarse en condiciones normales de marcha, así como el refrigerante y el aceite del motor estarán en su temperatura normal de funcionamiento.

El coeficiente de absorción de luz se medirá con un opacímetro y se determinará, a partir de la medición del caudal nominal de gases ( $G$ ) en  $\text{dm}^3/\text{seg.}$ , el cual está definido por la siguiente expresión:

- Para motores de cuatro tiempos:  $G = \frac{v(n)}{120}$
- Para motores de dos tiempos:  $G = \frac{v(n)}{60}$

En donde  $v$  es la cilindrada del motor en  $\text{dm}^3$  y  $n$  el régimen del motor en rpm.

Los valores límites del coeficiente de absorción de luz  $K$  ( $\text{m}^{-1}$ ) con sus respectivos flujos nominales se presentan a continuación:

$G$ ( $\text{dm}^3/\text{seg}$ )	$K$ ( $\text{m}^{-1}$ )
42	3.39
45	3.28
50	3.12
55	2.97
60	2.85
65	2.76
70	2.66
75	2.58
80	2.49
85	2.43
90	2.36
95	2.30
100	2.24
105	2.19
110	2.13
115	2.09

$G$ ( $\text{dm}^3/\text{seg}$ )	$K$ ( $\text{m}^{-1}$ )
120	2.055
125	2.0175
130	1.98
135	1.95
140	1.90
145	1.87
150	1.83
155	1.80
160	1.78
165	1.75
170	1.73
175	1.71
180	1.68
185	1.66
190	1.64
195	1.62
200	1.59

Nota: Si el valor del caudal nominal de gases no se encuentra dentro de la lista antes mostrada, será necesario aplicar la interpolación de los datos obtenidos, ya que su comportamiento es lineal.

**Tabla 2.2 Límites del coeficiente de absorción de luz**

### Estación de Inspección Técnica de Vehículos, España.

En España se han reglamentado internamente decretos que regulan el funcionamiento de las estaciones de inspección técnica de vehículos, y que con ello cumplen periódicamente las inspecciones de éstos.

Pero a lo largo de años de servicio se han dado cuenta que ha habido diferencias en los criterios de evaluación, y por ello, decidieron resolver ese problema creando un manual de procedimiento de inspección y valoración de deficiencias, recopilando en él todas las normas y procedimientos elaborados por el Ministerio de Industria y Energía de Madrid, así como los existentes en los distintos países que aplican el sistema.

Se ha pretendido dar al manual una presentación pedagógica, incluyendo explicaciones técnicas sobre partes y piezas de los vehículos, detalles sobre la forma de inspeccionarlos y valoraciones de las posibles deficiencias, haciendo referencia continua a la reglamentación aplicable para cada caso.

Parte del contenido de éste manual se muestra a continuación:

- En los vehículos ocupados con motor diesel, se procederá a la medición de la opacidad de los humos de escape, de acuerdo con lo establecido en el anexo II del decreto de la norma sobre limitación de la contaminación atmosférica producida por vehículos automóviles.
- Anexo II.- *Condiciones de medida:* En los ensayos de carretera se utilizará el carburante que lleva el propio vehículo. En los ensayos en las estaciones oficiales de inspección se utilizará el carburante que lleve el vehículo si está exento de aditivos. La opacidad de los humos se medirá estando caliente el motor, considerándose que se cumple esta condición cuando la temperatura del aceite del cárter sea de 60°C, como mínimo. La toma de muestras se efectuará de acuerdo con las instrucciones específicas del aparato empleado. El dispositivo de escape no deberá tener ningún orificio susceptible de provocar una dilución de los gases emitidos por el motor.

- *Métodos de ensayo:* La medición de la opacidad de los humos de escape de los vehículos provistos de motor diesel se realizará en carga y a régimen estabilizado.
- El ensayo en estaciones de inspección se efectuará situando el vehículo sobre freno de rodillos y midiendo la opacidad de los humos en régimen estabilizado a plena inyección y a un número de revoluciones del motor superior al 75% del que corresponde a la máxima potencia, según especificaciones del fabricante del vehículo.
- *Resultados de los ensayos:* Si las mediciones se efectúan sobre banco dinamométrico, el resultado a considerar será el valor estabilizado obtenido cuando se utilice un opacímetro o la medida de dos lecturas consecutivas que no difieran en más de 0.5 unidades cuando se utilice el aparato Bosch.

### Europa

Las normas Euro tienen su origen en la Unión Europea y se encargan de limitar los gases producidos por automotores a diesel.

La Euro 1 entró en vigor en octubre de 1993, y consistía en limitar los gases contaminantes como monóxido de carbono (CO) y óxido nitroso (NO<sub>x</sub>). A finales de 1996 se promulgó la Euro 2, la cual en una segunda fase reducía en un 20 % las emisiones de óxido nitroso y de partículas.

Posteriormente surge la Euro 3 (vigente desde 1999), que además de limitar los gases antes mencionados, hace énfasis en la reducción de óxido nitroso y de óxido sulfúrico, que es el producto de la quema de azufre contenido en el diesel dentro de la cámara de combustión, asimismo reduce aproximadamente en un 30 % los valores anteriores (Euro 2). Estos tienen relación directa con el consumo específico de combustible en el motor.

Para cumplir con esta norma, los europeos tuvieron que desarrollar combustibles diesel con un contenido de azufre de alrededor de 0.10 ppm (partes por millón). Igualmente implementaron en los motores la utilización de sistemas de inyección electrónica de alta presión, para lograr una mejor combustión y la recirculación de los gases de escape, que permite disminuir la temperatura de la combustión, lo que implica una reducción de óxido nitroso. También efectuaron la adopción de catalizadores para eliminar todo rastro de partículas y generación de CO y NO<sub>x</sub>.

---



### Euro 3

Esta norma se refiere a que todos los vehículos nuevos sometidos a pruebas, deben ser evaluados bajo las mismas condiciones, es por ello que las mediciones se realizarán en un local cerrado, en donde se cuenta con un banco dinamométrico sobre el cual se colocará el vehículo a probar, así como un ciclo de manejo que procura simular lo más fielmente la marcha real del vehículo. Dicho procedimiento de prueba es el siguiente:

- El banco dinamométrico se calibrará de tal manera que absorba una potencia determinada, según la inercia del vehículo a probar.
- La resistencia del banco se clasificará en 22 categorías, según sea la masa del vehículo.
- El vehículo a ensayar debe de tener un recorrido de alrededor de 3,000 a 15,000 km. y permanecer en el local con una temperatura de entre 20 y 30 °C, durante un periodo de 6 a 30 horas, de modo que la temperatura del refrigerante y el lubricante difiera en un máximo de 2 °C con respecto a la ambiental.
- Con el vehículo en marcha éste permanecerá por 40 segundos en ralentí.
- Repetirá cuatro veces un ciclo de 195 segundos de duración, con una distancia recorrida de 1.013 km. por ciclo, lo que da un total de 4.052 km. por prueba realizada, la cual trata de simular detenciones y arrancadas que se dan lugar en el tráfico urbano. La velocidad máxima permitida en este recorrido será de no más 50 km/h.
- Posteriormente, se efectuará un ciclo no urbano correspondiente a la circulación del vehículo en vías extraurbanas. Este recorrido durará 400 segundos con una distancia de 6.955 km. y se realiza una sola vez.

La prueba completa, incluyendo el ciclo urbano y el extraurbano tiene una duración de 19 minutos con 40 segundos, con una distancia total de 11.007 km. Después de la prueba se recogen los gases emitidos por el escape y son diluidos con aire ambiente de manera controlada, para tomar muestras posteriormente de todo ese volumen de gases para determinar la concentración de los contaminantes de interés, que se expresará en gramos por kilómetro recorrido.

Finalmente para la homologación de un vehículo a diesel, los valores obtenidos al final de la prueba deberán estar por debajo de lo exigido en la norma vigente (Euro 3). Se presentan pruebas realizadas en la Unión Europea y en Japón acerca de las emisiones contaminantes producidas por los vehículos que son impulsados por un motor diesel, y fueron hechas utilizando ciclos europeos de manejo, así como distintos métodos de prueba.

Reglamentación	Comprobación	Fecha	Ejecución del motor	HC+NO <sub>x</sub> (gr/Km) <sup>5</sup>	CO (gr/Km) <sup>5</sup>	Partículas (gr/Km) <sup>5</sup>
91/441/CEE <sup>1)</sup>	Comprobación de tipos/primer matriculación	01/07/92	IDI <sup>3)</sup>	0.97	2.72	0.14
1 <sup>er</sup> nivel (EURO I)		01/01/93		1.13	3.16	0.18
94/12/EU <sup>2)</sup>	Comprobación de tipos/primer matriculación	01/07/96	IDI <sup>3)</sup>	0.7	1.0	0.08
2 <sup>o</sup> nivel (EURO II)		01/01/97	DI <sup>4)</sup>	0.9	1.0	0.1
Propuesta EP <sup>2)</sup>	Comprobación de tipos/primer matriculación	01/01/2000	IDI <sup>3)</sup>	0.56	0.64	0.50
3 <sup>er</sup> nivel (EURO III)			DI <sup>4)</sup>	(0.50 <sup>7)</sup>		
Propuesta EP <sup>2)</sup>	Comprobación de tipos/primer matriculación	01/01/2005	IDI <sup>3)</sup>	0.3	0.5 <sup>6)</sup>	0.025 <sup>6)</sup>
4 <sup>o</sup> nivel (EURO IV)			DI <sup>4)</sup>	(0.25 <sup>7)</sup>		

<sup>1)</sup> Reglamentación especial para DI. <sup>2)</sup> Sin bonificación de tolerancia para la serie (el valor límite de comprobación de tipos es igual al valor límite de serie). <sup>3)</sup> Motores de cámara secundaria. <sup>4)</sup> Motores de inyección directa. <sup>5)</sup> Nuevo ciclo de circulación europeo (NEFZ), comienzo de la extracción de muestras después de 40 s. <sup>6)</sup> NEFZ modificado, sin funcionamiento previo de 40 s. <sup>7)</sup> El NO<sub>x</sub> sólo no debe sobrepasar el valor entre paréntesis indicado.

**Tabla 2.3 Valores límite para turismos en Europa. Peso total admisible ≤2.5 t y ≤6 plazas**

Reglamentación	Comprobación	Fecha	HC (gr/kWh)	NO <sub>x</sub> (gr/kWh)	CO (gr/kWh)	Partículas (gr/kWh)
91/542/CEE	Comprobación de tipos/serie	01/07/92	1.1 <sup>1)</sup>	8.0 <sup>1)</sup>	4.5 <sup>1)</sup>	0.36 <sup>1)</sup>
1 <sup>er</sup> nivel (EURO I)		01/10/93	1.23 <sup>1)</sup>	9.0 <sup>1)</sup>	4.9 <sup>1)</sup>	0.4 <sup>1)</sup>
94/542/CEE	Comprobación de tipos/serie	01/10/95	1.1 <sup>1)</sup>	7.0 <sup>1)</sup>	4.0 <sup>1)</sup>	0.15 <sup>1)</sup>
2 <sup>o</sup> nivel (EURO II)		01/10/96				
Propuesta	Comprobación de tipos/serie	01/10/2000	0.66 <sup>2)</sup>	5.0 <sup>2)</sup>	2.1 <sup>2)</sup>	0.1 <sup>2)</sup>
3 <sup>er</sup> nivel (EURO III)			0.78 <sup>3)4)</sup>	5.1 <sup>3)</sup>	5.45 <sup>3)</sup>	0.16 <sup>3)</sup>
Propuesta	Comprobación de tipos/serie	Env.2005	0.33 <sup>2)</sup>	2.5 <sup>2)</sup>	1.05 <sup>2)</sup>	0.05 <sup>2)</sup>
4 <sup>o</sup> nivel (EURO IV)			0.39 <sup>3)4)</sup>	2.5 <sup>3)</sup>	2.73 <sup>3)</sup>	0.08 <sup>3)</sup>

Adicionalmente rigen los valores límite de humos según la ECE R.24 (k<sub>lim</sub>) y EEC-ELR (k = 0.8 m<sup>-1</sup>).  
<sup>1)</sup> Prueba europea de 13 niveles (según ECE R.49). <sup>2)</sup> Nueva prueba europea de 13 niveles (EEC-ESC).  
<sup>3)</sup> Nueva prueba europea estacionaria (EEC-ETC). <sup>4)</sup> NMHC.

**Tabla 2.4 Valores límite para vehículos industriales pesados en Europa. Peso total admisible >3.5 t (Potencia del motor >85 kW)**

**SUSTENTO TÉCNICO PARA MODIFICAR LAS NORMAS OFICIALES MEXICANAS ECOLÓGICAS 045 Y 077, A FIN DE MEJORAR LAS EMISIONES DE HUMO DE LOS VEHÍCULOS EN CIRCULACIÓN QUE USAN DIESEL COMO COMBUSTIBLE.**

Reglamentación estándar (adicionalmente existe la reglamentación especial DI para categorías de vehículos M y N1)						Propuestas	
Masa de referencia Kg	Componentes contaminantes	Comprobación de tipos				Comprobación de tipos	
		10.94 <sup>1)</sup> DI g/Km	1.97 <sup>1)</sup> IDI g/Km	1.97 <sup>1)</sup> DI g/Km	10.99 <sup>1)</sup> DI g/Km	1.2000 <sup>2)</sup> IDI/DI g/Km	2005 <sup>2)</sup> IDI/DI g/Km.
≤ 1250	HC+NO <sub>x</sub>	0.97	0.7	0.9	0.7	0.56 (0.50 <sup>3)</sup> )	0.3 (0.25 <sup>3)</sup> )
	CO	2.72	1.0	1.0	1.0	0.64	0.5
	Partículas	0.14	0.08	0.1	0.08	0.05	0.025
≤ 1700	HC+NO <sub>x</sub>	1.4	1.0	1.3 <sup>4)</sup>	1.0	0.72 (0.65 <sup>3)</sup> )	0.39 (0.33 <sup>3)</sup> )
	CO	5.17	1.25	1.25 <sup>4)</sup>	1.25	0.8	0.63
	Partículas	0.19	0.12	0.14 <sup>4)</sup>	0.12	0.07	0.04
> 1700	HC+NO <sub>x</sub>	1.7	1.2	1.6 <sup>4)</sup>	1.2	0.86 (0.78 <sup>3)</sup> )	0.46 (0.39 <sup>3)</sup> )
	CO	6.9	1.5	1.5 <sup>4)</sup>	1.5	0.95	0.74
	Partículas	0.25	0.17	0.2 <sup>4)</sup>	0.17	0.1	0.06

<sup>1)</sup> Nuevo ciclo de circulación (NEFZ), comienzo de la extracción de muestras después de 40 s.

<sup>2)</sup> NEFZ modificado, sin funcionamiento previo de 40 s. <sup>3)</sup> El NO<sub>x</sub> sólo no debe sobrepasar el valor entre paréntesis indicado.

<sup>4)</sup> Sólo desde enero de 1998.

**Tabla 2.5 Valores límite para vehículos industriales ligeros en Europa. Peso total admisible < 3.5 t (conforme a la 93/59/CEE). Nuevo ciclo de circulación europeo (NEFZ).**

Ciclo de circulación	Prueba en caliente de 10-15 niveles					Prueba de Humo
Fecha de entrada en vigor <sup>2)</sup>	Masa de referencia de vehículos en kg.	HC (gr/Km.)	NO <sub>x</sub> (gr/Km.)	CO (gr/Km.)	Partículas (gr/Km.)	Ennegrecimiento del papel filtrante <sup>1)</sup> %
Octubre de 1997	máx.	máx/medio	máx/medio	máx/medio		
Octubre de 1998	≤ 1265	0.62/0.4	0.55/0.4	2.7/2.1	0.14/0.08	25
	> 1265	0.62/0.4	0.55/0.4	2.7/2.1	0.14/0.08	25

<sup>1)</sup> Mediciones de humo a plena carga en tres números de revoluciones prescritos o con aceleración libre del motor.

<sup>2)</sup> Para vehículos de fabricación nacional e importada existen diferentes fechas de validez.

**Tabla 2.6 Valores límite para turismos en Japón con ≤ 10 plazas de asiento. Ciclo de circulación, prueba de 10-15 niveles para componentes contaminantes, así como prueba de aceleración y de humo de 3 niveles.**

Ciclo de circulación	Prueba de 13 niveles					Prueba de Humo
	Ejecución del motor	HC (gr/kWh)	NO <sub>x</sub> (gr/kWh)	CO (gr/kWh)	Partículas (gr/kWh)	Ennegrecimiento del papel filtrante <sup>1)</sup> %
Octubre de 1994	DI <sup>2)</sup>	2.9	6.0	7.4	0.7	40
	IDI <sup>3)</sup>	2.9	5.0	7.4	0.7	40
Octubre de 1998	DI <sup>2)</sup> y IDI <sup>3)</sup>	2.9	4.5	7.4	0.25	25

<sup>1)</sup> Mediciones de humo a plena carga en tres números de revoluciones prescritos o con aceleración libre del motor.

<sup>2)</sup> Motores de inyección directa.

<sup>3)</sup> Motores de cámara secundaria.

***Tabla 2.7 Valores límite para vehículos industriales y autobús en Japón con ≥ 11 plazas de asiento. Peso total admisible > 2.5 t. Prueba de 13 niveles para componentes contaminantes así como prueba de aceleración y humo de 3 niveles.***

## II.2.- Antecedentes de Normas Ecológicas Mexicanas.

En México, como en otros países, se han generado normas con el objeto de que los vehículos arrojen por el escape las menos emisiones contaminantes posibles, para así controlar la contaminación ambiental.

La EPA (Environmental Protection Agency), Agencia de Protección al Medio Ambiente en Estados Unidos de América y las normas Euro que tienen su origen en los organismos de la Unión Europea, son instituciones destinadas a limitar y controlar los gases de emisiones contaminantes producidos por los motores diesel, prácticamente a nivel mundial.

Con base en estudios experimentales estas dos dependencias han establecido límites de emisiones contaminantes para los diferentes motores de combustión interna que usa el autotransporte, y que son motivo de atención porque, como se sabe, son protagonistas de la vanguardia tecnológica.

En vehículos en circulación que utilizan motores diesel se realizan periódicamente pruebas estáticas, lo cual significa que el motor se encuentra en estado neutral o sin carga.

En México, las dependencias encargadas de tomar las decisiones respecto a los límites y protocolos de medición en el campo de las emisiones contaminantes de los vehículos, son la SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) y la SECOFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial), las cuales crean las Normas Oficiales Mexicanas para mejorar la calidad del aire en las principales zonas urbanas. Obviamente las autoridades antes mencionadas requieren de la ayuda de dependencias privadas como son, entre otras, los fabricantes de los instrumentos de medición, talleres o laboratorios capacitados en el mantenimiento de los vehículos y asociaciones de transportistas, que ocasionalmente prestan sus vehículos para que se realicen pruebas de campo, y de esta forma, contar con muestras representativas de las emisiones contaminantes del parque vehicular que circula en la República Mexicana.

Con el paso de los años, se ha visto la necesidad de actualizar estas normas y métodos para controlar la contaminación; dichos cambios se realizan debido a que llegan al mercado nuevas tecnologías por parte de la industria automotriz, precisamente para disminuir las emisiones contaminantes en sus vehículos, por lo que también se debe actualizar la tecnología para la medición de emisiones. En general, siempre se busca que estas sean lo más bajas posibles para una mejor calidad de aire en las ciudades donde se tiene un parque vehicular de consideración o donde se requiere proyectar el crecimiento de la población.

En el caso particular de los motores diesel en México, las normas no se han modificado en mucho tiempo, por lo que los límites y el método de prueba actuales no cumplen con las condiciones requeridas o aptas para disminuir las emisiones contaminantes de estos vehículos. Podemos ver en nuestra ciudad que circulan vehículos con motor diesel, principalmente del servicio pesado, que emiten grandes cantidades de humo y aun así, supuestamente están dentro de los límites que marca la norma actual.

Por esta razón, es necesario cambiar el método de prueba y los límites de gases contaminantes (en este caso opacidad del humo emitido).

Las pruebas que se llevan a cabo actualmente en México, están descritas en las normas, NOM 077 y NOM 045 en las que se refiere el método de prueba y los límites de opacidad respectivamente, tomando en cuenta el modelo del vehículo y peso del mismo.

Los antecedentes de estas normas se implantaron en el año de 1986 y se llevaron a revisión en 1993, donde se determinaron nuevos límites de emisiones contaminantes así como la periodicidad al hacer las pruebas en los vehículos; sin embargo, las autoridades se han percatado que estas normas ya no son funcionales en el aspecto de que son muy laxas para los problemas de contaminación que se tienen en el país, ya que permiten que muchos vehículos diesel estén dentro de los límites requeridos pero en la realidad son vehículos altamente contaminantes.

Por tal motivo se creó “El proyecto de norma NOM 045-SEMARNAT-2005”, que esta basado en gran medida en la Norma EURO 072 (72/306/CEE) creado el 2 de agosto de 1972, establecida por el Consejo de las Comunidades Europeas, la cual establece la medición de la opacidad de los gases utilizando el método de aceleración instantánea\*, empleando un opacímetro de cámara cerrada y flujo parcial.

\*Aceleración del motor desde ralentí (régimen de giro mínimo 600-700 rpm) hasta su régimen de giro máximo sin carga (corte de gobernador), obteniendo como consecuencia el caudal máximo de la bomba de inyección.

Se entiende por corte de gobernador al momento en que la bomba deja de suministrar combustible a los inyectores, debido al mecanismo que compone el tipo de mando, ya sea mecánico o electrónico. El mando mecánico consta de un sistema de contrapesos en el eje de la bomba -acoplado al cigüeñal del motor a través de engranes- y a una varilla que permite el paso del combustible a los inyectores, cuando la fuerza centrífuga generada por el giro del eje de la bomba ejerce presión en los contrapesos, éstos impiden el movimiento de la varilla obstruyendo el paso de combustible a los inyectores. En el mando electrónico el gobernador es un sensor electrónico que recibe una señal de las RPM del motor y corta el suministro de combustible a los inyectores. Con estos dos sistemas anteriores se impide que el operador no pueda exceder al motor en su número de vueltas por minuto, evitando de esta forma que se dañe.

También se tomó como apoyo a la propuesta de norma Nacional Americana SAE J-1667, que se refiere al procedimiento de prueba de humo en aceleración instantánea para vehículos a diesel de uso pesado, expedida en febrero de 1996.

Es importante resaltar que este proyecto busca unir ambas normas (NOM-077 y NOM-045) en una sola para así tener un mejor control de información y aplicación de lo que en ellas se maneja. A lo largo de este capítulo se mencionarán las NOM-077 y NOM-045 como normas vigentes, y como PROY-045 al proyecto de norma, con el fin de evitar confusiones.

Paralelamente, debemos mencionar que otro método para medir las emisiones de motores diesel son las partículas que, debido al alto costo que representa, se destina únicamente a los fabricantes de vehículos y motores nuevos, que como parte del proceso de control de calidad, antes de salir al mercado, deben homologar los motores. El procedimiento de prueba se realiza montando un motor nuevo en un dinamómetro de banco, el cual consta de una serie de elementos que simulan el funcionamiento del motor estando en circulación, por lo que se tiene una conexión directa con el motor a través de una flecha acoplada a un freno electromagnético. que tiene como función frenar el motor. Se ejecutan diferentes condiciones de funcionamiento tanto en carga como en revoluciones por minuto, donde se toman muestras de los niveles de partículas que salen del motor.

El método se realiza haciendo muestreos con un Túnel de Dilución, donde se hace circular aire limpio y fresco en conjunto con los gases producidos por la combustión originando una mezcla homogénea, con la finalidad de reproducir las condiciones en que las partículas son expulsadas a la atmósfera.

Las condiciones requeridas para la dilución de la muestra dependerá del caudal de gases y las dimensiones del túnel. Para determinar la masa de partículas que emite el motor, se toma una muestra de la mezcla diluida mediante una sonda isocinética, es decir, que toma la muestra cuando las velocidades del gas son iguales en toda la sección del túnel. Los gases de la muestra se hacen pasar a través de un filtro para recolectar las partículas y,

comparando el peso del filtro antes y después de la prueba, es posible saber la masa de las partículas mediante un balance de masas.

La medición de opacidad y de partículas, son actualmente los métodos empleados para controlar las emisiones de los motores diesel; sin embargo, en Australia existe un programa piloto donde se pretende promover la medición de partículas contaminantes de forma dinámica, es decir que las pruebas se realizan igual que en los vehículos pequeños, en donde el automotor se montado sobre un dinamómetro de chasis a fin de que el vehículo pueda seguir un ciclo de manejo, simulando las condiciones reales que se presentan durante su conducción y así poder monitorear los agentes contaminantes.

Algunos inconvenientes para realizar estas pruebas son las dimensiones de los equipos para la verificación vehicular y, por consiguiente, el costo tan elevado de los mismos.

### **II.3 Normas Vigentes (NOM-077, NOM-045)**

#### NORMA OFICIAL MEXICANA. NOM-077-ECOL-1995

Esta Norma Oficial Mexicana establece el procedimiento o método de verificación de los niveles de opacidad de humo, proveniente de los vehículos automotores en circulación que usan diesel como combustible, y es de observancia obligatoria para las autoridades, que tengan a su cargo el establecimiento y operación de centros de verificación vehicular, o en su caso, para los particulares, que cuenten con la autorización correspondiente.

#### Procedimiento de prueba.

El método para medir los niveles máximos permisibles de opacidad, es el de la aceleración libre, que consiste en una prueba estática del vehículo acelerando el motor desde su régimen de giro en marcha lenta (1500 RPM), hasta su régimen de giro máximo sin carga ó corte de gobernador.



La medición de las emisiones de humo se realizará durante el período de aceleración de motor, y para ello, se utilizará un opacímetro de flujo parcial y cámara cerrada.

Antes de iniciar cualquier prueba, se deberá calibrar el opacímetro a cero antes de cada serie de lecturas y por último eliminar del sistema de medición cualquier partícula extraña. Al momento de realizar las pruebas, el técnico verificador deberá revisar las condiciones óptimas de funcionamiento del motor: temperatura normal de operación, el vehículo debe estar en neutral y con el embrague sin accionar, el escape debe encontrarse en perfectas condiciones para evitar fugas o intrusiones, revisar que al vehículo no se le haya perdido, modificado o incapacitado cualquier componente del sistema del control de emisiones (filtro de aire, tapones de depósito de aceite y del tanque de combustible, bayoneta del nivel del aceite del cárter y sistema de ventilación del cárter ). Además el motor no deberá someterse a un período prolongado en ralentí que preceda a la prueba, ya que esto alterará el resultado final, es decir, tiempo de estabilidad (calentamiento) del equipo debe ser menor de diez minutos después del encendido.

En caso de haber uniones desde el tubo de escape hasta el opacímetro, se deberán tomar las siguientes precauciones:

- Las juntas que unen el tubo de escape y el opacímetro no deben permitir que entre aire del exterior.
- Los tubos que unen el motor con el opacímetro deberán ser tan cortos como sea posible.
- El tubo del sistema deberá estar inclinado hacia arriba desde el motor hacia el opacímetro.
- Se deben evitar uniones con bordes internos donde se pueda acumular carbón.
- Una válvula de desviación puede ser incorporada en el escape para aislar el opacímetro del flujo de los gases de escape cuando no se están efectuando mediciones. Un sistema de enfriamiento puede ser instalado, si así lo requiere, entre el motor y el opacímetro, en el mismo caso.

El procedimiento de medición será el siguiente:

Con el motor operando en ralentí y sin carga, se acelerará hasta alcanzar las 1500 RPM, lo que se denomina marcha lenta, manteniéndolo durante tres segundos, después se acciona el acelerador en un intervalo de dos a tres segundos para conseguir su velocidad máxima, y cuando se obtenga ésta, se suelta el pedal del acelerador hasta que el motor regresa a la velocidad de ralentí y el opacímetro se estabilice en condiciones mínimas de lectura. Esta operación se repetirá seis veces como mínimo para cada vehículo, hasta conseguir cuatro valores consecutivos que se sitúen dentro de los límites establecidos y cuyo intervalo entre lecturas de opacidad no sea mayor a  $0.25 \text{ m}^{-1}$  (cero punto veinticinco metros a la menos uno) ni formen una secuencia decreciente. El valor final que se asigna al vehículo sometido a la prueba será el promedio aritmético de estas cuatro lecturas, verificando la calibración del opacímetro al concluir la serie de mediciones.

Si el vehículo cuenta con dos o más salidas de los gases de escape, la prueba se realizara en cada una de las salidas. Una vez hecho esto, sólo se considerarán los valores máximo y mínimo que no deben variar por más de  $0.15 \text{ m}^{-1}$  (cero punto quince metros a la menos uno). En caso de presentarse una variación mayor, se tomara la lectura más alta.

#### NORMA OFICIAL MEXICANA. NOM-045-ECOL-1993

Es preciso mencionar que en esta Norma se excluye, la maquinaria equipada con motores diesel utilizada en la industria de la construcción, minera y de actividades agrícolas. Y para su realización se tomaron como apoyo las siguientes normas:

- NMX-AA-023-1986, Protección al Ambiente-Contaminación Atmosférica–Terminología, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 15 de julio de 1986.
- NMX-S025-IMNC-2000, Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de calibración y pruebas.

- NMX-EC-17020-IMNC-2000.- Criterios generales para la operación de varios tipos de Unidades (Organismos) que desarrollan la Verificación (Inspección) ISO 17020-2000.
- NMX-EC-17025-IMNC-2000 Para evaluación y acreditación de Laboratorios de Calibración y/o ensayo Norma ISO/IEC 17025-1999.

Debido a que los vehículos generan emisiones de humo a la atmósfera, es necesario prevenirlas y controlarlas para asegurar la preservación del equilibrio ecológico y la protección al ambiente.

La Norma NOM-045 establece los niveles máximos permisibles de opacidad del humo, proveniente del escape de vehículos automotores en circulación que utilizan diesel, obteniendo un parámetro denominado coeficiente de absorción de luz.

Debido a que el coeficiente de absorción de luz es un parámetro que no puede ser medido directamente, se utiliza como apoyo uno de los métodos ópticos del análisis químico, que tienen como objeto, medir la radiación que es emitida, absorbida, o transmitida al interactuar el campo eléctrico o magnético de la radiación (haz de luz) con los campos eléctricos o magnéticos de la materia.

#### Ley de Beer-Lambert

Esta ley es el fundamento del análisis químico colorimétrico\* o absorción de luz visible, y establece una relación de variación de la intensidad de una radiación electromagnética (haz de luz) transmitida a través de un medio y permite hallar la concentración de una especie química a partir de la medida de la intensidad de luz absorbida por la muestra, siguiendo las leyes:

a) Lambert-Bouguer

$$I = I_0 \exp(-kL)$$

\* Método de análisis químico que mide la concentración de una disolución por comparación con los colores de unas soluciones conocidas.

donde:

- $I$  Intensidad final
- $I_0$  Intensidad inicial
- $k$  Coeficiente de absorción (constante del medio)
- $L$  Distancia recorrida del haz de luz a través de un medio.

b) Beer

$$I = I_0 \exp(-kCL)$$

donde:

$C$  Concentración del medio

La influencia del medio al coeficiente de absorción esta dada por la relación  $k = \beta C_s$ . Siendo  $\beta$  el coeficiente de extinción característico a través de la muestra de gases en  $\left[ \frac{m^2}{mol} \right]$  y  $C_s$  una constante que representa la absorción de luz del medio por la que hace pasar un haz de luz, expresada en número de moléculas por unidad de volumen  $\left[ \frac{mol}{m^3} \right]$ . Por lo tanto haciendo el análisis dimensional del producto, la unidad de medida de  $k$  es  $[m^{-1}]$ .

Para fines prácticos de operación de los equipos, los valores de opacidad pueden ser expresados en porcentaje, ya que en ocasiones es difícil comprender el valor del coeficiente de absorción de luz en  $[m^{-1}]$  y por ello se tiene una relación entre la escala lineal ( $N$ ) de 0 a 100% (cero a cien por ciento) de la opacidad y “ $k$ ” dado por la correlación:

$$k = -\frac{1}{L} \ln\left(1 - \frac{N}{100}\right)$$

donde:

- $L$  Distancia recorrida del haz de luz a través de un medio.
- $N$  Porcentaje de flujo total de luz.
- $k$  Coeficiente de absorción (constante del medio).

Por lo tanto, los valores del coeficiente de absorción de luz que indica la norma NOM-045 como los límites máximos permisibles de opacidad, nos expresan de una forma cuantitativa la cantidad de luz que es absorbida por los gases emitidos del escape de los automotores en circulación y se presentan en las siguientes tablas.

Los límites de opacidad de humo, con peso bruto vehicular de hasta 2,727 kilogramos, en función del año-modelo del vehículo, son presentados en la siguiente Tabla.

Año-modelo del motor	Coefficiente de absorción de luz ( $m^{-1}$ )	Porcentaje de opacidad (%) *
1995 y anteriores	1.99	57.61
1996 y posteriores	1.07	37.04

Nota: (\*) Expresado como valor referencial.

**Tabla 2.8 Niveles máximos permisibles de opacidad del humo en función del año-modelo del motor**

Los límites de opacidad de humo, con peso bruto vehicular de más de 2,727 kilogramos, en función del año-modelo del motor, son presentados en la siguiente Tabla.

Año-modelo del motor	Coefficiente de absorción de luz (m <sup>-1</sup> )	Porcentaje de opacidad (%) <sup>*</sup>
1990 y anteriores	1.99	57.61
1991 y posteriores	1.27	42.25

Nota: (\*) Expresado como valor referencial

***Tabla 2.9 Niveles máximos permisibles de opacidad del humo en función del año-modelo del motor***

Se entiende por peso bruto vehicular, 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.

Es importante mencionar que el concepto de peso bruto vehicular sólo influye para determinar en que tabla se ubicará al vehículo para la comparación de los niveles de opacidad.

#### **II.4.- Proyecto de Norma Oficial Mexicana (Proy NOM-045)**

##### Proy- SEMARNAT-045

Por acuerdo del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales, se constituyó el Grupo de Trabajo para formular el anteproyecto de Norma Oficial Mexicana, integrado por personal técnico de las dependencias, instituciones y empresas que están relacionadas con los vehículos diesel, en el rubro de investigación, construcción y normalización. Las cuales son: la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Autotransporte Federal, Secretaría de Energía, Secretaría del Medio Ambiente

del Distrito Federal. Dirección General de Gestión Ambiental del Aire, Unidad del Departamento del Desarrollo Tecnológico de la Red de Transporte de Pasajeros del Distrito Federal, Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA), Cámara Nacional de la Industria de la Transformación (CANACINTRA), Asociación Nacional de Especialistas al Servicio de Combustión Interna, A. C. (ANESCI), Cámara Nacional del Autotransporte de Pasajeros y Turismo (CANAPAT), Asociación Nacional de Transporte Privado (ANTP), Medios y Procedimientos Tecnológicos S. A. de C. V., Trafalgar S. A. de C. V., General Motors, Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Dirección General de Fomento Ambiental, Urbano y Turístico y la Cámara Nacional de Autotransporte de Carga (CANACAR).

Este Proyecto de Norma Oficial Mexicana establece los niveles máximos permisibles de opacidad del humo, así como su método de medición y características técnicas del equipo. Se excluyen de la aplicación de la presente norma, la maquinaria equipada con motores a diesel empleada en las actividades agrícolas, de la construcción y de la minería, que por su disposición, características o dimensiones no sean susceptibles de ser verificadas.

Como se mencionó al principio de este capítulo, las normas vigentes que especifican los niveles de opacidad y el método de prueba han quedado obsoletas, por lo que se pretende, mediante este proyecto, establecer nuevos límites de opacidad y procedimiento de prueba más estrictos, tomando en cuenta las nuevas tecnologías, tanto de los vehículos como de los equipos de medición, y con esto se genera el interés por fusionar las normas actuales en una sola y así facilitar el manejo y control de la información que en ellas se trata, describiendo las características del equipo, método de prueba y límites de opacidad.

### Procedimiento de prueba

Dentro del método de prueba propuesto en esta norma se seguirá manejando el concepto de prueba estática y a lo que ello se refiere. La principal modificación radica en incrementar el intervalo de régimen de giro durante la prueba ya que, anteriormente, consistía en acelerar el motor de 1500 rpm a su régimen de giro máximo o corte de gobernador, y actualmente el método propuesto consiste en realizar la aceleración del motor de manera instantánea,

desde ralenti hasta corte de gobernador, obteniendo, como consecuencia el caudal máximo de la bomba de inyección y la cantidad mayor de gases emitidos por la combustión que nos permitirá registrar resultados más confiables.

Por otra parte, se hace mención que la preparación del vehículo antes de comenzar la prueba y la secuencia de la misma no sufrió cambios con respecto a la norma vigente NOM-077. A continuación se muestran en un breve listado de los pasos a seguir con el propósito de no perder el orden del procedimiento:

1. Inspección visual del motor. Consiste en verificar que los elementos del motor no sufran modificaciones o alteraciones.
2. Inspección del humo de patio. Consiste en verificar que la tonalidad del humo visible emitido por el tubo de escape no sea excesivamente oscuro.
3. Calibración del opacímetro. Consiste en que el equipo de medición genere un autocero, es decir, una limpieza automática.
4. Instalación del opacímetro. Consiste en colocar: el sensor de temperatura dentro del deposito de aceite, el tacómetro adecuado (óptico, inductivo o de pinzas) para medir el régimen de giro del motor y colocar la sonda del opacímetro dentro del tubo de escape.
5. Desfogue del motor. Consiste en acelerar el motor súbitamente con la finalidad de limpiar el sistema de escape.
6. Toma de lecturas. Consiste en evaluar cada vehículo de cuatro a diez ocasiones hasta obtener cuatro valores válidos consecutivos que se encuentren dentro de los límites establecidos, y no varíen por más de  $0.15 \text{ m}^{-1}$  entre cada uno de ellos. Además, se debe tomar en cuenta el caso particular cuando existen dos o más salidas de gases de escape, mencionado en la NOM 077.

Una vez obtenidas las cuatro lecturas consecutivas, se procede a hacer la comparación de éstas con las tablas 2.10 o 2.11 según corresponda, donde se especifican los límites máximos permisibles, dependiendo del peso bruto vehicular y el año-modelo del vehículo.



Niveles máximos permisibles

Es importante destacar que los límites de opacidad sufrieron modificaciones, ya que se tomó en cuenta el tipo de mando de la bomba de combustible ya sea mecánico o electrónico, así como del año-modelo del motor, además de realizar una nueva clasificación del peso bruto vehicular (de 2727 Kg. a 3856 Kg.), debido a que en la actualidad circulan una mayor cantidad de vehículos con peso superior a lo establecido actualmente, obligando a que los automotores en circulación estén dentro de un rango de límites permisibles más estricto.

También se omite el manejo de los niveles de opacidad en porcentaje para evitar confusiones en el análisis de resultados y, por ende, tener una sola referencia de medición.

Los límites de opacidad de humo, con peso bruto vehicular de hasta 3,856 kilogramos en función del año-modelo del motor, son mostrados en la siguiente tabla.

Año – modelo del Vehículo	Opacidad.- medida como coeficiente de absorción de luz (K) $m^{-1}$
1995 y anteriores	3.0
1996 y posteriores	2.5

**Tabla 2.10 Límites máximos permisibles de opacidad**

Los límites de opacidad de humo, con peso bruto vehicular mayor a 3,856 kilogramos en función del año-modelo del motor, son mostrados en la siguiente tabla.

Año – modelo del Vehículo	Opacidad.- medida como coeficiente de absorción de luz (K) $m^{-1}$
1990 y anteriores	3.0
1991 y posteriores	2.5

**Tabla 2.11 Límites máximos permisibles de opacidad**

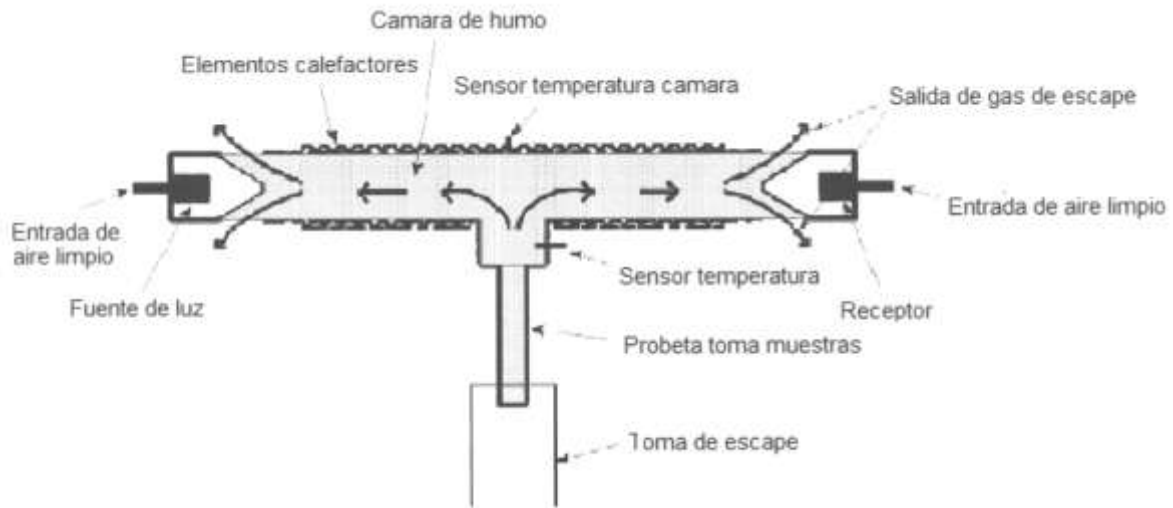
Especificaciones del opacímetro

Para medir el coeficiente de absorción, se utilizó un opacímetro de cámara cerrada y de flujo parcial (Fig.2.1 y Fig.2.2), es decir, que sólo una parte de los gases pasa por el aparato de medición. El empleo de este sistema permite un mejor control de los gases de escape para su análisis, a diferencia de un opacímetro de flujo completo (fig. 2.3) en el que analiza todo el caudal de los gases de escape y, debido a sus características, es influenciado por el medio ambiente, provocando variaciones en el control y medición de la opacidad.



- 1 -Sonda de extracción de residuos
- 2 -Unidad de recepción
- 3 -Fuente de luz
- 4 -Detector de temperatura del gas

**Figura 2.1 Opacímetro de flujo parcial**



**Figura 2.3 Opacímetro de flujo completo**

Además el opacímetro debe contar con diversos dispositivos de medición, que se mencionan a continuación:

- Un sensor de temperatura para verificar que el motor del vehículo funcione a su temperatura normal de operación.
- Un sensor y equipo para registrar el régimen de giro del eje del motor.
- Contar con una placa de identificación en la que se precise: modelo, número de serie, nombre y dirección del fabricante, requerimientos de energía eléctrica y límites de voltaje de operación.
- El diseño del opacímetro deberá ser tal, que bajo condiciones de operación en régimen estabilizado, la cámara de humo se llene uniformemente.

*Especificación de la cámara de humo y cuerpo del opacímetro.*

La superficie interna de la cámara de humo debe tener un acabado en negro mate para evitar reflejos hacia la celda fotoeléctrica que pudieran arrojar valores erróneos.

La *fente de luz* deberá ser una lámpara incandescente, cuya temperatura de color del filamento esté dentro de un intervalo de temperatura de 2,800 a 3,250 K (dos mil ochocientos a tres mil doscientos cincuenta grados Kelvin). Como alternativa se podrá utilizar una luz verde emitida por un diodo emisor (LED) con una longitud de onda entre 550 y 570 nm (nanómetros).

El receptor deberá ser una celda fotoeléctrica o fotodiodo respectivamente, según sea el caso de la fuente emisora, con una longitud de onda que esté dentro del rango de luz visible perceptible por el ojo humano.

*La presión de los gases de escape* dentro de la cámara de humo deberá ser mayor a la presión atmosférica en no más de 754 Pa o 75 mm de columna de agua, registrado por un sensor de presión colocado en el interior de la cámara. La variación de presión no debe provocar una variación mayor de  $0.05\text{m}^{-1}$  al momento de introducir un gas con un coeficiente de absorción de  $1.7\text{ m}^{-1}$ .

En cada punto de la cámara de humo *la temperatura del gas* deberá estar entre  $70^{\circ}\text{C}$  (setenta grados centígrados) y una temperatura máxima especificada por el fabricante del opacímetro, de tal forma que las lecturas sobre el intervalo de temperatura no varíe por más de  $0.1\text{m}^{-1}$  (cero punto uno metros a la menos uno), al momento de introducir en la cámara un gas con un coeficiente de absorción de  $1.7\text{ m}^{-1}$ .

### Calibración del opacímetro

La calibración del opacímetro se realiza en un laboratorio acreditado por el Sistema Nacional de Calibración cada tres meses, en condiciones normales de operación; sin embargo, si el equipo realiza un promedio de 50 o más verificaciones por día, éste requerimiento será cada 30 días. Al llegar a la fecha límite sin haber realizado la auditoría de calibración, el equipo debe auto-bloquearse.

Para llevar a cabo la calibración se deben utilizar 4 filtros de opacidad acreditados por el CENAM (Centro Nacional de Metrología), los cuales tendrán una diferencia de medición mayor o igual a quince unidades uno del otro. La transmitancia de cada filtro expresada en unidades lineales deberá estar contenida dentro del rango de 430 a 680 nm.

Cada filtro debe introducirse un mínimo de tres veces en el haz de luz y al mismo tiempo debe estar fluyendo aire limpio dentro de la cámara, a una presión similar a la existente durante una prueba de verificación.

Es importante destacar que los equipos deben ser calibrados antes de iniciar una nueva prueba, y para ello se describe el procedimiento a emplear:

1. Realizar un autocero al opacímetro.
2. Obtener una lectura estable del opacímetro sin el apoyo de un filtro patrón.
3. Introducir uno de los cuatro filtros en la cámara de humo hasta obtener lecturas estables y, posteriormente, imprimir los resultados junto con los datos cronológicos, del centro y de la línea de verificación.
4. Repetir los pasos dos y tres para cada filtro en tres ocasiones, terminando el ciclo con el paso dos.

Al término de la calibración con los filtros, se compararán los resultados obtenidos de cada uno de ellos con su valor nominal, si el promedio de las tres lecturas excede la tolerancia de  $\pm 2\%$  se considera al opacímetro fuera de especificaciones.

**CAPITULO III**  
**ESTUDIO DE PRUEBAS DE**  
**OPACIDAD**

## **CAPÍTULO III.**

### **ESTUDIO DE PRUEBAS DE OPACIDAD**

#### **III.1 Muestreo del Parque Vehicular Diesel a Nivel Nacional.**

Este capítulo tiene como objetivo, estimar una muestra representativa del parque vehicular de automotores a diesel que circulan en la República Mexicana, a fin de realizar pruebas experimentales de opacidad, que permita justificar el proyecto de norma NOM 045. No obstante, es importante destacar que actualmente ninguna dependencia federal tiene un registro real y minucioso de estos vehículos. Tomando en consideración lo anterior, se propone un método estadístico que generaliza la forma de obtener la muestra representativa, y es aplicable a cualquier registro de datos con que se pudiera contar en el futuro.

Los pasos que se siguieron para estimar la muestra son los siguientes:

- Investigación Bibliográfica.
- Organización de datos.
- Análisis estadístico.

#### **Investigación Bibliográfica.**

Después de acudir a diferentes instancias, como la Cámara Nacional del Autotransporte de Pasaje y Turismo (CANAPAT), Cámara Nacional de Autotransporte de Carga (CANACAR), Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), en las cuales se investigó y solicitó información referente al parque vehicular de automotores a diesel existente en el México, se informó que no cuentan con un registro real y actualizado de estos vehículos, por lo que se decidió trabajar con la información facilitada por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, la cual cuenta con datos de 14,921 vehículos, tales como: placas, marca, submarca, cilindrada, modelo, número de cilindros, potencia y rpm nominales y velocidad

---

máxima de corte de gobernador, que fueron indispensables para la realización de este trabajo, es necesario mencionar que sólo se contó con la información dada y estos vehículos transitan por la carreteras de México.

Organización de datos

Se procedió a ordenar los datos, clasificándolos por año-modelo, como se muestra en la Tabla 3.1

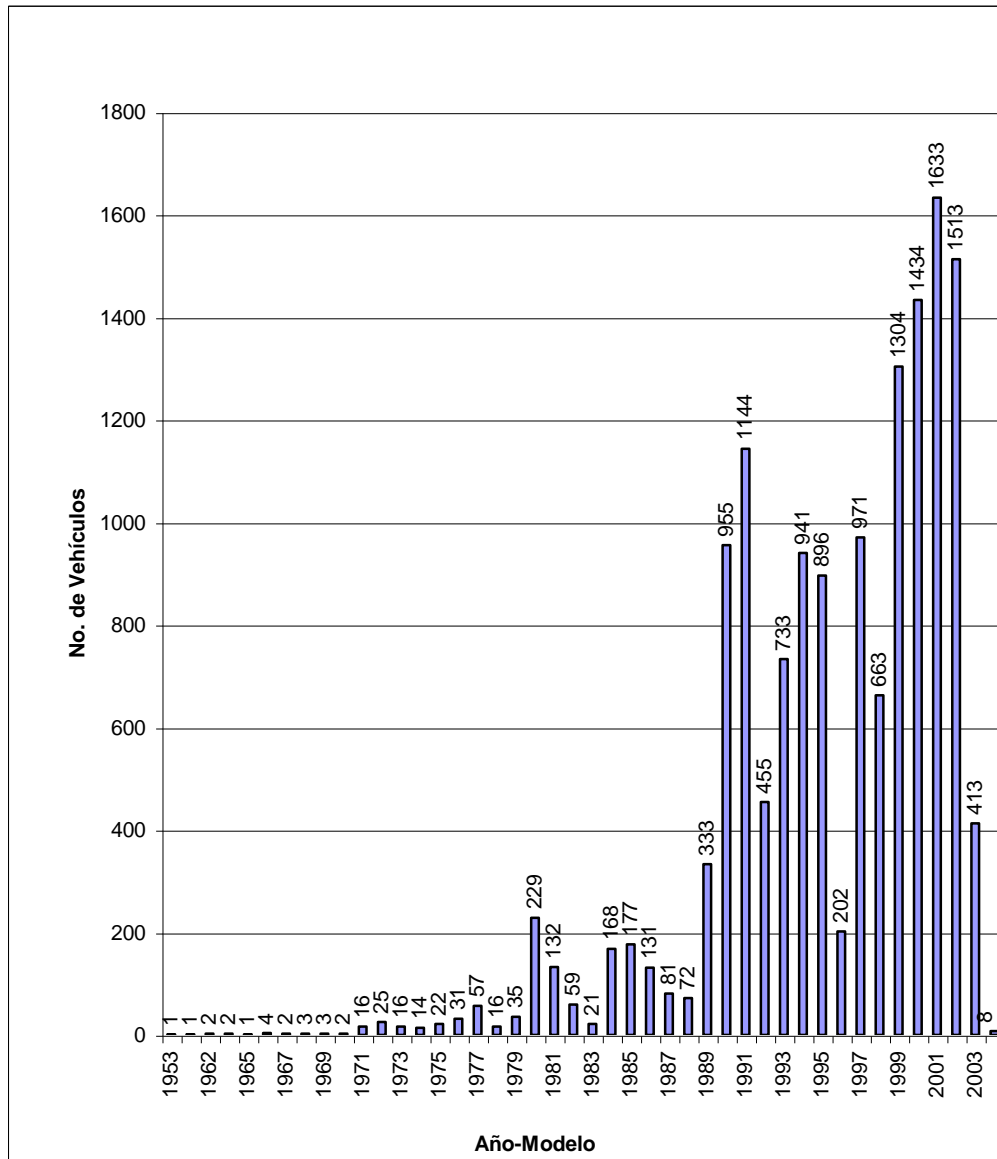
MODELO	Número de Vehículos
1953	1
1961	1
1962	2
1963	2
1965	1
1966	4
1967	2
1968	3
1969	3
1970	2
1971	16
1972	25
1973	16
1974	14
1975	22
1976	31
1977	57
1978	16
1979	35
1980	229
1981	132
1982	59

MODELO	Número de Vehículos
1983	21
1984	168
1985	177
1986	131
1987	81
1988	72
1989	333
1990	955
1991	1144
1992	455
1993	733
1994	941
1995	896
1996	202
1997	971
1998	663
1999	1304
2000	1434
2001	1633
2002	1513
2003	413
2004	8

**Tabla 3.1 Número de vehículos por año-modelo**



La figura 3.1 muestra la distribución año-modelo del vehículo vs. cantidad de vehículos, desde 1953 hasta 2004. En ella se puede observar que es una distribución asimétrica\*, es decir, tiene un sesgo negativo, por lo que se puede inferir que no es una distribución normal, sin embargo con el siguiente análisis estadístico se procederá a verificar esta hipótesis.



**Figura 3.1 Distribución de vehículos por año-modelo**

- Esta distribución posee la característica de que un extremo o cola está más extendida que la otra.

### Análisis Estadístico

Para que una distribución sea normal debe cumplir con los siguientes criterios:

- La media se localiza en el centro de la distribución.
- La curva normal es simétrica respecto al valor de la media.
- La media, mediana y moda coinciden en el mismo valor.

Con la Tabla 3.1, y de acuerdo con el análisis estadístico que siguió, se calcularon las medidas de tendencia central: media, mediana y moda, a fin de estimar si la distribución de datos mostrada en la figura 3.1 se comporta como una distribución normal.

La media es el promedio aritmético de todos los elementos de una población y se calcula de dos formas, para datos agrupados y no agrupados.

En este caso se tienen datos agrupados por lo que la media es igual:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n x_i f_i}{N} \quad (3.1)$$

Donde:  $\mu$  = es igual a la media poblacional

$x_i$  = marca de clase\*

$f_i$  = frecuencia absoluta\*\*

$N$  = tamaño de la población

Por lo tanto el valor de la media poblacional es:  $\mu = 1995.5$

\*Es el valor promedio de los límites, y se obtiene del promedio aritmético de los intervalos de clase los cuales se proponen según los grupos que se tienen.

\*\*Es el número de datos contenidos en cada clase.

La mediana es el valor que se encuentra a la mitad del rango de los datos, es decir el 50% de los datos tienen valores menores que el de la mediana y el restante 50% tienen valores mayores al de la mediana.

De acuerdo con la definición, la mediana es:  $M_d = 1997$ .

Por último la moda es el valor que ocurre con mayor frecuencia:  $M_o = 2001$ .

Se observa que los datos de figura 3.1 no se ajustan a una distribución normal y los resultados que se muestran en la Tabla 3.2 no cumplen con los criterios que caracterizan una distribución normal.

<b>Medidas de Tendencia Central</b>	
Media	1995.5
Mediana	1997
Moda	2001

**Tabla 3.2 Medidas de tendencia central**

Sin embargo, independientemente de la forma que tenga la distribución de la población de donde fue seleccionada la muestra, podemos ajustar nuestros datos a una distribución normal aplicando el Teorema del Límite Central, que se utiliza para poblaciones grandes ( $N \geq 30$ ).

El parque vehicular consta de una población de 14,921 vehículos, que se agruparán en seis clases (estas clases se proponen dependiendo de la cantidad de datos que se tienen, a fin de facilitar el manejo de datos), éstas a su vez contienen ciertos parámetros como son: intervalos de clase, marcas de clase y frecuencias que se presentan en la siguiente tabla.

Clase	Intervalos de clase	Marca de clase	Frecuencia absoluta
1	1951-1959	1955	1
2	1960-1968	1964	15
3	1969-1977	1973	186
4	1978-1986	1982	968
5	1987-1995	1991	5610
6	1996-2004	2000	8141
<b>Total</b>			<b>14921</b>

**Tabla 3.3 Distribución de frecuencias**

Sustituyendo los datos de la Tabla 3.3, en las expresiones 3.1 y 3.2 para obtener la media y la desviación estándar, respectivamente.

$$\sigma = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 f_i}{N} \right]^{1/2} \quad (3.2)$$

Se obtiene:

$$\mu = 1995.5$$

$$\sigma = 6.01$$

Haciendo uso del Teorema del límite central, el cual indica que si  $\bar{x}$  es la media de una muestra aleatoria de tamaño  $n$ , extraída de una población que tiene la media  $\mu$  y la desviación estándar  $\sigma$ , entonces:

$$z = \frac{|\bar{x} - \mu|}{\sigma / \sqrt{n}} \quad (3.3)$$

Donde:  $\bar{x} - \mu$  = error máximo de estimación de medias

$\bar{x}$  = media de la muestra

$\mu$  = media de la población

$\sigma$  = desviación estándar

$n$  = tamaño de la muestra

$z$  = valor arrojado de las tablas de distribución normal

Si despejamos  $n$  de la ecuación 3.3, obtenemos:

$$n = \left[ \frac{(\sigma)(Z)}{|\bar{x} - \mu|} \right]^2 \quad (3.4)$$

Debido a que no se conoce el valor de la media muestral  $\bar{x}$ , se necesita hacer una estimación del parámetro  $(\bar{x} - \mu)$ , por lo que para este análisis se tolera un error máximo de estimación de 0.5 años. Esta propuesta se toma debido a que se requiere tener una muestra con un comportamiento similar a la población, para que de esa manera se asegure que la muestra representará un fragmento de la población total, es decir que tenga una media que no supere el modelo 1996 y que no sea menor de 1995.

Para obtener el valor de  $Z$ , es necesario recurrir a una tabla de distribución normal donde existe el valor  $Z_{1-\alpha/2}$  el cual representa la probabilidad de elegir un parámetro (vehículo) que se encuentre dentro del nivel de confianza propuesto; este nivel de confianza se denomina  $1-\alpha$  que para nuestro caso será del 95%, es decir,  $\alpha$  representa la probabilidad de elegir un vehículo aleatoriamente y que éste NO se encuentre dentro de la muestra, por lo tanto  $\alpha$  será igual al 5%

(  $\alpha = 0.05$  ), de esta manera  $1 - \alpha/2 = 0.975$ .

Siendo  $Z_{1-\alpha/2} = 0.975$  y empleando tablas de distribución normal obtenemos una  $Z = 1.96$ .

**SUSTENTO TÉCNICO PARA MODIFICAR LAS NORMAS OFICIALES MEXICANAS ECOLÓGICAS 045 Y 077, A FIN DE MEJORAR LAS EMISIONES DE HUMO DE LOS VEHÍCULOS EN CIRCULACIÓN QUE USAN DIESEL COMO COMBUSTIBLE.**

Segunda cifra decimal del valor de z										
Z	0.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.0	.5000	.5040	.5080	.5120	.5160	.5199	.5239	.5279	.5319	.5359
0.1	.5398	.5438	.5478	.5517	.5557	.5596	.5636	.5675	.5714	.5753
0.2	.5793	.5832	.5871	.5910	.5948	.5987	.6026	.6064	.6103	.6141
0.3	.6179	.6217	.6255	.6293	.6331	.6368	.6406	.6443	.6480	.6517
0.4	.6554	.6591	.6628	.6664	.6700	.6736	.6772	.6808	.6844	.6879
0.5	.6915	.6950	.6985	.7019	.7054	.7088	.7123	.7157	.7190	.7224
0.6	.7257	.7291	.7324	.7357	.7389	.7422	.7454	.7486	.7517	.7549
0.7	.7580	.7611	.7642	.7673	.7704	.7734	.7764	.7794	.7823	.7852
0.8	.7881	.7910	.7939	.7967	.7995	.8023	.8051	.8078	.8106	.8133
0.9	.8159	.8186	.8212	.8238	.8264	.8289	.8315	.8340	.8365	.8389
1.0	.8413	.8438	.8461	.8485	.8508	.8531	.8554	.8577	.8599	.8621
1.1	.8643	.8665	.8686	.8708	.8729	.8749	.8770	.8790	.8810	.8830
1.2	.8849	.8869	.8888	.8907	.8925	.8944	.8962	.8980	.8997	.9015
1.3	.9032	.9049	.9066	.9082	.9099	.9115	.9131	.9147	.9162	.9177
1.4	.9192	.9207	.9222	.9236	.9251	.9265	.9279	.9292	.9306	.9319
1.5	.9332	.9345	.9357	.9370	.9382	.9394	.9406	.9418	.9429	.9441
1.6	.9452	.9463	.9474	.9484	.9495	.9505	.9515	.9525	.9535	.9545
1.7	.9554	.9564	.9573	.9582	.9591	.9599	.9608	.9616	.9625	.9633
1.8	.9641	.9649	.9656	.9664	.9671	.9678	.9686	.9693	.9699	.9706
1.9	.9713	.9719	.9726	.9732	.9738	.9744	.9750	.9756	.9761	.9767
2.0	.9772	.9778	.9783	.9788	.9793	.9798	.9803	.9808	.9812	.9817
2.1	.9821	.9826	.9830	.9834	.9838	.9842	.9846	.9850	.9854	.9857
2.2	.9861	.9864	.9868	.9871	.9875	.9878	.9881	.9884	.9887	.9890
2.3	.9893	.9896	.9898	.9901	.9904	.9906	.9909	.9911	.9913	.9916
2.4	.9918	.9920	.9922	.9925	.9927	.9929	.9931	.9932	.9934	.9936
2.5	.9938	.9940	.9941	.9943	.9945	.9946	.9948	.9949	.9951	.9952
2.6	.9953	.9955	.9956	.9957	.9959	.9960	.9961	.9962	.9963	.9964
2.7	.9965	.9966	.9967	.9968	.9969	.9970	.9971	.9972	.9973	.9974
2.8	.9974	.9975	.9976	.9977	.9977	.9978	.9979	.9979	.9980	.9981
2.9	.9981	.9982	.9982	.9983	.9984	.9984	.9985	.9985	.9986	.9986
3.0	.9987	.9987	.9987	.9988	.9988	.9989	.9989	.9989	.9990	.9990
3.1	.9990	.9991	.9991	.9991	.9992	.9992	.9992	.9992	.9993	.9993
3.2	.9993	.9993	.9994	.9994	.9994	.9994	.9994	.9995	.9995	.9995
3.3	.9995	.9995	.9995	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9997
3.4	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9998

**Tabla 3.4 Distribución Normal**

Sustituyendo los valores anteriormente obtenidos en la ecuación 3.4.

$$n = \left[ \frac{(6.01)(1.96)}{0.5} \right]^2$$

Se obtiene como resultado  $n = 555.03$ , es decir, que la muestra consta de 555 vehículos, si queremos más precisión existe una expresión estadística que permite tener un resultado más confiable del valor de la muestra, y está dada por:

$$n' = \frac{n}{1 + \frac{n}{N}} \quad (3.5)$$

Finalmente, resolviendo la ecuación 3.5 se obtiene la muestra representativa de  $n' = 535$  vehículos a diesel.

### Resultados

Con el fin de saber cuántos vehículos por cada año-modelo se deben tomar para establecer la muestra, se hace uso de la estratificación, es decir, dividir en grupos o estratos a una población para un mejor manejo de datos y, en este caso los grupos serán cada modelo vehicular, por lo que nuestra estratificación consiste en obtener una relación entre la muestra y la población  $r_{n/N} = 0.0358$ , que al ser multiplicada por el número de vehículos en cada año arroja una proporción respecto a la población, por lo que se obtiene la cifra de vehículos que se deben tomar por cada año-modelo de la muestra (ver tabla 3.5).

MODELO	Número de Vehículos de la población	Número de Vehículos de la muestra
1953	1	0
1961	1	0
1962	2	0
1963	2	0
1965	1	0
1966	4	0
1967	2	0
1968	3	0
1969	3	0
1970	2	0
1971	16	1
1972	25	1
1973	16	1
1974	14	1
1975	22	1
1976	31	1
1977	57	2
1978	16	1
1979	35	1
1980	229	8
1981	132	5
1982	59	2

MODELO	Número de Vehículos de la población	Número de Vehículos de la muestra
1983	21	1
1984	168	6
1985	177	6
1986	131	5
1987	81	3
1988	72	2
1989	333	12
1990	955	34
1991	1144	41
1992	455	16
1993	733	26
1994	941	34
1995	896	32
1996	202	7
1997	971	35
1998	663	24
1999	1304	47
2000	1434	51
2001	1633	58
2002	1513	54
2003	413	14
2004	8	2

**Tabla 3.5 Comparación entre población y muestra representativa.**

A partir de 1994 comenzaron a circular vehículos a diesel con bomba de mando electrónico\* y, debido a que no se tiene un registro del tipo de bomba con la que cuentan los vehículos a diesel, en este trabajo se considerará que los vehículos de año-modelo 1994 y posteriores tienen bomba de mando electrónico, y los vehículos de año-modelo 1993 y anteriores tienen bomba de mando mecánico, como se muestra en las siguientes tablas.

\* Ver Apéndice A.



MODELO	Número de Vehículos de mando mecánico
1953	0
1961	0
1962	0
1963	0
1965	0
1966	0
1967	0
1968	0
1969	0
1970	0
1971	1
1972	1
1973	1
1974	1
1975	1
1976	1
1977	2

MODELO	Número de Vehículos de mando mecánico
1978	1
1979	1
1980	8
1981	5
1982	2
1983	1
1984	6
1985	6
1986	5
1987	3
1988	2
1989	12
1990	34
1991	41
1992	16
1993	26
<b>TOTAL</b>	<b>177</b>

**Tabla 3.6. Muestra representativa de vehículos de mando mecánico.**

MODELO	Número de Vehículos de mando electrónico
1994	34
1995	32
1996	7
1997	35
1998	24
1999	47
2000	51
2001	58
2002	54
2003	14
2004	2
<b>Total</b>	<b>358</b>

**Tabla 3.7. Muestra representativa de vehículos de mando electrónico.**

A partir de los resultados obtenidos, tenemos que la muestra será de 535 vehículos que representa el 3.6% de la población total, este valor puede variar con respecto a las estimaciones que se propongan según las necesidades del estudio y lo que se quiera obtener de éste, como pueden ser los costos, tiempo, tamaño de muestra, nivel de confianza, etc.

Las estimaciones propuestas fueron consideradas con el fin de que la muestra sea confiable, es decir que cumple con las características de la población, y nos permite clasificar, si se desea, los datos en dos grupos de 358 vehículos de mando electrónico y 177 vehículos de mando mecánico.

### **III.2 Análisis de Pruebas Realizadas.**

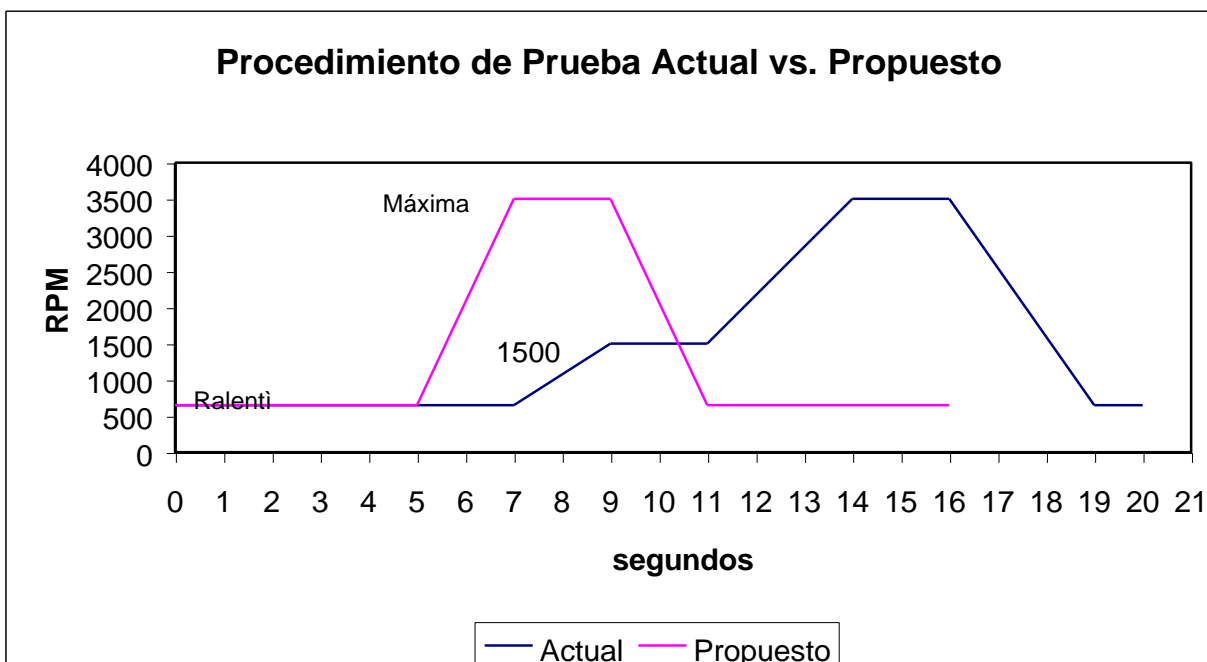
En el presente apartado se muestran los resultados de pruebas de opacidad realizadas en el año 2004 a vehículos diesel en circulación, y con ellas se hizo un análisis del comportamiento de los resultados obtenidos en los ensayos, siguiendo el método de prueba actual y el que se propone en el proyecto de norma Proy. 045. Se propuso, además, los límites máximos permisibles de opacidad que se consideran idóneos para poder llevar a cabo pruebas de opacidad con valores más confiables y cercanos a la realidad, todo esto con el soporte de los datos de las pruebas realizadas hasta el momento.

En la Figura 3.2 se muestra el comportamiento del método de prueba para medir opacidad, tanto de la norma actual como del proyecto de norma.

En ella se aprecia la evolución del cambio del régimen de giro con el paso del tiempo, en el cual el procedimiento de prueba propuesto, al presentar una aceleración instantánea (desde ralentí hasta el régimen de giro máximo), en un rango de tiempo de dos segundos, permitirá que la cámara del opacímetro se llene a su máxima capacidad, monitoreando todos los elementos que contenga la pluma de humo; en cambio, en el método actual existe una

aceleración previa (desde ralentí hasta 1500 rpm), donde no se monitorea la opacidad que se expulsa en este instante, por lo cual, al momento de iniciar la prueba la cantidad de humo llenará la cámara, pero no contendrá todos los elementos que se concentran en la pluma de humo.

En resumen, el método actual permite una tolerancia a los vehículos a diesel sometidos a la prueba mientras la propuesta de norma es más exigente.



**Figura 3.3 Procedimiento de prueba actual vs. propuesto**

Los resultados de las pruebas realizadas que se presentan a continuación, justifican los criterios antes expuestos. Esta información fue otorgada por la SEMARNAT y el Instituto Nacional de Ecología (INE), que son las dependencias encargadas de documentar las características técnicas de los vehículos y sus motores, al momento de aplicarles las pruebas obteniendo resultados de opacidad, cuya información es requerida por dichas dependencias para los estudios del proyecto; sin embargo, para los fines de este capítulo fue necesario depurar y ordenar la información para cada grupo de pruebas con las características de la marca, modelo, valores de “K” tomando en cuenta el método actual y método propuesto.

Cabe destacar que las pruebas realizadas para este estudio, se efectuaron con opacímetros cuya longitud efectiva del paso del haz de luz, a través de la muestra de gas ( $L$ ), es de 0.43 metros.

Como consecuencia de lo anterior, se muestran los resultados de cinco grupos de pruebas que comparan los métodos de prueba de la NOM-077 y del Proy. 045. De igual forma se presentan los resultados de seis grupos de pruebas aplicando únicamente el procedimiento de prueba propuesto en el Proyecto de Norma (Proy. 045), en ellas se resalta el comportamiento de los resultados de la opacidad de los vehículos diesel con respecto a los límites máximos permisibles propuestos en el Proy. 045.

Cabe destacar que los vehículos utilizados para estas pruebas presentan un peso bruto vehicular mayor a los 3,856 Kg. establecidos en el Proy. 045 y representando a la gran mayoría de los vehículos diesel en circulación. Para la interpretación de los datos analizados en las pruebas de opacidad, se tomaron como referencia los límites establecidos por la SEMARNAT hasta el segundo trimestre del año 2005, mostrados en la siguiente tabla.

Año – modelo del Motor	Opacidad.- medida como coeficiente de absorción de luz (k) $m^{-1}$
1991 y posteriores	1,27
1980 a 1990	1,99
1979 y Anteriores	2,4
1991 y posteriores que tengan dispositivos de control electrónico de aceleración.	1,00

**Tabla 3.8 Niveles máximos permisibles de opacidad, en función del año – modelo del motor.**

Comparación de los métodos de prueba.

De las Tablas 3.9 a 3.13, se muestran los resultados de las pruebas de opacidad realizadas en diversas dependencias e instituciones, donde se indica la marca del vehículo (sólo como referencia) y el año-modelo del motor que sirvió para ubicar los resultados dentro de la tabla de los límites máximos permisibles que corresponda. Como se puede apreciar, los vehículos aprobados utilizando el método actual (NOM 077) son rechazados cuando se someten al método propuesto en el proyecto de norma (PROY 045) respaldando los criterios mostrados en la Figura 3.3, donde se comparó el comportamiento de los métodos de prueba y se establece que la propuesta es más exigente para ser aprobada.

**Secretaría de Ecología del Estado de México**  
**“SEEM”**

*8 Vehículos*

MARCA	MODELO	NOM 077	Proy 045			
MB INTERNACIONAL	2003	1.2	1.81			Aprobados
MB INTERNACIONAL	1994	3.75	3.16			
373 MB	2003	0.94	1.87			
1185 INTERNACIONAL	1994	0.42	3.76			
357 MB	2003	1.26	1.94			No Aprobados
147 MB	2002	0.43	1.3			
272 MB	2002	0.75	1.64			
	2002	0.2	0.68			

**Tabla 3.9**

En la Tabla 3.9 se observa que, aplicando el procedimiento de la NOM-077, los resultados de opacidad, a excepción de un modelo 1994 (el cual arroja valores de “k” muy altos), todos los demás acreditan la prueba; en cambio se puede apreciar que las pruebas realizadas con el Proy. 045 son en su mayoría rechazadas, y sólo un modelo 2002 muestra valores aprobatorios en ambos procedimientos, indicando con ello que ese vehículo se encuentra en óptimas condiciones. Es decir que siete de ocho vehículos que se examinaron en la SEEM aprobaron la prueba con el procedimiento actual, y sólo uno de ocho aprobó con el procedimiento propuesto.

**Cámara Nacional del Autotransporte de Pasaje y Turismo  
“CANAPAT”**

*11 vehículos*

MARCA	MODELO	NOM 077	PROY 045
603 cummins ISB	2001	2.33	3.21
4315 Scania	2002	0.22	0.4
558 Volvo	2003	0.25	0.35
865 Marco Polo	2002	0.15	0.24
346 Cummins	1999	0.15	1.22
1029 GNC 6V92	1993	2.57	5.01
H259 Marco Polo	2000	0.14	0.31
7791 Serie 50	1999	0.4	0.76
5142 S-60	2000	2	3.03
570 MB	1994	2.15	0.1
3372 Volvo	2001	1.26	2.66

**TABLA 3.10**

En la Tabla 3.10 se muestra una hegemonía en los resultados obtenidos, ya que cinco de los once vehículos inspeccionados tuvieron valores aprobatorios en ambos procedimientos, sobresaliendo en ellos la importancia del Proy. 045, debido a que se presentan niveles más altos en éste, y además cuatro de once reprobaron la prueba para los dos métodos, ya que sobrepasaban, por mucho, los límites máximos. Por otro lado, un modelo 1994 presentó una anomalía arrojando un valor de “k” menor en el Proy. 045 que en la NOM-077, siendo esto imposible en una prueba bien realizada.

**Cámara Nacional de Autotransporte de Carga  
“CANACAR”**

*8 Vehículos*

MARCA	MODELO	NOM 077	PROY 045
ASTRA	2002	0.2	0.28
ASTRA	2003	0.33	0.39
CUMMINS 315	2000	0.21	2.58
CUMMINS BIG	1980	3.2	4.86
DETROIT TS60	2000	1.16	2.48
DETROIT TS60	1991	0.37	0.67
DETROIT TS60	1999	0.16	0.11
CUMMINS	2002	3.75	5.04

**TABLA 3.11**

En la Tabla 3.11, se presentan los resultados de ocho vehículos sometidos con la NOM-077, en la cual sólo tres modelos (1980, 2000, 2002) no cumplieron con los límites máximos, mismos que también tienen valores no aceptables aplicando el Proy. 045 y que nos indica la falta de mantenimiento a esos motores por sus niveles tan altos. Además, las pruebas hechas con el Proy. 045 indican que fueron aceptados cuatro de ocho vehículos, pero uno de los modelos 2000 presenta una variación de opacidad alta de un método a otro, lo que indica que hubo algún error en una de las dos mediciones.

### BIMBO

12 Vehículos		NOM 077	PROY 045
MARCA	MODELO		
Kenworth	2000	0.67	1.13
Kenworth	1997	0.51	1.01
Kenworth	1997	0.39	1.07
kenworth	2001	1.16	2.36
kenworth	2002	0.83	0.34
kenworth	1996	0.81	0.30
kenworth	2001	0.71	0.51
kenworth	1996	1.08	2.47
kenworth	1995	0.55	1.09
kenworth	1993	0.04	0.44
kenworth	2000	0.04	0.64
kenworth	1997	2.60	4.03

**TABLA 3.12**

En la Tabla 3.12 se puede ver que con el procedimiento vigente sólo reprobaron tres de doce vehículos, y uno de ellos (1997) es posible que presente problemas mecánicos, dado que excede, por mucho, los límites máximos, mientras que con el procedimiento propuesto aprobaron cinco de doce; sin embargo, tres de éstos (1996, 2001, 2002), aunque tienen niveles bajos, su valor de “k” es inferior al que se presenta en la NOM-077 lo cual es irreal, concluyendo así que estas pruebas fueron mal realizadas.

**Pruebas realizadas en dependencia no especificada.**

*58 Vehículos*

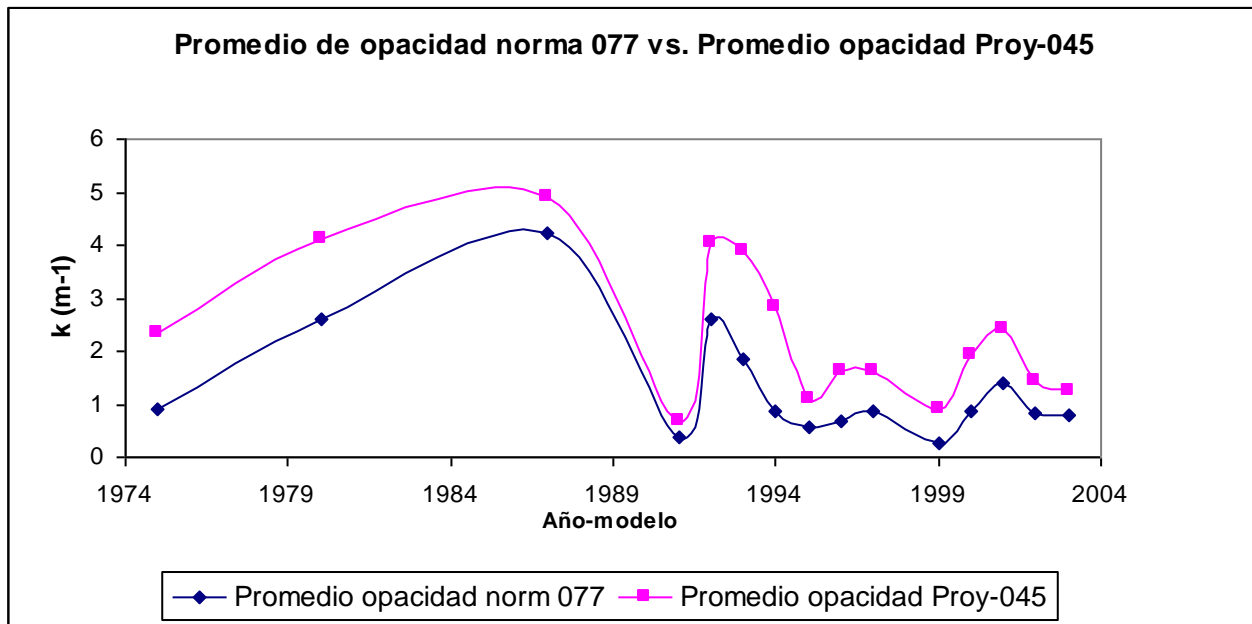
MODELO	NOM 077	PROY 045			
1972	0.94	0.21	1994	0.48	1.11
1974		0.30	1996	0.30	0.81
1974	0.24		1996	0.62	0.00
1975	2.35	0.42	1997	0.54	1.01
1978	1.92	8.19	1997	0.39	1.07
1980	2.00	3.39	1999	0.15	1.22
1981	3.04	4.86	1999	0.36	0.72
1987	4.24	4.90	1999	0.26	0.58
1987	0.25		1999		0.72
1991	2.96		2000	2.15	3.03
1992	2.60	4.03	2000	0.14	0.31
1992	0.13		2000	0.24	2.28
1993	2.57	5.01	2000	1.16	2.60
1993	4.52	2.40	2000		0.25
1993	0.51	1.65	2000	0.76	1.76
1994	0.30	0.10	2000	0.67	1.13
1994	1.44	1.12	2000	0.04	0.64
1994	4.06	3.18	2000	0.37	0.71
1994	1.72	3.65	2000		0.01
			2001	0.93	2.29
			2001	2.33	3.21
			2001	1.16	2.36
			2001	0.34	0.83
			2002	0.22	0.40
			2002	0.12	0.18
			2002	0.17	0.03
			2002		0.14
			2002	3.51	5.13
			2002	0.48	0.40
			2002		0.68
			2002	0.46	1.26
			2002	0.92	1.50
			2002	0.30	0.75
			2003	0.24	0.32
			2003	0.33	0.35
			2003	1.16	1.57
			2003	0.95	1.84
			2003	1.30	1.90
			2004		1.33

**TABLA 3.13**

En la Tabla 3.13, se aprecia que con el procedimiento propuesto existe una mayor captación de opacidad, ya que en la gran mayoría de pruebas realizadas aplicando ambos métodos de prueba arrojó mayor opacidad con el Proy. 045, como es de esperarse por las características de las pruebas (ver figura 3.3). Es decir, que con la NOM-077 el 69% de vehículos aprobó la evaluación de opacidad, y en contraste con el Proy. 045 sólo el 44% de estos aprobaron. Es importante mencionar que a seis vehículos no se les aplicó la NOM-077, y a cuatro vehículos no se les asignó el Proy. 045. De los 17 vehículos que acreditaron en ambos procedimientos, cinco obtuvieron una opacidad más alta aplicando la NOM-077 que, al igual que en casos anteriores, es incorrecto.



Con base en las cinco tablas anteriores, se realizaron en total 98 pruebas aplicando tanto el procedimiento de la NOM-077 como la del Proy. 045, descartando el 33% (32 pruebas), debido a que no se ajustaron al método de prueba correspondiente, además de presentar valores muy elevados de opacidad (más del 85%) o, en su defecto, presentan valores muy cercanos al cero por ciento ( $0.02 \text{ m}^{-1}$ ), lo que es prácticamente imposible. También se detectaron varias pruebas que, al aplicarles ambos procedimientos, arrojaron valores de opacidad inferiores con el Proy. 045, lo cual, como ya se explicó, no es posible. Por lo tanto, del total de pruebas realizadas sólo 66 son validas. Posteriormente se procedió a promediar los valores de opacidad tanto de la NOM-077 como del Proy. 045, lo que se puede observar en la Figura 3.4, donde se muestra claramente que el método de prueba propuesto es más estricto, con lo que se concluye que el procedimiento de la NOM-077 es obsoleto y poco efectivo para el problema ambiental vigente.



**Figura 3.4**

Ensayos con el método propuesto.

De las Tablas 3.14 a 3.19, se muestran los resultados de las pruebas de opacidad llevadas a cabo en diversas dependencias a 135 vehículos de carga y transporte, tanto de uso federal como particular. En ellas se aplicó únicamente el procedimiento propuesto Proy. 045.

**Pruebas en dependencia no especificada**

*41 Vehículos*

MARCA VEHICULO	MODELO	PROY 045
KENWORTH	1978	1.68
KENWORTH	1978	2.15
DINA	1981	3.04
DINA	1981	4.88
SOMEX	1985	0.57
CAPRE	1991	0.88
CAPRE	1991	3.23
KENWORTH	1997	1.15
KENWORTH	1997	1.2
KENWORTH	1997	1.44
KENWORTH	1997	1.15
KENWORTH	1997	1.2
KENWORTH	1997	1.44
DINA	2000	0.34
RECO	2001	0.59
RECO	2001	0.67
RECO	2001	0.71
RECO	2001	0.21
RECO	2001	0.24
RECO	2001	0.12

AYCO	2001	0.27
AYCO	2001	0.28
AYCO	2001	0.29
AYCO	2001	0.14
INTERNATIONAL	2001	0.07
FREIGHLANDER	2001	0.93
TORINO	2002	1.46
TORINO	2002	1.42
TORINO	2002	1.39
TORINO	2002	0.49
TORINO	2002	0.55
TORINO	2002	0.56
KENWORTH	2002	2.93
KENWORTH	2002	2.88
KENWORTH	2002	2.81
KENWORTH	2002	2.81
KENWORTH	2002	2.93
KENWORTH	2002	2.88
INTERNATIONAL	2003	0.06
STERLING	2003	0.18
KENWORTH	2004	1.96

**TABLA 3.14 Pruebas realizadas a vehículos de carga.**

### Pruebas en dependencia no especificada

#### 30 Vehículos

MARCA	MODELO	PROY 045			
SOMEX	1985	0.57	KENMEX	2001	0.07
SOMEX	1985	1.17	KENMEX	2001	0.34
SOMEX	1985	1.18	KENMEX	2001	0.35
SOMEX	1985	1.28	TORINO	2002	0.49
CAPRE	1991	0.88	TORINO	2002	0.55
KENMEX	1994	1.14	TORINO	2002	0.56
DINA	2000	0.34	INTER	2002	0.37
RECO	2001	0.59	INTER	2002	0.3
RECO	2001	0.67	INTER	2002	0.09
RECO	2001	0.71	INTER	2002	0.69
RECO	2001	0.21	INTER	2003	0.35
RECO	2001	0.24	STERLING	2003	0.09
AYCO	2001	0.12	INTER	2003	0.28
AYCO	2001	0.27	INTER	2003	0.06
KENMEX	2001	0.82	STERLING	2003	0.18

**TABLA 3.15 Pruebas realizadas a vehículos de carga.**

### Pruebas en estadio CU

#### 12 Vehículos

MARCA	MODELO	PROY 045
FAMSA	1990	0.05
FAMSA	1990	0.07
FAMSA	1990	0.05
FLINER	2001	0
MBENZ1517	1990	0.04
MBENZ1517	1990	0.04
MBENZ1517	1990	1.17
MBENZ1518	1990	0.04
FAMSA	1990	1.14
FLINER	2001	0.01
FLINER	2001	0.09
FLINER	2001	0.3

**TABLA 3.16 Pruebas realizadas a vehículos de carga.**

### BIMBO AZCAPOTZALCO

5 Vehículos

MARCA	MODELO	PROY 045
KENWORTH	1997	1.44
KENWORTH	1997	1.2
KENWORTH	1997	1.15
KENWORTH	2002	2.88
KENWORTH	2002	2.93

**TABLA 3.17 Pruebas realizadas a vehículos de carga.**

### RTP

16 Vehículos

MARCA	MODELO	PROY 045
SOMEX	1985	0.57
CAPRE	1991	0.88
AYCO	2001	0.29
AYCO	2001	0.27
AYCO	2001	0.28
AYCO	2001	0.12
AYCO	2001	0.14
AYCO	2001	0.15
RECO	2001	0.21
RECO	2001	0.24
RECO	2001	0.25
RECO	2001	0.67
RECO	2001	0.71
TORINO	2002	0.49
TORINO	2002	0.55
TORINO	2002	0.56

**TABLA 3.18 Pruebas Realizadas a vehículos de transporte de pasajeros.**

## Pruebas realizadas en COCA COLA

### 31 Vehículos

MARCA	MODELO	PROY 045
FAMSA	1990	0.5
FAMSA	1990	1.24
FAMSA	1990	0.56
FAMSA	1990	0.98
FAMSA	1990	0.46
MBENZ	1992	1.4
MBENZ	1992	0.32
FAMSA	1986	0.92
FAMSA	1986	0.71
FAMSA	1986	1.09
FAMSA	1986	0.28
MBENZ	1991	1.58
MBENZ	1991	0.72
MBENZ	1993	0.36
MBENZ	1993	0.72
MBENZ	1993	0.58
MBENZ	1995	0.45
MBENZ	1995	1.28
MBENZ	1995	0.38
MBENZ	1994	0.55
MBENZ	1994	1.64
MBENZ	1994	2.25
MBENZ	1993	0.48
MBENZ	1993	1.07
MBENZ	1993	0.49
MBENZ	1995	1.14
MBENZ	1995	0.57
MBENZ	1995	1.75
MBENZ	1995	0.51
MBENZ	1995	1.02
MBENZ	1995	0.41

**TABLA 3.19 Pruebas realizadas a vehículos de carga.**

Con base en las tablas anteriores (3.14 a 3.19), de un total de 135 vehículos, el 75% aprobó el método de prueba Proy. 045 y, por consiguiente, el 25% no lo acreditó, lo que justifica el hecho de aplicar los límites propuestos por el proyecto, ya que a lo largo de todo el análisis de resultados se ha comprobado que son más estrictos, pero específicamente en estos últimos seis grupos de pruebas, es posible distinguir que también son susceptibles de ser acreditados sin muchos problemas, debido a que los datos arrojados muestran que una gran mayoría tuvo éxito en la evaluación. No obstante, se tiene que tomar en cuenta que en su mayoría son automotores de modelos más recientes y que posiblemente los restantes modelos, inferiores a 1994, cuentan con un excelente mantenimiento, además se debe poner atención en que pudo haber errores de medición o de equipo, ya que hay varios niveles de opacidad que son menores al 5%.

### **III.3 Propuesta de nuevos límites.**

Un propósito fundamental de este trabajo, es el hecho de poder aportar nuevas ideas que sean útiles al proyecto de norma 045 (Proy.-045), y con ello contribuir a la reducción de contaminantes al medio ambiente provenientes de los motores a diesel. Por lo tanto, se pretende tener una alternativa para encontrar niveles de opacidad adecuados para cada modelo de vehículos en circulación, sobretodo que refleje la capacidad y disponibilidad del parque vehicular de apegarse a unos límites máximos que permitan tener un mejor control de las emisiones contaminantes a nivel nacional.

De esta manera, se mostrará a continuación una alternativa para aplicar nuevos límites máximos de opacidad a nivel nacional, cuya propuesta se fundamenta en el análisis de los resultados de los once grupos de pruebas de opacidad ya mencionadas y estudiadas.

### Depuración de datos

A partir de los resultados de las pruebas realizadas con el Proy. 045 (tablas 3.9 a 3.19), a un total de 232 vehículos, excluyendo de la lista todos aquellos que presentan información no confiable para un estudio general de los resultados, es decir, que se descartaron 34 vehículos debido a su falta de mantenimiento, al error de medición al aplicar el procedimiento de prueba propuesto, o al fallo que pudo haber tenido el equipo de medición. Así se obtuvo la cifra de 198 vehículos con pruebas confiables que nos permita tener un estudio más cercano a la realidad en busca de nuestro propósito.

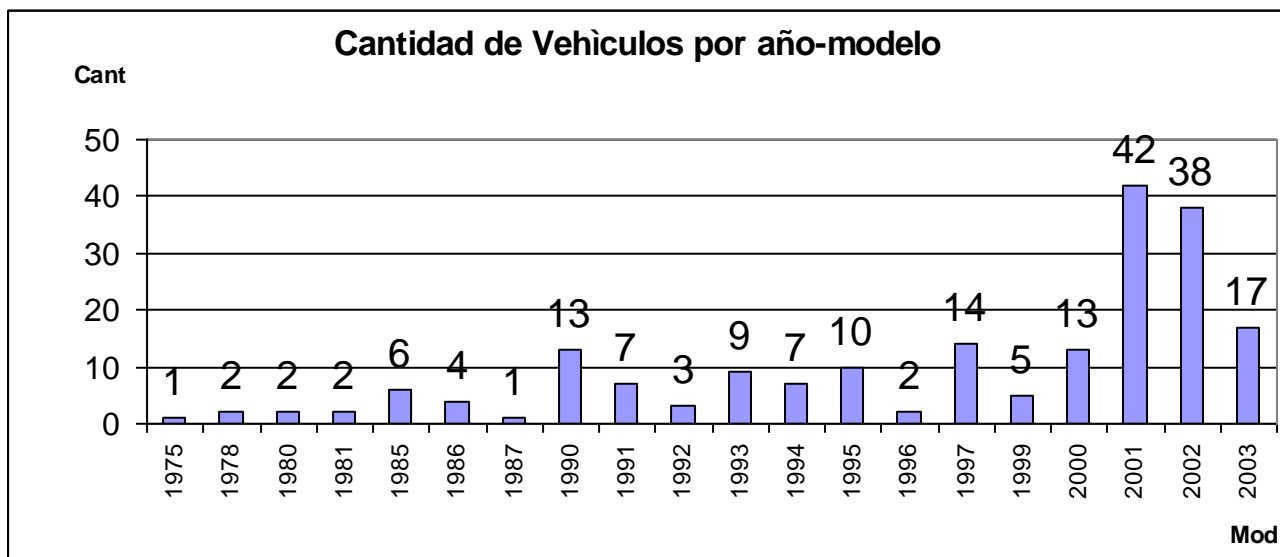
En la Tabla 3.20 se muestra el promedio de los datos depurados de las pruebas de opacidad con Proy. 045.

Modelo	Prom. Proy-045
1975	2.35
1978	1.92
1980	4.13
1981	3.96
1985	0.89
1986	0.75
1987	4.90
1990	0.49
1991	0.67
1991	1.02
1992	2.45
1993	2.25
1994	2.12
1995	0.96
1996	1.64
1997	1.45
1999	0.90
2000	1.13
2001	1.39
2002	1.42
2003	0.70

**TABLA 3.20**

### Categorías

Teniendo los datos confiables del punto anterior, se procedió a distribuir en grupos los 198 vehículos por año-modelo, mismos que se muestran en la figura siguiente.



**Figura 3.5**

Con base en lo mostrado en la Figura 3.5, se puede concluir que la proporción de vehículos sometidos a la prueba con Proy. 045 es un reflejo del parque vehicular a diesel que circula a nivel nacional, notándose con esto que a partir de 1990 existe el mayor número de automotores, y que en consecuencia la menor cantidad de vehículos en circulación se encuentra en los modelos de 1987 y anteriores. Por lo tanto, para poder establecer límites de opacidad para diversos modelos vehiculares, se debe tomar en cuenta la distribución que se tiene de estos con el propósito de crear grupos o estratos para una estimación de niveles de “k” que sea representativo de lo que en el país acontece a nivel emisiones emitidas por motores a diesel.



Es así como se consideró crear tres grupos o categorías de los 198 vehículos sometidos las pruebas, y son las siguientes:

- Categoría 1987 y anteriores, establecida por el poco porcentaje del parque vehicular que en estas pruebas representa y porque son modelos anteriores a 1990, que en la actualidad se consideran viejos para que circulen en el país y que, además, para mantenerse vigentes, requieren de mayor atención y cuidado en su mantenimiento.
- Categoría 1994 y posteriores, considera que a partir de este año la gran mayoría de los automotores diesel utilizan dispositivos de mando electrónico en sus bombas de combustible, contribuyendo de esta forma a una mejor calidad del aire.
- Categoría 1988 a 1993, creada como resultado de las dos categorías anteriores ya que son modelos intermedios entre éstas, a los que se les debe poner atención específica de manera conjunta.

Estas categorías se muestran en la Figura 3.6, donde se refleja la cantidad de vehículos que componen a cada una, y que sirve como justificación adicional del establecimiento de los grupos. Ellos servirán como punto de partida para la estimación de los nuevos límites.

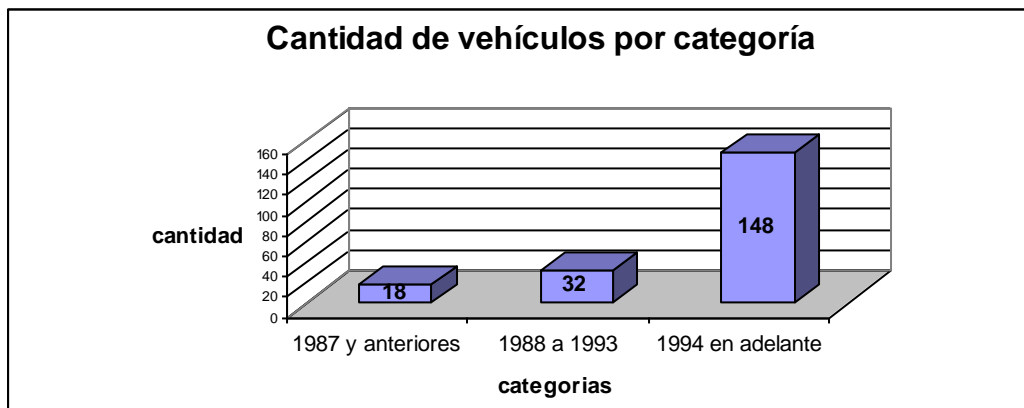


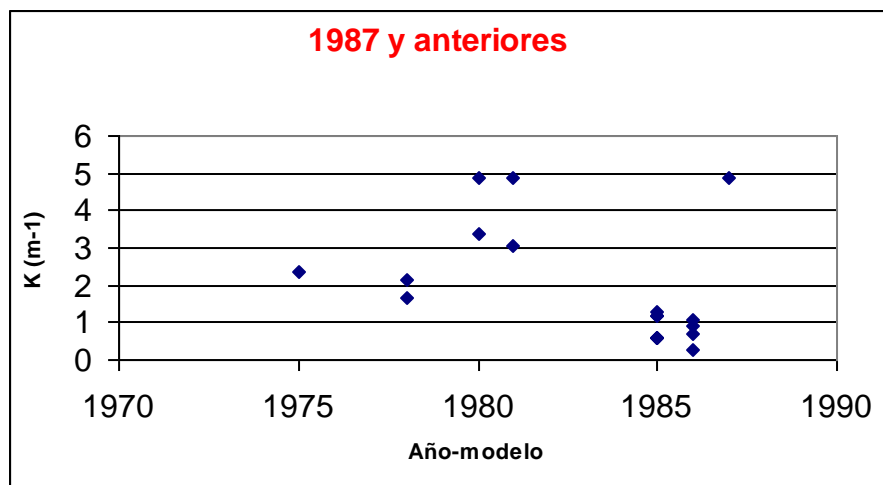
Figura 3.6

### Límites

Con las categorías de modelos vehiculares establecidas, se realizó un análisis de cada una de ellas de forma independiente, con el propósito de ver y comparar el comportamiento de los niveles de opacidad de cada modelo de acuerdo a las categorías del Proy. 045 y sus respectivos límites máximos, con la finalidad de tener una perspectiva de la flexibilidad que tienen las categorías propuestas en este trabajo con respecto a los niveles de opacidad que presentan los automotores diesel en la actualidad y, de este modo, contar con una base sólida de información para la estimación de los nuevos límites máximos de “k” .

Los resultados se presentan a continuación.

- Primera categoría



**Figura 3.7**

Con base en la Figura 3.7, se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 6.13, tomando como apoyo los límites máximos  $2.4 m^{-1}$  y  $1.99 m^{-1}$  del Proy. 045 que corresponden a las categorías “1979 y anteriores” y “1980 a 1990” respectivamente, que fueron consideradas para este análisis, debido a que la categoría propuesta en este trabajo

(1987 y anteriores) se ubica dentro de las dos anteriores. En la Tabla 3.21 se observa que la gran mayoría de los vehículos obtuvieron una opacidad por debajo de  $1.99 m^{-1}$ , es decir, el 61% del total de vehículos sometidos a la prueba de opacidad Proy. 045 y que están dentro de la categoría propuesta son capaces de arrojar valores de “k” inferiores al límite mencionado.

K ( $m^{-1}$ )	No. Vehículos	% Vehículos
> 2.4	5	27.78
[1.99, 2.4]	2	11.11
< 1.99	11	61.11

**TABLA 3.21 Resultados del análisis a los modelos 1987 y anteriores**

Para poder establecer límites de opacidad, es necesario tener una referencia que nos permita visualizar fácilmente los parámetros que se manejan en las pruebas de opacidad, ya que de esta forma será posible entender claramente cuándo son niveles de opacidad altos o bajos. Por ello se basó en la equivalencia de “k” con respecto al % de opacidad y utilizaremos ésta para explicar cómo fueron tomados y como se comportarán los nuevos límites máximos propuestos.

Por lo tanto, es factible que para esta categoría exista un límite máximo que no supere el 60% de opacidad ( $2.13 m^{-1}$ ), considerando que este valor se encuentra entre los propuestos por el Proy. 045 que son  $1.99 m^{-1}$  (57.5% de opacidad) y  $2.4 m^{-1}$  (64.3% de opacidad), y que es más fácil distinguir en qué rango de opacidad se encuentran los límites nuevos propuestos y los del proyecto de norma. Al tener como máximo un 60% de opacidad en vehículos a diesel anteriores a 1987 es lo más justo y coherente basándose en los resultados del análisis, además que con ello se obliga a los propietarios de estos automotores a tener en buen estado sus unidades o renovarlas.

De esta manera se muestra en la tabla 3.22 el límite máximo nuevo de opacidad de humo para vehículos automotores en circulación equipados con motor a diesel, con peso bruto vehicular mayor a 3,856 kilogramos, en función del año-modelo del motor.

Año – modelo del motor	Opacidad (K) $m^{-1}$	Porcentaje de Opacidad (%)
1987 y anteriores	2.13	60

Tabla 3.22 Límite máximo nuevo propuesto para modelos 1987 y anteriores

- Segunda categoría

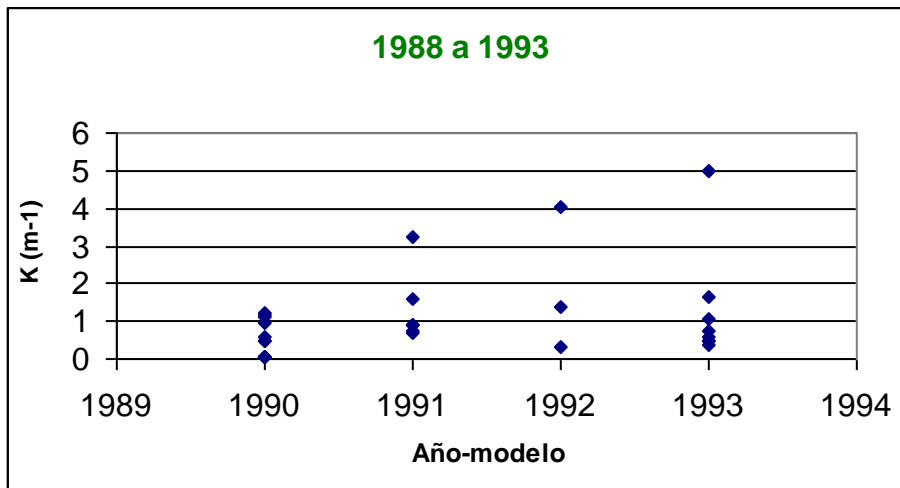


Figura 3.8

Analizando la Figura 3.8 con los límites máximos de las categorías “1980 a 1990” ( $1.99 m^{-1}$ ), y “1991 y posteriores” ( $1.27 m^{-1}$ ) pertenecientes al Proy. 045, se observa que estas dos son parámetros de comparación para la categoría en análisis, debido a que ésta se localiza entre los valores de ambos grupos (Proy. 045), por lo que se muestra en la tabla 3.23 que el 78%

de los vehículos tienen niveles por debajo de  $1.27 m^{-1}$ , lo que quiere decir que existe la oportunidad de que modelos entre 1988 y 1993 obtengan valores de “k” menores al 42% de opacidad sin muchos problemas. Por otra parte sólo el 12.5% del total de vehículos de estos modelos estuvieron arriba del 57.5% de opacidad en sus niveles de índice de absorción de luz, por lo que el resto se localizó en el rango intermedio de ambos límites máximos.

K ( $m^{-1}$ )	No. Vehículos	% Vehículos
> 1.99	4	12.5
[1.99, 1.27]	3	9.38
< 1.27	25	78.13

**TABLA 3.23 Resultados del análisis a los modelos de 1988 a 1993**

Notando la viabilidad de los automotores de cumplir con estos niveles de opacidad dentro de estos modelos, se llegó a la conclusión que el límite nuevo a proponer sólo debería ser un poco mayor al 42% de opacidad, tomando en cuenta aquellos vehículos que están cerca de estos niveles pero que no sobrepasen al 45% de opacidad ( $1.39 m^{-1}$ ), obligando con ello a que la flota vehicular que está en la categoría “1987 y anteriores” y que tienen niveles de opacidad cercanos a los de “1988 a 1993” cambie sus unidades a unas más recientes o se mantenga siempre en las mejores condiciones. Por lo tanto, el nivel máximo de opacidad que se propone para esta categoría será de  $1.31 m^{-1}$ , que representa un 43% de opacidad, que es menor al 45% pero mayor del 42% como se había mencionado, pero debido a que el coeficiente de absorción de luz (k) tiene un comportamiento logarítmico da como resultado esos valores aparentemente cercanos.

De esta manera se muestra en la Tabla 3.24 el límite máximo nuevo de opacidad de humo para vehículos automotores en circulación equipados con motor a diesel, con peso bruto vehicular mayor a 3,856 kilogramos, en función del año-modelo del motor.

Año – modelo del motor	Opacidad (K) $m^{-1}$	Porcentaje de Opacidad (%)
1988 a 1993	1.31	43

Tabla 3.24 Límite máximo nuevo propuesto para modelos 1988 a 1993.

- Tercera categoría

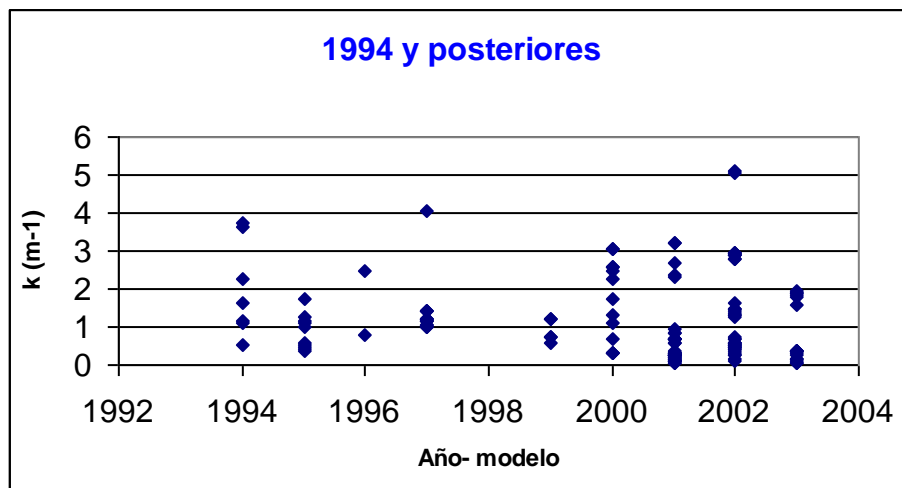


Figura 3.9

Para el estudio de esta categoría (Figura 3.9), se tomó como referencia los modelos “1991 y posteriores”, en la que el Proy 045 señala dos clases, una con motores de mando mecánico y otra con mando electrónico, con sus respectivos límites máximos, por lo que en este trabajo se asignó como punto de partida el valor de  $1.00 m^{-1}$ , que es el indicado para motores con mando electrónico. Se decidió usar este valor como el más importante, debido a las consideraciones hechas anteriormente en la clasificación de las categorías.

Así, la Tabla 3.25 permite ver la gran diversidad que presentan los vehículos de modelo 1994 y posteriores, dado que únicamente el 55.4% obtuvo valores de “k” menor al 35% de opacidad ( $1.00 m^{-1}$ ) y un 31.76% de los motores sobrepasan el nivel de  $1.27 m^{-1}$  (42% de opacidad), por lo que para establecer un límite máximo fue necesario observar que la mayoría de los vehículos que se localizan entre  $1.00 m^{-1}$  y  $1.27 m^{-1}$  están más cerca del primer valor que del segundo, y los valores que están arriba del 42% de opacidad sobrepasan por mucho esta cifra, lo que indica principalmente un problema de mantenimiento en estos casos.

K ( $m^{-1}$ )	No. Vehículos	% Vehículos
> 1.27	47	31.76
[1.00, 1.27]	19	12.84
< 1.00	82	55.41

**TABLA 3.25 Resultados del análisis a los modelos 1994 y posteriores**

Para llegar al límite nuevo de la categoría “1994 y posteriores” se consideró el nivel nuevo de la categoría anterior a ésta, debido a la poca diferencia que existiría entre ambos, y por tal motivo, se propone que una diferencia del 5% de opacidad entre categorías es la idónea, dado que es un valor mayor pero cercano a  $1.00 m^{-1}$  y, por el contrario, menor pero lejano a  $1.31 m^{-1}$ . Por consiguiente, el nuevo límite máximo propuesto para las categorías “1994 y posteriores” será de  $1.11 m^{-1}$ , que corresponde al 38% de opacidad y que contribuirá al mejoramiento de la calidad del aire con la mejora continua del parque vehicular a diesel.

De esta manera, se muestra en la Tabla 3.26 el límite máximo nuevo de opacidad de humo para vehículos automotores en circulación equipados con motor a diesel, con peso bruto vehicular mayor a 3,856 kilogramos, en función del año-modelo del motor.

Año – modelo del motor	Opacidad (K) $m^{-1}$	Porcentaje de Opacidad (%)
1994 y posteriores	1.11	38

**Tabla 3.26 Límite máximo nuevo propuesto para modelos 1994 y posteriores.**

Es importante mencionar que durante el año en curso se han llevado a cabo modificaciones en el proyecto de norma Proy. 045, una de las más significativas es a los límites máximos permisibles como propuesta, que se muestran en la tabla 3.27, que no se tomaron en cuenta para nuestro estudio debido a que al ser revisados y analizados con base a nuestros resultados se aprecia que presentan niveles excesivamente laxos para los vehículos a diesel en circulación, ya que para modelos “1990 y anteriores” proponen un coeficiente de absorción de luz de  $3.0 m^{-1}$  (72.5% de opacidad), el cual permitiría que vehículos altamente contaminantes estuvieran dentro de los niveles permitidos. De igual forma, para las categorías “1991 y posteriores”, se da un valor de  $2.5 m^{-1}$  (65.9% de opacidad). Estos valores son tomados por la SEMARNAT en base a la “Directiva 2003/27/ce de la comisión de la Unión Europea del 3 de abril de 2003”.

Año – modelo del Motor	Opacidad.- medida como coeficiente de absorción de luz (k) $m^{-1}$
1990 y anteriores	3,0
1991 y posteriores	2,5

**Tabla 3.27 Propuesta de modificación de límites Proy-045**



A continuación se presenta un resumen de los aspectos que se tomaron en cuenta a lo largo de todo el análisis para obtener los nuevos límites propuestos.

1. Seleccionar del total de las pruebas realizadas, todas aquellas que se hayan obtenido aplicando el método de prueba propuesto en el proyecto, con el fin de ajustar los límites máximos permisibles a condiciones reales, excluyendo aquellas que presenten valores fuera de límites debido a diversas razones, como podrían ser fallas técnicas al momento de realizar las pruebas o mal funcionamiento del motor por falta de mantenimiento.
2. Una vez seleccionadas y depuradas las pruebas del punto anterior, contabilizar el número de vehículos por año-modelo que fueron utilizados para los ensayos, obteniendo un estimado del tipo de vehículo que se puede encontrar en circulación, con la finalidad de observar donde se concentra la mayoría de estos y poner mayor atención al momento de estimar los límites máximos permisibles que regirán el proyecto.
3. Los resultados de la selección de los vehículos nos permiten crear tres clasificaciones considerando los siguientes criterios.
  - La mayoría de los vehículos se concentran a partir del año 1990, por lo cual se tomará como punto de partida para la clasificación.
  - Los vehículos que presentan mayor nivel de opacidad son modelos del año 1987 y anteriores, además de formar la menor parte de los vehículos que se encuentran en circulación. Por lo que éste se considera el primer grupo.
  - Considerando que a partir del año 1994 los fabricantes de motores diesel son obligados a poner a la venta sus productos equipados con sistemas de inyección electrónica, garantizando una disminución en la expulsión de contaminantes, se considera un segundo grupo formado por vehículos cuyo motor sea del año 1994 en adelante.
  - El tercer grupo queda constituido por vehículos cuyo motor haya sido fabricado entre los años 1988 y 1993.

4. Una vez establecidos los grupos, se analizan los resultados de opacidad para cada uno de ellos.
- 1987 y anteriores. El análisis de los resultados presenta que el 61.1% de los vehículos sometidos a la prueba promedian una opacidad de 2.13 m<sup>-1</sup>, que representa un 60% de opacidad, siendo menor a los 2.4 m<sup>-1</sup> que se propone en el proyecto.
  - 1988 a 1993. El análisis de los resultados presenta que el 78.13% de los vehículos sometidos a la prueba promedian una opacidad de 1.19 m<sup>-1</sup>, que representa un 40% de opacidad, que es menor a los 1.99 m<sup>-1</sup> que se sugiere en le proyecto.
  - 1994 y Posteriores. El análisis de los resultados presenta que el 55.41% de los vehículos sometidos a la prueba promedian una opacidad de 1.11m<sup>-1</sup>, que representa un 38% de opacidad, que es mayor a los 1.0 m<sup>-1</sup> que se indica en el proyecto.

PROPUESTO TESIS				PROY-045*			
Categorías Propuestas	cantidad	"K" (m <sup>-1</sup> ) propuesta	% 0p	Categorías PROY-045	cantidad	"K" (m <sup>-1</sup> ) PROY-045	% 0p
1987 y anteriores	18	2.13	60	1979 y anteriores	3	2.4	64.3
1988 a 1993	32	1.31	43	1980 a 1990	28	1.99	57.5
1994 en adelante	148	1.11	38	1991 y posteriores	167	1.27	42
	198			1991 y posteriores elect.		1.00	35
					198		

\* Límites propuestos por SEMARNAT hasta el segundo trimestre del 2005

**Tabla 3.28 Tabla comparativa de los límites nuevos propuestos con respecto a los propuestos por el Proy. 045.**

# **CONCLUSIONES**

## CONCLUSIONES

Al hacer el estudio de las pruebas realizadas, se encontró que vehículos que aprobaban el protocolo de prueba actual arrojaban niveles de opacidad más altos al ser sometidos a las características del método de prueba propuesto, mostrando así que este protocolo es más estricto que el actual, por lo que es conveniente que se ponga en marcha para poder detectar con mayor certeza aquellos vehículos que no cumplen con los límites máximos permisibles, ya que es posible que vehículos con un buen funcionamiento y mantenimiento puedan reducir los niveles de opacidad al punto de ser aprobados con las características del método propuesto y por debajo de los límites propuestos.

Aunque la cantidad de pruebas realizadas fue considerable, no todas resultaron confiables ya que se detectaron anomalías en los resultados atribuidos a errores ocasionados por opacímetros mal calibrados y por los técnicos encargados de realizar las pruebas, lo que obligó a realizar una depuración de datos.

El grupo de trabajo encargado de desarrollar el PROY NOM-045 acordó que las pruebas con que se contó al final eran insuficientes para establecer los nuevos límites máximos de opacidad, por lo que resolvió considerar los límites que establece la Unión Europea (Tabla 3.27), decisión que a nuestro parecer resulta muy flexible y poco adecuada, según las características que presenta el parque vehicular en la Republica Mexicana; sin embargo, pensamos que el número de pruebas son suficientes para proponer límites de opacidad y que los vehículos involucrados permiten visualizar el comportamiento del parque vehicular existente en el país.

Para hacer el análisis de los datos se propusieron tres categorías, obteniendo un valor promedio de opacidad para cada una de ellas, observando que los valores arrojados resultaron similares a los propuestos hasta entonces por la SEMARNAT y tomándolos como punto de comparación, a fin de proponer los límites máximos que consideramos más confiables.

Al final de este trabajo se llegó a la conclusión de que los límites que se obtuvieron en este trabajo difieren con los establecidos por la SEMARNAT; sin embargo, se presenta un desarrollo justificado con los resultados de las pruebas realizadas a un grupo de vehículos, por lo que se consideró que los límites se asemejan más a las características y exigencias de México en cuanto a la tecnología de su transporte se refiere.

Este proyecto de norma tiene como objetivo disminuir las emisiones de opacidad de vehículos en circulación, pero no garantiza la disminución de partículas arrojadas por los mismos, ya que se sabe que vehículos con emisiones de partículas relativamente altas exhiben una baja opacidad de humo, causado principalmente por una deficiencia en el proceso de combustión, por lo que se puede concluir que la medición de opacidad no es suficiente para identificar todas las partículas emitidas, altamente dañinas para la salud.

Los límites que se proponen en esta norma no son estáticos, es decir, que con el paso del tiempo y el avance tecnológico que se vaya integrando en el transporte requerirá un ajuste a fin de satisfacer las nuevas demandas y garantizar un control en las emisiones contaminantes de los motores diesel.

Por otro lado al hacer el estudio de las pruebas realizadas y estudiando detenidamente los valores arrojados por los opacímetros, así como las características de los mismos se llegó a la conclusión de que debe haber una homologación referente a propiedades de la cámara del opacímetro, ya que esto influye en el valor final de opacidad, se requiere informar a los fabricantes de opacímetros a fin de estandarizar las dimensiones y características de los instrumentos de medición para tener un mejor control de las emisiones provocadas por los motores diesel.

# **APÉNDICES**

**“A” BOMBAS DE INYECCIÓN  
PARA MOTORES DIESEL**

**“B” NORMA OFICIAL MEXICANA  
NOM-045-ECOL-1996**

**“C” NORMA OFICIAL MEXICANA  
NOM-077-ECOL-1995**

## **APÉNDICE A**

### **BOMBAS DE INYECCIÓN PARA MOTORES DIESEL**

#### ***A.1 Bombas de inyección mecánica***

La bomba de inyección en el motor diesel, constituye un elemento esencial y de primordial importancia para el desempeño de dicho motor. Además está íntimamente relacionado con el protocolo de medición de opacidad y sus límites establecidos.

##### **A.1.1 Bombas de inyección en línea**

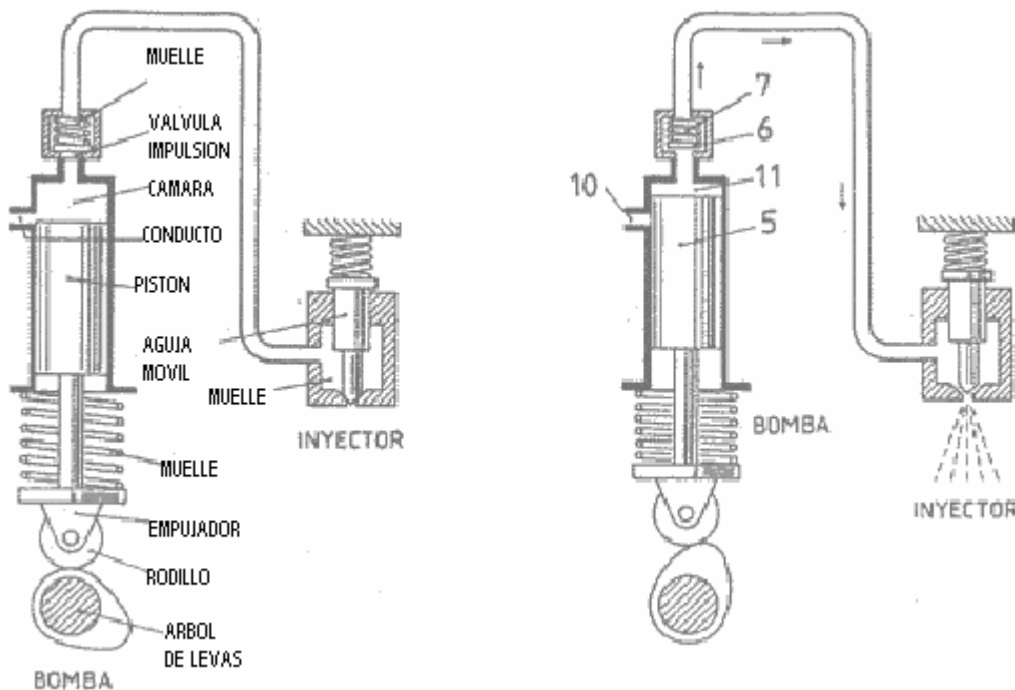
En este tipo de bombas, cada uno de los conductos de inyección dispone de un pequeño cilindro dentro del cual se mueve un émbolo accionado por un árbol de levas.

Estos sistemas de inyección disponen de un mecanismo muy seguro y son muy precisos en todas sus fases de funcionamiento, requieren piezas de gran precisión para su buen funcionamiento.

El árbol de levas con que cuenta la bomba, gira con una relación de una vuelta de la bomba por cada dos del cigüeñal del motor, en el caso de motores de cuatro tiempos y relación uno a uno para el caso de motores de dos tiempos. Al girar las levas ocasionan un movimiento alternativo, al tener un elemento fijo (cilindro) y un elemento que se desliza sobre éste (émbolo o pistón), la leva genera el movimiento que se da a través de un rodillo que siempre se encuentra en contacto debido a un resorte, cuando la leva está en contacto en su radio menor, el émbolo o pistón está en la parte inferior del cilindro, por lo que éste es llenado de combustible debido a unas lumbreras u orificios en la parte alta del cilindro, al comenzar a subir el pistón debido al giro de la leva, llega a un punto donde el mismo émbolo cierra la

entrada de combustible, en este momento se comienza con la compresión del mismo. (Figura A.1)

En la parte superior del cilindro hay una válvula de impulsión la cual cuenta con un resorte que no permite la salida del combustible, pero como la leva sigue girando va a llegar un momento en que el incremento de presión provoca la apertura de la válvula, permitiendo la salida del combustible. El combustible a esta presión tan alta se desplazará por un tubo hasta llegar al inyector que tiene con otra válvula llamada en este caso de impulsión, la cual está conectada a una aguja que obstruye la salida del combustible. Debido a la alta presión el combustible no sólo levanta la aguja si no que inyecta un chorro de combustible dentro de la cámara de combustión, al término de la cual el resorte hace que la aguja regrese a su posición original tapando el orificio de entrada, por lo que no puede haber retorno de combustible a la bomba de inyección. Éste es el principio de funcionamiento de las bombas en línea y las funciones de cada uno de los elementos para tener las condiciones óptimas de inyección.



**Figura A.1 Principio de funcionamiento de una bomba en línea**



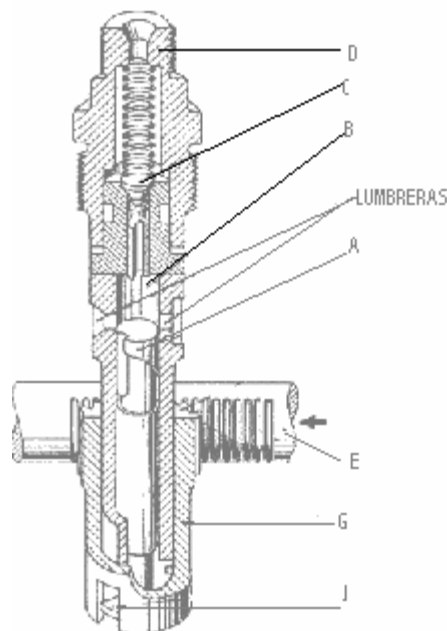
Y para conocer más a fondo el funcionamiento de este mecanismo, mencionaremos los elementos más importantes que conforman las bombas de inyección en línea, que están constituidas de diferentes elementos:

1. Mecanismo de regulación e impulsión del caudal.
2. Válvulas de impulsión.
3. Eje de levas.

### Mecanismo de impulsión y regulación del caudal

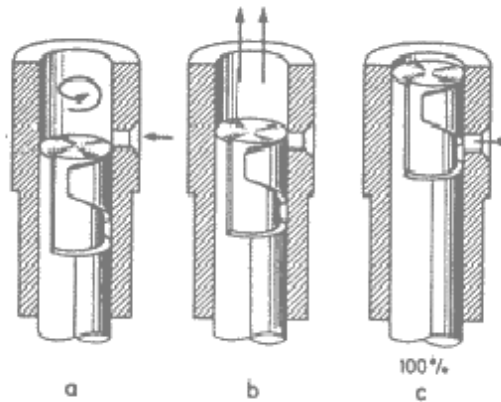
Este mecanismo funciona conjuntamente para realizar la dosificación de la mezcla dentro de la cámara de combustión. Las partes más importantes son, el émbolo que tiene un movimiento alternativo, de arriba hacia abajo, dentro de un cilindro. (Figura A.2)

El mecanismo de impulsión está formado por el émbolo (A), el cilindro (B), la válvula de salida y el tubo de impulsión (D). Por otro lado, el mecanismo de regulación se conforma de un piñón (G) que está sujeto al émbolo (J), una cremallera (E) conectada a todos los cilindros para que los émbolos giren sobre su propio eje al mismo tiempo que tienen el movimiento alternativo.



**Figura A.2 Mecanismo de impulsión y regulación de caudal.**

Para visualizar las posiciones del pistón detalladamente podemos observar la figura A.3. El émbolo tiene en la parte superior una ranura o fresado formando una canal, la cual permite que el cilindro se llene de combustible. Al momento de ir ascendiendo, el émbolo tapaná el orificio y el combustible quedará atrapado, hasta llegar a un punto en que el canal dejará salir el combustible por la parte inferior de éste, por consiguiente el combustible saldrá y ya no habrá inyección.

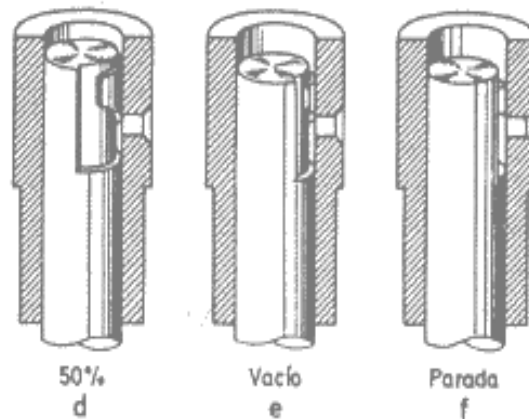


**Figura A.3 Vista detallada de la posición del pistón**

Debido a la forma del canal se tienen diferentes tipos de inyecciones, desde la plena carga hasta la posición de paro. Ésta se da cuando el émbolo está girado de tal forma que se tiene la mayor carrera de compresión del combustible, en este punto el motor se encuentra a plena carga.

Para tener un suministro menor de combustible inyectado sólo es necesario modificar la posición del pistón (figura A.4), y así cuando el émbolo se encuentra girado, sólo se tiene la mitad de carrera de compresión de combustible, ya que el canal descubre por la parte inferior el orificio de salida del combustible el cual escapa y ya no es comprimido para ser inyectado, en esta posición el motor se encuentra en estado de media potencia a sus revoluciones correspondientes. Por otro lado, se tiene la posición de vacío donde el canal se encuentra en la parte más angosta, por lo que el combustible inyectado a alta presión es mínimo, en este caso tenemos al motor en ralenti o mínimas revoluciones. Por último, se tiene la posición de paro que es cuando la entrada del canal coincide con el orificio de entrada del cilindro, con

esto el émbolo no tiene posibilidad de comprimir el combustible por lo que el motor deja de funcionar.



**Figura A.4 Vista detallada de la posición del pistón modificada.**

### Válvulas de impulsión

Las válvulas de impulsión juegan un gran papel al realizar la inyección en la cámara de combustión y sus partes más importantes son un casquillo, un resorte y un elemento de retención de combustible. Las válvulas realizan diferentes tareas, una es la de permitir que a una cierta presión el resorte se comprima y permita salir el combustible por las lumbreras, por lo que el resorte tiene que estar calibrado para que se tenga el momento exacto de inyección.

Se tienen diferentes tipos de válvulas de impulsión, de asiento y de bola, que se muestran en la figura A.5. y tienen el mismo funcionamiento, pero la válvula de asiento es más precisa al hacer los movimientos de apertura y cierre. Debido a su forma, es muy importante decir que estos elementos deben tener una alta precisión ya que habiendo juego hay una fuga de combustible, lo cual influye en el mal funcionamiento del motor.

Al igual que las válvulas, los tubos por donde se transporta el combustible son importantes, estos deben tener una gran resistencia, ya que se manejan grandes presiones: desde 300 hasta 1000 bar dependiendo del tamaño de los motores.



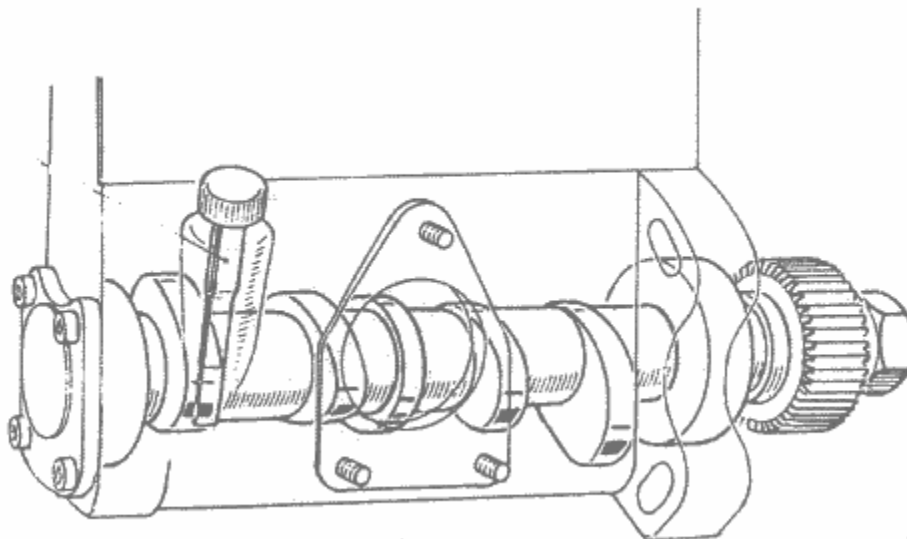
Válvula de asiento

Válvula de bolas

**Figura A.5 Válvulas de impulsión**

### Árbol de levas

Otra parte importante del mecanismo de impulsión y regulación del caudal es el árbol de levas, por medio del cual se determina el desplazamiento de los pistones inyector y el momento en que este desplazamiento debe producirse. (Figura A.6)



**Figura A.6 Árbol de levas**

### Sistema de accionamiento de la cremallera

Otra función importante de las bombas de inyección de combustible en línea es el gobernador o regulador, encargado de que el motor no supere un cierto número de revoluciones, ya que puede afectarse hasta el punto de desbielarse por las altas temperaturas y velocidades que se desarrollarían, además se tiene que el acelerador no está conectado directamente a la varilla de accionamiento de los émbolos de la bomba, por el hecho de que en los motores diesel se requiere tener una aceleración espaciada para que dicha bomba pueda realizar los cambios pertinentes y funcionar adecuadamente.

Este dispositivo es de vital importancia en este trabajo, ya que, en la norma oficial mexicana 077\* (mencionada en este trabajo), se describe el procedimiento de verificación de los niveles de opacidad de humo provenientes de vehículos a diesel, el cual consiste en acelerar el motor desde su régimen de velocidad de marcha lenta (1500 RPM), hasta su velocidad de corte de gobernador (velocidad máxima sin carga). Por tal motivo se dará una amplia descripción de este dispositivo para comprender la función e importancia del mismo.

Existen tres tipos de reguladores o gobernadores y se diferencian por el principio de funcionamiento:

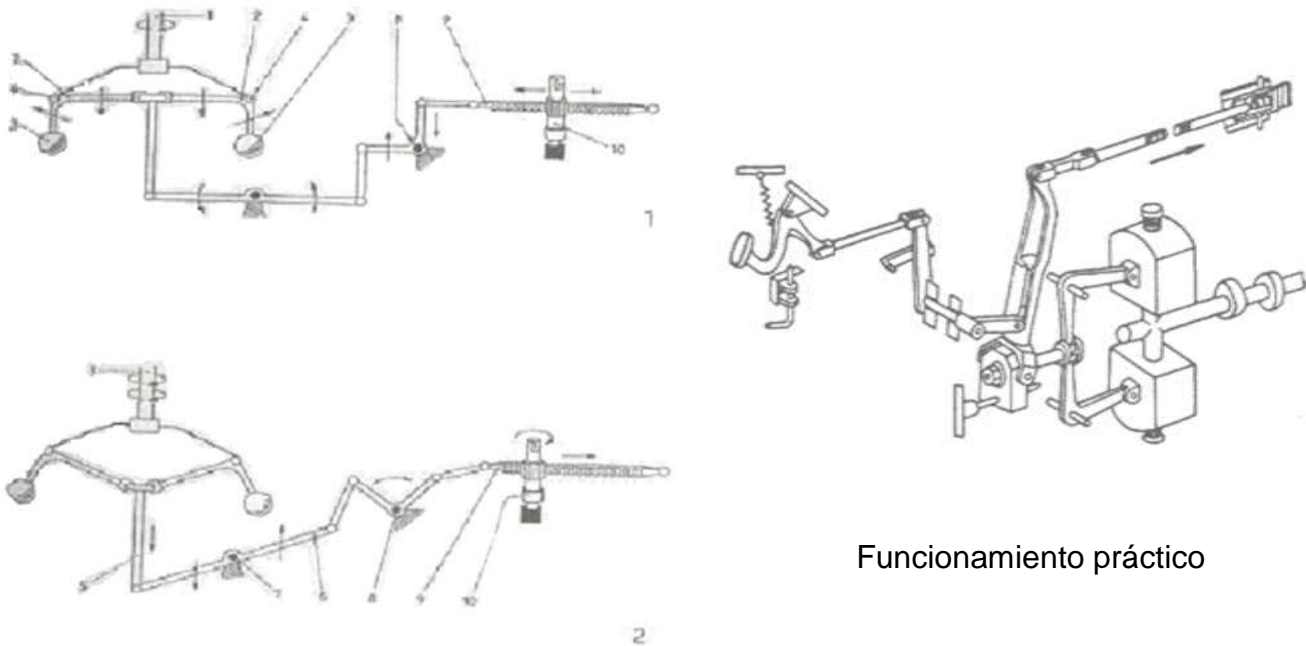
- Reguladores mecánicos centrífugos
- Reguladores neumáticos
- Reguladores hidráulicos

### Gobernadores centrífugos

Estos reguladores funcionan con base en el principio de la fuerza centrífuga y su descripción es la siguiente, apoyada en la figura A.7.

\* NOM -077-ECOL-1995. Establece el procedimiento o método de verificación de los niveles de opacidad de humo proveniente de los vehículos automotores en circulación, que usan diesel como combustible.

Podemos ver en el punto uno, un eje que está conectado al eje de levas de la bomba de inyección, que hace girar a su vez un conjunto centrífugo (2) compuesto por dos masas (3). Cuando el eje comienza a moverse, a medida que aumenta su velocidad, las masas tienden a desplazarse en el sentido de las flechas, aumentando este movimiento proporcionalmente con la velocidad, de esta manera se produce una transmisión de fuerza y movimiento de las bielas (5), (6) y (8) que genera el movimiento de la cremallera de la bomba (9) modificando así la posición de cada uno de los elementos de la bomba de inyección representados por el cilindro (10). La finalidad de este mecanismo es mantener estable el giro del motor de tal forma que no sea afectado por las variaciones de régimen, es decir que cuando el motor sea embalado, la bomba le ceda menos combustible, y si el motor va reduciendo su régimen de giro la bomba inyecte mayor cantidad de diesel. De esta manera se tiene la posibilidad de mantener una velocidad controlada y estable para el motor con la permanente corrección de suministro de combustible.



Principio de funcionamiento

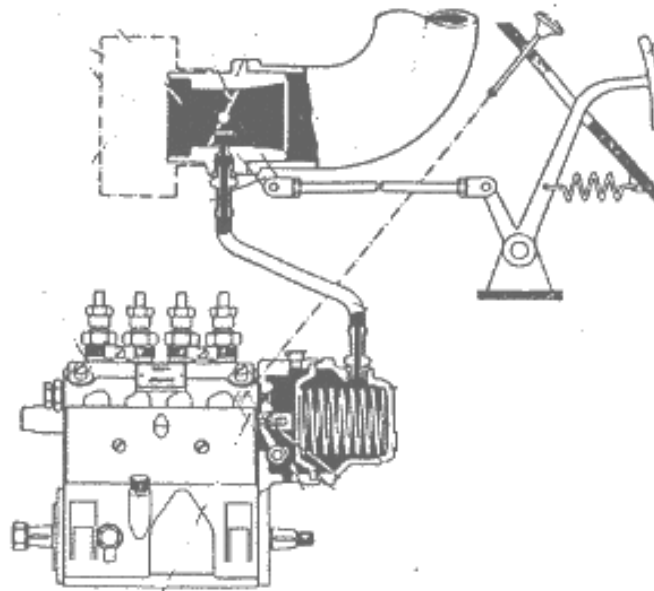
Funcionamiento práctico

**Figura A.7 Gobernador centrífugo.**

### Gobernadores neumáticos

Los reguladores neumáticos (figura A.8) funcionan por la depresión que existe en el múltiple de admisión, por lo que puede decirse que el caudal de combustible proporcionado está en relación a la cantidad de aire que penetra por la admisión.

Este tipo de regulador funciona por medio de cambios de presión, entre la presión atmosférica y la presión de vacío en el múltiple de admisión, regiones que se encuentran separadas por una membrana elástica o diafragma, unida en la parte central con la varilla o cremallera. El diafragma está siempre en una posición determinada debido a la presión que ejerce un resorte que se encuentra de lado donde se realiza el vacío, donde está conectado por medio de un tubo al múltiple de admisión, específicamente donde se encuentra la mariposa de paso de aire; por consiguiente, al momento de que la mariposa está abriendo permite la entrada de aire y dependiendo del volumen que pase por el múltiple, el diafragma se estará moviendo por el cambio de presiones que se establece. Aquí como en el caso anterior, se tienen diferentes posiciones para el arranque o mínima carga, dependiendo de cuanto aire requiera el motor, y la posición de paro que se realiza cuando el operario así lo necesita.



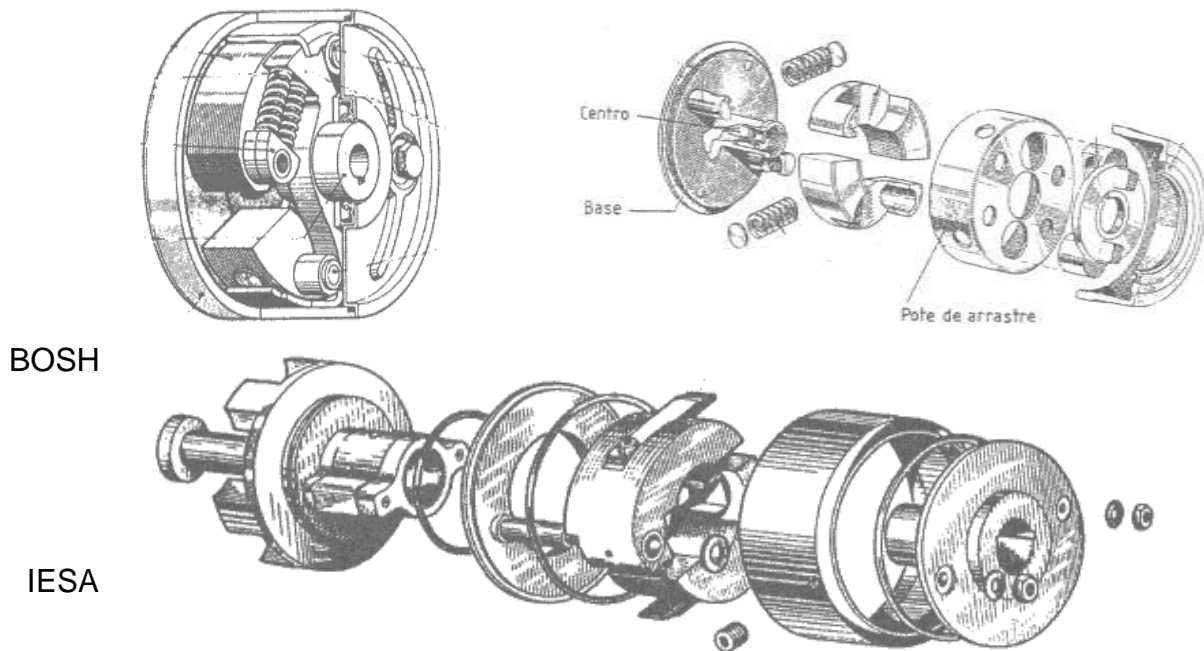
**Figura A.8 Principio de funcionamiento del gobernador neumático**

Gobernadores hidráulicos

En los gobernadores hidráulicos, el principio de funcionamiento es el mismo, pero en lugar de usar aire, utilizamos algún fluido como aceite, dependiendo de la marca del motor y de las condiciones que se tengan para su mejor funcionamiento.

Variador de avance para bombas de inyección en línea

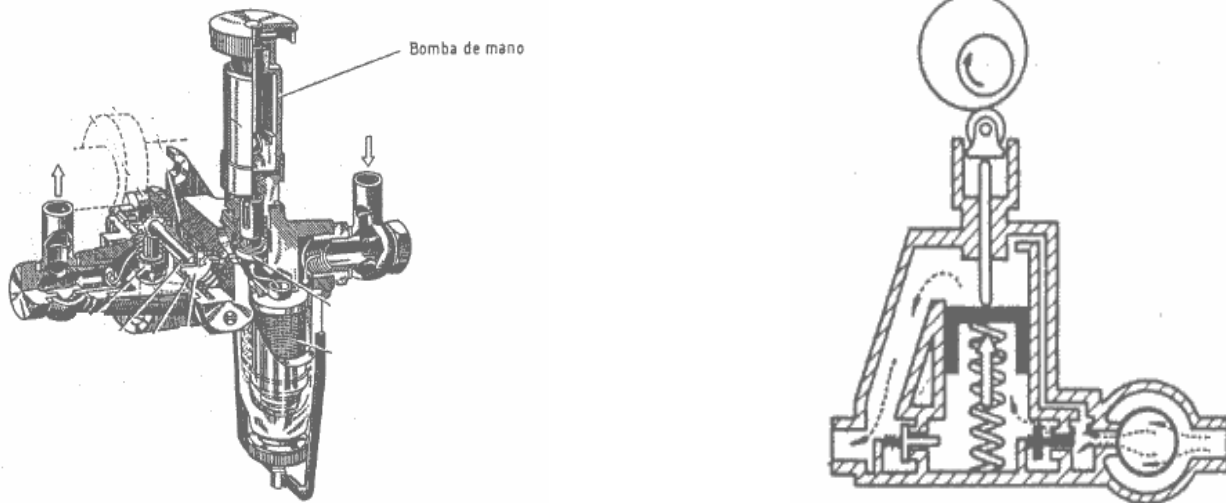
El propósito de este elemento es adelantar la inyección para que la combustión se haga cuando el pistón se encuentre algunos grados antes del punto muerto superior. El variador de avance está conectado directamente con el árbol de levas y el mecanismo de distribución del motor, con esto tendremos un movimiento distinto para realizar el avance, su funcionamiento se da por las fuerzas centrífugas. Como en el caso del gobernador centrífugo, el variador de avance cuenta con contrapesos y que actúan dependiendo de las revoluciones del motor. Al existir una conexión entre el árbol de levas y el sistema de distribución, se crean con los contrapesos movimientos que harán que el árbol de levas vaya adelantado al giro del cigüeñal, por lo que se logra el avance de la inyección. Hay diferentes tipos de variadores de avance, los cuales funcionan de la misma manera, pero cambian de elementos actuadores. (Figura A.9)



**Figura A.9 Variadores de avance**



Hay que mencionar que las bombas en línea cuentan con una bomba denominada de transferencia, que se encarga de alimentar a la bomba de inyección a una cierta presión determinada para tener las mejores condiciones de entrada de combustible en los cilindros donde se encuentran los émbolos que presurizan el combustible. (Fig. A.10)



**Figura A.10 Bomba de Transferencia**

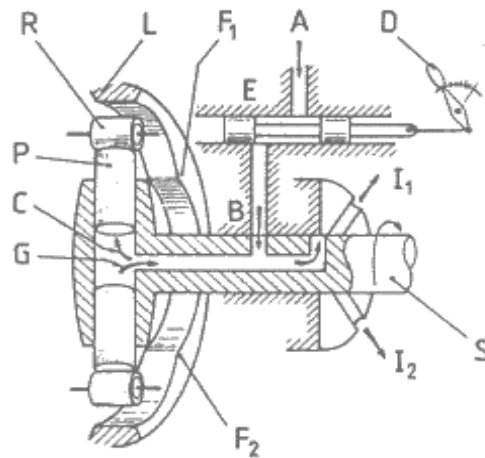
### **A.1.2 Bombas de inyección rotativa**

Existen básicamente dos tipos de bombas de inyección rotativas, desarrolladas por la manija la empresa inglesa C.A.V. y la otra, la empresa alemana BOSCH.

#### *Funcionamiento de las bombas rotativas C.A.V.*

Para tener mejor idea de cómo funciona esta bomba le pedimos al lector que observe la Fig A.11. Tenemos que el combustible entra por el tubo A, procedente del circuito de alimentación de la bomba, donde pasa por el conducto B y se desplaza hasta que el líquido llena la cámara móvil C, con esto el combustible se encuentra encerrado ya que, la válvula

de paso E se cierra debido a que es movido por la palanca de dosado D; el eje S se mantiene girando, la cámara móvil cuenta con dos cilindros P que se mueven sobre la cámara, estos son movidos por unos rodillos R que se encuentran en contacto con una leva radial L; por consiguiente, al momento de ir girando el eje S llegará un momento en que las levas harán que los cilindros P se muevan y hagan que la cámara móvil se reduzca y, por tanto, el combustible se comprima, por lo que es el momento en donde se obtendrá la elevación de presión de combustible para ser inyectado en las cámaras de combustión del motor, esto se logra debido a que la válvula E se mueve y cierra el conducto por donde entra el combustible y, por lo tanto, el combustible buscará una salida la cual hallará en el conducto I, que como se dijo antes será inyectado en la cámara de combustión.

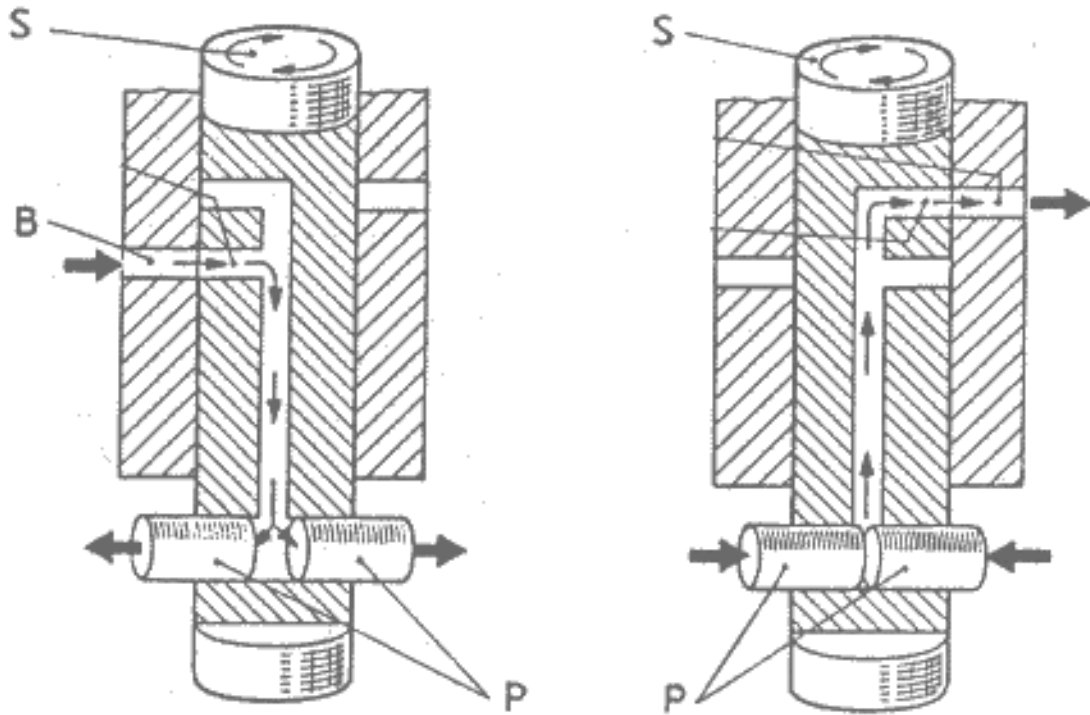


**Figura A.11 Principio de funcionamiento de las bombas rotativas.**

Este es el principio de funcionamiento de la bomba rotativa tipo C.A.V., el cual se repite dependiendo de los cilindros que tenga el motor, para comprender mejor como se realiza la operación para más cilindros, se explica a continuación y se puede observar en la Fig. A.12

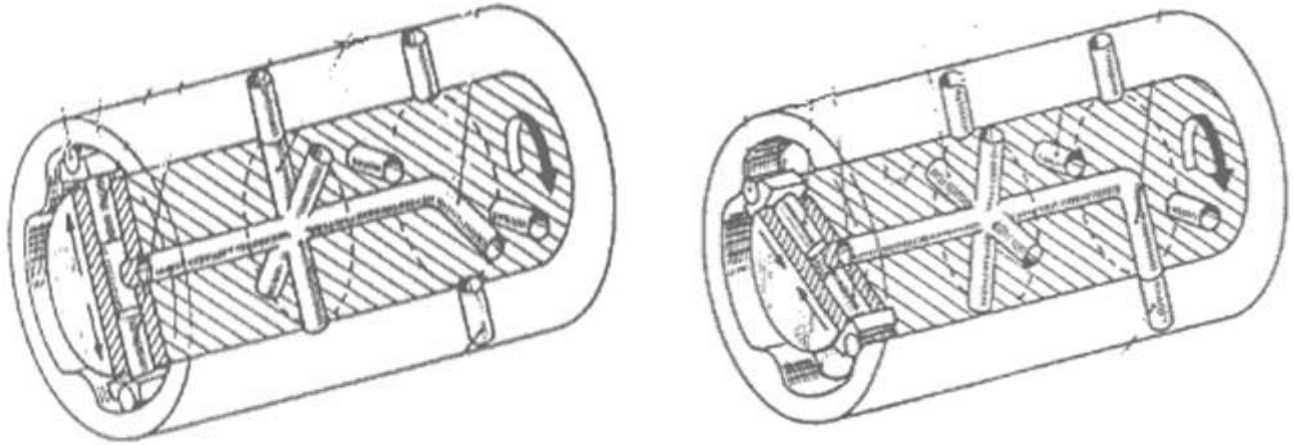
Tenemos el eje rotativo S mencionado anteriormente, y el cuerpo de la bomba el cual cuenta con una entrada y varias salidas de combustible, según el número de cilindros que tenga el motor. El eje S al girar hará coincidir el orificio de entrada del combustible con el de tubo de alimentación con diferentes entradas, dependiendo el número de cilindros que se tenga, entrando combustible a la cámara móvil, hasta el momento que el giro obstruya los orificios de entrada y salida, que es cuando los pistones realizan su tarea de disminuir la cámara y

aumentar la presión del combustible, hasta el momento en que el eje S coincida con una de las salidas hacia los inyectores.



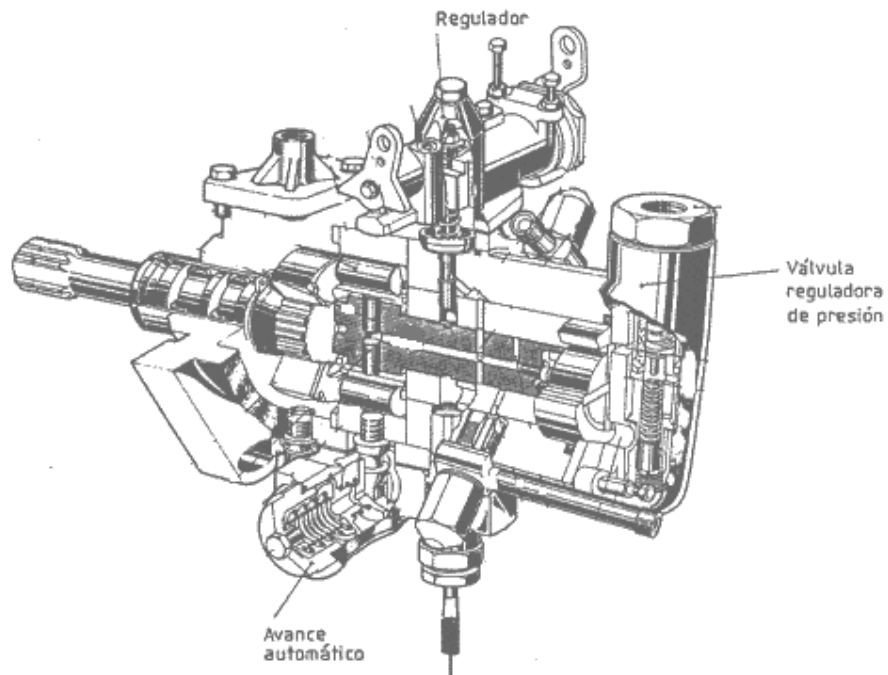
**Figura A.12 Sección a detalle del funcionamiento para más cilindros.**

Para comprender la secuencia de la inyección en varios cilindros (Fig. A.13), el eje se va a encontrar con las entradas, que al momento de coincidir con el tubo de alimentación los demás tubos del eje no coincidirán; al seguir girando se tapaná el conducto de entrada y se abrirá un conducto de salida, posteriormente el eje seguirá girando y permitirá la entrada de combustible por otro tubo, la cámara aumentará la presión del combustible en el giro del eje y al mismo tiempo abrirá un orificio de salida y se inyectará en la cámara de combustión, este ciclo se termina cuando el eje S da la vuelta completa y alimenta a los cilindros del motor; por lo tanto, la sucesión constante del ciclo permite que el motor siga funcionando hasta que el usuario lo requiera.



**Figura A.13 Esquema 3D de los conductos de la bomba rotativa C.A.V.**

Para tener una idea general de cómo está conformada la bomba de inyección C.A.V., se muestra la figura A.14, donde se aprecian todos los elementos que la constituyen.

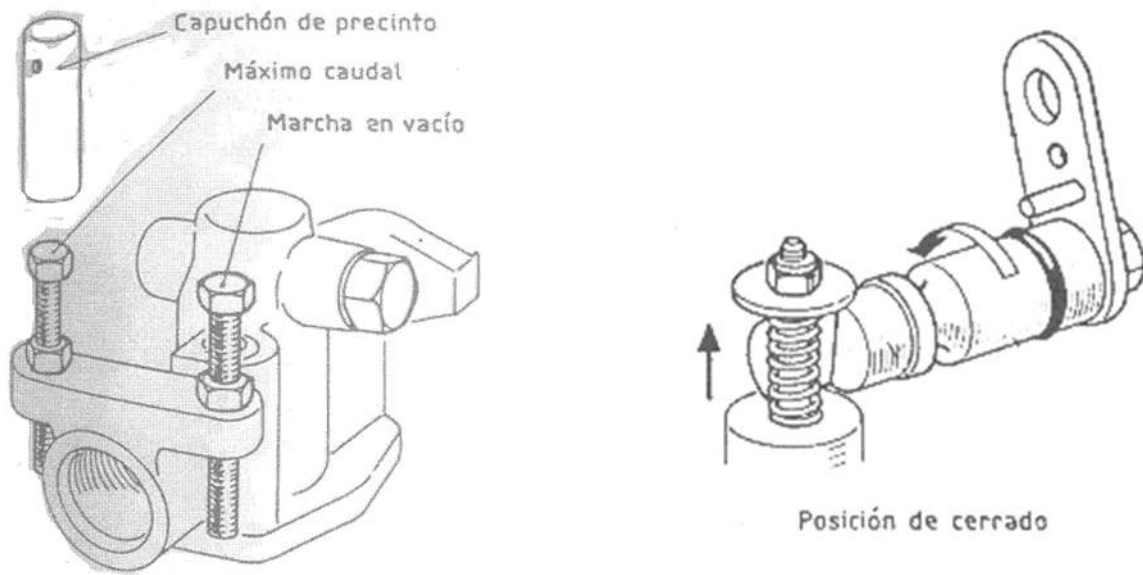


**Figura A.14 Esquema seccionado de la bomba rotativa C.A.V.**

### Regulador hidráulico

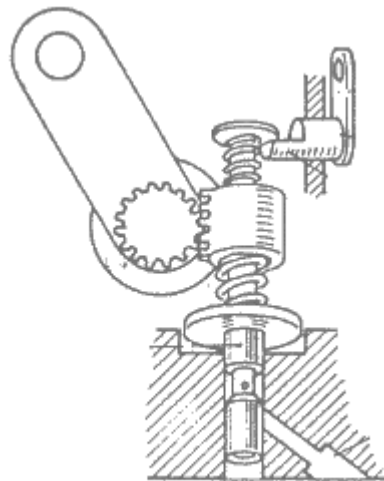
El regulador hidráulico funciona dependiendo de otros elementos como son la bomba de paletas que está dentro de la bomba de inyección y es la que se ocupa de dar la presión de combustible apta para la cámara móvil de la bomba; la bomba de transferencia hace que el combustible llegue a la bomba de paletas, y los elementos básicos como el tanque de combustible, el filtro, la bomba, etc. La tarea del regulador es mantener en el sistema hidráulico una presión constante, ya que, la bomba de paletas al tener mayor giro aumenta la presión del combustible, por lo que la bomba de inyección fallaría en su funcionamiento; la tarea la realiza con ayuda de un resorte, que a cierta presión deja fugar combustible hacia el tanque de combustible, y una válvula by-pass que no permite que el sistema quede vacío al momento de que el motor no esté funcionando.

El regulador hidráulico funciona a partir de un sistema mecánico de palancas y resortes, en donde la palanca está conectada al acelerador. Como se ve en la figura, la palanca de aceleración hace que todo el conjunto del regulador baje y suba según el operario. A través de un dentado tanto de la palanca como del regulador, se tiene que en la parte inferior del regulador hay una válvula dosificadora hueca por donde entra el combustible y unos orificios de salida que dan hacia el tubo de alimentación de la bomba. También se cuenta con un resorte calibrado, al momento de que se tenga la máxima aceleración el regulador se encuentra hasta la parte más baja, por lo que el resorte crea una fuerza hacia arriba, así como también el combustible que entra a una presión considerable, por este efecto el regulador sube un poco para que la válvula dosificadora no inyecte el máximo caudal de combustible y con esto evitar la sobre aceleración del motor. Al momento de bajar las revoluciones el caudal de combustible disminuye, permitiendo que la válvula inyecte el máximo caudal, por lo que se tiene un equilibrio de flujo con el fin de que el motor no rebase las revoluciones permitidas y evitar que sufra daños. Para tener un mejor funcionamiento del regulador se cuenta con un tornillo que determina la carrera de la válvula dosificadora. (Figura A.15).



**Figura A.15 Tornillo de regulación**

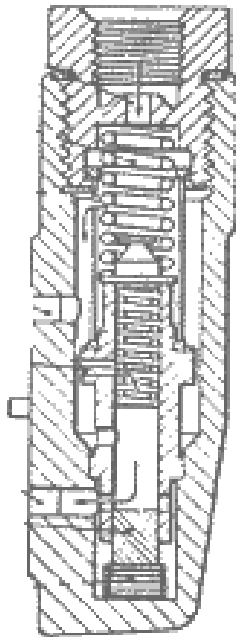
Por último, tenemos el mecanismo de paro (figura A.16), activado directamente por el operario a partir de una palanca que va conectada a un cable que al ser jalado mueve la palanca que va pegada a un eje de media luna, con esto el regulador sube hasta que la válvula dosificadora tape el conducto de alimentación; por lo tanto, no hay flujo de combustible y el motor deja de funcionar.



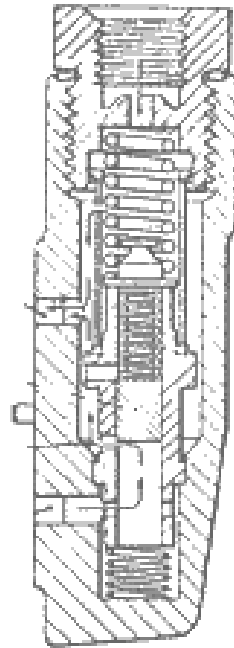
**Figura A.16 Mecanismo de paro del regulador Hidráulico**

### Válvula reguladora

Esta válvula regula la presión del combustible dentro de la bomba de inyección, esto lo realiza a través de resortes que, dependiendo del estado del motor, hacen su función. En la primer figura A.17.1 (cuando el motor se encuentra apagado), la válvula permite que todo el combustible entre al conducto de alimentación hasta la cámara móvil, pues la bomba de paletas no funciona debido a que está conectada al motor, con esto se tiene que el motor puede arrancar con la presión de combustible que da la bomba de transferencia. Al momento que el motor empiece a funcionar, los elementos de la válvula cambian de posición (figura A.17.2), por lo que la válvula permite que el flujo cambie hacia la bomba de paletas y ésta pueda dar a la bomba, la presión requerida para el mejor funcionamiento de la bomba de inyección.



**Figura A.17.1**

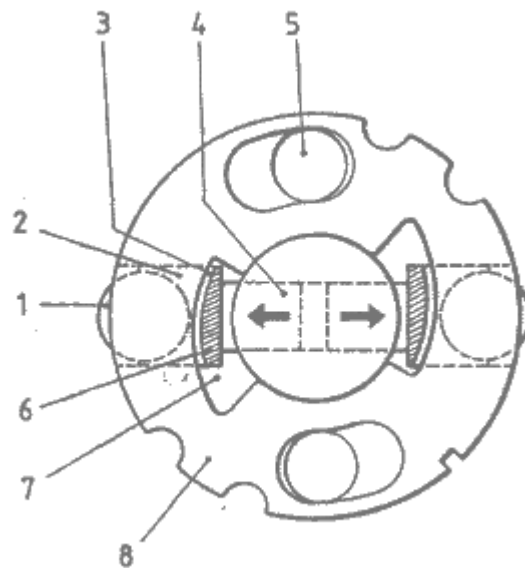


**Figura A.17.2**

### Regulación de caudal máximo

La regulación máxima de caudal se realiza de una forma muy sencilla, reduciendo la carrera de los pistones inyectores, los cuales se encuentran en la cámara móvil, por lo que son flotantes; por esta característica se puede disminuir o aumentar la cámara y así modificar el caudal de combustible, dependiendo de las condiciones de funcionamiento del motor.

Esta actividad se realiza de la siguiente forma (figura A.18): tenemos que los pistones inyectores (4) están sujetos en su parte inferior por unas cuñas helicoidales (6) que al mismo tiempo se encuentran sobre una cavidades más grandes (7), que tienen una forma tal que al moverse las cuñas, los pistones van a tener menor o mayor carrera en la cámara; todos estos elementos están sobre un rotor (8), que se mueve sobre las ranuras de éste y puede ser ajustado con los tornillos (5); por lo tanto, se tiene un máximo y un mínimo de desplazamiento en los pistones, según la posición y sentido de giro, y con esto se logra la regulación del caudal hacia las cámaras de combustión.

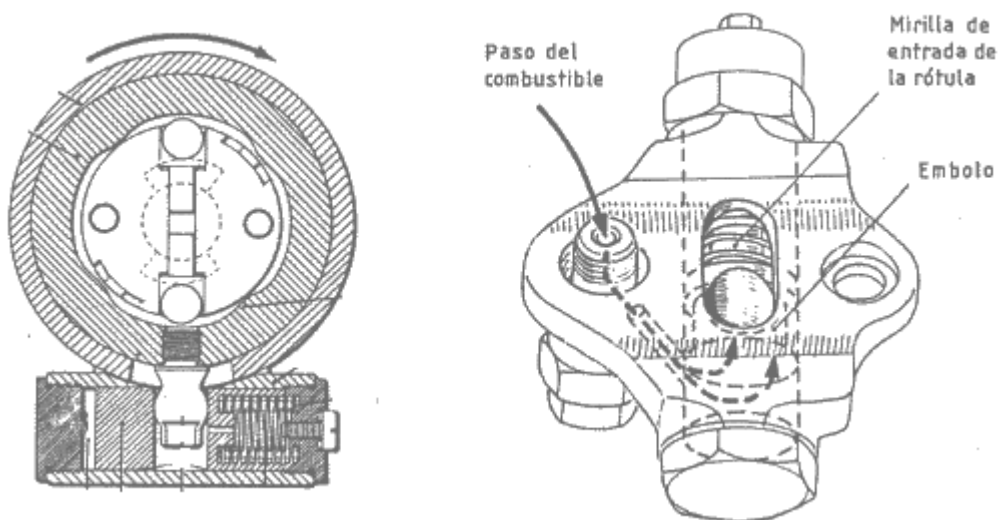


**Figura A.18 Esquema del rotor de regulación de caudal**



### Variador de avance para bombas de inyección rotativa

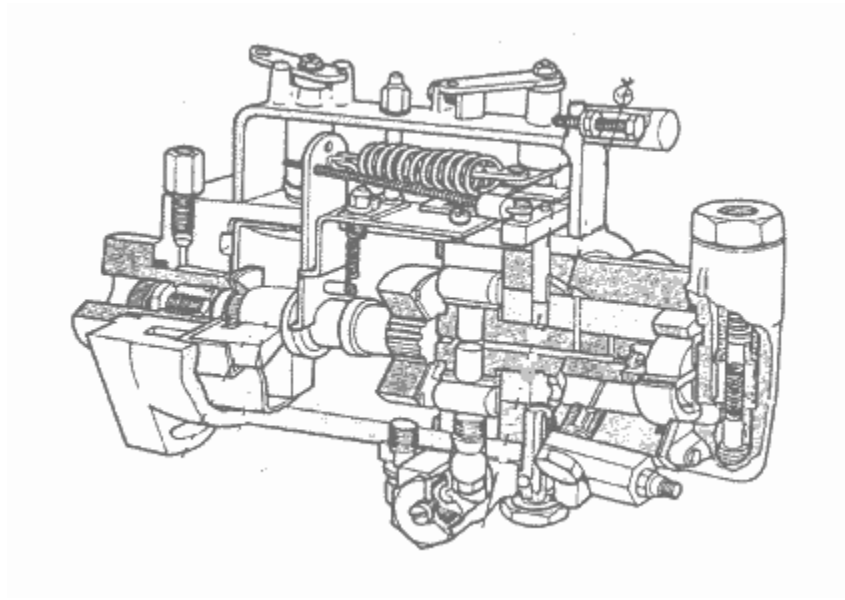
El variador de avance funciona dependiendo de la presión de combustible, que está definida por las revoluciones del motor. Para obtener la inyección antes de tiempo, mientras el rotor se encuentra girando, el anillo de las levas permanece inmóvil, pero puede obtener un movimiento de rotación de hasta 12 grados (figura A.19), esto se logra debido a que el anillo de levas está anclado a una rótula que sólo le permite llegar hasta la distancia antes mencionada. Como se aprecia de lado izquierdo de la figura, donde está la rótula, se encuentran una pared y una cámara donde entra combustible y un pistón respectivamente, de lado derecho de la rótula hay una serie de resortes calibrados. En el momento en que las revoluciones del motor comienzan a aumentar, la cámara del lado del pistón comienza a llenarse de combustible a una presión tal que empuja al cilindro, ésta a su vez a la rótula y, por consiguiente, logra presionar los resortes, con esto se logra que el anillo se mueva y por consiguiente se adelanta la inyección. Al momento de disminuir las revoluciones con la fuerza de los resortes, la rótula quedará en su posición anterior, por lo que se va a tener el mismo momento de inyección en los cilindros. Como se ve en la figura de la derecha el combustible entra por un tornillo hueco, con lo que tenemos que el variador se encuentra en el cuerpo de la bomba de inyección, específicamente donde circula el combustible a presiones considerables para la actuación de este elemento.



**Figura A.19 Funcionamiento de Avance Automático**

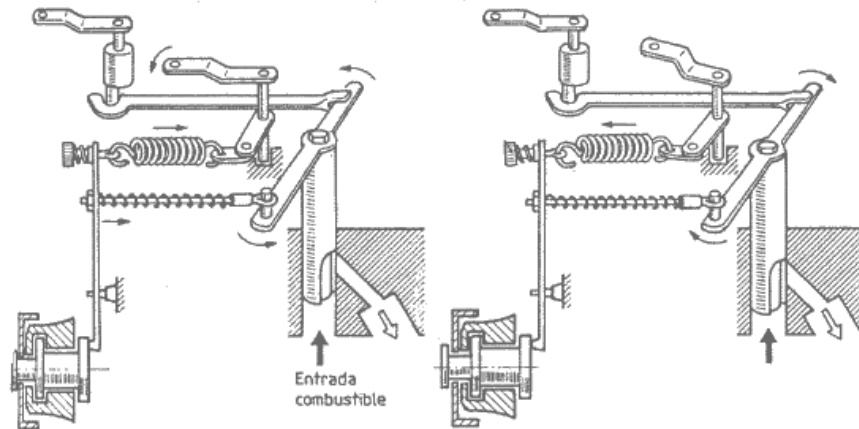
### Regulador mecánico

Como en el caso de las bombas en línea, las bombas rotativas cuentan también con un regulador mecánico, conformado principalmente de contrapesos y barras, que se ajustan dependiendo de la aceleración del operario y de las revoluciones que tenga el motor, no permitiendo que haya una aceleración súbita, lo que implicaría una falla mecánica en el motor. Lo que hace este regulador es que a partir de movimientos de las barras se cambie la posición de la válvula dosificadora que, como se dijo, es el elemento que suministra combustible a la cámara de inyección de la bomba. (Figura A.20).



**Figura A.20 Bomba provista de regulador mecánico**

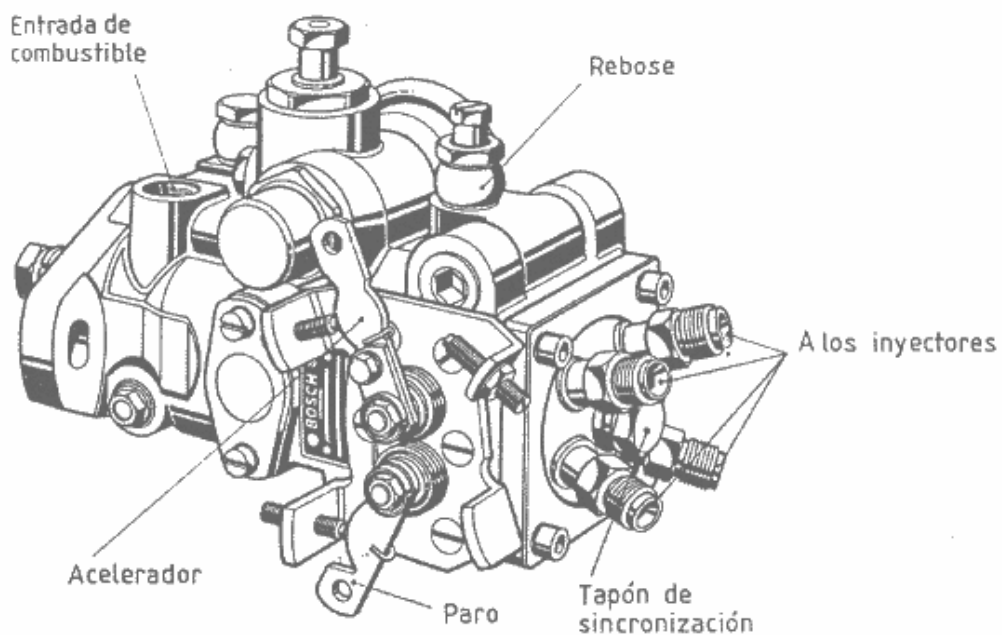
El regulador se encarga de que el motor no rebase las revoluciones especificadas para no sufrir daño, y también se encarga del paro del motor cuando el operario así lo requiera. Como se ve en la Figura A.21, lo que hace el regulador es dar movimiento a la válvula dosificadora a fin de que ésta inyecte el combustible necesario cuando el motor esté funcionando y, por otro lado, la válvula cierre el paso de combustible y pare el motor. Esto se logra con la ayuda de contrapesos, barras y resortes calibrados, a fin de obtener un mejor funcionamiento en el motor.



**Figura A.21 Esquema de funcionamiento del regulador mecánico para bombas rotativas C.A.V.**

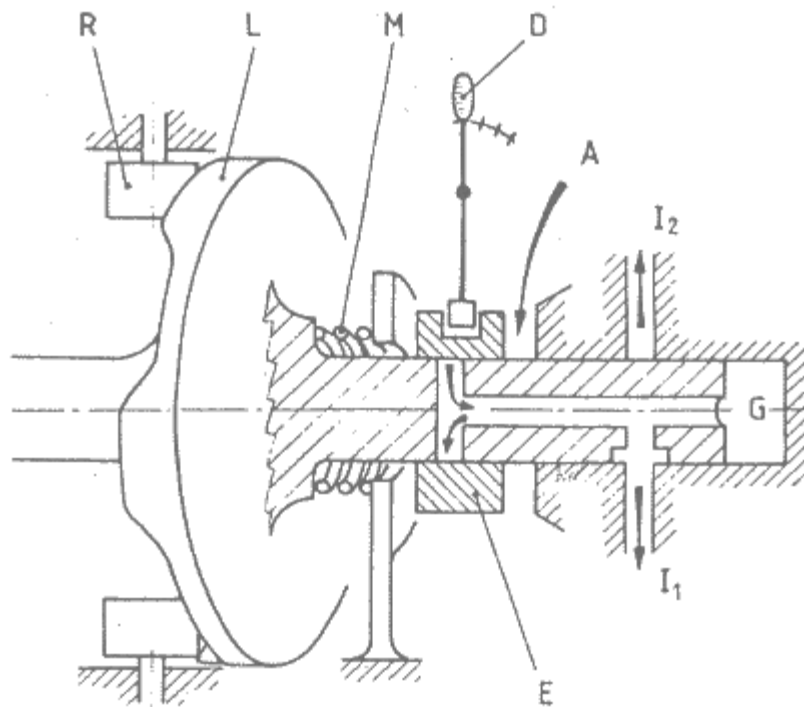
### A.1.3 Funcionamiento de las bombas rotativas Bosch

En la Figura A.22 se muestra la forma de una bomba de inyección BOSCH, que se asemeja a la C.A.V. debido a que ésta también tiene un sólo elemento de inyección y un distribuidor, que es la característica principal de las bombas de inyección rotativas.



**Figura A.22 Bomba Rotativa**

La bomba de inyección Bosch funciona de la siguiente manera, tiene con un elemento que se encuentra girando a las mismas revoluciones que el motor, el cual se compone de una leva (L) que está incorporada a un pistón que tendrá movimiento debido a la leva y a un resorte (M) que hará la acción de tener siempre en contacto la leva con los rodillos (R); por lo tanto, el cilindro tendrá un movimiento alternativo. En la parte extrema derecha del cilindro, según la figura, la bomba cuenta con una cámara donde se introduce el combustible para ser comprimido y con esto aumentar la presión para ser inyectado, esto lo logra permitiendo que el combustible entre por la ranura (A) a partir de que el manguito (E) se deslice con la ayuda de la palanca de dosado (D). Después la ranura (A) se cierra, por lo que el combustible va aumentando su presión mientras disminuye la cámara (G), al mismo tiempo al estar girando el pistón permitirá la salida de combustible por los diferentes conductos que dependen del número de cilindros que, como se ve en la siguiente figura, son en otra parte del pistón.

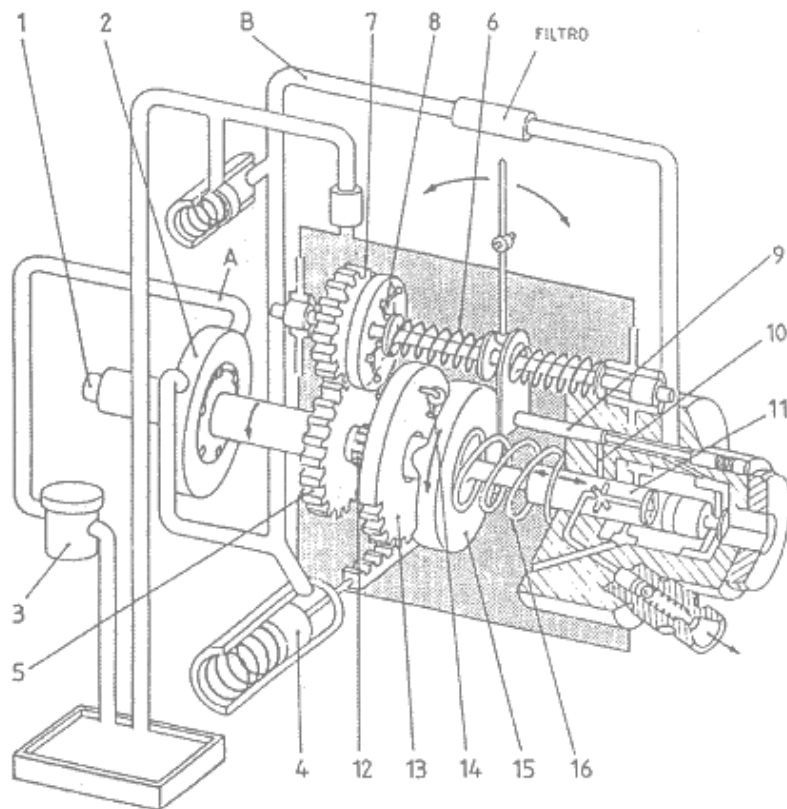


**Figura A.23 Pistón de una bomba rotativa**

Para el caso de las bombas rotativas Bosch, tenemos que se componen de dos principales sistemas, el mecánico y el hidráulico, que en su conjunto nos da el funcionamiento de estas bombas.

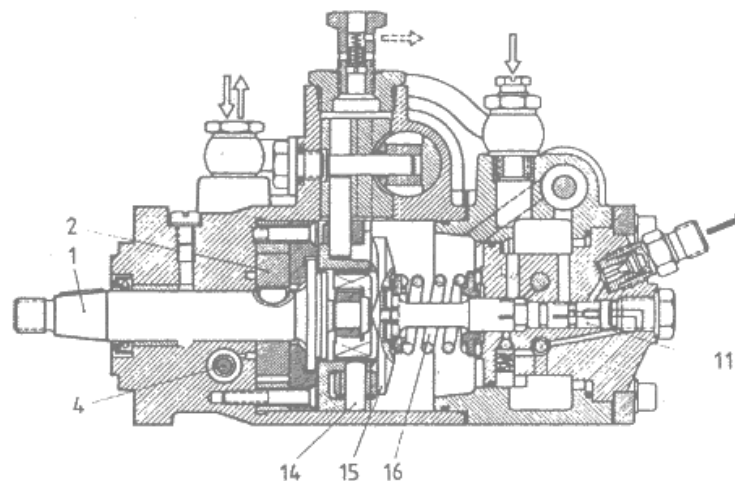
### Parte mecánica

La parte mecánica se muestra en la figura A.24. En estas bombas se tienen también bombas de paletas (2) que se encuentran girando por la acción del eje (1); en la bomba de paletas entra el combustible por el conducto (A) antes de pasar por el filtro (3), para aumentar la presión requerida para el buen funcionamiento de la bomba. Al pasar por la bomba de paletas el combustible pasa a una válvula de regulación de avance (4) al mismo tiempo que por el conducto (B), que llega a la parte delantera de la bomba o pistón.



**Figura A.24 Componentes mecánicos de una bomba rotativa.**

El eje (1) arrastra a un engrane (5), que es el encargado de accionar al regulador (6), por el contacto con el engrane (7) que, al mismo tiempo mueve a unas masas centrifugas (8) con el principio del regulador mecánico como en los casos anteriores. La válvula de dosificación (9) es la que regula la entrada de combustible al pistón inyector (11) a través del conducto de alimentación (10). En la Figura A.24 se muestra que después del engrane (5), hay una serie de estriado en el eje (12), esto para que el eje no sólo tenga un movimiento de rotación, sino también un movimiento axial, lo que permite el funcionamiento para el pistón inyector (11). La bomba cuenta con un platillo de avance automático (13), que lleva en su cuerpo una serie de rodillos (14) que se encuentran en contacto con la leva del pistón inyector (11), con esto podemos decir que el pistón cuenta con dos movimientos, uno alternativo por la leva y los rodillos y otro de rotación por el sistema de engranaje. Por otro lado, el resorte (16) es el que se encarga de que la leva se encuentre en contacto con los rodillos. El funcionamiento de la bomba se da a partir de este mecanismo, pero el responsable de iniciar los movimientos se da por la parte hidráulica.

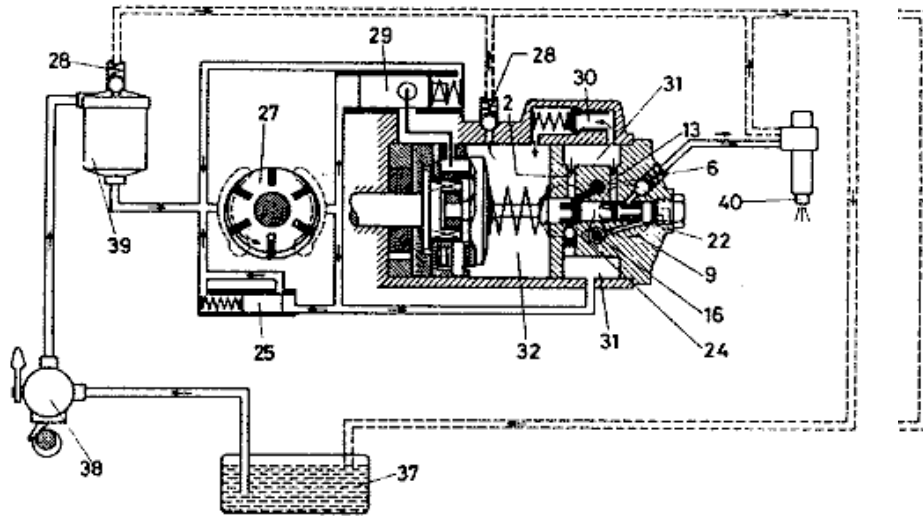


**Figura A.25 Sección de una bomba rotativa bosh**

### Parte hidráulica

La bomba de paletas manda el combustible a la presión ideal de funcionamiento por dos vías: una hacia la cámara anular de aspiración (31) que forma parte de la cabeza hidráulica y la otra que va hasta el cilindro corrector de avance (29), que se encarga de establecer los

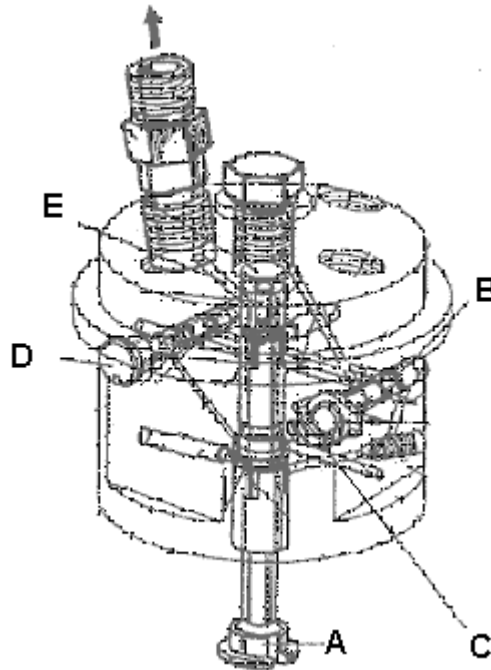
movimientos necesarios para que se produzca el avance automático de la inyección. En este caso la válvula de regulación (25) se encarga de mantener una modulación de la presión de alimentación dentro de los circuitos de la bomba, que abre y cierra por una válvula by-pass para que los valores de la presión se mantengan del orden de uno a ocho bar, según la velocidad de giro de la bomba. El elemento más importante de la parte hidráulica es la cabeza hidráulica, la cual es necesario conocer.



**Figura A.26 Componentes hidráulicos de una bomba rotativa**

### La cabeza hidráulica

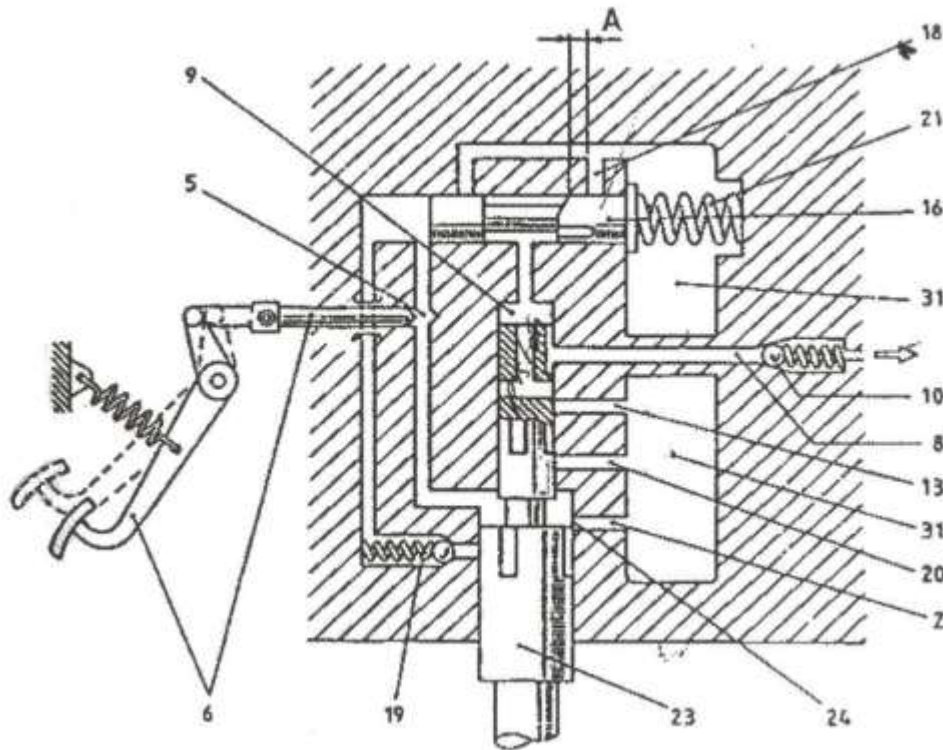
En este elemento se encuentran todas las partes que componen la cámara anular de aspiración y del pistón inyector. En la Figura A.27 se presentan los conductos de inyección y las válvulas que influyen para el mejor funcionamiento de la bomba. El pistón inyector (A) y la válvula corredera de inyección (B), determinan el caudal de inyección del combustible y va provista de un resorte de empuje o regulación (C); el control de estrangulamiento (D) está regido por el pedal acelerador y determina la entrada del caudal al interior de la cámara anular. Por último, tenemos el conducto de salida (E) de combustible a la presión de inyección, para ser llevado a la cámara de combustión del motor, éstas son las partes más importantes en el momento de inyección y del flujo de combustible.



**Figura A.27 Cabeza hidráulica**

El pistón inyector cuenta con dos diámetros y es hueca en su zona más angosta y alta; tiene orificios laterales. En esta parte se tiene la cámara anular de aspiración que es donde llega el caudal de combustible. Al poseer el pistón estos dos diámetros, la parte más alta actúa como un pistón como el de las bombas en línea de alta presión, mientras en la parte baja funciona como bomba auxiliar de regulación que obtiene una presión intermedia para los otros circuitos con los que está conectado. Como se muestra en la figura A.28, el combustible entra por la parte superior e inferior de la cámara anular, esto significa que entra líquido en la parte de alta presión y en el circuito de regulación, mientras que los demás orificios están cerrados tanto con el mismo pistón como en la corredera localizada en la parte superior del pistón. En este punto el pistón está en su punto muerto inferior, por lo que se llena la cámara de líquido para ser comprimido.





**Figura A.28 Primer tiempo de admisión de combustible**

Al momento de que el pistón inicia su carrera ascendente, gira al mismo tiempo al producirse el aumento de presión en el combustible, parte de este se va hacia el inyector y otra a la corredera, mientras que en la parte baja el mismo pistón tapa al orificio interior de la cámara anular, por lo que el combustible que se encuentra en esa parte también va a sufrir una elevación de presión, la cual se transferirá hasta la parte izquierda de la corredera, con esto la corredera empujará al resorte y se originará una regulación en ella, a fin de determinar qué tanto de combustible saldrá por el inyector, también pueden variar otros dos elementos que son la válvula anti retorno en la parte baja del pistón y el del distribuidor de estrangulamiento de regulación que se le ofrece de acuerdo con la voluntad del conductor, para así tener las características adecuadas de funcionamiento del motor.

Al momento que el pistón llegue al punto máximo superior, se tiene que la corredera se desplazará hasta comprimir totalmente el resorte y permitirá la entrada de combustible a la cámara de alta presión y a la cámara anular de aspiración, por lo que se produce una fuerte

caída de presión en el interior de la cámara y con esto se interrumpe la inyección. Esta forma de actuar se produce ininterrumpidamente durante el funcionamiento de la bomba.

### Control de la admisión de combustible

Para comprender su funcionamiento regresemos a la figura A.28. La inyección depende de la posición de la válvula corredera (16), la cual se mueve debido a la presión existente en el circuito de regulación que, a su vez, es ejercida en el resorte. EL valor de esta presión es siempre superior al valor de alimentación que existe en la cámara anular (31) de modo que cuando el pistón inyector desciende hacia su PMI (Punto Muerto Superior) dejando abierto el orificio de admisión (2), y debido a la presión elevada del circuito de regulación, el combustible existente se transfiere hacia la cámara anular (31). Para que el líquido se transporte de manera rápida, el distribuidor de estrangulamiento (6) debe estar completamente abierto. Cuando la válvula anti retorno permanece cerrada, todo el circuito regulador se mantiene a una presión elevada impidiendo que la corredera (16) regrese a su posición de reposo. La apertura del orificio de descarga (18) determina la duración de la inyección, es decir, que mientras la apertura del orificio sea menor, la presión intermedia en el circuito regulador será mayor, dependiendo esto básicamente de la válvula de estrangulación. Al existir variaciones en las revoluciones del motor la corredera (16) se moverá para obtener mayor o menor entrada de combustible y una regulación de flujo hacia los inyectores.

### Posición de paro

En la posición de paro, la corredera obstruye los tubos de alimentación, esto se logra por medio de una palanca manipulada por el conductor, de tal manera que la bomba no inyectará más combustible y, por consecuencia, el motor se detendrá.

### Acumulador

Otro elemento importante y que se requiere describir en este trabajo es el acumulador, el que se encarga de tener la presión de la cámara anular a una presión considerablemente

constante, a fin de que la corredera no sufra movimientos bruscos y con esto haya un funcionamiento estable en la bomba y, por consiguiente, del motor. El regulador se conforma de una cápsula con un resorte que al haber una mayor presión permite la salida de combustible para tener la presión constante en la cámara anular.

### Corrector de avance automático

Para obtener este avance, se requiere de circuitos hidráulicos y mecánicos y su funcionamiento se tiene al momento de que el motor gira a altas velocidades, por consiguiente, la bomba de paletas gira más rápido y aumenta la presión del combustible, accionando el émbolo, que a su vez empuja un resorte. El émbolo está conectado a unas varillas que mueven al plato de los rodillos de tal forma que, al moverse el émbolo, se mueven los rodillos dando el avance para la inyección en la cámara de combustión.

## **A.2 Bombas de inyección electrónica.**

En el caso de las bombas de mando electrónico, se tiene el mismo principio de aumento de presión en el combustible, esto quiere decir que el principio mecánico de émbolos y cámaras de compresión son las mismas, pero se tiene que los elementos mecánicos actúan debido a una unidad electrónica de control (UEC).

### Unidad Electrónica de Control (UEC).

Este dispositivo manipula y rige los dispositivos de mando de la bomba, especialmente los tres siguientes:

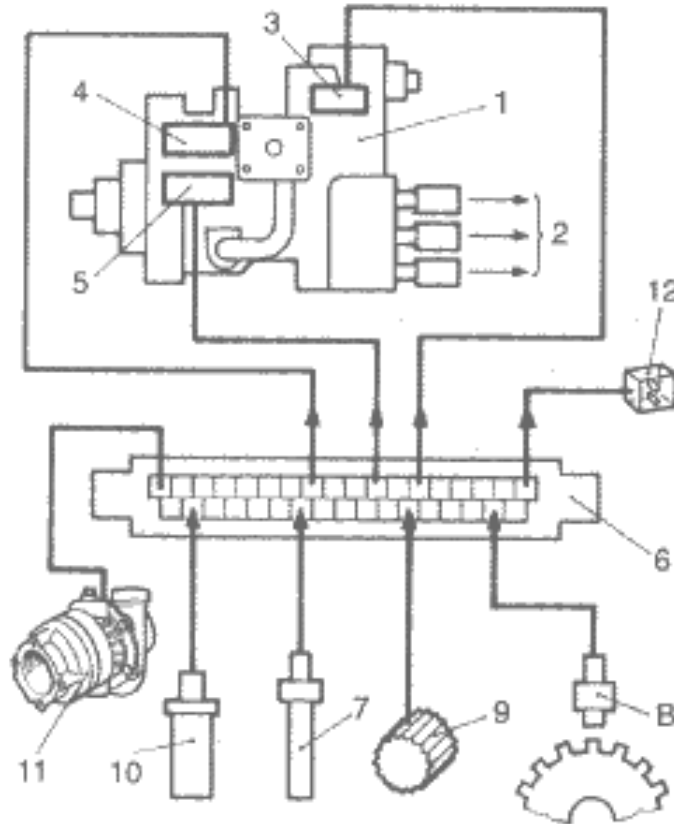
1. El corrector de avance
2. La electroválvula de ralentí acelerado
3. La electroválvula EGR

La UEC se debe hacer cargo también de la puesta en marcha y desconexión de otros dispositivos como pueden ser las bujías de precalentamiento, el paro eléctrico codificado e incluso, el mando de aire acondicionado, ya que al saber que está funcionando, puede ejercer control en marcha de ralentí que impida el galope o el paro del motor en régimen de ralentí.

Para que la UEC pueda dar órdenes a los elementos que acabamos de mencionar, es preciso que además de tener almacenados en su memoria todos los datos necesarios pueda disponer de información constante por parte de los sensores, que deben mantenerla informada de las condiciones que se están dando en cada momento en el motor. Por lo tanto, la UEC Diesel deberá conocer siempre el estado de temperatura del motor, por medio de un sensor que esté en contacto con el líquido de refrigeración y deberá conocer también la velocidad de régimen en la que se encuentra a cada momento el motor, debido a la información recibida desde el captador de velocidad.

En términos generales las partes más importantes del sistema de inyección electrónica se muestran en la figura A.29; la bomba de inyección (1), que en su interior tiene el mismo funcionamiento que las bombas de mando mecánico, la cual manda a los inyectores (2) el combustible a altas presiones.

Los dispositivos electrónicos de mando que constituyen el sistema son el corrector de avance (3), la electroválvula EGR (4) y la electroválvula de ralentí acelerado (5), los cuales reciben órdenes directamente de la UEC (6). Por otra parte, la UEC recibe constantemente información procedente del sensor del líquido de refrigeración (7) que se encuentra en contacto con este líquido para medir su temperatura. También recibe información del captador de velocidad de régimen (8), así como del potenciómetro de carga (9) que se encuentra en el pedal del acelerador y transforma en señales eléctricas el valor angular de su posición, otro elemento necesario por conocer es la temperatura del aire de admisión por medio de una sonda (10).



**Figura A.29 Sistema de inyección electrónica**

Con todos estos datos, la UEC puede determinar los valores convenientes que debe dar al avance y, en determinados momentos, a las electroválvulas que controla. Otra variable que registra la UEC es la del turbocompresor, esto para conocer su estado de giro que será proporcional a la cantidad de aire aspirado.

Cabe decir que en todas las instalaciones donde sea necesario la UEC, puede estar dotada de una toma de autodiagnóstico, con esto y la utilización de una interfaz conveniente, se puede interrogar la UEC sobre su estado y el de sus componentes periféricos, de modo que puede dar una exacta y rapidísima información sobre la causa de una determinada avería que se haya observado.

### Válvula de recirculación de gases de escape (EGR)

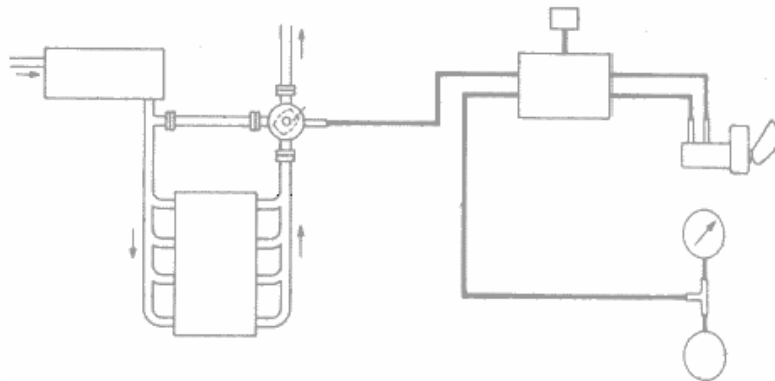
Los motores diesel en condiciones de trabajo para las ciudades es altamente contaminante debido a los pequeños motores empleados que deben funcionar a revoluciones muy altas para el ciclo diesel, con esto se tiene una combustión deficiente, lo cual repercute en altas emisiones de contaminantes. Las personas encargadas de la construcción de estos motores ha llegado a la conclusión de que al mezclar el aire de admisión con gases de escape, podemos disminuir el número de partículas contaminantes, principalmente óxidos de nitrógeno (Nox), que son de los más tóxicos al realizar la combustión. Para eso se construyó la válvula EGR que se encarga de suministrar una pequeña parte de gases del escape a la cámara de combustión, antes de realizarse ésta. Sería muy difícil hacer esto con principio mecánico, pero con la ayuda de elementos electrónicos como la UEC, se puede realizar esta tarea en el motor con cierta facilidad; esta solución es de gran importancia para el futuro del motor diesel en automóviles, ya que sin ella no podría pasar las pruebas de verificación constituidas y, con esto, tener las mismas posibilidades de homologación que los motores a gasolina.

En la Figura A.30, se muestran los elementos necesarios para realizar la mezcla de aire de admisión con gases quemados; vemos que el aire entra por un colector y a su vez se distribuye por los múltiples de admisión, también se muestra el múltiple de escape. Ambos se encuentran conectados a la válvula EGR que puede abrir o cerrar, permitiendo o no, la entrada de gases quemados al múltiple de admisión. Obviamente el problema se da al controlar esta válvula y esto se logra por la electroválvula regida por la UEC. Una propiedad importante de estos elementos aparte, de la electrónica, es su resistencia a las altas temperaturas y la forma de accionamiento que es de forma neumática de vacío, el cual se logra por una bomba de vacío.

Para que la UEC pueda determinar por medio de su electroválvula el tiempo de apertura de la válvula EGR, es necesario contar con valores de algunos parámetros importantes, como lo son:

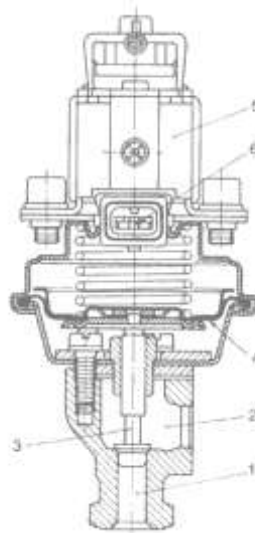
- La temperatura del aire
- La temperatura del líquido refrigerante
- La altitud sobre el nivel del mar
- La posición de la palanca del acelerador
- La velocidad de vehículo
- El régimen del motor

El funcionamiento se da a partir de una gran energía contenida en los gases de escape, este proceso dura hasta que la UEC determina el cierre en casos donde el aire de admisión es inferior a los 10°C, o cuando la temperatura del agua es inferior a los 40°C, o también cuando el régimen del motor es inferior a las 3,000 rpm, pues en estos casos el nivel de emisión de contaminación es mínimo y se halla dentro de los límites permisibles. Otras condiciones son que la válvula se cierra cuando el vehículo se encuentra inmóvil durante cierto tiempo, (35 segundos), y cuando se está a una velocidad mayor a los 40 km/h, la EGR se abre permitiendo la mezcla de los gases.



**Figura A.30 Distribución de equipo EGR**

La válvula EGR (Figura A.31). Se compone principalmente de un resorte, un diafragma y un trasvase de gases; el diafragma se contrae, jala al resorte y permite la mezcla de los gases. Se mueve por la acción de un electroimán que está en la parte alta de la válvula, el cual recibe impulsos de corriente procedentes de la UEC en unidades de tiempo específicas para que los gases quemados no entren en cantidad superior con el objeto de disminuir las emisiones de partículas contaminantes.



**Figura A.31 Válvula EGR**

*Válvula de control de la presión del aire del turbocompresor*

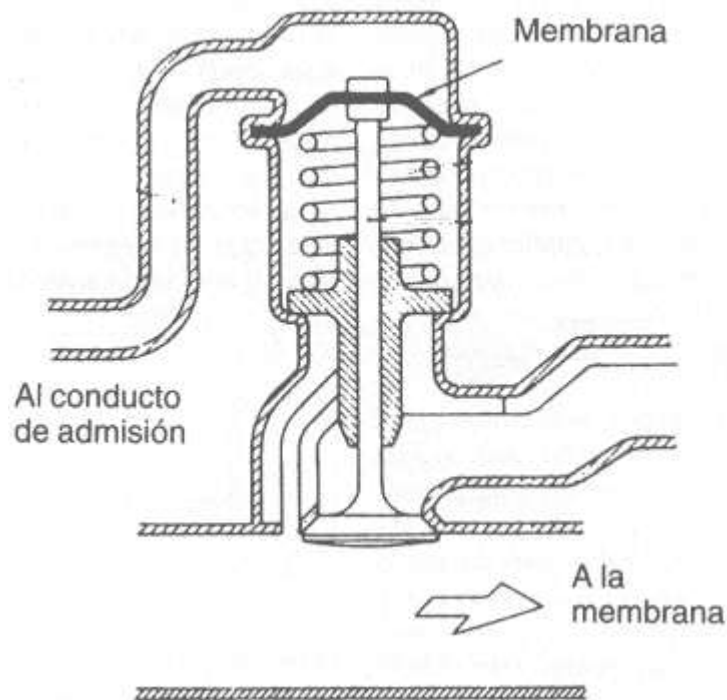
Su principal objetivo es inyectar más aire a la cámara de combustión, para que haya una mayor eficiencia volumétrica en el motor.

El turbocompresor es una máquina que aprovecha la energía cinética de los gases de escape para mover una turbina que comprime el aire de admisión y, por lo tanto, hace que penetre mayor masa de aire en el interior del cilindro en el momento de la admisión.

Este tipo de máquinas tienen problemas al momento de existir una variación enorme de revoluciones por minuto en su funcionamiento normal. Existen circunstancias en donde el motor puede arrojar grandes cantidades de gases por el escape, por lo que se tiene una gran velocidad en la turbina del turbocompresor ocasionando que haya un aumento de compresión hasta puntos elevados para el motor, por lo que se requiere una forma de regular esta masa de aire para obtener valores más o menos estables que resulten convenientes al motor.



Para regular el paso de aire en el turbocompresor, se cuenta con una válvula que puede derivar el exceso de presión del circuito de admisión al de escape, con lo que se consigue rebajar el valor de presión. La válvula tiene por nombre válvula de descarga (Figura A.32), y la función de ésta es desviar del conducto de los gases de escape parte del flujo que se tiene al momento de haber una gran cantidad de masa de aire que entra por el conducto de admisión. Esto se logra al momento de haber un exceso de giro en el turbocompresor, por lo que existirá una gran admisión, la cual hará que la válvula conectada al conducto de admisión se abra, debido a un diafragma que comprime un resorte, al comprimirlo se abrirá la válvula y permitirá que parte de los gases salga por otro conducto y así se disminuya el número de revoluciones en el turbocompresor, al momento habrá menos cantidad de gases de salida, disminuirá la presión y, por consiguiente, la válvula cerrará. Esto se realiza de forma constante, a fin de tener un funcionamiento adecuado en la admisión del aire.

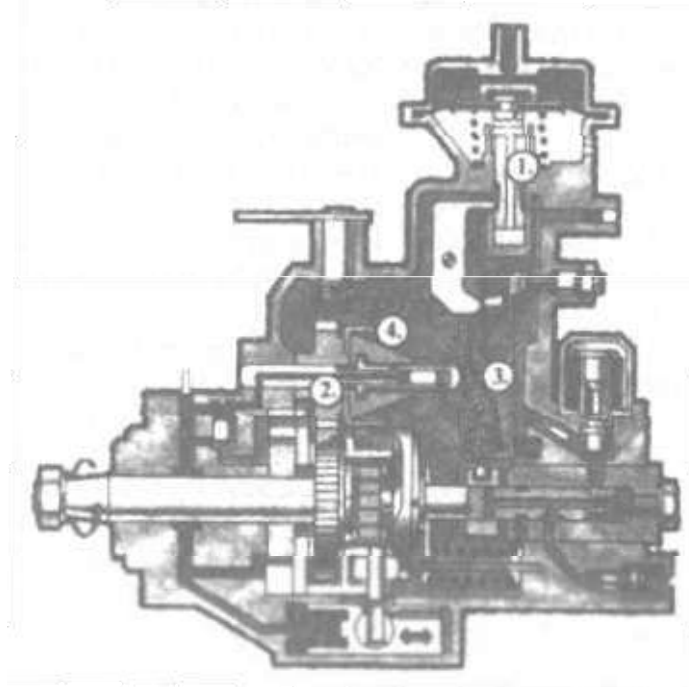


**Figura A.32 Válvula de descarga**

### Bombas electrónicas Bosch

Como se dijo, las bombas de inyección de combustible en los motores diesel, tienen el mismo principio al aumento de presión del combustible para ser inyectado en la cámara de combustión, esto a partir de émbolos o cilindros y pistones, en donde es comprimido el combustible, con el fin de aumentar la presión del mismo y con esto realizar la combustión más idónea para el mejor funcionamiento del motor.

En la actualidad, la casa Bosch ha realizado muchos cambios significativos en las bombas de inyección, esto para la implementación de motores diesel en automóviles, lo que quiere decir motores pequeños que giren a velocidades altas, por lo que se han implementado válvulas electromagnéticas en bombas de inyección rotativas y es cuando se comienza con la ayuda de la electrónica para motores diesel. Estos dispositivos dan a las bombas un mejor funcionamiento en la inyección, la regulación y el paro del motor, para lograr un mejor funcionamiento en los motores diesel a fin de obtener una mejor combustión, logrando una reducción de consumo de combustible y una disminución considerable de agentes o partículas contaminantes (Figura A.33)



**Figura A.33 Bomba Electrónica Bosh**

### Sistema EDC

En estos momentos se tienen sistemas de electrónica que prácticamente son los encargados de realizar la tarea de mantener un funcionamiento ideal en los motores diesel, por ejemplo el EDC (Electronic Diesel Control) (Figura A.34), constituido de una bomba tipo rotativa (1), conformada por un dispositivo de dosificación (2), el conector de la electroválvula de dosificación (3) y la válvula de paro (4), de la que se han visto sus funciones. La bomba, en la parte superior, cuenta con un sensor de copia o de posición de la válvula de control (5) y el sensor de la temperatura del combustible (6). Como se dijo, en la inyección electrónica es importante la UEC (7), que se encarga de recibir y mandar impulsos electrónicos para el funcionamiento de todos los elementos constituidos en el sistema electrónico de inyección. Los elementos que son necesarios para el buen funcionamiento de las bombas electrónicas son como se muestra en la figura; un inyector provisto de sensor de alzado de aguja (8), que interviene en la información que necesita la UEC para controlar el sistema de avance de la inyección. Por otro lado, se tiene el sensor de posición del cigüeñal (9), que manda información necesaria para el control de la dosificación y del avance de la inyección. El medidor de masa de aire (10) se encuentra dentro del múltiple de admisión y trabaja por el principio de hilo o placa caliente. Otros sensores son los de temperatura del refrigerante (11), del aire de admisión y sobrealimentación (12), que está relacionado con el turbocompresor al ser éste el que da la cantidad de aire. Existen interruptores de mando que corresponden al interruptor del pedal del freno (13), al de las luces de paro de los frenos (14) y al interruptor del pedal del embrague (15), con estos elementos la UEC determinará la masa de combustible en la inyección. El sensor del pedal acelerador es una parte importante para la UEC al encargarse de determinar la dosificación conveniente.

La UEC, al obtener información de los elementos antes mencionados, los procesa y manda órdenes a los siguientes elementos que son, en primer lugar, la bomba de inyección con sus electroválvulas de mando antes mencionadas. Controla el funcionamiento de la válvula de vacío (17) para el control de los gases de escape (EGR), así como el control de la presión de sobrealimentación que se tiene en el múltiple de admisión por medio de la electroválvula reguladora de presión (18), por medio de la cual se controla el valor máximo de esta presión.

Por último, se tiene la luz de testigo de funcionamiento (19), a la que la UEC manda una señal en cuanto se produce una irregularidad en el circuito como una avería. Se tiene la entrada de señal desde el conducto (20) para conocer a la velocidad a la que circula el automóvil. Algunos vehículos cuentan con climatización, por lo que el circuito eléctrico cuenta con un conducto adicional (21). La toma de diagnóstico se realiza por el puerto (22), que recibe información y la aporta a la UEC, según las circunstancias.

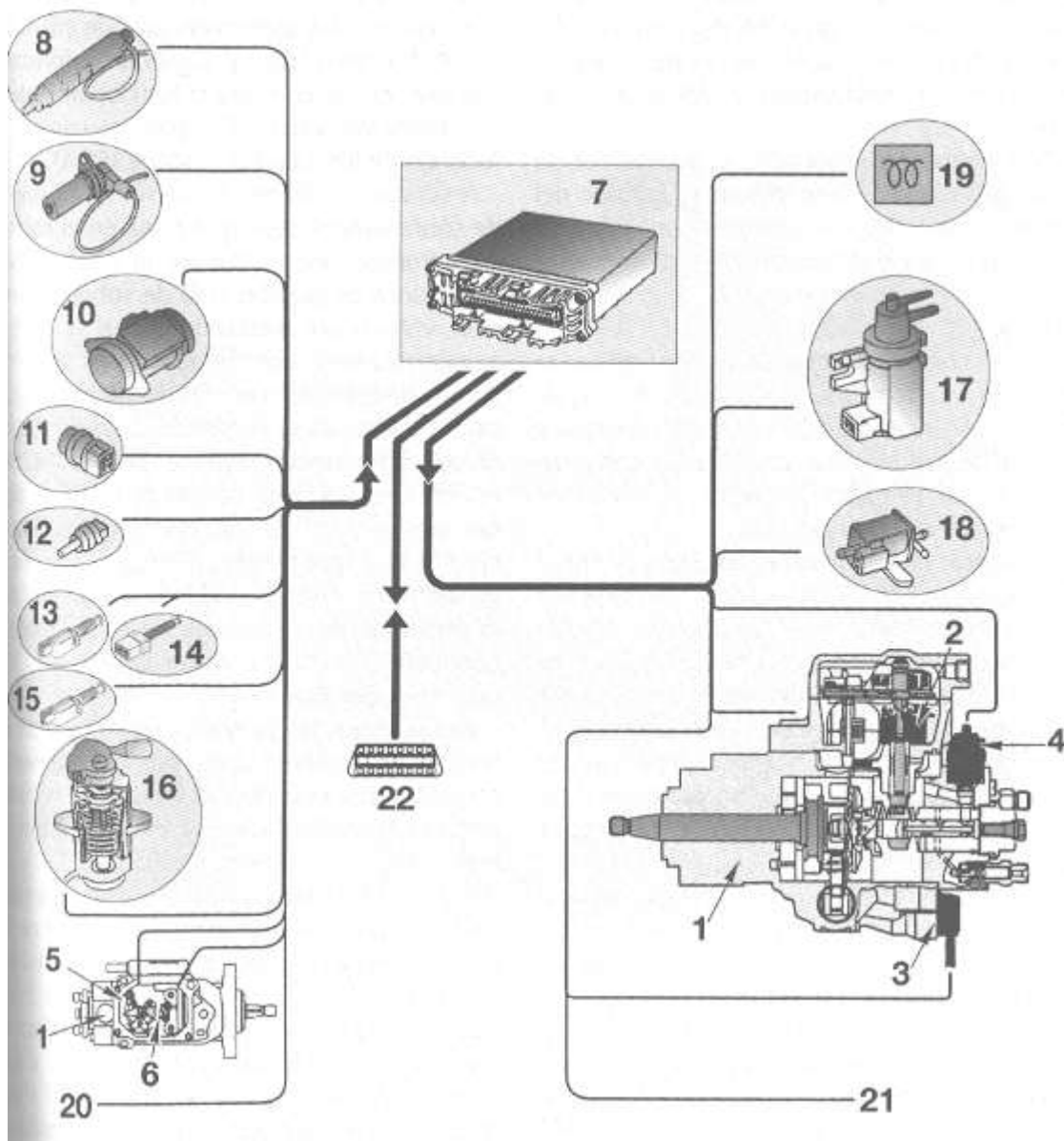
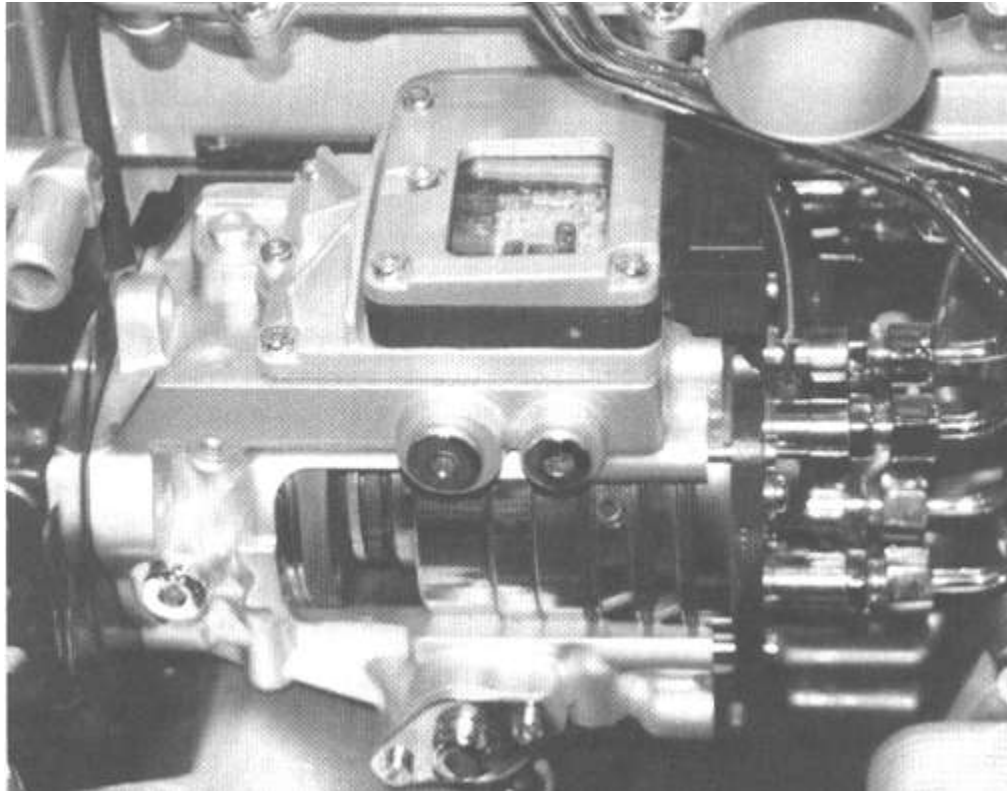


Figura A.34 Sistema de control electrónico Diesel (EDC)

La figura siguiente muestra una bomba de mando electrónico (VP 37 R 510 ) para un motor diesel, utilizada por la casa automotriz Ford

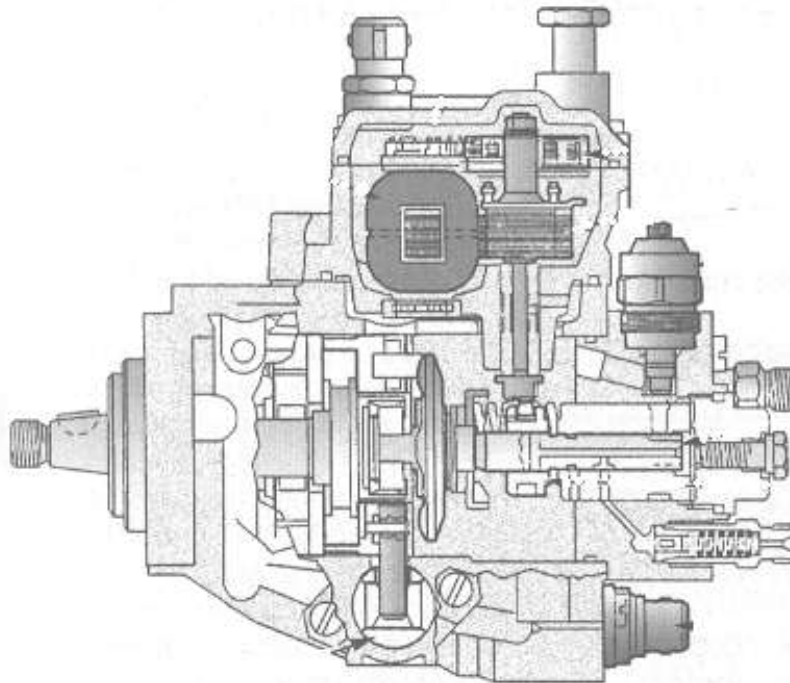


**Figura A.35 Bomba VP 37 R 510**

### *Bombas electrónicas Bosch VP*

Las bombas de inyección de la serie VE han sido modificadas y adaptadas a las exigencias que requiere la presencia de elementos de control electrónico. Esto da origen a la serie VP; estas bombas sustituyen la palanca de carga, su varillaje y muelles calibrados por un sistema eléctrico de regulador del caudal, mientras una electroválvula controla el avance de la inyección.

En el caso de las bombas VP, se tienen cambios en la dosificación del combustible consiguiendo aceptables resultados para el control de los gases contaminantes, el aumento de las prestaciones y la economía de consumo, cualidades fundamentales que hacen distinguir todo equipo electrónico. De aquí se tienen diferentes tipos de bombas que se clasifican por series, por ejemplo, la VP36 que se muestra en la figura A.36.



**Figura A.36 Bomba de mando electrónico VP36**

En esta bomba se encuentran dispositivos electrónicos que forman el regulador de caudal, siendo una de las características principales del sistema. Se conforma de un electroimán que transmite las órdenes de la UEC al regulador del caudal (2), que actúa directamente sobre el collarín desplazable (3), que es el que controla la alimentación del combustible del pistón de alta presión (4). Por otro lado, en la parte alta de la bomba, nos encontramos con el captador de copia (5), de la posición del eje de regulación, una sonda de información para la UEC. Otro elemento es la electroválvula de regulación de avance (6), que actúa sobre el pistón de avance (7), la válvula de paro (8) y una sonda de temperatura del combustible. Todos estos elementos son controlados por la UEC.

### Regulador de Caudal

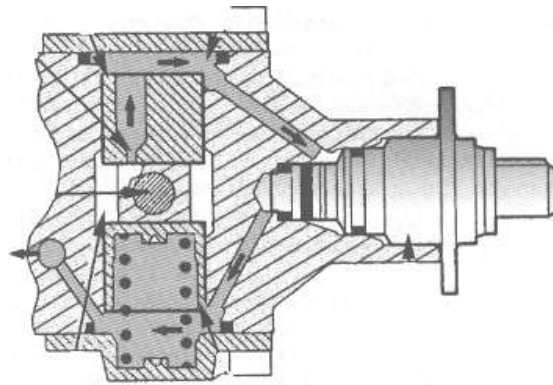
Funciona con las variables que se presentan a continuación:

- Las órdenes dadas por el conductor a través del pedal acelerador
- El caudal máximo admisible en aquel momento, de acuerdo con el estado del motor
- La cantidad de aire que está entrando en los cilindros
- El caudal de plena carga

Con estas condiciones, el electroimán tiene diferentes cargas y con esto el pistón inyector se mueve abriendo o cerrando la entrada de combustible en la cámara donde será comprimido, para ser llevado por los conductos y los inyectores a la cámara de combustión.

La UEC, considerando los parámetros especificados por el fabricante, hace disminuir el caudal de combustible para mantener controlado el funcionamiento del motor.

La regulación de avance para los motores diesel es importante para tener una combustión más exacta. Con la ayuda de la electrónica se ha podido controlar de una forma más eficaz el avance de la inyección, por medio de una electroválvula que controla la presión hidráulica de acuerdo con las órdenes que recibe de la UEC. Este dispositivo funciona con la presión interior de la bomba donde, al haber altas o bajas de presión debidas a la electroválvula, se da movimiento al eje del anillo porta rodillos y con ello el avance de la inyección en cada cilindro. La UEC determina los impulsos de la electroválvula para obtener los grados de avance necesarios, partiendo de la información que recibe sobre el régimen de giro en la que se halla el motor en ese momento, más la información del caudal del combustible.



**Figura A.37 Electroválvula para control de presión hidráulica**

La UEC compara constantemente la cantidad de combustible inyectado con la que requiere realmente el motor, por lo que se cuenta con el captador de copia de la posición del eje de regulación, con este dispositivo la UEC sabe en qué posición se encuentra el collarín desplazable, y así considerar si el flujo de combustible es el correcto. Este dispositivo consta de dos bobinas las cuales se encuentran en la parte superior de la bomba rodeadas de un anillo metálico, produciendo inductancia en las bobinas que son señales para la UEC al momento en que el anillo metálico se mueve.

Los dispositivos con que cuentan los sistemas de inyección tipo VP, se muestran en la Figura A.38, iniciando con la bomba de inyección (1) y su interrelación con la UEC (2), que funcionan con corriente, por lo que es necesario contar con una batería (3), un interruptor de contacto (4) y el relé doble de inyección (5), del que depende la información de la luz testigo de precalentamiento (6).

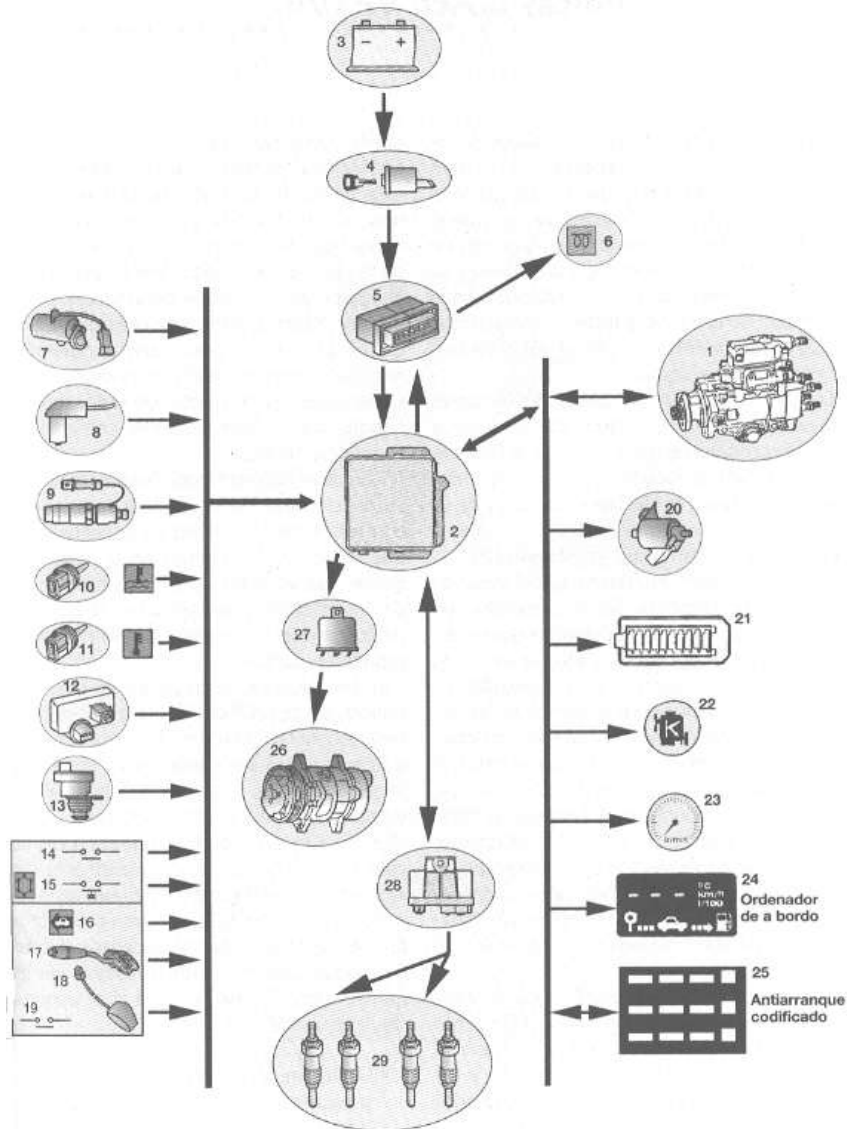
Se cuenta con sensores y captadores de señal como son el captador del pedal del acelerador (7), el captador del PMS del primer cilindro (8) de tipo inductivo y produce una señal cada 90° del volante del motor, es decir cuatro veces por una vuelta del motor, las pulsaciones se producen 5° después del PMS captando la posición de la distribución y el régimen del motor. Un inyector está provisto de un captador de aguja (9), para conocer con exactitud el comienzo de la inyección y puede realizar, si es necesario, una corrección



dinámica que se hace sensible de inmediato en el variador de avance. Las sondas de temperatura del refrigerante (10) y del aire de admisión (11), sirven para que la UEC determine el tiempo de precalentamiento y postcalentamiento del motor, el caudal de arranque o el del régimen de ralentí y, en general, para el suministro de combustible cuando el motor esté en funcionamiento. El captador de presión (12) que registra la presión del aire en el múltiple de admisión, y el captador de velocidad del vehículo (13). Elementos de la climatización del vehículo interruptor de clima (14) y el reóstato (15). Interruptor de regulación de velocidad (16) y un conmutador (17), además de un control desde el contacto de paro (18) y el empalme del embrague (19).

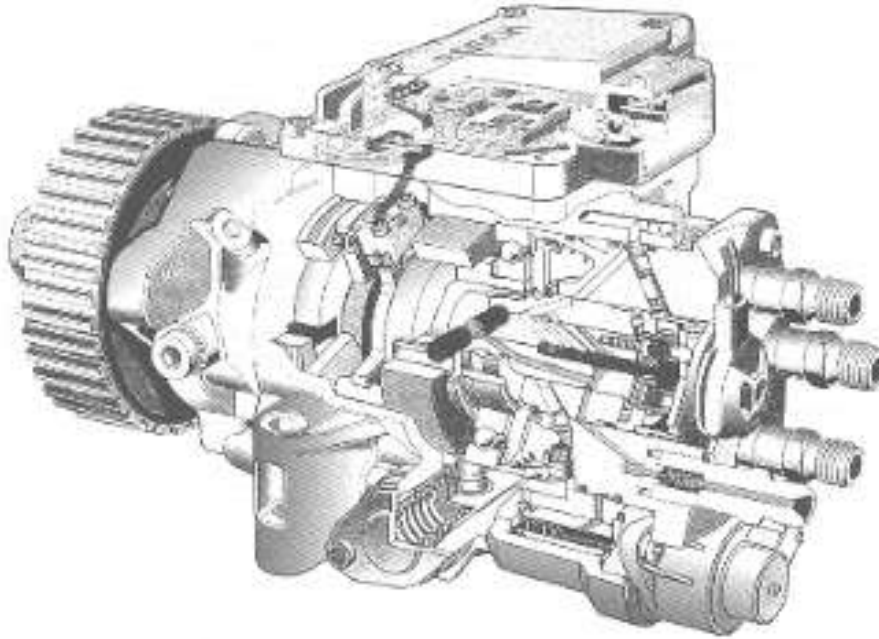
Otra variable que registra la UEC es el de recirculación EGR (20), que como ya se mencionó, tiene la tarea de reciclar los gases ya quemados para disminuir los óxidos en la combustión, en determinados regímenes del motor.

Se cuenta con una toma de diagnóstico (21), en la cual se registran las averías que puede sufrir el motor durante su funcionamiento, el conductor puede darse cuenta de éstas al prenderse la lámpara testigo de diagnóstico (22) que se encuentra en el panel de instrumentos del vehículo. Si el éste se encuentra provisto de una computadora abordo, la UEC se hace cargo de su control (24), y lo mismo ocurre si el sistema consta de un antiarranque codificado (25). El aire acondicionado tiene dispositivos como el compresor (26) que funciona debido al relé (27) de conexión y desconexión, ya que puede desactivarse el aire acondicionado en determinadas condiciones. Al estar el motor frío se necesitan precalentadores y se conforman de una caja (28) y sus calentadores correspondientes (29), colocados en cada uno de los cilindros del motor.



**Figura A.38 Dispositivos del sistema de inyección tipo VP**

Hasta nuestros días se han mejorado de manera considerable las bombas de inyección diesel, especialmente rotativas, debido a su uso en motores pequeños. Actualmente la serie VP ha llegado hasta la VP44, que tiene elementos que hacen más precisa la inyección, reduciendo el consumo de combustible y, a su vez, la disminución de agentes contaminantes.



**Figura A.39 Bomba de mando electrónico Bosh**

Otro equipo de inyección electrónica diesel es el AS3, con bomba VP20 (Figura A.40), que es uno de los equipos más utilizados para automóviles compactos. Cuenta con elementos similares a los que forman otros sistemas ya mencionados, pero es importante destacar su sistema electrónico, que consiste en una bomba de inyección (1), el potenciómetro del pedal acelerador (2), la electroválvula del control de avance (3) y la válvula de paro (4). Por otro lado, tenemos la UEC (5), que es la encargada de mandar todas las órdenes de inyección en función de las diferentes variables que recibe de los sensores y captadores como el captador de alzado de la aguja del inyector (6), el de régimen y PMS del motor (7), las sonda de temperatura del líquido refrigerante (8) y el captador de velocidad del automóvil (9). Otros elementos importantes son la electroválvula de mantenimiento de ralentí (19) y la electroválvula EGR (20), todo integrado en un sistema eléctrico que se alimenta por la batería (10) y el alternador (11), además cuenta con el motor de arranque (12), el interruptor que controla la corriente de salida del circuito generador (13), los bornes equipotenciales (14) que distribuyen la corriente hacia el combinado del panel de instrumentos (15), la caja de

fusibles (16), el relé doble multifunción (17) y otra caja de fusibles en el interior del habitáculo.

Tenemos un circuito de precalentamiento conformado por cuatro bujías (21) y su correspondiente cajetín (22), cuyo funcionamiento es registrado por la lámpara testigo de funcionamiento (23). El equipo de climatización consta de un controlador (24), el control de aceite desde el manómetro (25), cuya lámpara testigo se indica con el número (26), así como el contactor de inercia (27). Como en todos los vehículos de mando electrónico, tiene un conector de toma de diagnóstico, el teclado antirrobo codificado (29), el reóstato de iluminación (30) y la caja de maxifusibles (31). Estos son los elementos que conforman el equipo de inyección y son utilizados regularmente en vehículos compactos.

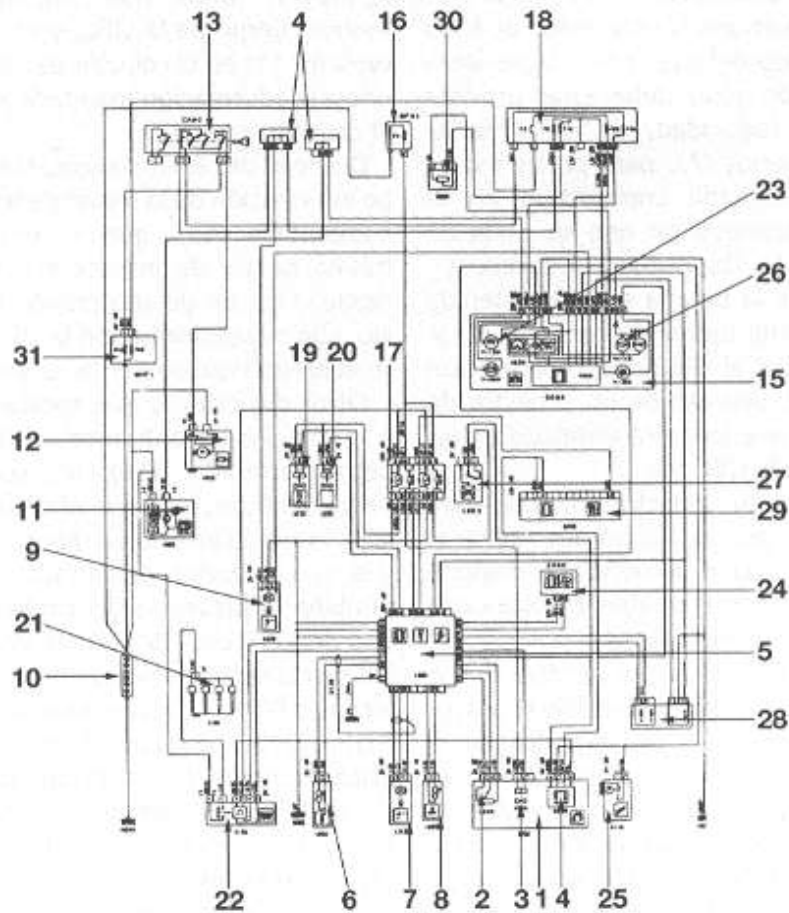


Figura A.40 Equipo de inyección electrónica diesel es el AS3 con bomba VP20

### Sistema de inyección mediante riel común "Common Rail"

Otro equipo muy importante en la inyección electrónica diesel es el llamado "*Common Rail*", que en la actualidad esta tecnología ha sido adoptada por diversas marcas de vehículos obteniendo resultados favorables (Figura A.41).

En la inyección de acumulador *Common Rail* se realizan por separado la generación de presión y la inyección. La presión de inyección se genera independientemente del régimen del motor y del caudal de inyección y está a disposición en el Rail para la inyección. El momento y el caudal de inyección se calculan en la unidad de control electrónica y se realizan por el inyector en cada cilindro del motor, mediante el control de una electroválvula. En este tipo de inyección se maneja una batería (1) de 12 volts, pero con un gran amperaje, 400 (A), necesaria para mover un motor de elevada compresión en el momento del arranque y su funcionamiento no afecte a los demás circuitos electrónicos.

La corriente se encuentra retenida por el contacto (2) que se manipula con la llave y, por otra parte, por el relé doble multifunción de inyección (3) y la UEC (4). El conector de la UEC (5) que está provisto de 88 bornes, ejerce el control de la inyección secuencial y dispone de una memoria reprogramable. La UEC con la información recibida hace el procesamiento de los datos de acuerdo con el programa implantado en el procesador de la unidad electrónica, con esto aparecen órdenes que se distribuyen a los dispositivos de mando y control del motor, como inyectores y electroválvulas que van desde la regulación de presión de sobrealimentación hasta la de reciclaje EGR.

En este equipo se tienen más sensores como el del árbol de levas (6) y el captador de régimen de giro del motor (7), junto con el sensor de la temperatura del líquido refrigerante (8), que se encuentra en la caja de agua (9). También tenemos el captador de la presión atmosférica (10) y el captador de presión en el colector de admisión (11), y es registrada por el caudalímetro (12). La UEC recibe información desde el circuito de combustible con una sonda para medir su temperatura (13) que se encuentra en el mismo riel de inyectores (14), y

también del sensor de alta presión (15), con el cual se registra y controla la presión en el riel. Se obtiene información del captador del pedal acelerador (16), los captadores del freno, uno para cuando se encuentra el pedal en reposo (17) y otro cuando se tiene el pedal en uso (18). El captador de velocidad del vehículo (19), instalado en la caja de velocidades, el cuenta revoluciones (20) y el informador del consumo del motor (21), el contactor del pedal del embrague (22) y, en el caso de un sistema antirrobo, un sistema de bloqueo electrónico del sistema de arranque (23) y se tiene la lámpara de testigo con el que el operador sabe cuándo el equipo tiene alguna falla. Además de verificar que el funcionamiento de precalentamiento del motor sea el indicado para poner en funcionamiento el motor (24, 25, 26).

En el caso de la parte hidráulica, tenemos en primer lugar el depósito de combustible (27), donde se encuentra la electrobomba (28) de alimentación, la cual llega a tener una presión de siete bares, que llega al filtro principal (29) que mantiene la presión estable por un regulador, hasta el punto de llegar a la bomba de alta presión a una presión constante de 2.5 bares. En el interior de la bomba de alta presión, se encuentra un regulador de alta presión (31) y el desactivador del tercer pistón (32) de la misma bomba, para el desfogue de combustible en el caso de existir sobrepresión. Por lo tanto, el combustible, al pasar por la bomba de alta presión, alcanza presiones superiores a los 1,000 bares y es transportado por un riel, conectado a los inyectores los cuales abren y cierran debido a electroválvulas internas que determinan su abertura de acuerdo con la orden secuencial que reciben de la UEC, de acuerdo a las variables que se tengan en el funcionamiento del motor. Igual que en los casos anteriores, el equipo de inyección de combustible, consta de sensores en el circuito de admisión, así como a la salida de los gases y elementos adicionales, un intercambiador de calor a la salida del riel de inyectores para disminuir la temperatura del combustible que no sea ocupado ya que, como se sabe, al aumentar la presión a grandes magnitudes, también aumenta la temperatura.

Es muy importante decir que este sistema tiene muchas ventajas sobre los sistemas anteriores por su capacidad de aumentar la potencia del motor, debido al tipo de inyección que se tiene, además de disminuir el consumo de combustible y el ruido del motor. La

simplificación del mecanismo de la bomba inyectora y la notable mejora en la relación aire/combustible, con lo que se obtienen gases de escape menos contaminantes.

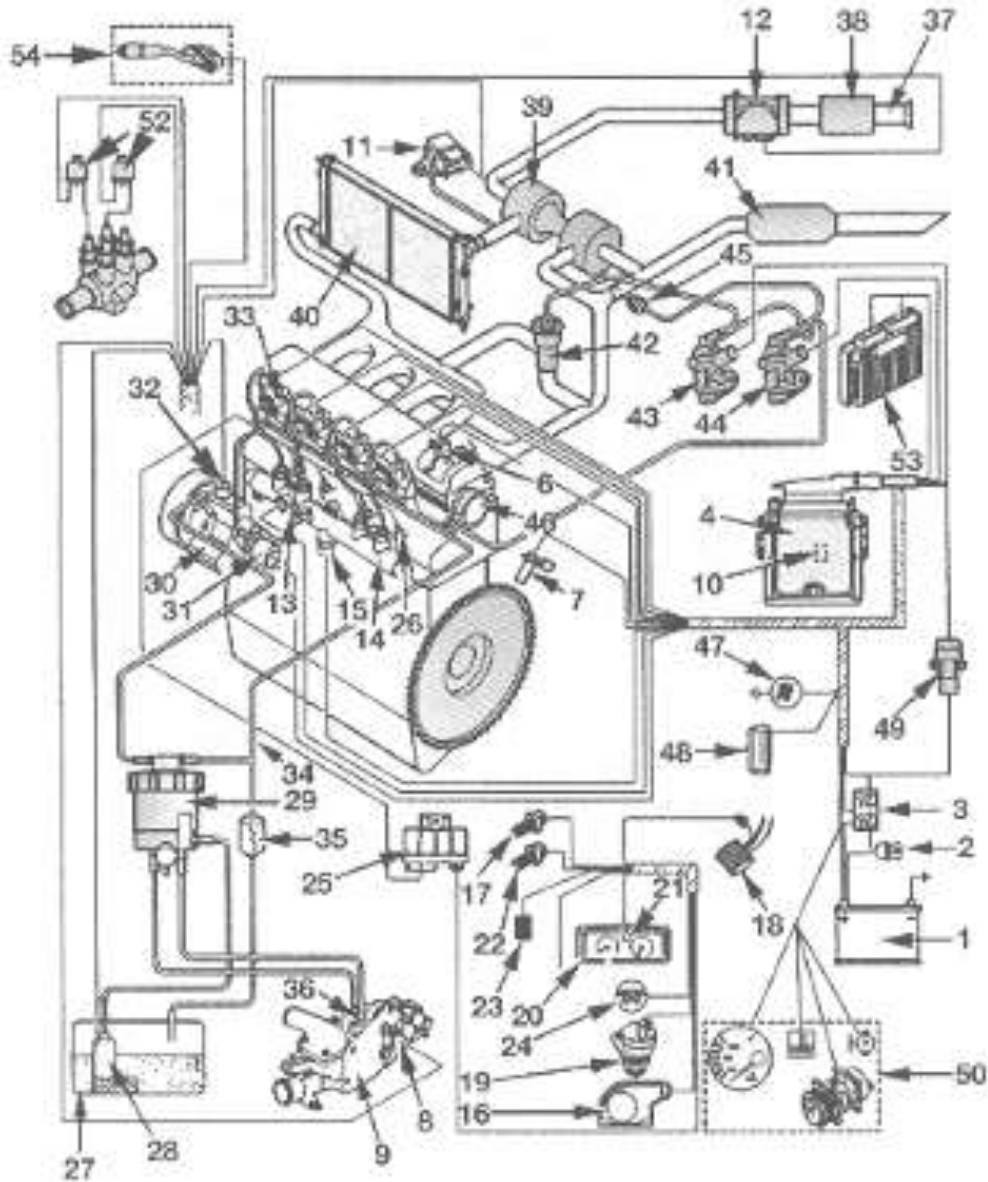
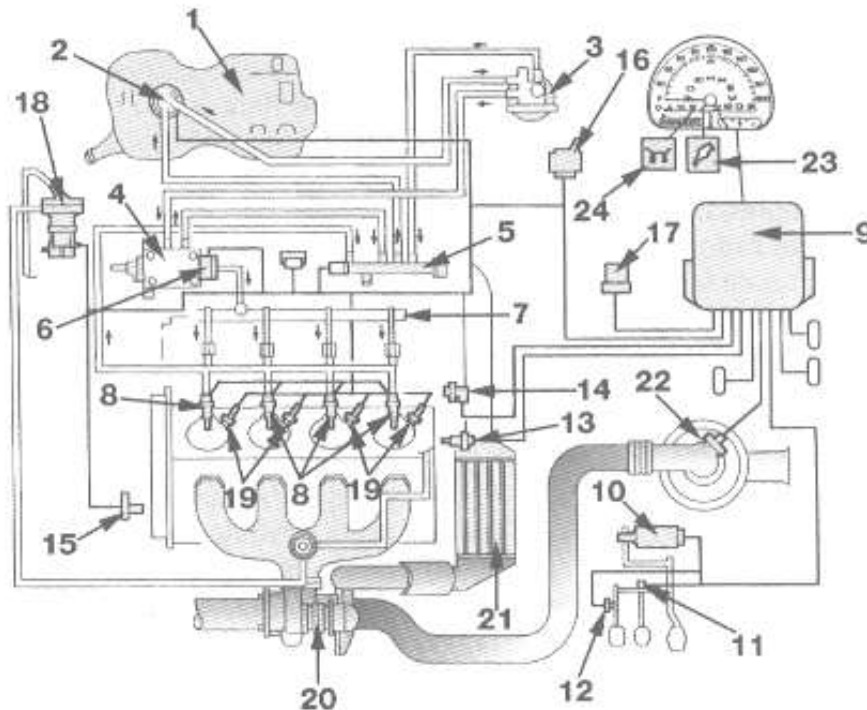


Figura A.41 Sistema de Inyección de Riel Común

### Sistema JTD

Trabaja bajo el principio del sistema *Common Rail* que tiene mejoras muy grandes con respecto a los sistemas comunes. Este motor, como se ve en la figura consta, de un intercambiador de calor, un turbocompresor y la adaptación de un riel de inyectores.

El equipo cuenta con un depósito de combustible (1), en cuyo interior se encuentra una bomba de baja presión (2), que pasa por el filtro de combustible (3) para que éste llegue por un lado a la bomba de alta presión (4) y por el otro al sensor de combustible (5) que se encuentra en el conducto de retorno de combustible, esto a una presión regulada. La bomba de alta presión está provista de un regulador de alta presión (6), por donde circula el combustible a una presión alta, pero regulada hasta llegar al riel de inyectores (7), que es el encargado de alimentar a todos los inyectores (8) en el motor. La UEC es la encargada del control de tiempo de abertura de los inyectores y de la cantidad de combustible que deben suministrar en cada inyección, esto lo hace dependiendo de la información que le llega por vía de los sensores. Los elementos mencionados son los más destacables en el funcionamiento de este sistema, ya que el resto de los elementos cumple las mismas funciones mencionadas en otros sistemas ya descritos.



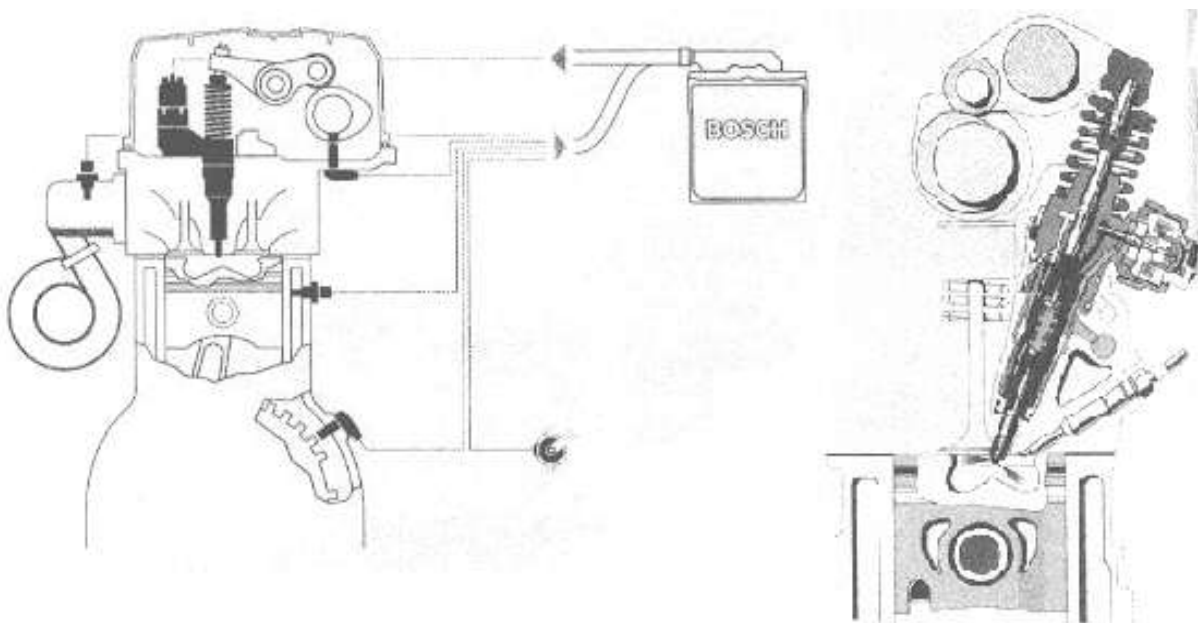
**Figura A.42 Sistema de Inyección JTD**



La unidad bomba-inyector y la bomba-tobera-inyector

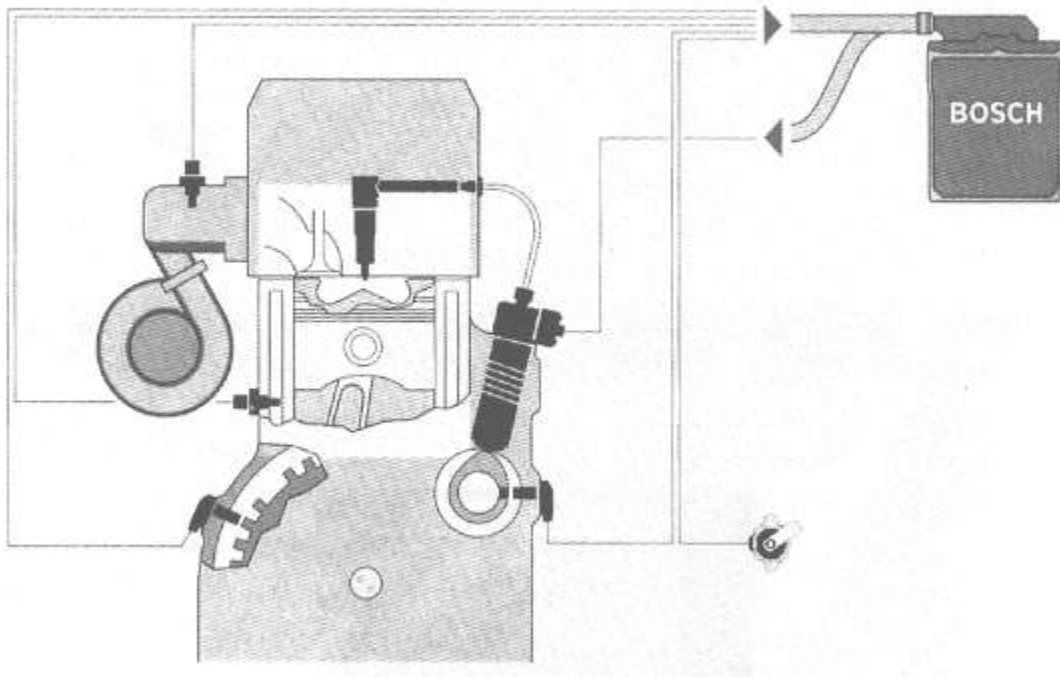
La bomba inyector (UPS, Unit Pump System) y la bomba-tobera-inyector (UIS, Unit Injection System), son sistemas de inyección de alta presión controlados electrónicamente y de construcción modular para presiones de hasta 1,800 bares. Estas bombas individuales se accionan por el árbol de levas. Unas válvulas electromagnéticas de conmutación rápida permiten controlar libremente el comienzo y la cantidad de inyección. El control electrónico flexible también toma en cuenta todos los estados del motor registrados en el sistema, así como las influencias ambientales.

La unidad bomba-inyector (Figura A.43), se monta directamente en la cabeza del motor. El accionamiento como bomba de inyección de un cilindro con válvula electromagnética e inyector integrado, tiene lugar por medio del árbol de levas del motor, a través de una palanca basculante. La inyección se realiza mediante el cierre de la válvula electromagnética. En este proceso, el momento de cierre determina el comienzo de la inyección y el tiempo de duración del cierre la cantidad de combustible inyectado. La válvula electromagnética se regula a través del módulo de control de la regulación electrónica diesel (EDC)



**Figura A.43 Sistema Bomba-Inyector**

El sistema bomba-tobera-inyector (figura A.44) trabaja según el principio de la unidad bomba-inyector, crea mayor libertad constructiva en lo que se debe a la disposición del árbol de levas, en el bloque del motor. Puesto que se emplean inyectores convencionales, la bomba-tobera-inyector es especialmente adecuada para diámetros de cilindro pequeños y también para la técnica de cuatro válvulas con posición central del inyector.

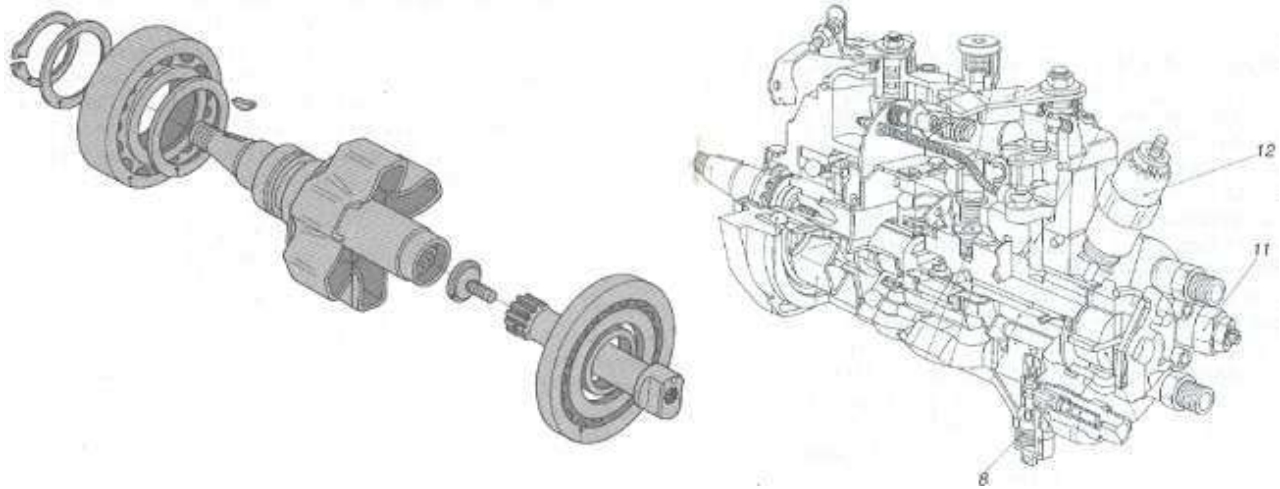


**Figura A.44 Sistema Bomba-Tobera-Inyector**

### *Evolución de las bombas electrónicas Lucas*

Las innovaciones de las bombas Lucas son similares a las propuestas por la casa Bosch, pero es importante mencionarlas. En primer lugar tenemos en (12), el montaje de la válvula electromagnética de paro, la válvula reguladora de presión (11) y la válvula diferencial de sobrecarga (8), que son utilizadas para las tareas de la inyección de combustible en el momento exacto, dependiendo de las condiciones de manejo y funcionamiento del motor.

El eje de la bomba está conformado por elementos que ya se estudiaron en las bombas mecánicas y, con esto, podemos decir que el principio de funcionamiento en las bombas de inyección es el mismo (Figura A.45)



**Figura A.45 Bomba electrónica Lucas**

*Bombas electrónicas Lucas DPC-FT*

Ésta es la primera bomba de mando mecánico que Lucas sacó al mercado. Se trata de una bomba de tipo rotativo y elementos electrónicos, como la electroválvula, que son controladas por la UEC, así como la válvula EGR, el sistema de precalentamiento y poscalentamiento, aire acondicionado y el conector de diagnóstico para obtener las averías del sistema. Todo esto se logra debido a la intervención de los sensores de temperatura, de presión, captadores de velocidad del vehículo, la posición del cigüeñal y su velocidad de giro; con esto se logra una inyección óptima y en el momento correcto para el buen funcionamiento del motor.

Comenzaremos a mencionar algunos de los muchos elementos que constituyen el equipo de inyección con bomba Lucas FT y que se muestran en la Figura A.46. Iniciando con la bomba de inyección (1) en la parte trasera del motor, a la cual están conectados los inyectores (2), la UEC (3) la cual realiza la labor del momento de inyección o la válvula de ralentí acelerado, la válvula de avance y de paro (4), que se encuentran en la bomba de inyección. Se tiene

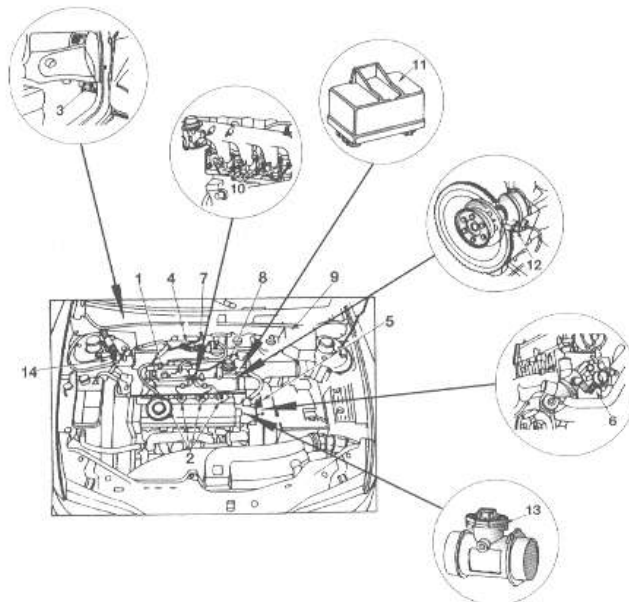
una cantidad de sensores importante, como el que mide la temperatura del aire (5) y la sonda de la temperatura del líquido refrigerante (6), como se muestra en la Figura A.46.

La electroválvula moduladora del EGR (7) es la encargada de reciclar los gases de escape, como en el caso anterior, mientras que en (8) tenemos el lugar de la válvula EGR y con el número (9) se tiene el fusible de protección de la centralita de precalentamiento, en (10) las bujías de precalentamiento y su centralita (11).

El sensor que mide las revoluciones del motor se tiene en (12), el medidor del caudal del aire (13) y por último la toma de diagnóstico (14).

En el caso de las bombas Lucas de este tipo, se tienen cinco circuitos, que logran que se tenga una inyección adecuada en el momento preciso, se mencionan a continuación:

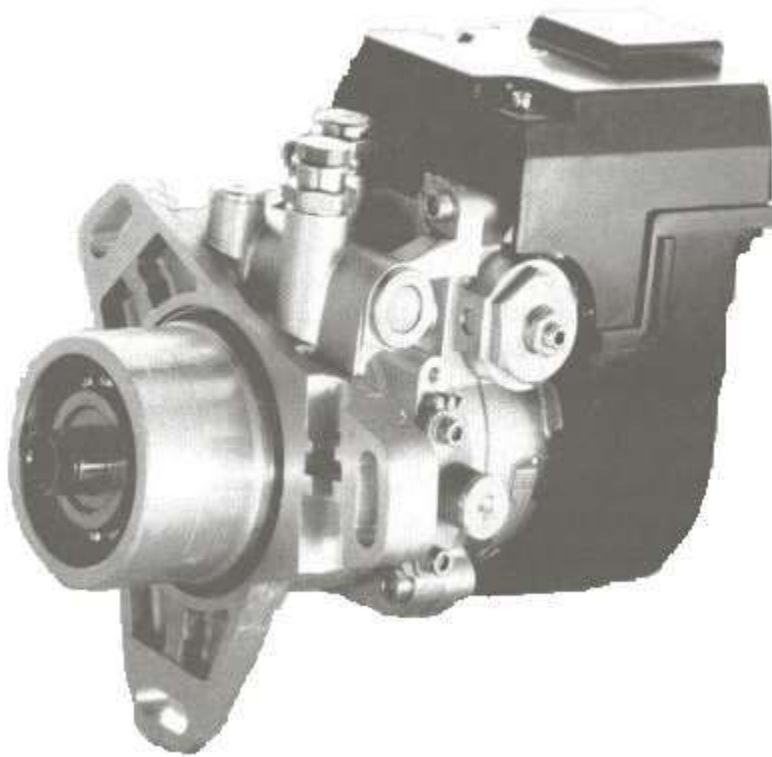
- Aspiración de aire
- Alimentación de combustible
- Circuito de la UEC
- Recirculación gases de escape (EGR)
- Recirculación de vapores de aceite del motor



**Figura A.46 Elementos de una Bomba Lucas DPC-FT**

### Bombas Lucas EPIC

Se han logrado grandes cambios en la inyección de combustible en los motores diesel. Al igual que la casa Bosch, con la serie VP, la casa Lucas se ha dedicado a implementar un sistema electrónico a sus bombas con la serie EPIC (Electronically Programmed Injection Control), que puede traducirse como control de inyección programado electrónicamente. En la siguiente figura se muestra una bomba de inyección rotativa, que en el transcurso del tiempo ha tenido cambios con respecto a reforzarse para conseguir mayores presiones de inyección, para obtener mejor funcionamiento en los motores diesel.

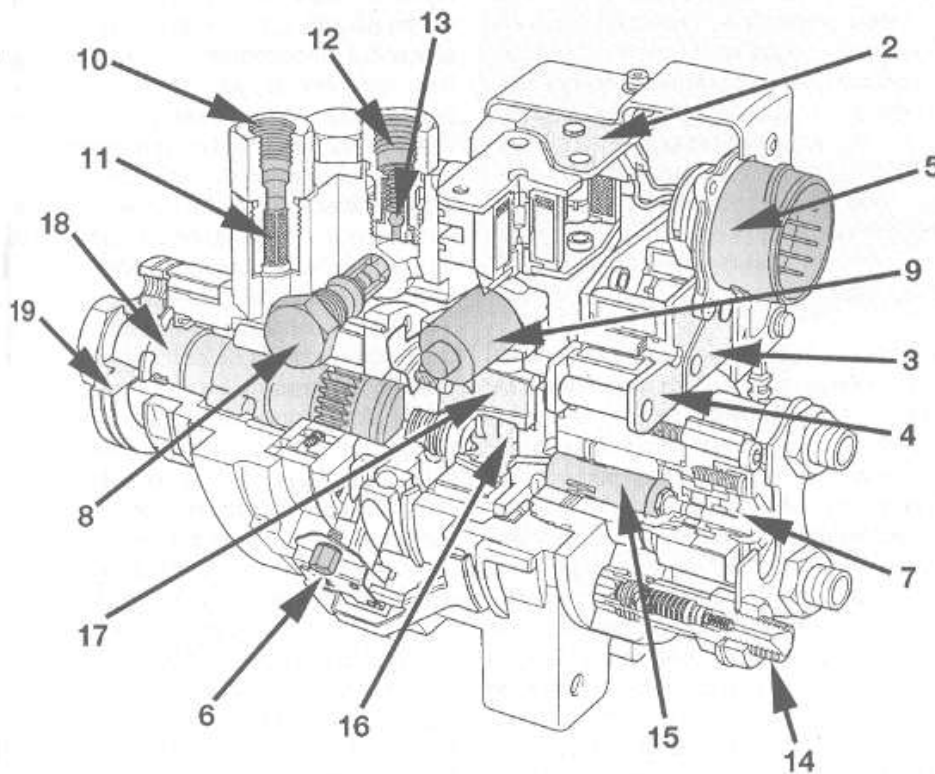


**Figura A.47 Bomba Lucas de la serie EPIC**

En la Figura A.48 se muestran elementos de una bomba de la serie EPIC, que podemos considerar como primordiales para el funcionamiento de las bombas totalmente electrónicas, como la electroválvula reguladora de paro (1), la electroválvula reguladora de descarga (2), la electroválvula reguladora de calado de la inyección (4), que trabajan por las órdenes de la

UEC a través de su conector general (5). Otra información que recibe la UEC proviene del sensor de revoluciones (6) y de la posición del eje rotor. Otro sensor importante es el que indica a la UEC la posición del anillo de levas (7). Los elementos de reglaje de la bomba los tenemos en (8), la válvula reguladora de la presión de transferencia y en (9), el pistón de calado de la inyección.

La entrada de combustible (10), pasa primero por un filtro primario; aun así se tiene un filtro interior (11) en la bomba, en (12) nos encontramos con la tubería de salida del combustible de retorno o sobrante, en cuyo interior se aloja la válvula de mantenimiento de la presión (13) y los demás elementos que se muestran son los que se tienen en las bombas mecánicas y que se conoce su funcionamiento.



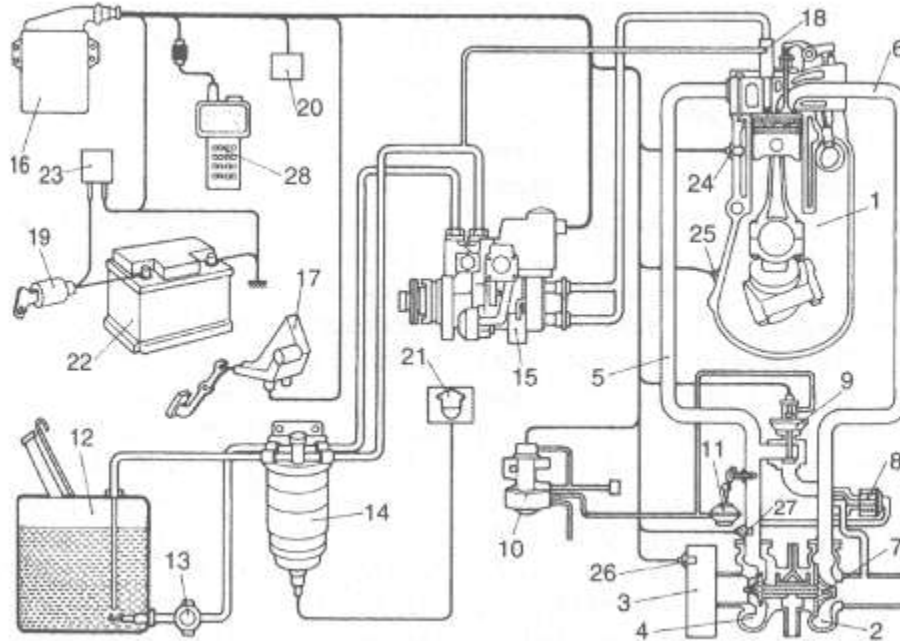
**Figura A.48 Elementos de una bomba Lucas de la serie EPIC**

### Sistema EPIC

La diferencia en este tipo de bombas electrónicas, radica en que los circuitos de mando no son controlados por válvulas hidráulicas si no por electromagnéticas dependientes directamente de la UEC e introducidas dentro de la bomba, formando un cuerpo compacto.

Por lo que podemos decir que la diferencia primordial de este equipo, es la bomba de inyección, en la siguiente Figura A.49, se muestran las partes fundamentales del equipo EPIC, y comenzamos con el motor diesel (1), el turbocompresor que es parte de la entrada y salida de gases, el filtro de aire (3), el cual limpia el aire que entra al múltiple de admisión (5), por el rodete compresor (4), esto lo logra por la salida de los gases quemados (6), los cuales mueven a la turbina del turbocompresor (7). El control del turbocompresor se efectúa a través de la válvula de descarga (8), y la entrada de los gases reciclados por la válvula EGR (9). Se tiene una válvula de dos posiciones que controla el funcionamiento de la EGR y el paso de entrada de aire limpio (11) al múltiple de admisión.

Por otro lado, el combustible se encuentra en un depósito (12), desde donde es impulsado por una bomba eléctrica (13) para pasar por el filtro de combustible (14), para poder introducirse a la bomba de inyección (15), que es la parte más importante de este sistema. Otros elementos que se tienen en este sistema es por supuesto la UEC (16), que es la encargada de controlar la inyección por medio de información dada por los sensores del sistema, los elementos que se encuentran en la figura se pueden considerar como parte integral del sistema, aunque son elementos que hemos mencionado como sensores batería, toma de datos etc.



**Figura A.49 Elementos de un sistema EPIC**

La bomba de inyección se tiene de tal forma, que los elementos actuadores son sensores y electroválvulas, que se encuentran dentro del cuerpo de la bomba, por lo que la UEC recibe y manda órdenes directamente a los circuitos hidráulicos de la bomba.

Por ejemplo, ya no es necesaria la válvula para controlar el caudal dado por el pedal del conductor, si no que la información pasa directamente a la UEC y determina el caudal requerido por el conductor. Existen cuatro electroválvulas de dos posiciones, éstas actúan en circuitos hidráulicos abriendo o cerrando el paso del líquido y modulando, de esta forma, el comportamiento general de esta bomba mostrada en la figura A.50. La válvula (1) es de paro, pues controla el paso del combustible a los mecanismos de impulsión; por otro lado, las válvulas (2 y 3) regulan el caudal de la cantidad de combustible inyectado a las cámaras de combustión, controlando la presión en el interior de la bomba y la válvula (4) regula el avance de inyección que controla el variador de avance (5) que funciona de manera similar a los mencionados.

Para tener estos controles dentro del cuerpo de la bomba, se construyó un cabezal hidráulico (6), compuesto por piezas independientes, pero que funcionan en conjunto. El distribuidor (7)



que dispone de dos sensores para determinar la posición angular del cilindro de guías y también del desplazamiento que, en el sentido del eje desarrolla el distribuidor, también se conforma de una resistencia captadora de temperatura con el fin de mandar información continua a la UEC sobre la temperatura del combustible, con el fin de obtener el mejor funcionamiento de la bomba.

El trabajo de estas bombas se da con la UEC, la que al recibir información de los sensores, permite a las válvulas de dos posiciones moverse con respecto a las condiciones de funcionamiento que se tienen en el motor, desde el avance de inyección hasta la presión dentro de la bomba.

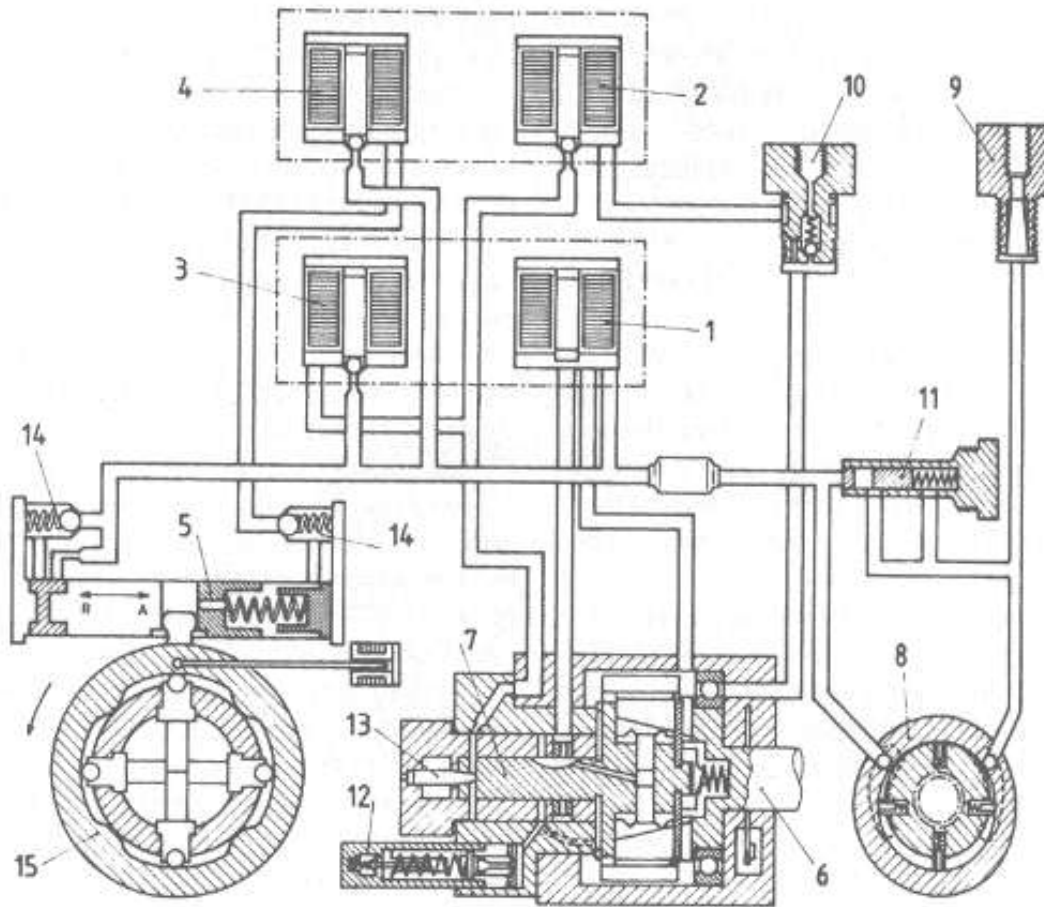


Figura A.50 Bomba utilizada en el sistema EPIC

## **APÉNDICE B**

### **NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-045-ECOL-1996**

#### **SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES**

#### **NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-045-ECOL-1996, QUE ESTABLECE LOS NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE OPACIDAD DEL HUMO PROVENIENTE DEL ESCAPE DE VEHÍCULOS AUTOMOTORES EN CIRCULACIÓN QUE USAN DIESEL O MEZCLAS QUE INCLUYAN DIESEL COMO COMBUSTIBLE.**

(Publicada en el D.O.F. de fecha 22 de abril de 1997)

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, 110, 111 fracciones III y 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, 43, 45, 46 y 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, y sobre Metrología y Normalización, el 8 de enero de 1996 se publicó en el Diario Oficial de la Federación con carácter de proyecto la presente Norma Oficial Mexicana bajo la denominación de NOM-045-ECOL-1995, que establece los niveles máximos permisibles de opacidad del humo proveniente del escape de vehículos automotores en circulación que usan diesel como combustible, a fin de que los interesados en un plazo de 90 días naturales, presentaran sus comentarios al Comité Consultivo Nacional de Normalización para la protección Ambiental, sitio en Río Elba Número 20, colonia Cuauhtémoc, código postal 06500, México, D.F.

## CONSIDERANDO

Que con fecha 22 de octubre de 1993 se publicó en el **Diario Oficial de la Federación**, la Norma Oficial Mexicana NOM-CCAT-008-ECOL/1993, que establece los niveles máximos permisibles de opacidad del humo proveniente del escape de vehículos automotores en circulación que usan diesel como combustible, y de conformidad con el Acuerdo mediante el cual se reforma la nomenclatura de 58 normas oficiales mexicanas, publicado en el referido Órgano Informativo el día 29 de noviembre de 1994, se cambió la nomenclatura de la norma en cuestión, quedando como Norma Oficial Mexicana NOM-045-ECOL-1993.

Que durante la aplicación de la referida Norma se detectaron algunos obstáculos de carácter técnico, por lo que se tuvo la necesidad de llevar a cabo un análisis de la misma por parte de esta Secretaría, por conducto de su Órgano Administrativo Desconcentrado Instituto Nacional de Ecología, en coordinación con los sectores público y privado interesados, llegándose a la conclusión de que era necesario hacer una nueva norma en la que sus disposiciones sean congruentes con los adelantos técnicos en la materia, dejando sin efectos la norma citada con anterioridad, motivo por el que se incluyó en el Programa Nacional de Normalización 1996.

Que en cumplimiento a lo dispuesto en la fracción I del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, el 8 de enero de 1996 se publicó en el **Diario Oficial de la Federación** con carácter de Proyecto la presente Norma Oficial Mexicana bajo la denominación de NOM-045-ECOL-1995, que establece los niveles máximos permisibles de opacidad del humo proveniente del escape de vehículos automotores en circulación que usan diesel como combustible, a fin de que los interesados en un plazo de 90 días naturales, presentaran sus comentarios al Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, sito en Río Elba número 20, colonia Cuauhtémoc, código postal 06500, México, D.F.

Que durante el plazo a que se refiere el considerando anterior, los análisis a que se refiere el artículo 45 del Ordenamiento legal antes citado, estuvieron a disposición del público para su consulta en el domicilio del referido 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 fueron analizados en el seno del citado Comité, realizándose las modificaciones procedentes, entre las cuales se encuentra el título de la presente Norma, las respuestas a los comentarios de referencia fueron publicados en el **Diario Oficial de la Federación** de fecha 22 de noviembre de 1996.

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 30 de enero de 1997, aprobó la presente Norma Oficial Mexicana bajo la denominación de NOM-045-ECOL-1996, que establece los niveles máximos permisibles de opacidad del humo proveniente del escape de vehículos automotores en circulación que usan diesel o mezclas que incluyan diesel como combustible; por lo que he tenido a bien expedir la siguiente:

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-045-ECOL-1996 QUE ESTABLECE LOS NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE OPACIDAD DEL HUMO PROVENIENTE DEL ESCAPE DE VEHÍCULOS AUTOMOTORES EN CIRCULACIÓN QUE USAN DIESEL O MEZCLAS QUE INCLUYAN DIESEL COMO COMBUSTIBLE.

## ÍNDICE

0. INTRODUCCIÓN
  1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN
  2. REFERENCIAS
  3. DEFINICIONES
  4. ESPECIFICACIONES
  5. GRADO DE CONCORDANCIA CON NORMAS Y RECOMENDACIONES INTERNACIONALES
  6. BIBLIOGRAFÍA
  7. OBSERVANCIA DE ESTA NORMA
- 
0. **INTRODUCCIÓN**

Los vehículos automotores en circulación que usan diesel como combustible generan emisiones de humo a la atmósfera, debido a las características de los motores y combustible utilizado, incrementando su emisión por varios factores como pueden ser: el desajuste de la alimentación del combustible al motor, la altitud de la región del país en relación al nivel del mar, la falta de mantenimiento preventivo y correctivo del motor, por lo que es necesario prevenir y controlar dichas emisiones estableciendo en esta Norma Oficial Mexicana los niveles máximos permisibles de opacidad del humo que aseguren la preservación del equilibrio ecológico y la protección al ambiente.

## 1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta Norma Oficial Mexicana establece los niveles máximos permisibles de opacidad del humo proveniente del escape de vehículos automotores en circulación que usan diesel o mezclas que incluyan diesel como combustible y es de observancia obligatoria para los responsables de los centros de verificación vehicular, así como para los responsables de los citados vehículos.

Se excluyen de la aplicación de la presente Norma, la maquinaria equipada con motores diesel utilizada en las industrias de la construcción, minera y de actividades agrícolas.

## 2. REFERENCIAS

Norma Mexicana NMX-AA-013-1976, Evaluación de la opacidad del humo proveniente de vehículos automotores equipados con motor diesel, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 1 de junio de 1976.

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

Norma Oficial Mexicana NOM-077-ECOL-1995, Que establece el procedimiento de medición para la verificación de los niveles de emisión de la opacidad del humo proveniente del escape de los vehículos automotores en circulación que usan diesel como combustible, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 13 de noviembre de 1995.

### **3. DEFINICIONES**

#### **3.1 Año-modelo del motor**

El periodo comprendido entre el 1 de enero de un año y el 31 de diciembre del mismo.

#### **3.2 Año-modelo del vehículo**

El periodo comprendido entre el 1 de noviembre de un año y el 31 de octubre del siguiente.

#### **3.3 Coeficiente de absorción de luz (K)**

El coeficiente de absorción de una columna diferencial de gas de escape a la presión atmosférica y a una temperatura de 70°C (setenta grados centígrados) expresado en m-1 (metros a la menos uno).

#### **3.4 Humo del diesel**

El residuo resultante de una combustión incompleta que se compone en su mayoría de carbón, cenizas y de partículas sólidas visibles en el ambiente.

#### **3.5 Humo negro**

Son partículas compuestas de carbón (hollín), de tamaño usualmente menores a un micrón, las cuales escaparon al proceso de combustión en el motor.

#### **3.6 Humos blancos o azul**

Son partículas compuestas esencialmente de líquido incoloro, que refractan y reflejan la luz observada.

**Nota:** El color observado resulta del índice de refracción del líquido contenido en las gotas y al tamaño de las mismas. El humo blanco usualmente se debe al vapor de agua. El humo azul usualmente se debe a la presencia de aceite lubricante en las cámaras de combustión.

### **3.7 Motor diesel**

La fuente de potencia que se caracteriza por el combustible que es encendido dentro de la cámara debido al calor producido por la compresión del aire dentro de la misma.

### **3.8 Opacidad**

La condición en la cual una materia impide parcial o totalmente el paso del haz de luz.

### **3.9 Vehículo automotor**

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

### **3.10 Vehículo en circulación**

El vehículo automotor que transita por la vía pública

## **4. ESPECIFICACIONES**

**4.1** Los niveles máximos permisibles de opacidad del humo, proveniente del escape de los vehículos automotores en circulación equipados con motor a diesel, con peso bruto vehicular de hasta 2,727 kilogramos, en función del año-modelo del vehículo, expresado en coeficiente de absorción de luz, son los establecidos en la Tabla 1 de esta Norma Oficial Mexicana.



**TABLA  
1**

**NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE OPACIDAD DEL HUMO EN FUNCIÓN DEL AÑO-MODELO DEL VEHÍCULO**

<b>Año-modelo del vehículo</b>	<b>Coefficiente de absorción de luz (m-1)</b>	<b>Por ciento de opacidad (%)*</b>
1995 y anteriores	1.99	57.61
1996 y posteriores	1.07	37.04

**Nota:** (\*) Expresado como valor referencial.

**4.2** Los niveles máximos permisibles de opacidad del humo, proveniente del escape de los vehículos automotores en circulación equipados con motor diesel con peso bruto vehicular de más de 2,727 kilogramos, en función del año-modelo del motor, expresado en coeficiente de absorción de luz, son los establecidos en la Tabla 2 de esta Norma Oficial Mexicana.

**TABLA  
2**

**NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE OPACIDAD DEL HUMO EN FUNCIÓN DEL AÑO-MODELO DEL MOTOR**

<b>Año-modelo del motor</b>	<b>Coefficiente de absorción de luz (m-1)</b>	<b>Por ciento de opacidad (%)*</b>
1990 y anteriores	1.99	57.61
1991 y posteriores	1.27	42.25

**Nota:** (\*) Expresado como valor referencial.

**4.3** El método de prueba y el equipo a utilizar para determinar la opacidad del humo señalada en las tablas 1 y 2 de la presente Norma, se establecen en la Norma Oficial Mexicana NOM-077-ECOL-1995, referida en el punto 2 de esta Norma.

## **5. GRADO DE CONCORDANCIA CON NORMAS Y RECOMENDACIONES INTERNACIONALES**

Esta Norma Oficial Mexicana coincide parcialmente con la Norma Americana SAE-J-1667.- Snap-aceleration smoke test procedure for heavy-duty diesel powered vehicles Issued 1996-02. U.S.A. (Procedimiento de prueba de opacidad con aceleración instantánea para vehículos pesados con motor a diesel. Febrero de 1996. E.U.A.).

## **6. BIBLIOGRAFÍA**

**6.1** Code of Federal Regulations 40, Parts 81 to 99, revised July 1994, U.S.A. (Código Federal de Regulaciones Federales 40. Parte 81 a 99, revisado en julio 1994. Estados Unidos de América).

**6.2** Diesel Engine Smoke Measurement - SAE J 2554A. (Medición del Humo de Motores Diesel-SAE J 255A).

## **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 de los municipios, en el ámbito de sus respectivas jurisdicciones, cuyo personal realizará los trabajos de inspección y vigilancia que sean necesarios. Las violaciones 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 demás ordenamientos jurídicos aplicables.

**7.2** La presente Norma Oficial Mexicana abroga a su similar NOM-045-ECOL-1993 (antes NOM-CCAT-008-ECOL/1993), publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 22 de octubre de 1993.

**7.3** La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el **Diario Oficial de la Federación**.

México, Distrito Federal, a los doce días del mes de febrero de mil novecientos noventa y siete.- La Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, **Julia Carabias Lillo**.-  
Rúbrica.

## **APÉNDICE C**

### **NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-077-ECOL-1995**

**NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-077-ECOL-1995, QUE ESTABLECE EL PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN PARA LA VERIFICACIÓN DE LOS NIVELES DE EMISIÓN DE LA OPACIDAD DEL HUMO PROVENIENTE DEL ESCAPE DE LOS VEHÍCULOS AUTOMOTORES EN CIRCULACIÓN QUE USAN DIESEL COMO COMBUSTIBLE.**

(Publicada en el D.O.F. de fecha 13 de noviembre de 1995)

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

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-077-ECOL-1995, QUE ESTABLECE EL PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN PARA LA VERIFICACIÓN DE LOS NIVELES DE EMISIÓN DE LA OPACIDAD DEL HUMO PROVENIENTE DEL ESCAPE DE LOS VEHÍCULOS AUTOMOTORES EN CIRCULACIÓN QUE USAN DIESEL COMO COMBUSTIBLE.

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. fracción VII, 6o. fracción VI, 8o. fracciones II y VII, 9o. Apartado "A", fracciones II y III, 36, 37, 110, 111 fracciones I y V, 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, 39, 40 fracción X, 41, 43, 44, 45, 46 y 47 de la Ley Federal sobre Metrología y

normalización, y anterior, estuvieron a disposición del público los documentos a los que se refiere dicho precepto. Que en el plazo a que hace referencia el considerando primero, los interesados presentaron sus comentarios al Proyecto de Norma los cuales fueron analizados por el citado Comité Consultivo Nacional de Normalización para la protección Ambiental, realizando las modificaciones procedentes. La Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca publico las respuestas a los comentarios recibidos en el Diario Oficial de la Federación de fecha de 12 de octubre de 1995.

### CONSIDERANDO

Que en cumplimiento a lo dispuesto en la fracción I del artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, el 22 de junio de 1994 se publicó en el **Diario Oficial de la Federación**, con carácter de proyecto la presente Norma, a fin de que los interesados en un plazo de 90 días naturales presentaran sus comentarios al Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, sito en Río Elba número 20, 1er. Piso, colonia Cuauhtémoc, código postal 06500, México, D.F.

Que durante el plazo a que se refiere el considerando anterior, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 45 del ordenamiento legal citado en el párrafo anterior, estuvieron a disposición del público los documentos a que se refiere dicho precepto.

Que en el plazo a que hace referencia el considerando primero, los interesados presentaron sus comentarios al Proyecto de Norma, los cuales fueron analizados por el citado Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, realizándose las modificaciones procedentes. La Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca publicó las respuestas a los comentarios recibidos en el **Diario Oficial de la Federación** de fecha 12 de octubre de 1995.

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 12 de junio de

1995, aprobó la Norma Oficial Mexicana NOM-077-ECOL-1995, que establece el procedimiento de medición para la verificación de los niveles máximos permisibles de opacidad de humo proveniente del escape de los vehículos automotores en circulación que usan diesel como combustible; por lo que he tenido a bien expedir la siguiente:

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-077-ECOL-1995, QUE ESTABLECE EL PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN PARA LA VERIFICACIÓN DE LOS NIVELES DE EMISIÓN DE LA OPACIDAD DEL HUMO PROVENIENTE DEL ESCAPE DE LOS VEHÍCULOS AUTOMOTORES EN CIRCULACIÓN QUE USAN DIESEL COMO COMBUSTIBLE.

## ÍNDICE

0. Introducción
1. Objetivo y campo de aplicación
2. Referencias
3. Definiciones
4. Especificaciones
5. Grado de concordancia con normas y recomendaciones internacionales
6. Bibliografía
7. Observancia de esta Norma

## 0. INTRODUCCIÓN

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y su Reglamento en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera, prevén que la calidad del aire debe ser satisfactoria en todos los asentamientos humanos y las regiones del país y que las emisiones de contaminantes atmosféricos provenientes entre otras, de fuentes móviles, no deberán exceder los niveles máximos permisibles que establezcan las normas oficiales mexicanas.

Entre las fuentes móviles que generan emisiones contaminantes a la atmósfera se encuentran los vehículos automotores en circulación que usan diesel como combustible.

Es necesario establecer el método de prueba y el equipamiento correspondiente para verificar los niveles máximos permisibles de opacidad referidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-045-ECOL-1993, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 22 de octubre de 1993.

De acuerdo con la referida ley, corresponden a las autoridades federales y locales, en el ámbito de sus respectivas competencias, verificar que las emisiones de dichos vehículos automotores no rebasen los niveles máximos permisibles que establezcan las normas oficiales mexicanas correspondientes y que para tal efecto, están facultadas para establecer y operar centros de verificación vehicular o, en su caso, para autorizar su establecimiento y operación.

## 1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta Norma Oficial Mexicana establece el procedimiento de verificación de los niveles de opacidad de humo proveniente de los vehículos automotores en circulación que usan diesel como combustible, y es de observancia obligatoria para las autoridades federales, estatales y municipales, que tengan a su cargo el establecimiento y operación de centros de verificación

vehicular o, en su caso, para los particulares que cuenten con la autorización correspondiente.

## **2. REFERENCIAS**

\*NOM-045-ECOL-1993. Que establece los niveles máximos permisibles de Opacidad del humo provenientes del escape de vehículos automotores en Circulación que usan diesel como combustible (publicada D.O.F. 22-X-93).

\*\*NMX-AA-23-1986. Protección al ambiente-Contaminación atmosférica-Terminología (publicada D.O.F. 15-VI-86).

\*Norma Oficial Mexicana

\*\*Norma Mexicana

## **3. DEFINICIONES**

### **3.1 Centro de verificación.**

La instalación o local establecido por las autoridades competentes o autorizado por éstas, en el que se lleva a cabo la medición de las emisiones contaminantes provenientes de los vehículos automotores en circulación que utilizan diesel como combustible.

### **3.2 Coeficiente de absorción de la luz (K)**

El coeficiente de absorción de una columna diferencial de gas en escapa a la presión atmosférica y a una temperatura de 70°C (setenta grados centígrados), expresado en m<sup>-1</sup> (metros a la menos uno).



### **3.3** Componente perdido.

El componente de emisiones que ha sido quitado o se ha caído del sistema de control de emisiones del vehículo.

### **3.4** Componente modificado.

El componente de emisiones que ha sido alterado para que el sistema de control de emisiones no funcione correctamente; reemplazado con un componente que no fue vendido por su fabricante para este uso o con un componente que no tiene capacidad de conectarse a otros componentes de control de emisiones.

### **3.5** Componente incapacitado.

El componente que tiene cables, mangueras o bandas que se requieren para el funcionamiento y operación del sistema de emisiones de gases y que están desconectados, aunque el componente esté presente y montado correctamente al vehículo.

### **3.6** Humo.

El residuo resultante de una combustión incompleta, que se compone en su mayoría de carbón, cenizas y de partículas sólidas visibles en el ambiente.

### **3.7** Lecturas observadas.

Los valores registrados durante el desarrollo de la prueba, que cumplen todas las condiciones necesarias para que sean considerados como válidos.

### **3.8** Marcha lenta.

Las condiciones de prueba de un vehículo con su motor encendido sin carga, a una velocidad angular de 1,500 rpm (mil quinientas revoluciones por minuto).

### **3.9 Motor diesel.**

La fuente de potencia que se caracteriza por el combustible que es encendido dentro de la cámara, debido al calor producido por la compresión de aire dentro de la misma.

### **3.10 Opacidad.**

La condición en la cual una materia impide parcial o totalmente el paso del haz de luz.

### **3.11 Opacímetro.**

El aparato destinado a medir de manera continua el coeficiente de absorción de la luz en los gases de escape emitidos por los vehículos propulsados por motores diesel.

### **3.12 Ralentí.**

La velocidad mínima de operación de un motor sin acelerar.

### **3.13 RPM.**

La velocidad angular del motor expresada en revoluciones por minuto.

## **4. ESPECIFICACIONES**

**4.1** El método para medir los niveles máximos permisibles de opacidad del humo proveniente del escape de los vehículos automotores en circulación, que usan diesel como combustible, es el de la aceleración libre, consistente en una prueba estática del vehículo acelerando el motor, desde su régimen de velocidad de marcha lenta hasta su velocidad

máxima sin carga. La medición de las emisiones de humo se realizará durante el periodo de aceleración del motor.

**4.2** Para medir las emisiones a que se refiere el punto anterior, se utilizará un opacímetro, el cual deberá cumplir con las siguientes características:

**4.2.1** Estar diseñado para soportar un servicio continuo de trabajo pesado, mínimo de 8 horas por día.

**4.2.2** Contar con una placa de identificación adherida a la parte exterior del mismo, en la que se precise: modelo, número de serie, nombre y dirección del fabricante, requerimientos de energía eléctrica y límites de voltaje de operación.

**4.2.3** Ser hermético en todas sus conexiones.

**4.2.4** Sus controles deben ser accesibles a los operadores.

**4.2.5** Contar con una escala total de medición, rapidez de respuesta y un máximo de desviación, de acuerdo a lo que establece la presente Norma.

**4.2.6** Las lecturas del opacímetro deberán ser registradas continuamente durante la prueba con un registrador, cuya respuesta de tiempo es igual o más corta que la del opacímetro.

**4.2.7** El diseño del opacímetro deberá ser tal, que bajo condiciones de operación a velocidad constante la cámara de humo se llene con humo de opacidad uniforme. La muestra de gas de escape estará contenida en una cámara que no tenga superficies internas con reflexión.

**4.2.8** En la determinación de la longitud efectiva del paso de la luz a través del gas, deberá tomarse en cuenta la posible influencia de dispositivos que protegen la fuente de luz y la celda fotoeléctrica. Esta longitud efectiva debe ser indicada en el instrumento.

**4.2.9** La carátula indicadora del opacímetro deberá tener dos escalas de medición, una en unidades absolutas de absorción de luz de 0 a  $0 \text{ m}^{-1}$  (cero a infinito metros a la menos uno) y la otra lineal de 0 a 100% (cero a cien por ciento), ambas escalas tendrán el rango de 0 (cero) con el flujo total de luz, y escala completa con obturación total.

**4.2.10** Especificación de la cámara de humo y cuerpo de opacímetro.

**4.2.10.1** La incidencia en la celda fotoeléctrica de luz desviada, debido a las reflexiones internas o efectos de difusión, debe ser reducida al mínimo (es decir, por acabado de las superficies internas en negro mate y por un arreglo general adecuado).

**4.2.10.2** Las características ópticas deberán ser de tal forma, que los efectos combinados de reflexión y difusión no excedan de una unidad en la escala lineal, cuando la cámara de humo se llena con humo, teniendo un coeficiente de absorción cercano a  $1.7 \text{ m}^{-1}$  (uno punto siete metros a la menos uno).

**4.3** Especificación de la fuente de luz.

**4.3.1** La fuente de luz deberá ser una lámpara incandescente con temperatura con rango de 2,800 a 3,250 K (dos mil ochocientos a tres mil doscientos cincuenta grados Kelvin).

**4.4** Especificación del receptor.

**4.4.1** El receptor deberá constar de una celda fotoeléctrica con una curva de respuesta espectral similar a la curva de respuesta del ojo humano (respuesta máxima en el rango 550/570 nm (nanómetros)); menor que el 4% (cuatro por ciento) de esa respuesta máxima abajo de 430 nm (cuatrocientos treinta nanómetros) y arriba de 680 nm (seiscientos ochenta nanómetros).

**4.4.2** La construcción del circuito eléctrico, incluyendo la carátula indicadora, deberá ser tal, que la corriente de salida de la celda fotoeléctrica sea una función lineal de intensidad de la luz recibida sobre el rango de la temperatura de operación de la celda fotoeléctrica.

**4.5** Escalas de medición.

**4.5.1** El coeficiente K de absorción de luz se calcula con la fórmula:

$$\varnothing = o e^{-KL}$$

Dónde:

L = La longitud efectiva del paso de la luz a través de la muestra de gas.

o = Flujo incidente.

$\varnothing$  = Flujo emergente.

Cuando la longitud efectiva L de un tipo de opacímetro no puede ser calculada directamente de su geometría, la longitud efectiva L deberá ser determinada por el método descrito en esta Norma o a través de la correlación con otro tipo de opacímetro para que la longitud efectiva sea conocida.

La relación entre la escala lineal de 0 a 100% (cero a cien por ciento) de opacidad y el coeficiente “K” de absorción de la luz es dado por la fórmula:

$$K = - \frac{L}{L} \ln \left( 1 - \frac{N}{100} \right)$$

Dónde:

L = La longitud efectiva del paso de la luz a través de la muestra de gas.

N = Una lectura en la escala lineal.

K = Valor correspondiente del coeficiente de absorción.

In = Logaritmo natural.

La precisión de lectura del opacímetro deberá contar con una exactitud de  $0.025 \text{ m}^{-1}$  (cero punto cero veinticinco metros a la menos uno), en coeficiente de absorción de  $1.7 \text{ m}^{-1}$  (uno punto siete metros a la menos uno).

#### **4.6 Respuesta del opacímetro.**

**4.6.1** El tiempo de respuesta del circuito eléctrico de medición deberá ser de 0.9" a 1.1" (cero punto nueve a uno punto uno segundos) por ser el tiempo necesario para que la carátula indicadora alcance el 90% (noventa por ciento) de la escala completa con la inserción de una pantalla completamente oscurecida en la celda fotoeléctrica.

**4.6.2** La amortiguación del circuito eléctrico de medición deberá ser tal, que la sobrelectura inicial por arriba a la lectura final constante, después de cualquier variación momentánea en la salida (por ejemplo: la calibración con pantallas), no excederá el 4% (cuatro por ciento) de esa lectura en la escala de unidades lineales.

**4.6.3** El tiempo de respuesta del opacímetro no deberá de exceder de 0.4" (cero punto cuatro segundo), el cual se debe al fenómeno físico de la cámara de humo, siendo el tiempo que transcurre desde el principio de la entrada de gas a la cámara hasta el llenado completo de la cámara de humo.

**4.6.4** Durante todo el tiempo de trabajo, la estabilidad debe ser menos a 4 por ciento en la escala de unidades lineales.

**4.6.5** Tener una repetibilidad de no más de  $0.05 \text{ m}^{-1}$  (cero punto cero cinco metros a la menos uno) de la lectura en la carátula indicadora del opacímetro cuando una pantalla entre  $1.6 \text{ m}^{-1}$  (uno punto seis metros a la menos uno), y conocido dentro de una tolerancia de  $0.025 \text{ m}^{-1}$  (cero punto cero veinticinco metros a la menos uno) es introducida entre la fuente de luz y la celda fotoeléctrica durante 5 mediciones sucesivas de una misma fuente.

**4.6.6** El tiempo de estabilidad (calentamiento) debe ser menor de 10' (diez minutos) después del encendido.

**4.6.7** Las lecturas del analizador no deberán verse afectadas por variaciones de voltaje de 10% (más menos diez por ciento).

**4.6.8.** Presión del gas durante la medición y del aire para la limpieza.

**4.6.9.** Presión del gas de escape en la cámara de humo no debe variar de la presión atmosférica por más de 75 mm (setenta y cinco milímetros) de manómetro de agua.

**4.6.10** Las variaciones en la presión del gas que se mide y del aire para limpieza no deberán causar que el coeficiente de absorción varíe por más de  $0.05 \text{ m}^{-1}$  (cero punto cero cinco metros a la menos uno), en el caso de un gas que tenga un coeficiente de absorción de  $1.7 \text{ m}^{-1}$  (uno punto siete metros a la menos uno).

**4.6.11** El opacímetro deberá estar equipado con dispositivos adecuados para medir la presión en la cámara de humo.

**4.6.12** Los límites de variación en la presión de gas y en el aire para limpieza en la cámara de humo deberán ser establecidos por el fabricante del opacímetro.

#### **4.7 Temperatura del gas.**

**4.7.1** En cada punto de la cámara de humo la temperatura del gas deberá estar entre 70°C (setenta grados centígrados) y una temperatura máxima especificada por el fabricante del opacímetro, de forma tal que las lecturas sobre el rango de temperatura no varíe por más de 0.1 m<sup>-1</sup> (cero punto uno metros a la menos uno), cuando la cámara esté llena con gas que tiene un coeficiente de absorción de 1.7 m<sup>-1</sup> (uno punto siete metros a la menos uno).

**4.7.2** El opacímetro deberá estar equipado con los dispositivos adecuados para la medición de la temperatura en la cámara de humo.

**4.7.3** Especificaciones básicas para la instalación de opacímetros de muestreo.

**4.7.4** La relación del área de sección transversal de la sonda con respecto al tubo de escape no debe ser inferior a 0.05 (cero punto cero cinco). La contrapresión medida en el tubo de escape cerca de la entrada para la sonda no excederá de 75 mm (setenta y cinco milímetros) de manómetro de agua.

**4.7.5** La sonda debe ser un tubo con un extremo abierto dirigido hacia adelante en el eje del tubo de escape o del tubo de extensión, si éste está requerido. Deberá estar situado en una sección donde la distribución del humo sea aproximadamente uniforme. Para lograr lo anterior, la sonda deberá estar colocada en el tubo de escape tan lejos del motor como sea posible. Si es necesario, la sonda puede estar colocada en un tubo de extensión para lograr que si "D" es el diámetro del tubo de escape en donde se localice la sonda; el extremo de la sonda está situado en una porción recta de 6D mínimo de longitud en el sentido hacia el motor desde el punto de muestreo y 3D de longitud en dirección del flujo del gas. Si se utiliza un tubo de extensión, el aire no deberá entrar en la unión.

**4.7.6** El sistema de muestreo deberá de ser de forma tal que en todas las velocidades del motor la presión de la muestra en el opacímetro está dentro de los límites especificados en esta Norma. Esto puede ser verificado anotando la presión de la muestra con el motor en ralentí y a máxima velocidad sin carga. Dependiendo de las características



del opacímetro, el control de la presión de la muestra se puede lograr con una restricción fija o una válvula mariposa en el tubo de escape o en el tubo de extensión.

**4.7.7** Independientemente del método usado, la contrapresión medida en el tubo de escape en la abertura para la sonda no excederá de 75 mm (setenta y cinco milímetros) de manómetro de agua.

**4.7.8** Los tubos que hacen conexión con el opacímetro también deberán ser tan cortos como sea posible. El tubo será inclinado hacia arriba desde el punto de muestreo hacia el opacímetro. Se deben evitar uniones con filos en donde se puede acumular carbón. Una válvula de desviación puede ser incorporada en el escape, para aislar el opacímetro de flujo de los gases de escape cuando no se están efectuando mediciones.

**4.8** Especificaciones básicas para la instalación del opacímetro.

**4.9** Las precauciones generales son las siguientes:

**4.9.1** Las juntas que unen el tubo de escape y el opacímetro no deben permitir que entre el aire del exterior.

**4.9.2** Los tubos que unen el motor con el opacímetro deberán ser tan cortos como sea posible, como está prescrito en el caso de opacímetros de muestreo. El tubo del sistema deberá estar inclinado hacia arriba desde el motor hacia el opacímetro. Se deben evitar uniones con filos donde se pueda acumular carbón. Una válvula de desviación puede ser incorporada en el escape para aislar el opacímetro del flujo de los gases de escape cuando no se están efectuando mediciones.

**4.9.3** Un sistema de enfriamiento puede ser instalado, si así lo requiere, entre el motor y el opacímetro.

**4.9.4** Las condiciones de instalación deben asegurar el cumplimiento de los límites contenidos en esta Norma.

#### **4.10** Determinación de la longitud efectiva “L” del opacímetro.

**4.10.1** En algunos tipos de opacímetro el gas entre la fuente de luz y la celda fotoeléctrica, o entre las partes transparentes protegiendo la fuente y la celda fotoeléctrica, no es de opacidad constante; en tales casos la longitud efectiva “L” deberá ser la que dé una columna de gas de opacidad uniforme, la cual da la misma absorción de luz como la que se obtiene cuando el gas es normalmente admitido en el opacímetro.

**4.10.2** La longitud efectiva del paso de luz es obtenida por la comparación de la lectura N del opacímetro operado normalmente, con la lectura  $N_0$  obtenida con el opacímetro modificado de forma tal que el gas de prueba llene una longitud  $L_0$  perfectamente definida.

**4.10.3** Es necesario tomar lecturas comparativas en sucesión rápida para determinar la corrección a ser efectuada para compensar cambios en el cero.

#### **4.11** Método de cálculo para L.

**4.11.1** El gas de prueba deberá ser gas de escape de opacidad constante o un gas absorbivo de luz de una densidad gravimétrica similar a la del gas de escape.

**4.11.2** Una columna de longitud  $L_0$  del opacímetro, la cual puede ser llenada uniformemente con el gas de prueba, y los extremos de la columna estén en ángulo recto al paso de la luz, deberá ser exactamente determinada.

**4.11.3** Esta longitud  $L_0$  anterior deberá ser similar a la longitud efectiva del opacímetro.

**4.11.4** La temperatura promedio del gas de prueba en la cámara de humo deberá ser medida.

**4.11.5** Si es necesario, un tanque de expansión de capacidad suficiente para amortiguar las pulsaciones y de diseño compacto puede ser incorporado en la línea de muestreo tan cerca al sensor de muestreo como sea posible.

**4.11.6** Un enfriador puede también ser utilizado. La adición del tanque de expansión y del enfriador no deberá modificar substancialmente la composición del gas de escape.

**4.11.7** La prueba para la determinación de la longitud efectiva deberá de consistir en el paso de una muestra del gas de prueba de forma alterna a través del opacímetro operando normalmente, y a través del mismo aparato modificado como se indica arriba.

**4.11.8** Las lecturas del opacímetro deberán ser registradas continuamente durante la prueba con un registrador cuya respuesta de tiempo es igual o más corta que la del opacímetro.

**4.11.9** Con el opacímetro operando normalmente, la lectura en la escala lineal de opacidad es N y la de la temperatura promedio del gas expresada en grados Kelvin es T.

**4.11.10** Con la longitud conocida  $L_0$  llena en el mismo gas de prueba, la lectura en la escala lineal de opacidad es  $N_0$  y la temperatura del gas principal expresada en grados Kelvin es  $T_0$ .

La longitud efectiva será:

$$L = L_0 \frac{T}{T_0} \left[ \frac{\text{Log} \frac{1-N}{100}}{\text{Log} \frac{1-N_0}{100}} \right]$$

**4.11.11** La prueba se repite por lo menos con cuatro gases de prueba, dando lecturas uniformemente espaciadas entre las lecturas 20 y 80 en la escala lineal.

**4.11.12** La longitud efectiva L del opacímetro será el promedio aritmético de las longitudes efectivas obtenidas y establecidas para cada uno de los gases.

**4.12** Los técnicos de los centros de verificación deberán:

**4.12.1** Operar el opacímetro de acuerdo con las indicaciones del manual del fabricante.

**4.12.2** Calibrar el opacímetro a cero antes de cada serie de lecturas

**4.12.3** Eliminar del sistema de medición cualquier partícula extraña.

**4.13** El técnico deberá revisar lo siguiente:

**4.13.1** Que el motor del vehículo funcione a su temperatura normal de operación

**4.13.2** Que en el caso de transmisiones automáticas, el selector se encuentre en posición de estacionamiento o neutral y en el caso de transmisiones manuales o semiautomáticas, esté en neutral y con el embrague sin accionar.

**4.13.3** Debe asegurarse que el escape del vehículo se encuentre en perfectas condiciones de funcionamiento y que no tenga ningún agujero que pudiera provocar una dilución de los gases del escape o una fuga de los mismos.

**4.13.4** Revisar que al vehículo no se le haya perdido, modificado o incapacitado cualquier componente del sistema del control de emisiones o elemento de diseño que ha sido incorporado o instalado en el vehículo, por el fabricante del mismo con el propósito de cumplir con las normas de emisiones aplicables a la unidad.

**4.14** Las condiciones que debe reunir el vehículo para someterlo al procedimiento de medición previsto en esta Norma son:

**4.14.1** Los siguientes dispositivos del vehículo deben encontrarse en buen estado y operando adecuadamente:

**4.14.1.1** Filtro de aire.

**4.14.1.2** Tapones de depósito de aceite y del tanque de combustible, bayoneta del nivel del aceite del cárter y sistema de ventilación del cárter.

**4.15** El vehículo programado para someterse al procedimiento de medición deberá prepararse en los términos siguientes:

**4.15.1** El motor deberá estar en condiciones normales de funcionamiento. El agua del sistema de enfriamiento, el aceite lubricante y el combustible deberán estar a la temperatura normal de operación especificada por el fabricante.

**4.15.2** El motor no deberá someterse a un periodo prolongado en ralentí que proceda a la prueba, ya que esto alterará el resultado final.

**4.16** El procedimiento de medición de humo a la salida del escape de los vehículos automotores en circulación que usan diesel como combustible, será el siguiente:

**4.16.1** Con el motor operando en marcha lenta y sin carga, se acciona el acelerador hasta obtener la intervención del gobernador en un lapso entre 2 y 3 segundos y cuando se obtenga ésta, se suelta el pedal del acelerador hasta que el motor regrese a la velocidad de ralentí y el opacímetro se estabilice en condiciones mínimas de lectura. No se tomarán en cuenta las lecturas del opacímetro mientras la velocidad del motor sea menor de las revoluciones por minuto de marcha lenta.

**4.16.2** La operación descrita en el párrafo anterior deberá efectuarse seis veces como mínimo, verificando la calibración del opacímetro al concluir la serie. Se registrarán los valores máximos obtenidos en cada una de las aceleraciones sucesivas, hasta obtener cuatro valores consecutivos que se sitúen en una banda, cuyo intervalo sea igual a  $0.25 \text{ m}^{-1}$  (cero punto veinticinco metros a la menos uno) y no formen una secuencia decreciente. El coeficiente de absorción a registrar será el promedio aritmético de estas cuatro lecturas.

**4.16.3** Si el vehículo cuenta con múltiples salidas de los gases de escape, el coeficiente de absorción a registrar es el promedio aritmético de las lecturas obtenidas en cada salida. La prueba se considerará válida sólo cuando las lecturas extremas obtenidas difieran por no más de  $0.15 \text{ m}^{-1}$  (cero punto quince metros a la menos uno), si es mayor se tomará la lectura más alta.

**4.16.4** El técnico deberá anotar cada valor de coeficiente de absorción registrado en la hoja de verificación, así como el promedio de estos valores, de acuerdo con los puntos anteriores.

**4.16.5** El nivel máximo permisible de opacidad del humo promedio registrado en la serie de prueba debe ser igual o inferior al establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-045-ECOL-1993, que establece los niveles máximos permisibles de opacidad del humo provenientes del escape de vehículos automotores en circulación que usan diesel como combustible, para considerar que el vehículo pasa la prueba satisfactoriamente.

**4.16.6** Los responsables de los centros de verificación deberán ajustar el opacímetro diariamente y ponerlo en condiciones normales de operación antes de iniciar las verificaciones.

**4.16.7** La calibración del opacímetro deberá realizarse de acuerdo con las especificaciones del fabricante del opacímetro, el cual deberá tener las características establecidas en el punto 4.2 de la presente Norma Oficial Mexicana.

**4.16.8** La calibración del opacímetro deberá realizarse en un laboratorio de calibración acreditado ante la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial en los términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización cada tres meses en condiciones normales de operación, independientemente de que se realice cada vez que se sustituya alguna de sus partes o haya sido sometido a reparación.

**4.16.9** Para comprobar si el opacímetro se encuentra perfectamente calibrado se deberán realizar mediciones con un filtro graduado, el cual deberá colocarse entre la fuente emisora de luz y el receptor (celda fotoeléctrica). Esta operación deberá realizarse tres veces, anotando los valores obtenidos en la hoja de registro establecida en el Anexo 1 de esta Norma Oficial Mexicana.

## **5. GRADO DE CONCORDANCIA CON NORMAS Y RECOMENDACIONES INTERNACIONALES**

**5.1** Los elementos y preceptos de orden técnico y jurídico en esta Norma Oficial Mexicana se basan en los fundamentos técnicos y científicos reconocidos internacionalmente.

## **6. BIBLIOGRAFÍA**

**6.1** CODE OF FEDERAL REGULATIONS 40, PART 81 TO 99, REVISED JULY 1990 U.S.A. (Código de Reglamentaciones Federales, 40 parte 81 a 99 revisado en julio de 1990, Estados Unidos de América).

## **7. OBSERVANCIA DE ESTA NORMA**

**7.1** La vigilancia del cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana corresponde a la Secretaría Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, a través de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente. 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 demás ordenamientos jurídicos aplicables.

**7.2** Los gobiernos del Distrito Federal, de los estados y municipios, podrán realizar actos de inspección y vigilancia para la verificación del cumplimiento de esta Norma Oficial Mexicana, previa la publicación en el **Diario Oficial de la Federación** de los acuerdos de coordinación que se celebren con la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.

**7.3** La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el **Diario Oficial de la Federación**.

México, D.F., a 17 de octubre de 1995.- La Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, **Julia Carabias Lillo**.- Rúbrica.



## **APÉNDICE D**

### **PROYECTO DE NORMA OFICIAL MEXICANA PROY-NOM-045-SEMARNAT-2005**

**PROYECTO DE NORMA OFICIAL MEXICANA PROY-NOM-045-SEMARNAT-2005, PROTECCIÓN AMBIENTAL.- VEHÍCULOS EN CIRCULACIÓN QUE USAN DIESEL COMO COMBUSTIBLE.- NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE OPACIDAD, MEDIDA EN COEFICIENTE DE ABSORCIÓN DE LUZ, PROCEDIMIENTO DE PRUEBA Y CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL EQUIPO DE MEDICIÓN.**

#### **ÍNDICE**

1. Objetivo y Campo de Aplicación.
- 2.- Referencias.
- 3.- Definiciones.
- 4.- Niveles máximos permisibles de opacidad.
- 5.- Procedimiento de prueba.
- 6.- Especificaciones del equipo de medición.
- 7.- Procedimiento para la evaluación de la conformidad.
- 8.- Grado de concordancia con normas y lineamientos internacionales y con las normas mexicanas tomadas como base para su elaboración.
- 9.- Bibliografía.
- 10.- Vigilancia de esta norma.

#### **1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN**

Esta Norma Oficial Mexicana establece los niveles máximos permisibles de coeficiente de absorción de luz, proveniente del escape de los vehículos automotores en circulación que usan diesel como combustible, procedimiento de prueba y características técnicas del equipo de medición.

Su cumplimiento es obligatorio para los citados vehículos, unidades de verificación y autoridades competentes. Se excluyen de la aplicación de la presente norma, la maquinaria equipada con motores a diesel empleada en las actividades agrícolas, de la construcción y de la minería.

## **2. REFERENCIAS**

NMX-AA-023-1986, Protección al Ambiente-Contaminación Atmosférica –Terminología, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 15 de julio de 1986.

NMX-S025-IMNC-2000, Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de calibración y pruebas.

NMX-EC-17020-IMNC-2000.- Criterios generales para la operación de varios tipos de Unidades (Organismos) que desarrollan la Verificación (Inspección) ISO 17020-2000

NORMA NMX-EC-17025-IMNC-2000 Para evaluación y acreditamiento de Laboratorios de Calibración y/o ensayo Norma ISO/IEC 17025-1999

## **3. DEFINICIONES**

Para efectos de la aplicación de esta norma, se establecen las siguientes definiciones:

### **3.1 Aceleración Instantánea**

El cambio de rpm's de velocidad de ralentí a la velocidad máxima que permita el gobernador del motor, accionando el acelerador rápidamente y de forma continua en una sola ejecución y un lapso no mayor de 1 segundo.

### **3.2 Año – modelo del vehículo**

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

### **3.3 Calibración**

Conjunto de operaciones que tiene por finalidad determinar los errores de un instrumento para medir y, de ser necesario, otras características metrológicas.

### **3.4 Unidad de Verificación**

Persona física o moral, acreditada y aprobada por la autoridad competente, que opera un centro de verificación de emisiones vehiculares en los que se realiza la evaluación de la conformidad de la presente norma, de acuerdo con las condiciones establecidas en el Programa de verificación vehicular.

### **3.5 Coeficiente de absorción de luz**

Magnitud que representa la absorción de luz a través de la muestra de gases que se introduce en el opacímetro.

### **3.6 Humo de diesel**

El residuo resultante de una combustión que se compone en su mayoría de carbón, cenizas y de partículas visibles en el ambiente.

### **3.7 Lecturas**

Las mediciones obtenidas durante el desarrollo de la prueba.

### 3.8 Ley de Beer Lambert

Ecuación matemática que describe las relaciones entre el coeficiente de absorción de luz, los parámetros de transmitancia y la longitud efectiva, debido a que el coeficiente de absorción de luz no puede ser medido directamente.

$$\emptyset = o e^{-KL}$$

dónde:

L = Longitud efectiva del paso de la luz a través de la muestra de gas.

o = Flujo incidente.

$\emptyset$  = Flujo emergente.

### 3.9 Longitud efectiva

Longitud del haz de luz entre el emisor y el receptor que no es interceptado por un gas de opacidad constante.

### 3.10 Motor diesel

La fuente de potencia que se caracteriza por el ciclo de ignición del combustible por la compresión de la mezcla aire-combustible.

### 3.11 Opacidad

Estado en el cual un material impide parcial o totalmente el paso de un haz de luz, expresado en términos de la luz obstruida a partir del coeficiente de absorción de la luz.

### **3.12 Equipo de Medición**

El destinado a medir el coeficiente de absorción de luz, en este caso del humo de los vehículos a diesel, y que se compone principalmente de un opacímetro de cámara cerrada y de flujo parcial, el cual deberá cumplir con las características especificadas en el punto 6, de la presente norma.

### **3.13 Peso bruto vehicular**

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.

### **3.14 Ralentí**

Son las RPM'S mínimas del motor establecidas por el fabricante que proveen la potencia necesaria para vencer sus pérdidas mecánicas.

### **3.15 Revoluciones por minuto (RPM)**

Unidad de medida de la velocidad de rotación en los motores de combustión interna.

### **3.16 Sensor**

Elemento que es capaz de detectar un cambio de una variable.

### **3.17 Transmitancia**

La fracción de luz transmitida de una fuente que llega a un detector.

### 3.18 RPM'S a corte de gobernador

Son las RPM'S del motor alcanzadas, al momento en que la bomba deja de suministrar combustible a los inyectores, controlada conforme al tipo de mando, mecánico o electrónico del motor.

### 3.19 Vehículo automotor en circulación

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

## 4. NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE OPACIDAD

4.1 Los niveles máximos permisibles de opacidad del humo proveniente del escape de los vehículos automotores en circulación equipados con motor a diesel, en función del año – modelo del vehículo y cuyo peso bruto vehicular sea de hasta 3 856 kilogramos, es el establecido en la tabla 1.

**Tabla No. 1**

Año – modelo del vehículo	Opacidad.- medida como coeficiente de absorción de luz (K) m <sup>-1</sup>
1995 y anteriores	3.0
1996 y posteriores	2.5

4.2 Los niveles máximos permisibles de opacidad del humo proveniente del escape de los vehículos automotores en circulación equipados con motor a diesel, en función del año – modelo del vehículo y con peso bruto vehicular mayor a 3 857 kilogramos, son los establecidos en la tabla 2.

**Tabla No. 2**

<b>Año – modelo del Vehículo</b>	<b>Opacidad.- medida como coeficiente de absorción de luz (k) m<sup>-1</sup></b>
1990 y anteriores	3,0
1991 y posteriors	2,5

## **5. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA**

### **5.1** Requisitos del Vehículo, previos a la medición de opacidad

**5.1.1** Se deberá verificar la condición de el/los escapes del vehículo, los cuales deberán encontrarse sin fugas y libre de obstrucciones para la introducción de la sonda de medición.

**5.1.2** Los vehículos que se presenten a verificar deberán estar gobernados a las especificaciones del fabricante con una tolerancia de más menos 10%.

**5.1.3** Se deberán capturar los datos del vehículo, de su propietario y en su caso de su verificación anterior, requeridos por la autoridad correspondiente.

**5.1.4** Proceder a apagar luces, aire acondicionado, radio y freno de motor para evitar sus interferencias en la prueba.

**5.1.5** Revisar, en el caso de transmisiones automáticas que el selector se encuentre en posición de estacionamiento o neutral y en el caso de transmisiones manuales o semiautomáticas, esté en neutral y con el embrague sin accionar.

## 5.2 Procedimiento

- 5.2.1** El método para medir los niveles máximos permisibles de opacidad del humo proveniente del escape de los vehículos automotores en circulación, que usan diesel como combustible, es el de aceleración instantánea, consistente en una prueba estática del vehículo acelerando el motor, desde su régimen de ralentí hasta su régimen gobernado.
- 5.2.2** Colocar la sonda de medición de temperatura, dentro del depósito de aceite del motor.
- 5.2.3** El equipo deberá validar que la temperatura del aceite del motor tenga un valor mínimo de 70° C.
- 5.2.4** Colocar el tacómetro para la medición de las RPM's del motor.
- 5.2.5** Determinación de los RPM's de Ralentí, y a corte de gobernador del motor y del tiempo de aceleración.
- A) RPM's del motor en ralentí.-** Estando el motor operando en ralentí durante 5 segundos consecutivos, el opacímetro debe determinar y validar sin la intervención del técnico las RPM's del motor, el cual no deberá ser mayor de las especificaciones establecidas por el fabricante con un margen no mayor de  $\pm 10\%$  de tolerancia.
- B) RPM's del motor a corte de gobernador.-** Se deberá accionar el acelerador de forma gradual, de manera que se incremente las RPM's del motor, desde ralentí hasta alcanzar las máximas RPM's que permite el gobernador de dicho motor y una vez llegado a ese punto, sostenerlo por un periodo de 2 segundos. El opacímetro deberá determinar, sin la intervención del técnico, estas RPM's, con una tolerancia de  $\pm 10\%$ .



- C) Para el caso de los motores que cuenten con dispositivo de control electrónico de aceleración estática o estando estacionado el vehículo. Las RPM's máximas del motor para la toma de las muestras, serán la que determine las especificaciones indicadas por el fabricante.
  
- D) Si los incisos anteriores no pueden ser determinados por el equipo en los campos del sistema correspondiente y de acuerdo a las especificaciones del fabricante, el equipo debe desplegar un mensaje indicando: "El motor no alcanza su régimen de giro, según sea el caso", de acuerdo a la tabla de referencia.
  
- E) Se debe registrar las RPM's establecidas los incisos anteriores.

#### **5.2.6 Aceleraciones Instantáneas**

- A) El equipo de medición debe realizar un ajuste a cero en sus escalas de opacidad, antes de dar inicio a la secuencia de aceleraciones funcionales.
  
- B) El equipo de medición debe desplegar un mensaje al técnico que ejecuta la prueba para que éste realice una aceleración instantánea, y mantenerse en esa posición por dos segundos. Para ello el equipo debe indicar y registrar en la pantalla el tiempo de aceleración, que servirá como guía al técnico que está ejecutando la prueba.
  
- C) Una vez que se mantiene el acelerador por 2 segundos a RPM's máximas (el permitido por el gobernador del motor), el equipo de medición deberá desplegar un mensaje a fin de que el técnico deje de presionar el pedal del acelerador, para que el motor regrese a ralentí.

## **5.2.7 Generación de resultados para la verificación del vehículo.**

**5.2.7.1** El equipo de medición debe medir de manera continua el coeficiente de absorción de luz del humo de escape del motor del vehículo, registrando el valor máximo en cada aceleración.

**5.2.7.2** Se deberán efectuar dos primeras aceleraciones, las cuales serán de desfogue, esto con el fin de efectuar una limpieza previa a las mediciones de opacidad que van a ser evaluadas.

**5.2.7.3** La sonda deberá ser un tubo abierto dirigido hacia dentro del escape. Deberá estar situada en una sección donde la distribución del humo sea aproximadamente uniforme. Para lograr esto, la sonda deberá introducirse en el escape sujetándose a la pared del tubo mediante una pinza.

**5.2.7.4** Se evaluarán las mediciones de emisiones de humo con base en una secuencia de aceleraciones instantáneas, como mínimo 4 y como máximo 10 hasta lograr 4 valores validos que se sitúen en una banda cuyo intervalo no sea mayor a  $0,25 \text{ m}^{-1}$ .

**5.2.7.5** Al término de las aceleraciones el equipo de medición deberá aprobar su ajuste a cero, en caso contrario, los resultados obtenidos se deberán desechar y desplegar un mensaje al técnico indicando que no se realizó una secuencia de aceleraciones válidas, debido a una falla del equipo de medición. En este caso, se deberán realizar nuevamente las mediciones.

**5.2.7.6** La lectura a registrar es el promedio de los cuatro valores válidos obtenidos. Este valor calculado se considera aceptado siempre y cuando sea superior a cero.

**5.2.7.7** Vehículos con múltiples salidas del humo de escape.

- A) En el caso que el vehículo cuente con múltiples salidas del humo de escape es necesario repetir la secuencia descrita en el punto 5.2.1 para cada salida independiente.
  
- B) El coeficiente de absorción a registrar es el promedio de las lecturas obtenidas, en cada salida, de acuerdo al inciso anterior, siempre y cuando no difieran por más de  $0,15 \text{ m}^{-1}$ .
  
- C) Si la diferencia entre las lecturas es más de  $0,15 \text{ m}^{-1}$ , se tomará el valor más alto.

El coeficiente de absorción de luz registrado en la prueba deberá compararse con los límites establecidos en el punto 4 de ésta Norma Oficial Mexicana en función del año modelo del motor o del vehículo dependiendo de su peso bruto vehicular.

### 5.3 Registro de datos mínimos requeridos

Nombre	Descripción
PLACAS	Placas del vehículo, se deben excluir los caracteres I, Ñ, O, Q., y se deben validar las placas con la norma 001-SCT2 (Norma de placas y tarjetas asignadas a cada estado y cada tipo).
NOMBRE	Nombre o Razón social del dueño del vehículo según tarjeta de circulación
ESTADO	Domicilio del dueño del vehículo según tarjeta de circulación
MARCA	Marca del vehículo
MODELO	Año modelo del vehículo
MODELO_DSL	Año modelo del motor a diesel
ALIM_COMB	Tecnología de alimentación de Combustible
CILINDROS	Número de cilindros del motor
TEMP_MOT	Temperatura del aceite del motor, en grados centígrados.
MIN_RPM	Promedio de las revoluciones mínimas o de ralentí del motor a diesel de las cuatro aceleraciones válidas.
MAX_RPM	Promedio de las revoluciones máximas del motor a diesel de las cuatro aceleraciones válidas.
OPACIDAD	Promedio de las cuatro aceleraciones validas
PBV	Intervalo de Peso Bruto Vehicular

## **6. ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO DE MEDICIÓN**

- 6.1** Para medir las emisiones a que se refiere esta Norma Oficial Mexicana, se utilizará un Equipo de Medición que consiste en un opacímetro de cámara cerrada y de flujo parcial, el cual deberá cumplir con las siguientes características:
- 6.2** La sonda de toma de muestra y las mangueras correspondientes deberán ser las originales del material, longitud y diámetros especificados por el fabricante del equipo de medición.
- 6.3** Disponer de un sensor de temperatura para verificar que el motor del vehículo funcione a su temperatura normal de operación.
- 6.4** Disponer de un sensor y equipo para medir y registrar las RPM'S del motor y los tiempos de aceleración.
- 6.5** El equipo de medición debe medir la temperatura de los gases de escape dentro de su cámara de humo.
- 6.6** Estar diseñado para soportar un servicio continuo de operación, mínimo de 12 horas por día.
- 6.7** Contar con una placa de identificación adherida a la parte exterior del mismo, en la que se precise: modelo, número de serie, nombre y dirección del fabricante, requerimientos de energía eléctrica y límites de voltaje de operación.
- 6.8** Ser hermético en todas sus conexiones.
- 6.9** Sus controles deben ser accesibles a los operadores.

- 6.10** Contar con una escala total de medición, rapidez de respuesta y un máximo de desviación, de acuerdo a lo que establece la presente Norma.
- 6.11** Las lecturas del equipo de medición deberán ser registradas continuamente durante la prueba, cuya respuesta de tiempo es igual o más corta que la del sistema de procesamiento de datos.
- 6.12** El diseño del equipo de medición deberá ser tal, que bajo condiciones de operación a velocidad constante, la cámara de humo se llene uniformemente. La muestra de humo de escape estará contenida en una cámara que no tenga superficies internas con reflexión.
- 6.13** En la determinación de la longitud efectiva del paso de la luz a través del humo, deberá tomarse en cuenta la posible influencia de dispositivos que protegen la fuente de luz y la celda fotoeléctrica. Esta longitud efectiva debe ser indicada en el instrumento.
- 6.14** El equipo de medición deberá tener dos escalas de medición, una de ellas en unidades de absorción de luz de 0 a  $\infty \text{ m}^{-1}$  y la otra lineal de 0 a 100% de opacidad, ambas escalas de medición se extenderán desde cero con el flujo total de luz hasta el valor máximo de la escala con obscurecimiento total.
- 6.15 Especificación de la cámara de humo y cuerpo del opacímetro.**
- 6.15.1** La incidencia en la celda fotoeléctrica de luz desviada, debido a las reflexiones internas o efectos de difusión, debe ser reducida al mínimo (es decir, por acabado de las superficies internas en negro mate y por un arreglo general adecuado).
- 6.15.2** Las características ópticas deberán ser de tal forma, que los efectos combinados de reflexión y difusión no excedan de una unidad en la escala lineal, cuando la cámara de humo sea llenada con un gas de un coeficiente de absorción de  $1,7 \text{ m}^{-1}$  (uno coma siete metros a la menos uno).

Esto deberá comprobarse mediante el certificado de origen proporcionado por el fabricante.

### 6.15.3 La fuente de luz deberá ser:

- A) Una lámpara incandescente con un intervalo de temperatura de 2 800 a 3 250 K (dos mil ochocientos a tres mil doscientos cincuenta Kelvin), o en su caso.
  
- B) Una luz verde emitida por un diodo emisor (LED) con un punto espectral entre 550 y 570 nm (nanómetros).

**6.15.4** El receptor deberá constar de una celda fotoeléctrica o fotodiodo con una curva de respuesta espectral similar a la curva de respuesta fotópica del ojo humano (respuesta máxima en el intervalo 550/570 nm (nanómetros); menor que el 4% (cuatro por ciento) de esa respuesta máxima abajo de 430 nm (cuatrocientos treinta nanómetros) y arriba de 680 nm (seiscientos ochenta nanómetros).

**6.15.5** La construcción del circuito eléctrico, incluyendo la carátula indicadora, deberá ser tal, que la corriente de salida de la celda fotoeléctrica o fotodiodo sea una función lineal de intensidad de la luz recibida sobre el intervalo de la temperatura de operación de la celda fotoeléctrica.

**6.15.6** El coeficiente K de absorción de luz se calcula con la fórmula:

$$\emptyset = o e^{-KL}$$

dónde:

L = Longitud efectiva del paso de la luz a través de la muestra de gas.

o = Flujo incidente.

$\emptyset$  = Flujo emergente.

Cuando la longitud efectiva L de un tipo de opacímetro no puede ser calculada directamente de su geometría, la longitud efectiva L deberá ser determinada por el método descrito en esta Norma o a través de la correlación con otro tipo de opacímetro para que la longitud efectiva sea conocida.

La relación entre la escala lineal de 0 a 100% (cero a cien por ciento) de opacidad y el coeficiente “K” de absorción de la luz es dado por la fórmula:

$$K = - \frac{1}{L} \ln(1 - N)$$

Dónde:

L = La longitud efectiva del paso de la luz a través de la muestra de gas.

N = Una lectura en la escala lineal.

K = Valor correspondiente del coeficiente de absorción.

ln = Logaritmo natural.

**6.15.7** El tiempo de respuesta del circuito eléctrico de medición deberá ser de 0,9 a 1,1 seg (cero coma nueve a uno coma un segundos) por ser el tiempo necesario para que el instrumento alcance el 95% (noventa y cinco por ciento) de la escala completa con la inserción de un filtro completamente obscurecido en la celda fotoeléctrica.

**6.15.8** La amortiguación del circuito eléctrico de medición deberá ser tal, que la sobre-lectura inicial por arriba a la lectura final constante, después de cualquier variación momentánea en la salida (por ejemplo: la calibración con pantallas), no excederá el 2% (dos por ciento) de esa lectura en la escala de unidades lineales.

- 6.15.9** El tiempo de respuesta del opacímetro no deberá exceder de 0,4 seg. (cero coma cuatro segundos), el cual se debe al fenómeno físico de la cámara de humo, siendo el tiempo que transcurre desde el principio de la entrada de gas a la cámara hasta el llenado completo de la cámara de humo.
- 6.15.10** Durante todo el tiempo de trabajo del opacímetro, la estabilidad no debe ser menor al 98% por ciento de escala completa en la escala de unidades lineales.
- 6.15.11** Tener una repetibilidad de  $0,05 \text{ m}^{-1}$  de la lectura en la carátula indicadora del opacímetro cuando un filtro entre  $1,6 \text{ m}^{-1}$  y  $1,8 \text{ m}^{-1}$  y conocido dentro de una tolerancia de  $0,025 \text{ m}^{-1}$  es introducido entre la fuente de luz y la celda fotoeléctrica durante 5 mediciones sucesivas con el mismo filtro.
- 6.15.12** El tiempo de estabilidad (calentamiento) debe ser menor de 10' (diez minutos) después del encendido.
- 6.15.13** El equipo deberá contener una placa informativa en un lugar visible indicando los requerimientos energéticos mínimos y máximos de operación.
- 6.15.14** En cada punto de la cámara de humo la temperatura del gas deberá estar entre  $70^{\circ}\text{C}$  (setenta grados centígrados) y una temperatura máxima especificada por el fabricante del opacímetro, de forma tal que las lecturas sobre el intervalo de temperatura no varíe por más de  $0,1 \text{ m}^{-1}$  (cero coma uno metros a la menos uno), cuando la cámara esté llena con gas que tiene un coeficiente de absorción de  $1,7 \text{ m}^{-1}$  (uno coma siete metros a la menos uno).
- 6.15.15** Las lecturas del opacímetro no deberán verse afectadas por variaciones de  $\pm 10\%$  voltaje y de temperatura que se registren.



## 6.16 Comprobación del Funcionamiento del Opacímetro.

- A) **El equipo de medición** debe requerir y aprobar un ajuste a cero y span, tomando como referencia el aire ambiente al inicio de las actividades como parte de su secuencia de arranque. Si no se genera un resultado aprobatorio, el equipo de medición debe quedar bloqueado para realizar pruebas de verificación, hasta en tanto no se obtenga un resultado satisfactorio.

El filtro utilizado para realizar el span debe ser trazable a CENAM con una incertidumbre expandida en su valor de obturación menor a 0,5% de unidades, medido en una escala lineal de 0 al 100%.

## 6.17 Calibración del Opacímetro.

Se debe requerir una calibración con filtros patrón, el cual deberá ser realizado por un laboratorio de calibración acreditado dentro del Sistema Nacional de Calibración en los términos que marca la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, cada tres meses en condiciones normales de operación, independientemente de que se realice cada vez que haya sido sometido a mantenimiento o reparación. Si el equipo de verificación realiza un promedio de 50 o más verificaciones por día, este requerimiento es cada 30 días.

Al llegar a la fecha límite sin haber realizado la calibración, el equipo debe auto-bloquearse.

La calibración debe utilizar cuatro filtros de opacidad absortivos trazables al CENAM, con una diferencia de por lo menos 15 unidades uno del otro. La Transmitancia de cada filtro expresado en unidades lineales debe ser conocida en todos las longitudes de onda entre 430 a 680 nm.

La incertidumbre expandida de cada filtro (con un factor de cobertura de 2,0)

expresado en unidades lineales y con un nivel de confianza del 95% no debe exceder de 2 unidades en la escala lineal. (No deberán usarse filtros con una opacidad arriba del 80%).

Cada filtro debe introducirse un mínimo de 3 veces en el haz de luz del instrumento mientras está fluyendo aire limpio por la cámara de medición de los gases a la misma presión que estará presente en la cámara durante una prueba de verificación vehicular.

El procedimiento para la prueba es como sigue:

- i) Realizar un ajuste a cero.
- ii) Obtener una lectura estable del opacímetro sin filtro.
- iii) Introducir el filtro en la cámara de humo. Cuando las lecturas se han estabilizado, imprimir los resultados junto con los datos cronológicos de operación, del centro y de la línea de verificación.

Repetir los pasos ii y iii tres veces para cada filtro, terminando el ciclo con el paso ii.

Comparar las lecturas con los valores de cada filtro. Si el promedio de las 3 lecturas de cada filtro varían del valor del filtro por más de la tolerancia máxima especificada, se debe considerar al opacímetro como fuera de especificaciones.

La tolerancia máxima permitida es de  $\pm 2\%$  del valor del cristal.

## **7. PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD**

El Procedimiento para la Evaluación de la Conformidad de esta Norma Oficial Mexicana, se efectuará en los términos mínimos de las disposiciones particulares aplicables a esta Norma,

las Personas acreditadas y aprobadas, podrán complementar, de acuerdo a la Norma los aspectos mínimos a verificar señalados a continuación:

## **7.1 DE LA MEDICIÓN DE LOS NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE OPACIDAD**

7.1.1 La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y los Gobiernos de los Estados, establecerán en el ámbito de su competencia, los programas de verificación vehicular en donde se definirán las características de operación de los mismos.

7.1.2 La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y los Gobiernos de los Estados, operarán, aprobarán y/o autorizarán la operación de centros de verificación de emisiones vehiculares, mismos que deberán obtener la acreditación como Unidad de Verificación en los términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización en un plazo no mayor a dos años.

7.1.3 Los propietarios o conductores de los automotores materia de la presente norma deberán presentarlos a evaluación de sus emisiones contaminantes en los centros de verificación de emisiones vehiculares autorizados y/o unidades de verificación acreditadas, de acuerdo al calendario y con los documentos que establezca el programa de verificación vehicular que le corresponda y que para tal efecto emita cada autoridad ambiental.

7.1.4 Los niveles máximos permisibles de opacidad contenidos en las tablas “1” y “2” se evaluarán bajo el procedimiento de prueba definido en el numeral 5 de la presente norma. Se considera que un vehículo pasa la prueba cuando la opacidad del humo emitido es igual o menor al nivel máximo permisible que le corresponda de acuerdo al año – modelo de la unidad y de su peso bruto vehicular.

7.1.5 El personal del centro de verificación de emisiones vehiculares y/o de las Unidades de Verificación entregará, al propietario o conductor del vehículo, el documento oficial en donde se haga constar el resultado de la prueba. En caso que los niveles de emisión incumplan con lo establecido en la presente norma, el propietario o conductor del automotor deberá dar el

mantenimiento vehicular necesario y volver a presentar su vehículo a revisión de sus emisiones, repitiendo el ciclo hasta obtener el documento aprobatorio.

## **7.2 De los equipos de medición**

7.2.1 La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales certificará el cumplimiento, con lo establecido en la presente norma, de los equipos de medición de opacidad.

7.2.2 Las autoridades responsables de algún programa de verificación vehicular podrán autorizar el uso, en su programa, de equipos de medición de opacidad, siempre y cuando:

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, no haya autorizado equipos de medición de opacidad, ó

Requiera de elementos especiales, no contemplados en esta norma, para la operación de su programa. Siempre que estos elementos no contravengan ninguna disposición establecida en esta norma.

7.2.3 Los equipos de medición deberán estar calibrados con trazabilidad a lo Patrones Nacionales y/o Extranjeros de acuerdo con lo establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

## **7.3 De los centros de verificación vehicular y unidades de verificación de niveles máximos permisibles de opacidad.**

7.3.1 Las autoridades responsables de algún programa de verificación vehicular podrán operar de por sí o a través de particulares autorizados, los centros de verificación de emisiones vehiculares y Unidades de Verificación acreditadas, que den servicio a los propietarios o conductores de automotores a diesel.

7.3.2 En el caso de los centros operados por la autoridad, estos deberán contar con infraestructura que cumpla con lo dispuesto en esta Norma Oficial Mexicana.

7.3.3 Los centros autorizados y operados por particulares, deberán adquirir la figura jurídica de Unidad de Verificación en el plazo que establezca la Dependencia que apruebe o autorice, para lo cual deberá cumplir con lo que se establece en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y su Reglamento.

#### **7.4 De las Unidades de Verificación de procedimiento y Laboratorios de Calibración.**

Las disposiciones anteriores se verán complementadas por las especificaciones establecidas por las autoridades Estatales, y las Dependencias Federales correspondientes en sus programas de verificación, que para tal efecto emitan.

- I.- Las Unidades de Verificación y Laboratorios de Calibración, según sea el caso, deberán contar con todos los requisitos establecidos en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, su Reglamento y tenerlos actualizados y disponibles a efecto de verificar todas las especificaciones de niveles máximos permisibles de opacidad de humo, procedimiento de prueba, características del equipo y calibración del mismo.

### **8 GRADO DE CONCORDANCIA CON NORMAS Y LINEAMIENTOS INTERNACIONALES Y CON LAS NORMAS MEXICANAS TOMADAS CON BASE PARA SU ELABORACIÓN**

No existen normas o lineamientos internacionales que concuerden con la presente Norma Oficial Mexicana al momento de su elaboración, tampoco existen normas mexicanas que sirvan de base para tal fin.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- 9.1** American National Standard. SAE J-1667.- Snap-Acceleration Smoke Test Procedure for Heavy-Duty Diesel Powered Vehicles. Issued 1996-02.  
Estándar Nacional Americano. SAE J-1667 Procedimiento de Prueba de Humo en Aceleración Instantánea para Vehículos a diesel de uso Pesado. Expedida en febrero de 1996.
- 9.2** Code of Federal Regulations 40, part. 81 to 99, revised July 2000, U.S.A.  
Código de Regulaciones Federales 40, partes 81 a 99, revisado en julio de 2000, Estados Unidos de América.
- 9.3** DIRECTIVA DEL CONSEJO EUROPEO, del 2 de agosto de 1972; Relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre las medidas que deben adoptarse contra las emisiones de contaminantes procedentes de los motores diesel destinados a la propulsión de vehículos (72/306/CEE) (do I 190 DE 20.8.1972, p, 1), 1972L0306-ES-05.06.1997-002.001-1
- 9.4** DIRECTIVA DEL CONSEJO EUROPEO, del 2de agosto de 1972; Relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre las medidas que deben adoptarse contra las emisiones de contaminantes procedentes de los motores diesel destinados a la propulsión de vehículos (72/306/CEE) (DO L 190 de 20.8.1972, p. 1) y modificada por M1 Directiva 89/491/CEE de la Comisión de 17 de julio de 1989 y M2 Directiva 97/20/CE de la Comisión de 18 de abril de 1997
- 9.5** ISO 11614:1999(E), internacional Normal ISO 11614; primera edición 1999-09-01
- 9.6** SAEJ225v001 Diesel Engine Smoke Measurement.  
SAEJ225v001 Medición del Humo en Motores Diesel

## 10. VIGILANCIA DE ESTA NORMA

La Vigilancia de la presente Norma Oficial Mexicana corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, por conducto de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente y a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes; a los Gobiernos del Distrito Federal, de los Estados y de Municipios, en el ámbito de sus respectivas jurisdicciones.

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 Control de la Contaminación de la Atmósfera y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

### TRANSITORIOS

**PRIMERO.-** Provéase la publicación de esta Norma en el **Diario Oficial de la Federación**.

**SEGUNDO.-** La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor a los sesenta días siguientes de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

**TERCERO.-** La presente Norma Oficial Mexicana debe colocarse en un lugar visible en los centros de verificación autorizados.

**CUARTO.-** La presente Norma Oficial Mexicana será revisada, en específico, los valores contenidos en las tablas 1 y 2 de la disposición "4. NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE OPACIDAD", en cuanto se disponga de información relacionada a resultados que se vayan obteniendo de diferentes estratos del parque vehicular a que se refiere la misma.

Provéase la publicación de este proyecto de Norma Oficial Mexicana en el **Diario Oficial de la Federación**.

# **BIBLIOGRAFÍA**



## BIBLIOGRAFÍA

- 1) Vehículos Híbridos  
Mauricio Osses, Carlos Montero, Reinaldo Kühn  
Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ciencias Físicas y  
Matemáticas. Universidad de Chile.
  
- 1) <http://lfee.mit.edu/publications/>  
Publication No. LFEE 2003-001 RP
  
- 2) North Carolina Department of Transportation.
  
- 3) “Viabilidad técnica del uso de gas natural comprimido en vehículos  
automotores”  
Flores Soriano Jorge  
Tesis Licenciatura (Ingeniero Mecánico Electricista)-UNAM, Facultad de  
Ingeniería.
  
- 4) “Motores Diesel”  
Ralbovsky E.  
Editorial Paraninfo 2000.
  
- 5) “Motores endotérmicos: Motores de encendido por chispa: De carburación  
y de inyección. motores de encendido por compresión diesel, lentos y  
veloces. motores rotativos-turbinas de gas. teoría-construcción-pruebas”  
Giacosa Dante. Tercera Edición Barcelona: Científico-medica, 1970.

- 6) “El gas natural comprimido: una alternativa para el transporte en la Ciudad de México”  
Ortega Anabel, Marcovich Gustavo  
Instituto Mexicano Del Petróleo, Subdirección De Estudios Económicos y Planeación Industrial  
México, D. F.: Gobierno del Distrito Federal, Comité Editorial, 1999.
  
- 7) “Biodiesel, un combustible alternativo para México”  
González Zaragoza José Antonio  
Tesis Licenciatura (Ingeniero Químico)-UNAM, Facultad de Química 2004.
  
- 8) “Bombas rotativas de inyección de émbolos radiales, para motores diesel : control electrónico del motor para motores diesel”  
México: BOSCH: Reverte, 1999.
  
- 9) “Bombas de inyección diesel en línea : control del motor en motores diesel”  
Ritter Ernst  
Segunda Edición Stuttgart: Bosch, 2000.
  
- 10) “Sistemas de Inyección Diesel”  
Hermógenes Gil  
Grupo Editorial CEAC 2002.
  
- 11) “Técnica de inyección diesel como visión de conjunto: control del motor para motores diesel”  
Stuttgart, Alemania: R. Bosch, 1999.
  
- 12) “Reguladores para bombas de inyección en línea Diesel : control de motores Diesel”  
Ritter Ernst  
Stuttgar : Bosch, 2001.

- 13) “Motores de Combustión Interna Alternativos”  
Dr. F. Payri, Dr. M. Muñoz  
Fundación General U. P. M.
  
- 14) “Manual del Ingeniero Mecánico”  
H. Smith Edward  
Prentice-Hall Hispanoamericana S.A.
  
- 15) “American National Standard, SAE J-1667: Snap-Acceleration Smoke Test  
Procedure for Heavy-Duty Diesel Powered Vehicles”  
Society of Automotive Engineers, Inc. 1996.
  
- 16) “Inyección electrónica en motores diesel”  
Marti Parera Albert  
Barcelona: Marcombo, 1996.
  
- 17) “Ordenanza Número 39025”  
Código de Prevención de la Contaminación Ambiental  
Buenos Aires, Argentina 1983.
  
- 18) “DIRECTIVA DEL CONSEJO EUROPEO, del 2 de agosto de 1972;  
Relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros  
sobre las medidas que deben adoptarse contra las emisiones de  
contaminantes procedentes de los motores diesel destinados a la  
propulsión de vehículos (72/306/CEE)”
  
- 19) “NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-045-ECOL-1996”  
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales 1996.

- 20) "NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-077-ECOL-1995"  
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales 1995.
- 21) "Opacity and Photoacoustic Measurements of Diesel Particle Mass Emissions"  
Roessler David M. - Physics Dept.  
General Motors Research Labs.
- 22) "Real-Time Measurement of Diesel Particulate Emissions With a Light Extinction Opacity Meter"  
Gerke Daniel H.  
Caterpillar Tractor Corporation.
- 23) "Opacity of black smoke: calculated variation with particle size and refractive index"  
Roessler, David M. , Faxvog, Fred R.  
Applied Optics, Volume 18, Issue 9, May 1, 1979, pp.1399-1403.
- 24) "Técnicas de muestreo"  
Cochran William g.  
México: Cecsa, 1980.
- 25) "Curso intensivo de muestreo en poblaciones finitas"  
Sánchez J. L.  
Segunda Edición Madrid: Instituto Nacional de Estadística, 1980.
- 26) "Muestreo : diseño y análisis"  
Lohr Sharon L.; traducción Palmas Velasco Oscar Alfredo  
México: International Thomson, 2000.

- 27) “Muestreo, medición y análisis de partículas diesel”  
Rojas Tapia Alejandro, Padilla Martínez Cayetano  
Tesis Licenciatura (Ingeniero Mecánico Electricista)-UNAM, Facultad de  
Ingeniería 1996.
- 28) “Análisis paramétrico de la emisión de partículas en un motor Diesel de  
inyección directa mediante sonda de muestreo”  
González Oropeza Rogelio  
Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Valencia, 1993.
- 29) “ Probabilidad y estadística para ingenieros”  
Ronald E. Walpole, Raymond H. Myers, Sharon L. Myers; traducción Cruz  
Ricardo  
México: Prentice-Hall Hispanoamericana, 1999.
- 30) “Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería”  
Douglas C. Montgomery, George C. Runger ; traducción Urbina Medal  
Edmundo G.
- 31) “Probabilidad y estadística : Aplicaciones y métodos”  
George C. Canavos; traducción Gerardo Edmundo  
México: McGraw-Hill, 1986.
- 32) “Probabilidad y estadística : Fundamentos y aplicaciones”  
Centro de Educación Continua  
México: UNAM, Facultad de Ingeniería 1977.

- 35) HYBRID-ELECTRIC DRIVE.  
HEAVY-DUTY VEHICLE TESTING PROJECT.  
Northeast Advanced Vehicle Consortium  
M. J. Bradley & Associates, Inc.  
West Virginia University
- 36) “Motores diesel y sistemas de inyección”  
Asmus Alan, Wellington Barry  
Madrid: Paraninfo, 1991.