

3  
290



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Escuela Nacional de Estudios Profesionales  
ZARAGOZA

**TENDENCIAS TECNOLOGICAS EN LA  
PRODUCCION, TRATAMIENTO Y USO  
DEL DIESEL COMBUSTIBLE.**

## **TESIS PROFESIONAL**

Que para obtener el Titulo de:  
INGENIERO QUIMICO

Presenta:

ANDRES AQUINO CANCHOLA



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

MEXICO, D. F.

FEBRERO 1993.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## INDICE.

### RESUMEN.

#### CAPITULO 1. TENDENCIAS ACTUALES Y A FUTURO DE LAS ESPECIFICACIONES DEL DIESEL COMBUSTIBLE.

NORMAS Y ESPECIFICACIONES.	1-2
NORMAS Y ESPECIFICACIONES INTERNACIONALES.	1-2
ESPECIFICACIONES NACIONALES.	1-19

#### CAPITULO 2. EFECTO DE LAS PROPIEDADES DEL DIESEL COMBUSTIBLE SOBRE LAS EMISIONES ORIGINADAS POR SU USO EN MOTORES DE COMBUSTION INTERNA.

VOLATILIDAD.	2-1
DENSIDAD/GRAVEDAD API Y CONTENIDO DE AROMATICOS.	2-5
CONTENIDO DE AZUFRE.	2-9
VISCOSIDAD.	2-11
CARACTERISTICAS DE FLUJO EN FRIJO Y COMPOSICION DEL COMBUSTIBLE.	2-17
ESTUDIOS REALIZADOS POR GENERAL MOTORS.	2-28
ESTUDIOS REALIZADOS POR CUMMINS ENGINE CO.	2-34

CAPITULO 3. PROCESOS DE PRODUCCION DE DIESEL  
COMBUSTIBLE.

DESCRIPCION DEL PROCESO DE REFINACION DEL PETROLEO.	3-1
PROCESO PRIMARIO.	3-3
PLANTA DE DESTILACION ATMOSFERICA.	3-3
PLANTA DE DESTILACION AL VACIO.	3-5
PROCESO SECUNDARIO.	3-6
PLANTA HIDRODESULFURADORA DE DESTILADOS INTERMEDIOS.	3-6
PLANTA DE DESINTEGRACION CATALITICA.	3-8
ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL DIESEL.	3-8
MEZCLADO SELECTIVO	3-10
EL USO DE ADITIVOS MEJORADORES DEL NUMERO DE CETANO.	3-10
ALTERNATIVAS DE PROCESAMIENTO.	3-12
HIDROGENACION.	3-13
INVESTIGACIONES PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL COMBUSTIBLE. HIDROTRATAMIENTO.	3-13

CAPITULO 4. TENDENCIAS TECNOLOGICAS DE LA INDUSTRIA  
AUTOMOTRIZ PARA DISMINUIR LA EMISION DE  
CONTAMINANTES DE MAQUINAS DIESEL.

OPCIONES DE CONTROL DE EMISIONES.	4-1
OPCIONES DE CONTROL DE EMISIONES PARA VEHICULOS LIGEROS.	4-2
OPCIONES DE CONTROL PARA VEHICULOS DE TRANSPORTE PESADO.	4-4
TRAMPAS CATALITICAS.	4-7
CALIBRACION DEL TIEMPO DE INYECCION: METODO VIA MICROONDAS.	4-11
CONTROL ELECTRONICO PARA MOTORES DIESEL.	4-13
DISEÑO DE COMPONENTES DEL SISTEMA DE COMBUSTION.	4-15
PURIFICADORES DE COMBUSTIBLE.	4-19
CONFIGURACIONES TÍPICAS DE MOTORES DIESEL DE ACUERDO CON LA POTENCIA.	4-21

APENDICE. METODOS DE PRUEBA ASTM PARA COMBUSTIBLE  
DIESEL.

CLASIFICACION ASTM PARA DIESEL COMBUSTIBLE.	A-1
REQUISITOS PARA UNA BUENA CLASIFICACION.	A-1
PROPIEDADES IMPORTANTES DEL DIESEL.	A-4
CLASIFICACION PROPUESTA.	A-11

CONCLUSIONES.

BIBLIOGRAFIA.

## RESUMEN.

El trabajo está dividido en cuatro capítulos y un apéndice.

En el primer capítulo, se mencionan las tendencias mundiales y nacionales en cuanto a la calidad del combustible diesel, así como las especificaciones de emisiones máximas permitidas para vehículos diesel.

En el segundo capítulo, se mencionan algunos de los efectos que se presentan con las variaciones de la calidad del combustible. Principalmente, las relaciones entre la vida útil del motor y las propiedades del combustible.

En el tercer capítulo, se describen algunas alternativas para mejorar la calidad del combustible a partir del procesamiento de las fracciones intermedias del petróleo crudo.

En el cuarto capítulo, se describen algunas alternativas tecnológicas que son viables para reducir la emisión de contaminantes. Las que destacan por su eficacia, son las trampas catalíticas.

Finalmente, se incluye un apéndice, donde se mencionan algunas de las propiedades más importantes del combustible. Métodos de prueba para verificar la calidad del combustible y una propuesta de clasificación.

## **CAPITULO 1.**

# **TENDENCIAS ACTUALES Y A FUTURO DE LAS ESPECIFICACIONES DEL DIESEL COMBUSTIBLE.**

Para hablar de la calidad de un producto se hace necesario definir una serie de parámetros que nos permitan cuantificar sus propiedades. El diesel no es la excepción, existe un conjunto de conceptos que definen sus propiedades, de manera que es posible establecer requisitos mínimos de calidad que determinen si cumple o no con las necesidades del consumidor.

Entre los principales conceptos que definen la calidad del diesel, se encuentran los siguientes:(1)

- a. - COMPOSICION DE HIDROCARBUROS.
- b. - NUMERO DE GETANO.
- c. - CURVA DE DESTILACION.
- d. - VISCOSIDAD.
- e. - RESIDUOS DE CARBON
- f. - CONTENIDO DE AZUFRE
- g. - PUNTO DE INFLAMACION.
- h. - PUNTO DE NIEBLA.
- i. - PUNTO DE ESCURRIMIENTO.
- j. - CENIZAS.
- k. - PRUEBA DE CORROSION Y ALCALINIDAD.
- l. - PODER CALORIFICO.
- m. -ESTABILIDAD, SEPARACION DE AGUA Y ENMOHECIMIENTO.

ASTM (American Society Testing Mechanics) ha dado una definición o significado para cada uno de los conceptos

anteriores, mismos que se describen en detalle en el apéndice.

Las especificaciones que resultan más importantes para el control de calidad del diesel en la actualidad son el contenido de azufre y el número de cetano. Están directamente relacionadas con la cantidad de partículas emitidas por su combustión (contenido de azufre y aromáticos), así como con la calidad de ignición (número de cetano).

NORMAS Y ESPECIFICACIONES. Para el desarrollo de este capítulo, se hará primero una revisión de algunas especificaciones a nivel internacional. Posteriormente se detallarán las especificaciones nacionales.

NORMAS Y ESPECIFICACIONES INTERNACIONALES. Bajo este título se describirán las especificaciones correspondientes a los Estados Unidos de Norteamérica, Canadá y algunas regiones de Europa.

ESTADOS UNIDOS DE AMERICA. En los Estados Unidos de América (E.U.A) se están dictando normas cada vez más restrictivas en cuanto a la calidad de los combustibles. La EPA (Environmental Protection Agency) ha establecido una serie de medidas tendientes a disminuir los daños causados al medio ambiente por la emisión de gases de combustión generados por el uso de motores. En el caso del diesel, los

principales puntos consisten en incrementar el número de cetano y disminuir el contenido de azufre.

A continuación se presenta un seguimiento cronológico sobre la forma en que han evolucionado las normas que ha dictado la EPA en relación a las especificaciones para el diesel.(2)

Para el año de 1984, había impuesto como máximo una emisión de partículas de 0.6 g/milla.

En 1985, consideró una reducción en la emisión de partículas de tal modo que el límite máximo quedó establecido en 0.02 g/milla, lo que produjo una reacción por parte de la industria automotriz y de refinación de petróleo.

Como una respuesta a las exigencias de la EPA, se presentaron algunas alternativas:

- \* Limitar la emisión de partículas para camiones de transporte pesado y autobuses.

- \* Admitir que la industria automotriz utilice un promedio para la emisión de partículas, en lugar de valores específicos para cada tipo de vehículo.

- \* Permitir a los gobiernos locales, reglamentar la emisión de partículas, en lugar de dictaminar reglas de observancia general.

- \* Distribuir los mercados de vehículos, de modo que no se rebasen las cuotas de niveles de emisión de contaminantes recomendados.

De acuerdo con lo anterior, las especificaciones correspondientes a los modelos de 1991 a 1993 pueden certificarse con un valor máximo promedio de contenido de azufre de 0.10% en peso, en el diesel. Asimismo, para el año de 1994 los niveles promedio en el diesel, serán los que se habían propuesto para el primero de Octubre de 1993: 0.05% máximo en peso de azufre y número de cetano mínimo de 40.

Con respecto a la industria automotriz la EPA, propuso las siguientes normas(2):

En marzo de 1985, publica un estándar para la emisión de partículas de 0.25 g/BHP-Hr (gramos sobre caballo de potencia al freno por hora) para camiones diesel de servicio pesado (carga mayor a 8500 lbs) y 0.10 g/BHP-Hr para autobuses urbanos, efectivo para modelos 1991; y 0.10 g/BHP-Hr para camiones de servicio pesado, momentáneamente, para modelos 1994.

Durante el proceso de elaboración de las reglas, los fabricantes de motores expresaron la importancia que el contenido de azufre tiene en los combustibles, sobre el hecho de poder o no cumplir con los requerimientos. En el mismo panel se mencionó la importancia de usar equipos adicionales para el tratamiento de los gases de escape, tales como trampas para partículas que pueden ayudar a pasar las pruebas de emisiones.

Aunque, se ha observado que las tecnologías de

tratamiento de los efluentes de la combustión de motores, no ha dado resultado debido a que las concentraciones de azufre actuales en los combustibles impiden el uso de convertidores y trampas catalíticas, para reducir la emisión de gases y partículas de azufre.

En junio de 1986, se publicaron los resultados de dos trabajos cuyos títulos son: "Diesel Fuel Quality Effects on Emissions, Durability, Performance, and Costs" y "Study of the Effects of Reduced Diesel Fuel Sulfur Content on Engine Wear". (2)

Los resultados de estos estudios muestran que una reducción en el contenido de azufre en el diesel puede reducir directamente la emisión de partículas y dióxido de azufre. Por otra parte, una reducción en el contenido de aromáticos disminuye la emisión de partículas carbonosas y orgánicas.

El tiempo de vida del motor se puede incrementar hasta en un 30% a consecuencia de una reducción en el desgaste por el uso de combustibles de bajo contenido de azufre.

Otro de los datos interesantes que arrojan estos estudios es el costo por reducir el contenido de azufre hasta un valor máximo de 0.05% en peso, que fue estimado en 1.2 centavos de dólar por galón.

Las especificaciones de la EPA están basadas en la clasificación hecha por la ASTM sobre los tipos de

combustibles diesel que se encuentran disponibles comercialmente.

En la tabla (1.1) se enlistan las especificaciones sobre emisiones para motores diesel propuestas por la EPA desde el año de 1987 hasta 1995.(3)

Cabe aclarar que, también la industria automotriz, al verse afectada por las disposiciones de la EPA, ha propuesto sus propias especificaciones con la finalidad de protegerse de las exigencias impuestas.

GENERAL MOTORS propuso una serie de requisitos en cuanto a la calidad que deben tener los combustibles para ser usados en sus motores diesel. Ha identificado problemas relacionados con el uso de combustibles de mala calidad, los más comunes se mencionan en el capítulo dos.

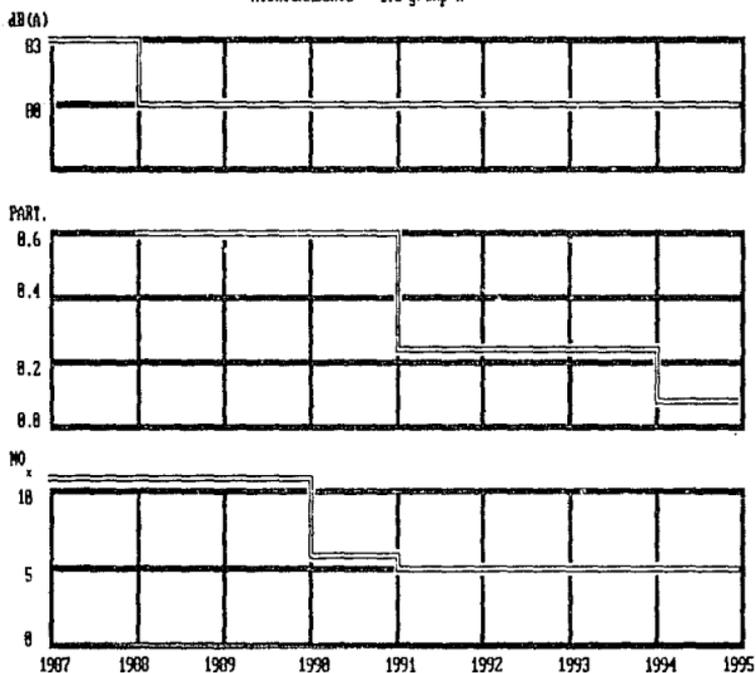
En la tabla ( 1.2 ) se muestran las especificaciones propuestas por GENERAL MOTORS, así como los métodos de prueba ASTM que se emplean para verificar los valores de cada uno de los parámetros.(4)

La ASTM, elaboró un conjunto de especificaciones, así como una clasificación para diesel, de acuerdo al uso. La mayoría de las organizaciones que han propuesto especificaciones toman como referencia los métodos de prueba elaborados por ASTM para asegurar que se cumpla con los requisitos de calidad.

TABLA 1.1

REGULACIONES ACTUALES Y A FUTURO PARA LAS  
EMISIONES GENERADAS POR MOTORES DIESEL (EPA).

HIDROCARBUROS = 1.3 g/bhp-h



NOTA: LAS UNIDADES CORRESPONDIENTES A LA EMISION DE PARTICULAS  
Y OXIDOS DE NITROGENO, ESTAN DADAS EN g/bhp-h.

**TABLA 1.2**  
**ESPECIFICACIONES PROPUESTAS POR**  
**GENERAL MOTORS PARA DIESEL COMBUSTIBLE.**

PROPIEDADES.	LIMITES	METODOS ASTM.
NUMERO DE CETANO.	42 MIN	D-613
CONTENIDO DE AZUFRE, % MASA	0.5 MAX	D-129 O D-1552
AGUA Y SEDIMENTO, % VOL.	0.05 MAX	D-1796
VISCOSIDAD A 40° C, cST	1.9 - 4.1	D-445
PUNTO DE INFLAMACION, °C	52	D-93 O D-56
DENSIDAD, API	NO DEFINIDA	...
CENIZAS, %	0.01 MAX	D-482
RESIDUOS DE CARBON SOBRE 10x RED., %	0.25 MAX	D-524
TEMPERATURA DE DESTILACION, °C	...	D-86
18 % DE RECUPERACION	...	...
50 % DE RECUPERACION	...	...
90 % DE RECUPERACION	...	...
PUNTO FINAL	...	...
DISTRIBUCION DE TIPO DE HC, % VOL.	...	D-1319
AROMATICOS	30 MAX	...
OLEFINAS	INDEFINIDO	...
PARAFINAS	INDEFINIDO	...
PRUEBA DE COROSION AL COBRE, 3HRS A 50°C	No 3 MAX	D-130
ESTABILIDAD A LA OXIDACION	...	...
INHIBICION A LA FORMACION DE MONO	...	...

... NO SE HAN DETERMINADO LOS VALORES LIMITE O NO SE HAN DEFINIDO LOS METODOS DE PRUEBA CORRESPONDIENTES.

En los últimos años ASTM modificó ligeramente la clasificación que tenía de los combustibles diesel. Su clasificación actual se basa en el tipo de uso al que destina el combustible. Esta clasificación aparece en la tabla (1.3). No existen diferencias sustanciales con respecto a la clasificación anterior. En el apéndice se incluye la clasificación ASTM en detalle.(6)

CANADA. En Canadá también existen corporaciones preocupadas por la producción de combustibles de buena calidad, así como por la elaboración de especificaciones tendientes a satisfacer las necesidades de calidad de los combustibles que se expenden al público.

La Shell Canadá Ltd, como abastecedor de diesel, describe algunos de los problemas que se presentan por las variaciones de calidad del diesel. Entre los principales, se mencionan los siguientes (6):

\* Problemas debidos a las condiciones climatológicas imperantes durante el invierno, entre los que se encuentran dificultades para el arranque a temperaturas inferiores a -20 °C, por lo que se requiere la implementación de sistemas de calentamiento/encendido en las cámaras de combustión de los motores. Las propiedades del combustible juegan un papel muy importante en estas circunstancias (calidad de ignición).

\* Otro de los problemas, es que los motores diesel no se

**TABLA 1.3**  
**CLASIFICACION ASTM PARA EL DIESEL COMBUSTIBLE**  
**DE ACUERDO CON SU USO.**

<b>CLASIFICACION ACTUAL.</b>	
<b>TIPO.</b>	<b>USOS O APLICACIONES.</b>
C-B	ACEITE COMBUSTIBLE DIESEL PARA AUTOBUS DE CIUDAD Y OPERACIONES SIMILARES.
T-Y	COMBUSTIBLES PARA MAQUINAS DIESEL EN CAMIONES, TRACTORES Y SERVICIOS SIMILARES.
R-R	COMBUSTIBLES DIESEL PARA FERROCARRIL.
S-N	DESTILADOS PESADOS Y COMBUSTIBLES RESIDUALES PARA MAQUINAS MARINAS DIESEL Y ESTACIONARIAS.

<b>CLASIFICACION ANTERIOR</b>	
<b>GRADO</b>	<b>USOS Y APLICACIONES.</b>
No 1-D	COMBUSTIBLE DESTILADO VOLATIL PARA MOTORES EN SERVICIO QUE REQUIEREN VELOCIDAD CONSTANTE.
No 2-D	COMBUSTIBLE DESTILADO DE BAJA VOLATILIDAD PARA MOTORES EN SERVICIO INDUSTRIAL Y TRANSPORTE PESADO.
No 3-D	COMBUSTIBLE PARA MOTORES DE BAJA Y MEDIA VELOCIDAD.

encuentran optimizados para operar bajo las condiciones climatológicas del invierno canadiense.

\* Se han desarrollado investigaciones para producir combustibles a partir de crudos "tar sands". Estos crudos son aromáticos en naturaleza y por lo tanto, de baja calidad de ignición.

Las especificaciones correspondientes a la década de los 80'S, propuestas por la Canadian Automotive se presentan en la tabla ( 1.4 ). Se mencionan las especificaciones de dos tipos de combustibles, para invierno y verano, respectivamente. La diferencia entre éstas, son la densidad, punto de escurrimiento y punto de nubliamiento.

En la tabla ( 1.5 ), se muestran las especificaciones propuestas para los 90's.

Se elaboraron combustibles con las características propuestas y se observó que no dieron resultado. Entre los principales problemas que se presentaron están los de encendido y operabilidad de los motores, a bajas temperaturas. (8)

Para disminuir los problemas originados por las especificaciones antes mencionadas, se hizo una revisión y se propuso modificarlas, de tal manera que las especificaciones más reales para la década de los 90'S se presentan en la tabla ( 1.6 )

Como se puede observar en el caso de Canadá, la

**TABLA 1.4**  
**ESPECIFICACIONES DE CALIDAD PARA EL DIESEL**  
**COMBUSTIBLE DE LA "CANADIAN AUTOMOTIVE".**

PROPIEDADES.	VERANO	INVIERNO
DENSIDAD, 15 ° C    Kg/m <sup>3</sup>	855	848
VISCOSIDAD, Cs a 40 ° C	2.7	1.7
DESTILACION (D-86) ° C	...	...
10% DE RECUPERACION	215	200
50% DE RECUPERACION	278	245
90% DE RECUPERACION	315	295
NUMERO DE CETANO <sup>a</sup>	43	42
AZUFRE, % EN MASA	0.2	0.2
PUNTO DE NUBLAMIENTO, ° C <sup>b</sup>	-28	-30
PUNTO DE ESCURRIMIENTO, ° C	-38	-39

<sup>a</sup> Puede contener mejoradores de ignicion.

<sup>b</sup> Puede contener mejoradores de flujo. Controlado como el 2-1/2 % de la temperatura de diseño mensual.

TABLA 1.5

ESPECIFICACIONES PROPUESTAS POR LA "CANADIAN AUTOMOTIVE" PARA COMBUSTIBLE DIESEL PARA LOS 90' S.

PROPIEDADES.	METODO ASTM	ESPEC.
DESTILACION, 90% °C	D-86	368-378
VISCOSIDAD, Cs a 40 °C (MAX)	D-455	6.8
NUMERO DE CETANO	D-613	34-36
AZUFRE, % EN MASA (MAX)	D-1552	0.7
PUNTO DE NUBLAMIENTO, °C	D-2580	VARIA <sup>a</sup>
PUNTO DE ESCURRIMIENTO, °C	D-97	VARIA
PUNTO DE INFLAMACION, °C	D-93	38-42

<sup>a</sup> Controlado como el 2-1/2% de la temperatura de diseño mensual para el area de uso. El examen de flujo a baja temperatura (LFTI) puede ser usado como una alternativa en el caso de que se hayan usado mejoradores de flujo.

**TABLA 1.6**  
**ESPECIFICACIONES PROPUESTAS POR LA "CANADIAN**  
**AUTOMOTIVE" PARA DIESEL EN LOS 90' S.**  
**CORREGIDAS.**

PROPIEDADES.	ESPECIFICACIONES
DESTILACION, °C	...
10% RECUPERACION	190-210
90% RECUPERACION	340
VISCOSIDAD, Cs a 40 °C (MAX)	2.0-3.0
NUMERO DE CETANO	37.0 <sup>+</sup> 1
AZUFRE, % EN MASA (MAX)	0.5
PUNTO DE NUBLAMIENTO, °C (LYFT)	-25
PUNTO DE INFLAMACION, °C (MIN)	40
COMPOSICION. (% EN MASA)	...
SINTETICO	10-20
CRAQUEO	20-40

tendencia consiste en aceptar que la calidad del combustible disminuye, debido a la disponibilidad de crudos con un alto contenido de aromáticos, a partir de los cuales es difícil producir combustibles de alta calidad.(6)

EUROPA. Los países miembros de la Comunidad Económica Europea (CEE), han elaborado una serie de especificaciones con la tendencia de homogenizar la calidad del diesel.

Los requerimientos legales se han modificado después de ponerlos en práctica y de observar los resultados.

Entre las principales emisiones contaminantes que se reglamentan, se encuentra la emisión de hidrocarburos, dióxido de azufre y nitrógeno.

En 1985, Dinamarca y Grecia adoptaron medidas más restrictivas para la regulación de emisiones contaminantes que las observadas por los demás miembros de la CEE, a tales medidas se les conoce como " los estándares de Luxemburgo".

Las principales reglamentaciones corresponden a vehículos ligeros, mismas que no difieren sustancialmente de las correspondientes para los Estados Unidos de Norteamérica publicadas en 1983.

En general, las especificaciones no pueden ser las mismas, debido a que en Estados Unidos de Norteamérica, los motores con capacidades menores a 1.4 L están desapareciendo, mientras que en la CEE se han incrementado en un 18%.(7)

En la tabla ( 1.7 ) se observan algunos datos de las especificaciones, de acuerdo al tipo de motor.

La CONCAWE, junto con otras organizaciones , formaron un Comité para el estudio de las especificaciones del diesel y sus tendencias.(8)

El propósito de este comité , en relación al diesel, es el estudio de las consecuencias que pueden presentarse en el futuro debido a la influencia de su composición sobre las emisiones generadas por su uso en motores.

El objetivo principal de este comité consiste en proporcionar las bases para lograr acuerdos entre los fabricantes de motores diesel y la industria de refinación, con la finalidad de establecer reglamentos realistas para el control de las emisiones.

Entre los principales problemas que tienen que superarse, se consideran:

- \* La homologación de los diferentes tipos de máquinas diesel que se encuentran en el mercado y en circulación, para lograr el establecimiento de los estándares sobre límites máximos de emisiones.

- \* La disponibilidad de un combustible que sea representativo de los que comúnmente se expenden en el mercado.

La CONCAWE, considera que entre los cambios más importantes que se pueden originar en las especificaciones del diesel, se encuentran los siguientes:

**TABLA 1.7**

**ESPECIFICACIONES PROPUESTAS PARA LA CEE  
DE ACUERDO CON EL TIPO DE MOTOR.**

CLASE DE VEHICULO	ESTANDARES EUROPEOS.			PERIODO DE APLICACION.	
	CO	HC + NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	NUEVO TIPO	NUEVO VEHICULO
> 2.8 L	25-30	6.5-8.1	3.5-4.4	OCT. '88	OCT '89
1.4 A 2.8 L	38-36	8-18	...	OCT '91**	OCT '93**
<1.4 L	45-54	15-19	6-7.5	OCT '91	OCT '91

\*\* PARA MOTORES DIESEL DE INYECCION DIRECTA A PARTIR  
DE OCTUBRE DE '94 Y OCTUBRE DE '96.

LOS ESTANDARES ESTAN EN g/THP-HR.

\* Que el punto de nubliamiento sea establecido entre -8 y 4 'C. representando típicamente la calidad requerida para invierno en el norte y el verano en el sur de Europa. ( Se debe notar que los puntos de nubliamiento para el diesel en regiones escandinavas pueden variar entre -20 y -30 'C).

\* El número de cetano se puede establecer dentro de un intervalo de 43 a 54, con valor promedio de 48.5. Tomando en cuenta, que la diferencia típica entre el verano y el invierno en Europa es de 8'C, la diferencia promedio en el número de cetano es de una unidad. Es decir, el valor promedio para invierno es de 48 y para verano de 49.

\* La densidad se encuentra en un intervalo de 0.825 y 0.870, con un valor promedio de 0.846. El valor medio para invierno es de 0.842 y para el verano de 0.848.

Para fundamentar lo anterior la CONCAWE, realizó un estudio de calidad para el diesel, entre los años de 1982 a 1986. De los datos obtenidos concluyó que el intervalo para el número de cetano estaba entre 43 y 57, con un promedio de 50.5. En el caso de la densidad, el intervalo esta entre 0.820 y 0.855, con valor promedio de 0.840.

En cuanto a variaciones en otras propiedades, se esperan cambios poco significativos. Tal es el caso de la viscosidad y la curva de destilación.

Las tendencias para el año 2000, indican que:

\* El número de cetano, se reducirá en dos unidades.

\* La densidad se incrementará en 0.006 unidades.

Como se puede observar, la CONCAWE no anticipa cambios significativos en las especificaciones actuales para el diesel.

ESPECIFICACIONES NACIONALES. Las especificaciones nacionales correspondientes al diesel son emitidas por Petróleos Mexicanos (PEMEX), ya que es la única empresa que puede producir y distribuir combustibles derivados del petróleo, en México.

Con la información recopilada de PEMEX se efectuó un seguimiento sobre la evolución de las especificaciones dictadas para el diesel.(9)

En 1979, se estaban produciendo tres diferentes tipos de diesel combustible para abastecer su demanda, que de acuerdo con la clasificación propuesta por ASTM, correspondía a:

DIESEL 2-D cuya especificación es designada como la 412/79 en PEMEX para su control interno. Las características de este combustible se muestran en la tabla (1.8). Tal vez lo más relevante en cuanto a este combustible es su alto contenido de azufre. En la actualidad la especificación 412/79, se encuentra fuera de aplicación.

DIESEL No 1 NACIONAL. especificación 411/79, para

control interno. Este diesel, al igual que el anterior, se caracteriza por su elevado contenido de azufre. Las características en detalle se muestran en la tabla ( 1.9 ). La especificación 411/79 se encuentra fuera de aplicación.

Por último se tiene el diesel especial, cuya principal característica es su bajo contenido de azufre. Sus especificaciones se encuentran bajo la designación 413/79. En la tabla (1.10) se describen sus principales características.

Desde la década de los 80's los niveles de contaminación se han elevado fuertemente en el Valle de México, de tal manera que ha sido necesario implantar medidas para disminuir los índices de contaminación, entre las principales se encuentran la reformulación de los combustibles que se utilizan en el área metropolitana.

En el caso del diesel, se empezó a producir a partir de 1988 un diesel para el Valle de México denominado "DIESEL ESPECIAL ZONA METROPOLITANA. VALLE DE MEXICO", bajo la especificación 414/88. Sus principales características consisten en su bajo contenido de azufre y su alto índice de cetano. Las características de este combustible se muestran en la tabla ( 1.11 ). Se encuentra en aplicación.

Actualmente PEMEX produce un diesel denominado DIESEL ESPECIAL DESULFURADO que cumple con los requisitos de calidad internacionales. Para su aprobación se hace una

**TABLA 1.8**  
**DIESEL 2-D. ESPECIFICACION 412/79.**  
**FUERA DE APLICACION. REF. (9)**

PRUEBAS.	UNIDADES	METODOS ASTM	ESPECIFICACIONES.
TEMPERATURA DE INFLAMACION.	°C.	D 39-77	52 MIN.
TEMPERATURA DE ESCURRIMIENTO.	°C.	D 97-66 (1971)	(1) MAX.
AGUA Y SEDIMENTO.	x	D 1796-68(1977)	TRAZAS MAX.
CARBON (EN 10% DE RESIDUO)	x	D 524-76	8.35 MAX.
CENIZAS.	x	D 482-74	8.82 MAX.
AZUFRE.	x	D 129-64(1973)	1.8 MAX.
CORROSION, 3 HRS A 58 °C	-	D 138-75 (2)	STD. 3 MAX.
INDICE DE CETANO.	-	D 976-66(1976)	48 MIN.
VISCOSIDAD S.U. A 37.8 °C	SEG	D 88-56(1973)	35/45
DESTILACION A 768 mm Hg		D 85-77	
EL 10% DESTILA A	°C.		280 MIN.
EL 95% DESTILA A	°C.		368 MAX.
APARIENCIA	-	VISUAL.	LIMPIDA
COLOR		D 1588-64(1977)	5 MAX.

(1) DE MARZO A OCTUBRE: +5; DE NOVIEMBRE A FEBRERO: 8°C.

(2) COMO ALTERNATIVA PARA CONTROL SE PUEDEN UTILIZAR LOS METODOS

ASTM D 1552-64(1973) O ASTM D 1266-78(1975)

**TABLA 1.9**  
**DIESEL 1-D. ESPECIFICACION 411/79.**  
**FUERA DE APLICACION. REF(9)**

PRUEBAS.	UNIDADES	METODOS ASTM	ESPECIFI- CACIONES.
TEMPERATURA DE INFLACION.	°C.	D 93-77	52 MIN.
TEMPERATURA DE ESCURRIMIENTO.	°C.	D 97-66 (1971)	(1) MAX.
AGUA Y SEDIMENTO.	%	D 1796-68(1977)	TRAZAS MAX.
CARBON (EN 18% DE RESIDUO)	%	D 524-76	0.35 MAX.
AZUFRE.	%	D 129-64(1973)	2.8 MAX.
CORROSION, 3 HRS A 50 °C	-	D 130-75 <sup>(2)</sup>	STD. 3 MAX.
INDICE DE CETANO.	-	D 976-66(1976)	40 MIN.
VISCOSIDAD S.U. A 37.8 °C	SEG	D 88-56(1973)	35/45
DESTILACION A 760 mm Hg		D 86-77	
EL 10% DESTILA A	°C.		280 MIN.
EL 95% DESTILA A	°C.		360 MAX.
APARIENCIA	-	VISUAL.	LIMPIDA
COLOR		D 1500-64(1977)	5 MAX.

(1) DE MARZO A OCTUBRE: +5; DE NOVIEMBRE A FEBRERO: 8°C.

(2) COMO ALTERNATIVA PARA CONTROL SE PUEDEN UTILIZAR LOS METODOS

ASTM D 1552-64(1973) O ASTM D 1266-78(1975)

**TABLA 1.10**  
**DIESEL ESPECIAL. ESPECIFICACION 413/79.**  
**FUERA DE APLICACION. REF (9)**

PRUEBAS.	UNIDADES	METODOS ASTM	ESPECIFICACIONES.
TEMPERATURA DE INFLAMACION.	°C.	D 93-77	52 MIN.
TEMPERATURA DE ESCURRIMIENTO.	°C.	D 97-66 (1971)	(1) MAX.
AGUA Y SEDIMENTO.	%	D 1796-60(1977)	TRAZAS MAX.
CARBON (EN 10% DE RESIDUO)	%	D 524-76	0.35 MAX.
CENIZAS.	%	D 462-74	0.82 MAX.
AZUFRE.	%	D 129-64(1973)	0.5 MAX.
CORROSION, 3 HRS A 50 °C	-	D 130-75 (2)	STD. 2 MAX.
INDICE DE CETANO.	-	D 976-66(1976)	45 MIN.
VISCOSIDAD S.U. A 37.8 °C	SEG	D 88-56(1973)	35/45
DESTILACION A 760 mm Hg		D 86-77	
EL 10% DESTILA A	°C.		200 MIN.
EL 95% DESTILA A	°C.		360 MAX.
APARIENCIA	-	VISUAL.	LIMPIDA
COLOR		D 1500-64(1977)	3 MAX.
TEMP. MISC. CON ANILINA.	°C.	D 611-77	60 MIN.

(1) DE MARZO A OCTUBRE: +5; DE NOVIEMBRE A FEBRERO: 0°C.

(2) COMO ALTERNATIVA PARA CONTROL SE PUEDEN UTILIZAR LOS METODOS

ASTM D 1552-64(1973) O ASTM D 1266-78(1975)

**TABLA 1.11**  
**DIESEL ESPECIAL. ESPECIFICACION 414/88.**  
**ZONA METROPOLITANA. VALLE DE MEXICO.**

REF (9)

PRUEBAS.	UNIDADES	METODOS ASTM	ESPECIFI- CACIONES.
TEMPERATURA DE INFLAMACION.	°C.	D 93-85	52 MIN.
TEMPERATURA DE ESCURRIMIENTO.	°C.	D 97-85	(1) MAX.
AGUA Y SEDIMENTO.	%	D 1796-83	TRAZAS MAX.
CARBON (EN 18% DE RESIDUO)	%	D 524-81	8.35 MAX.
CENIZAS.	%	D 402-88	8.82 MAX.
AZUFRE.	%	D 129-64(1978)	8.5 MAX.
CORROSION, 3 HRS A 58 °C	-	D 138-83 (2)	STD. 2 MAX.
INDICE DE CETANO.	-	D 976-88	45 MIN.
VISCOSIDAD S.U. A 37.8 °C	SEG	D 88-81	32/48
DESTILACION A 768 mm Hg		D 86-82	
EL 18% DESTILA A	°C.		288 MIN.
EL 95% DESTILA A	°C.		368 MAX.
APARIENCIA	-	VISUAL.	LIMPIDA
COLOR		D 1588-82	3 MAX.
TEMP. MISC. CON ANILINA.	°C.	D 611-82	68 MIN.

(1) DE MARZO A OCTUBRE: +5; DE NOVIEMBRE A FEBRERO: 8°C.

(2) COMO ALTERNATIVA PARA CONTROL SE PUEDEN UTILIZAR LOS METODOS

ASTM D 1552-64(1973) O ASTM D 1266-78(1975)

certificación de calidad, para lo cual se emite un documento como el que se muestra en la tabla ( 1.12 ).

En 1991 se efectuaron cambios para producir un diesel de calidad media para el mercado nacional denominado "DIESEL NACIONAL". Este diesel se produce a partir de una mezcla de gasoleo pesado primario y de gasoleo desulfurado cuyo contenido máximo de azufre corresponde a un 2% en peso. En las tablas ( 1.13 ) y ( 1.14 ) se presentan datos sobre las formulaciones de diesel nacional.

En la tabla ( 1.15 ) se presentan datos sobre el consumo nacional de diesel en miles de barriles por día. De esta tabla se puede concluir que el diesel es un combustible que se sigue utilizando en grandes cantidades en nuestro país, y que por lo tanto su consumo es importante.



TABLA 1.12

PETROLEOS MEXICANOS  
 GERENCIA DE OPERACION DE REFINERIAS  
 REFINERIA: \_\_\_\_\_

CERTIFICADO DE ANALISIS TESTIFICADO POR INSPECTOR INTERNO DE CALIDAD

PRODUCTO: DIESEL ESPECIAL (DESULFURADO)

MUESTREADO POR: \_\_\_\_\_ TANQUE: \_\_\_\_\_

FECHA: \_\_\_\_\_ HORA: \_\_\_\_\_ VOLUMEN, BLS \_\_\_\_\_

ANALISIS	RESULTADO	METODOS ASTM	ESPECIFICACIONES	
Temperatura de inflamación,	°C _____	D 93-85	41	Mín.
Temperatura de escurrimiento,	°C _____	D 97-87	- 5	Máx. (*)
Temperatura de nublamiento,	°C _____	D 2500-86	Reportar	
Agua y Sedimento,	%v _____	D 1796-83	0.05	Máx.
Carbón RAMSBOTTOM (en 10% de residuo),	%p _____	D 524-81	0.25	Máx.
Cenizas,	%p _____	D 482-87	0.01	Máx.
Azufre,	%p _____	D 129 (1978)(**)	0.5	Máx.
Corrosión al Cu, 3hrs a 50°C	- _____	D 130-83	Std	Máx.
Indice de Cetano	- _____	D 976 80	45	Mín.
Viscosidad SUS a 37.8 °C,	seg. _____	D 445-86	32/40	
Destilación a 760 mm de Hg.		D 86-82		
el 10% destila a	°C _____		Reportar	
el 90% destila a	°C _____		350	Máx.
Color ASTM	- _____	D 1500-87	2.5	Máx.

NOTAS:

(\*) Válido de noviembre a febrero; de marzo a octubre es 0°C máx.

(\*\*) Como alternativas usar los Métodos ASTM: D 1552-83 y D 2622-87

OBSERVACIONES: CERTIFICO QUE ESTE LOTE DE DIESEL ESPECIAL (DESULFURADO), CUMPLE CON LAS -  
 NORMAS DE CALIDAD ESTABLECIDAS POR PETROLEOS MEXICANOS.

NOMBRE DEL INSPECTOR DE CALIDAD: \_\_\_\_\_ FIRMA: \_\_\_\_\_

TABLA 1.13

PRUEBAS EXPERIMENTALES PARA PREPARAR DIESEL NACIONAL A PARTIR DE GASOLEO PESADO PRIMARIO

REF. (9)

PRUEBAS.	BASES.		EXPERIMENTALES.		ESPECIFICACIONES.
	DESULFURADO	G. PES. ATM.	75% DESULF. 25% PES ATM	90% DESULF 10% PES ATM	
P. ESP. 28/4°C	0.040	0.080	0.052	0.041	...
TIE °C	244	200	221	225	...
18% °C	240	325	244	245	200 MIN
50% °C	276	373	295	280	...
90% °C	340	400	379	360	...
95% °C	357	...	396	397	360 MAX
COLOR, ASTM	0.5	3.0	1.5	4.5	5 MAX
T. ESC. °C	-4	+21	5	0	0 NOV A FEB 5 MAR A OCT
T. INF. °C	90	92	90	99	52 MIN
VISC. SUS a 37.0 °C	40	63	42	42	35/45
CETANO	52	42.5	51	51	40 MIN
AZUFRE, % PESO	0.85	1.17	0.49	0.25	2.0 MAX.
CARBON, % PESO	0.07	0.11	0.09	0.074	0.35 MAX
AGUA Y SDE., % VOL.	NADA	TRAZAS	TRAZAS	TRAZAS	TRAZAS

TABLA 1.14

PRUEBAS EXPERIMENTALES PARA PREPARAR DIESEL NACIONAL A PARTIR DE GASOLEO PESADO PRIMARIO

REF. (9)

PRUEBAS.	BASES.			EXPERIMENTAL	ESPECIFICACIONES.
	DESULFURADO	G. PES. ATM.	XEROSINA.	5% XEROSINA 75% DESULF. 20% G.P.A.	
P. ESP. 20/4°C	0.040	0.800	0.031	0.047	...
TIE °C	244	200	221	216	...
10% °C	240	325	233	239	200 MIN
50% °C	276	373	255	291	...
90% °C	340	406	200	301	...
95% °C	357	—	—	390	360 MAX
COLOR, ASTM	0.5	3.0	+30	1.5	5 MAX
T. ESC. °C	-4	+21	-33	+4	0 NOV A FEB 5 MAR A OCT
T. INF. °C	90	92	95	94	52 MIN
VISC. SUS a 37.0 °C	40	03	32	41	35/45
CETANO	52	42.5	49.5	51.5	40 MIN
AZUFRE, % PESO	0.05	1.71	0.50	0.49	2.0 MAX.
CARBON, % PESO	0.07	0.11	—	0.15	0.35 MAX
AGUA Y SDE., % VOL.	NADA	TRAZAS	NADA	TRAZAS	TRAZAS

**TABLA 1.15**  
**CONSUMO DE DIESEL.**  
**(MILES DE BARRILES POR DIA)** REF. (9)

SECTOR.	1987	1988	1989
AGROPECUARIO.	26.696	28.123	26.485
INDUSTRIA.	24.161	21.438	24.218
MINERIA.	3.834	3.777	4.084
ALUMINIO.	8.817	8.819	8.835
SIDERURGIA.	3.471	8.745	8.979
HULE.	8.138	8.147	8.287
AUTOMOTRIZ.	8.546	8.888	8.889
FERTILIZANTES.	8.244	8.182	8.293
CEMENTO.	8.888	8.398	8.432
QUIMICA.	8.921	1.815	1.133
CELULOSA Y PAPEL.	8.132	8.126	8.155
VIDRIO.	8.293	8.169	8.389
OTROS SECTORES.	7.367	18.156	9.478
CONSTRUCCION.	1.342	1.298	8.874
ELECTRICIDAD.	5.864	3.486	5.358
TRANSPORTE.	138.188	134.364	142.783
FERROVIARIO.	15.497	18.498	12.972
MARITIMO.	1.758	1.937	2.899
AUTOTRANSPORTE.	128.925	121.937	127.712
RESIDENCIAL Y COM.	8.588	8.493	8.567

## **CAPITULO 2.**

**EFFECTO DE LAS PROPIEDADES DEL DIESEL  
COMBUSTIBLE SOBRE LAS EMISIONES ORIGINADAS  
POR SU USO EN MOTORES DE COMBUSTION INTERNA.**

Las propiedades de los combustibles diesel dependen del proceso de producción empleado y de la naturaleza del crudo del que se derivan. Tales combustibles generalmente ebulen en un intervalo de 163 a 371 °C (325 a 700 °F). Su conjunto de propiedades pueden representar varias combinaciones de calidad de ignición, volatilidad, viscosidad, niveles de azufre, densidad y otras características. Se pueden usar aditivos para impartir propiedades especiales al combustible final. (10)

Las propiedades del combustible tienen una influencia determinante sobre las emisiones generadas por su uso en máquinas diesel, sobre la vida útil de éstas y sus necesidades de mantenimiento. A continuación se presentan los resultados obtenidos de algunas investigaciones efectuadas en esta área.

VOLATILIDAD (11) Tiene poca relación con la potencia y economía, sin embargo, éstas pueden ser sensibles a otras propiedades que cambian con la volatilidad y que son más difíciles de medir. Pruebas descritas y trabajos realizados, indican que una disminución en la volatilidad, aumentan la formación de depósitos y desgaste en algunos motores. Asimismo, causa un incremento en la emisión de humo.

La volatilidad influye sobre otros parámetros, como la temperatura correspondiente a la destilación del 90% del

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

material. Una baja volatilidad, normalmente produce un alto poder calorífico. Tanto el encendido como el calentamiento se favorecen por volatilidades altas.

A continuación se presenta un estudio realizado por SAE ( Society of Automotive Engineering) para determinar los efectos de la volatilidad.

EFEECTO DE LA VOLATILIDAD DEL COMBUSTIBLE SOBRE LA FORMACION DE DEPOSITOS DE DEPOSITOS Y DESGASTE DEL MOTOR (SAE) (5)

SAE, presentó un estudio efectuado en cuatro motores diesel de manufactura comercial, sobre el efecto de la volatilidad en la formación de depósitos y el desgaste. Para la realización del estudio, los motores se montaron en chasises dinamométricos, y se trabajaron durante 250 hrs.. Se operaron al 20 y 100% de su capacidad de carga mecánica máxima y alrededor del 75% de las revoluciones máximas permitidas. Para evitar variantes en las condiciones de prueba se utilizó el mismo aceite lubricante en todos los casos. Los combustibles probados provenían de refineries comerciales. El contenido de azufre se fijó en 0.3% y el contenido de aromáticos alrededor del 15%, en todos los combustibles probados. Los resultados se muestran en la tabla (2.1). En donde se puede observar, que un aumento en la volatilidad, incrementa la formación de depósitos y desgaste.

TABLA 2.1

EFFECTOS DE LA VOLATILIDAD DEL COMBUSTIBLE.

	MOTOR.	COMBUSTIBLES.		
		1	2	3
TEMPERATURA PARA: (°F)				
18% DE EVAPORACION		388	398	528
58% DE EVAPORACION		428	588	628
98% DE EVAPORACION		468	568	698
INCREMENTO DEL DESGASTE DE LOS ANILLOS DE LOS PISTONES EN MILESIMAS DE PULGADA, CUANDO EL MOTOR OPERA A UN 28% DE SU CARGA MECANICA MAXIMA.	A	2	2	2
	B	9	9	18
	C	9	18	11
	D	2	4	4
INCREMENTO DEL DESGASTE DE LOS ANILLOS DE LOS PISTONES EN MILESIMAS DE PULGADA, CUANDO EL MOTOR OPERA A UN 100% DE SU CARGA MECANICA MAXIMA.	A	3	3	5
	B	18	15	28
	C	12	16	28
	D	18	28	15

**TABLA 2.1**  
**EFFECTOS DE LA VOLATILIDAD DEL COMBUSTIBLE.**

CONTINUACION.

	MOTOR.	COMBUSTIBLES.		
		1	2	3
DEPOSITOS FORMADOS EN LAS CAMARAS DE COMBUSTION, GRAMOS/CILINDRO, A 28% DE CARGA MECANICA MAXIMA.	A	1.8	1.1	1.2
	B	1.2	1.4	2.8
	C	1.2	1.2	1.8
	D	1.6	1.6	3.5
DEPOSITOS FORMADOS EN LAS CAMARAS DE COMBUSTION, GRAMOS/CILINDRO, AL 100% DE CARGA MECANICA MAXIMA.	A	8.6	8.6	8.8
	B	8.7	8.8	3.8
	C	8.4	8.5	3.8
	D	8.4	8.2	8.2

### DENSIDAD/GRAVEDAD API Y CONTENIDO DE AROMATICOS. (10)

Tanto la DENSIDAD/GRAVEDAD API, así como la volatilidad, proporcionan información útil acerca de la composición del combustible; asimismo se puede relacionar con el desgaste, formación de depósitos, emisión de humo, potencia y economía.

Conociendo la densidad y la temperatura promedio de destilación, se puede obtener información útil acerca de la composición del combustible. Muchos destilados primarios en el intervalo de ebullición del diesel contienen 10-12% de hidrocarburos aromáticos y el resto lo constituyen hidrocarburos parafínicos. Sin embargo, los materiales provenientes de plantas de reformación pueden contener 50-60% de aromáticos.

Se ha encontrado que un diesel de baja gravedad API produce marcadas mejoras en potencia y economía, por su mayor peso por galón. Sin embargo, trabajos realizados muestran que aunque un combustible altamente aromático tiene más peso por galón, tiene un poder calorífico más bajo por peso, lo que reduce estos beneficios.

Por otra parte, se ha observado que una alta relación de aromáticos causa una mayor emisión de humos, incrementa la formación de depósitos y desgaste. (12)

A continuación se presentan los resultados de las investigaciones desarrolladas por la SAE para el contenido de aromáticos y la densidad.

EFFECTOS DEL CONTENIDO DE AROMATICOS SOBRE LA FORMACION-  
DE DEPOSITOS Y EL DESGASTE. (SAE)(5)

Las pruebas son similares a las descritas en el estudio de la volatilidad. Los combustibles se obtuvieron a partir del mezclado de componentes de refinarias comerciales. Todos los combustibles contienen aproximadamente 0.3% de azufre. Los resultados se muestran en la tabla (2.2). El desgaste en los anillos, así como la formación de depósitos, generalmente se incrementaron con el aumento en el contenido de aromáticos. Aunque los efectos no fueron grandes, son razonablemente consistentes.

EFFECTO DE LA DENSIDAD (GRAVEDAD) SOBRE LA POTENCIA Y ECONOMIA DEL MOTOR. (SAE)(5). SAE determinó el consumo de combustible asociado con la potencia máxima para cinco motores diesel montados sobre chasises dinamométricos y para tres camionetas diesel; manejando un intervalo amplio de combustibles diesel. Tanto los combustibles como los refrigerantes y las temperaturas del aire se manejaron sobre intervalos muy cerrados en cada una de las pruebas. Todos los motores estaban en excelentes condiciones al iniciar las pruebas. Las temperaturas finales fueron checadas continuamente frente a las rpm y carga del motor, para asegurarse de que se cumpliera con los límites recomendados por el fabricante. Si ocurría una discrepancia entre rpm, carga y consumo de combustible para la prueba de un día. Esta se

**TABLA 2.2**  
**EFFECTOS DEL CONTENIDO DE AROMATICOS.**

	MOTOR.	COMBUSTIBLES.	
		1	2
CONTENIDO DE AROMATICOS (%)		15	50
INCREMENTO DEL DESGASTE DE LOS ANILLOS DE LOS PISTONES EN MILESIMAS DE PULGADA, CUANDO EL-MOTOR OPERA A UN 20% DE SU CARGA MECANICA MAXIMA.	A	2	2
	B	9	9
	C	9	10
	D	2	4
INCREMENTO DEL DESGASTE DE LOS ANILLOS DE LOS PISTONES EN MILESIMAS DE PULGADA, CUANDO EL-MOTOR OPERA A UN 100% DE SU CARGA MECANICA MAXIMA.	A	3	3
	B	18	15
	C	12	16
	D	18	20

**TABLA 2.2**  
**EFFECTOS DEL CONTENIDO DE AROMATICOS.**

CONTINUACION.

	MOTOR.	COMBUSTIBLES.	
		1	2
DEPOSITOS FORMADOS EN LAS CAMARAS DE COMBUSTION, GRAMOS/CILINDRO, A 28% DE CARGA MECANICA MAXIMA.	A	1.1	1.4
	B	1.4	1.2
	C	1.2	1.8
	D	1.6	2.5
DEPOSITOS FORMADOS EN LAS CAMARAS DE COMBUSTION, GRAMOS/CILINDRO, AL 100% DE CARGA MECANICA MAXIMA.	A	8.6	8.7
	B	8.8	8.9
	C	8.5	8.5
	D	8.2	8.3

volvía a repetir al día siguiente. Las pruebas efectuadas para potencia y consumo de combustibles coincidieron con una diferencia de 1% entre pruebas individuales.

La potencia máxima y el consumo de combustible en todos los motores y camionetas tienen una dependencia prácticamente lineal con respecto a los cambios de la densidad API. Los efectos fueron los mismos bajo todas las condiciones de carga y rpm probadas. Los resultados se muestran en la tabla (2.3). Estos porcentajes de cambio en potencia y economía son únicamente alrededor de la mitad del porcentaje de cambio en peso de combustible por galón, pero éstos, son iguales en magnitud al porcentaje de cambio en BTU por galón.

CONTENIDO DE AZUFRE. Los combustibles de alto contenido de azufre, que frecuentemente tienen un alto contenido de aromáticos, causan grandes depósitos y desgaste en los motores. Estos combustibles producen una alta emisión de partículas. A continuación se presentan los resultados de las investigaciones realizadas por SAE.(11)

EFFECTOS DEL CONTENIDO DE AZUFRE SOBRE LA FORMACION DE DEPOSITOS Y DESGASTE DEL MOTOR.(SAE)(5). Las pruebas para la formación de depósitos y desgaste por azufre, son similares a las descritas sobre el estudio de los efectos de la volatilidad. Los combustibles probados fueron producidos a

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**TABLA 2.3**  
**CAMBIO EN LA DENSIDAD (A.P.I.)**

<b>MOTOR.</b>	<b>CAMBIO DE 32 A 42 GRADOS API.</b>	
	<b>% DE INCREMENTO EN GALONES DE COMBUSTIBLE CONSUMIDO</b>	<b>% DE DISMINUCION EN MAXIMA POTENCIA.</b>
1	3	4
2	4	1
3	2	4
4	3	3
5	3	3
<b>PROMEDIO</b>	3	3
<b>CAMIONETA</b>		
1	5	2
2	1	3
3	4	3
<b>PROMEDIOS</b>	3	3

partir de mezclas de componentes de refinerías comerciales. El contenido de azufre fue variado en parte por la selección de los componentes del combustible y en cierto modo, por la adición de aceite con alto contenido de azufre. La volatilidad se mantuvo constante y todos los combustibles contienen alrededor del 15% de aromáticos. Los resultados se muestran en la tabla (2.4). Si se eleva el contenido de azufre de 0.3 a 1.2%, aumenta la formación de depósitos ligeramente cuando el motor se opera al 20% de su carga mecánica máxima, pero tiene poco efecto al 100% de carga. Generalmente se incrementa el desgaste en ambas condiciones. Estas pruebas no son reveladoras de que reduciendo el contenido de azufre por debajo del 0.3% se deba reducir aún más el desgaste.

VISCOSIDAD (6) En muchos casos de aplicación motriz, la viscosidad no afecta el funcionamiento, pero si puede afectar la distribución de combustible en motores equipados con sistemas de inyección convencionales. En muchos tractores agrícolas, que usan este sistema de inyección.

Una baja viscosidad puede producir un desgaste excesivo en algunas bombas de inyección y baja potencia para enviar el combustible, así como daños al inyector. Altas

**TABLA 2.4**  
**EFFECTOS DEL CONTENIDO DE AZUFRE.**

	MOTOR.	COMBUSTIBLES.		
		1	2	3
CONTENIDO DE AZUFRE, (%)		8.3	8.7	1.2
INCREMENTO DEL DESGASTE DE LOS ANILLOS DE LOS PISTONES EN MILESIMAS DE PULGADA, CUANDO EL MOTOR OPERA A UN 20% DE SU CARGA MECANICA MAXIMA.	A	2	—	17
	B	9	—	15
	C	16	—	16
	D	4	—	5
INCREMENTO DEL DESGASTE DE LOS ANILLOS DE LOS PISTONES EN MILESIMAS DE PULGADA, CUANDO EL MOTOR OPERA A UN 100% DE SU CARGA MECANICA MAXIMA.	A	5	15	30
	B	16	21	34
	C	16	11	25
	D	20	8	9

TABLA 2.4

EFFECTOS DEL CONTENIDO DE AZUFRE.

CONTINUACION.

	MOTOR.	COMBUSTIBLES.		
		1	2	3
DEPOSITOS FORMADOS EN LAS CAMARAS DE COMBUSTION, GRANOS/CILINDRO, A 20% DE CARGA MECANICA MAXIMA.	A	1.1	—	1.5
	B	1.4	—	4.8
	C	1.2	—	1.8
	D	1.6	—	2.2
DEPOSITOS FORMADOS EN LAS CAMARAS DE COMBUSTION, GRANOS/CILINDRO, AL 100% DE CARGA MECANICA MAXIMA.	A	0.6	0.8	1.1
	B	0.8	0.7	0.7
	C	0.5	0.8	0.5
	D	0.2	0.5	0.5

viscosidades dan por resultado una excesiva resistencia en las bombas o daños a los filtros. Las características de dispersión (espeado) también están influenciadas por la viscosidad. A continuación se presentan los resultados obtenidos por SAE a partir de las investigaciones realizadas.

#### EFFECTOS DE LA VISCOSIDAD SOBRE LA POTENCIA DEL MOTOR.

(SAE)(5). Los efectos de los cambios de densidad en el combustible sobre la potencia del motor, fueron estudiados por medidas de los mismos, sobre la relación de caudal de combustible de un distribuidor tipo bomba de inyección, sensible a los cambios de viscosidad. La bomba fue montada en un equipo en el cual las temperaturas de la bomba y del combustible pueden ser controlados.

La bomba fue conectada en un motor sincronizado continuo a una caja de velocidades; el combustible fue bombeado continuamente a través de líneas y boquillas convencionales, recolectado y medido. Los resultados se presentan en la tabla (2.5).

A 90 °F, el porcentaje de cambio en la relación de caudal fue aproximadamente el mismo que para el porcentaje de cambio en la densidad (por ejemplo, 7% contra 9%).

A 190°F, sin embargo, el cambio en la relación de caudal de combustible fue mucho mayor (16% contra 10%) y, para una viscosidad y densidad dadas, la relación de caudal fue menor

TABLA 2.5

EFFECTOS DE LA VISCOSIDAD DEL COMBUSTIBLE Y TEMPERATURA SOBRE EL CAUDAL DE LA BOMBA DE INYECCION

COMBUSTIBLES.	VISCOSIDAD DEL COMBUSTIBLE. cS.	DENSIDAD DEL COMBUSTIBLE. lb/gal.	REVOLUCIONES PARA ENTREGAR UNA CANTIDAD ESTANDAR DE COMBUSTIBLE.
PRUEBAS EFECTUADAS A 98 'F.			
1	1.8	6.48	212
2	2.8	6.67	285
3	2.8	6.79	284
4	5.5	6.99	283
5	7.5	7.05	281
6	13.5	7.15	198
PRUEBAS EFECTUADAS A 190 'F.			
1	8.6	6.23	246
2	8.9	6.41	238
3	1.2	6.52	222
4	1.9	6.72	215
5	2.2	6.88	212
6	3.5	6.88	211

TABLA 2.5

EFFECTOS DE LA VISCOSIDAD DEL COMBUSTIBLE Y  
TEMPERATURA SOBRE EL CAUDAL DE LA BOMBA DE INYECCION

CONTINUACION.

COMBUSTIBLE.	DENSIDAD DEL COMBUSTIBLE. lb/gal.	TIEMPO PARA ENTREGAR UNA CANTIDAD ESTANDAR DE COMBUSTIBLE.
1	4	17
2	4	12
3	4	9
4	4	6
5	5	6
6	5	6

a 190 'F que a 90 'F. de este modo, la bomba fue realmente sensible a los cambios en la viscosidad del combustible (por supuesto, un cambio en viscosidad siempre acompaña a un cambio en temperatura). Elevando la temperatura, disminuye la relación de caudal más que el esperado tan sólo por cambios de densidad y viscosidad.

Una confirmación rápida de la prueba fue realizada con un tractor agrícola que usaba una bomba de inyección y líneas idénticas a las del aparato de prueba. El tractor fue conectado para transmitir su potencia totalmente a través de una derivación a un motor dinamométrico. El calor fue aplicado eléctricamente al combustible en el tanque para elevar rápidamente la temperatura hasta 190 'F (una temperatura aproximadamente elevada como esta puede alcanzarse eventualmente en operación normal). Los resultados se muestran en la tabla (2.6). Estas pruebas concuerdan con las efectuadas en el aparato de una manera totalmente satisfactoria.

Estos resultados son válidos para el equipo estudiado, no se debe asumir que su aplicación es general, porque otros tipos de sistemas de inyección pueden producir diferentes tendencias.

CARACTERISTICAS DE FLUJO EN FRIO Y COMPOSICION DEL COM--  
BUSTIBLE. El funcionamiento del motor, puede verse afectado

TABLA 2.6

PRUEBAS EFECTUADAS EN EL TRACTOR AGRICOLA.

COMBUSTIBLES.	POTENCIA AL FRENO A		% DE CAMBIO EN POTENCIA AL FRENO ENTRE 98 Y 198 °F	% DE CAMBIO CON RESPECTO A PRUEBAS SIMILARES.
	98°F.	198°F.		
1	31	26	18	17
2	32	29	10	12
3	32	30	7	9
4	32	31	3	6

por algunos factores que se relacionan con la calidad de ignición, estos pueden ser: encendido en frío, calentamiento, combustión brusca, problemas para la aceleración, depósitos por desuso, operación con poca carga y la emisión de humos densos. En cada uno de los casos anteriores, pueden influir factores, tanto del combustible como del motor. Los requisitos de calidad de ignición para un motor dependen del diseño, tamaño, condiciones mecánicas, condiciones de operación, temperatura atmosférica y altitud. Un incremento en la calidad de ignición por encima de los niveles requeridos no mejora el desempeño del motor.(10)

Elevando el número de cetano, generalmente se reduce el tiempo necesario para encender un motor diesel, y reduce la emisión de humo en frío durante el periodo de calentamiento. Un combustible de adecuado número de cetano es necesario cuando el motor del vehículo se tiene que operar sin calentamiento previo. El número de cetano tiene poco efecto sobre la operación del motor.(13)

La experiencia basada sobre pruebas en chasises dinámicos y en operación normal, indica que los vehículos diesel se vuelven inoperables cuando las temperaturas de la etapa final o intermedia de filtración están por debajo de la temperatura del punto de nublamiento del combustible. La temperatura ambiente a la que se vuelve inoperable depende en algunos casos del diseño del vehículo,

por ejemplo, del número de filtros distribuidos a lo largo del sistema de combustible; de un sistema de calentamiento para su uso y almacenamiento nocturno, así como de su manejo durante el periodo de calentamiento.(5)

Para asegurar una buena operabilidad de un motor es necesario especificar un punto de nublamiento adecuado, de acuerdo con las condiciones climatológicas imperantes en la zona. A continuación se presentan los resultados de las investigaciones realizadas por SAE.

EFFECTOS DE LAS CARACTERISTICAS DE FLUJO EN FRIO SOBRE LA OPERABILIDAD DEL VEHICULO.(SAE)(5). Las pruebas para evaluar la relación entre operabilidad del vehículo a bajas temperaturas y características del combustible, fueron realizadas bajo diferentes condiciones climatológicas sobre chasises dinamométricos y en el terreno en varios Estados de los E.U.A.

Los vehículos usados en los chasises dinamométricos probados, incluyeron un tractor agrícola, una camioneta ligera y cuatro camiones para transporte pesado. Cada uno de los vehículos fue calentado y el sistema del combustible fue drenado, lavado y llenado con el combustible de prueba. El vehículo se puso en marcha a la temperatura de prueba con el apoyo necesario (para evitar variantes, el apoyo que se prestó en cada puesta en marcha fue el mismo). Después de

puesto en marcha, el motor se operó sin embragar por espacio de 15 minutos, en seguida al 25% de su potencia por 15 minutos y finalmente a un 75% de su potencia hasta que el motor y el sistema de combustible estaban completamente calientes. La operabilidad fue juzgada por la facilidad de encendido y la habilidad para desarrollar la potencia deseada. Las temperaturas de prueba se variaron de acuerdo con los puntos de nublamiento y de escurrimiento de los combustibles probados. Se usó un aditivo comercial para mejorar el flujo a bajas temperaturas para la realización de una parte de las pruebas. En la tabla (2.7), se presentan los resultados obtenidos de las principales pruebas.

No se presentaron problemas de operabilidad ( que normalmente, se relacionan con el combustible), cuando los vehículos se trabajan a temperaturas próximas al punto de nublamiento. Los problemas se presentaron en los componentes del sistema de combustible, cuando el intervalo de temperaturas de operación estaban alrededor de 5 'F por debajo de la temperatura correspondiente al punto de nublamiento del combustible, sin embargo, algunos vehículos resultaron inoperables cuando los componentes del sistema de combustible estaban 2 'F por debajo de la temperatura del punto de nublamiento. El desempeño del motor depende de alguna manera de la composición del combustible. La adición de un aditivo depresor del punto de escurrimiento mejora

**TABLA 2.7**  
**EFFECTOS DEL COMBUSTIBLE Y TRATAMIENTO CON**  
**ADITIVOS SOBRE LA OPERABILIDAD DEL VEHICULO.**

VEHICULO.	COMBUSTIBLE.	TEMPERATURAS, °F.		
		COMPONENTES DEL SIST. DE COMBUSTIBLE	PUNTO DE NUBLAMIENTO.	PUNTO DE ESCURRIMIENTO.
1	A	-20	-25	-30
	B	-21	-5	-10
	B	-13	-5	-20
2	C	7	5	8
	C	3	5	8
	C	4	5	-10
3	A	-3	-25	-30
	D	-4	5	8
	D	-3	5	-15
	D	-3	5	-30
4	A	-16	-25	-30
	D	-8	5	8
	D	-8	5	-15
	D	-17	5	-60

**TABLA 2.7**  
**EFFECTOS DEL COMBUSTIBLE Y TRATAMIENTO CON**  
**ADITIVOS SOBRE LA OPERABILIDAD DEL VEHICULO.**

CONTINUACION. HOJA 2 DE 4.

VEHICULO.	COMBUSTIBLE.	TEMPERATURAS, °F.		
		COMPONENTES DEL SIST. DE COMBUSTIBLE	PUNTO DE NUBLAMIENTO.	PUNTO DE ESCURRIMIENTO.
5	A	-13	-25	-30
	D	2	5	0
	D	-5	5	0
	D	-5	5	-15
	D	-5	5	-60
	E	-5	5	0
	E	-5	5	-60
6	A	-20	-25	-30
	D	-6	5	0
	D	-8	5	0
	D	-8	5	-30
	E	-6	5	0
	E	-8	5	0
	E	-8	5	-60

**TABLA 2.7**  
**EFFECTOS DEL COMBUSTIBLE Y TRATAMIENTO CON**  
**ADITIVOS SOBRE LA OPERABILIDAD DEL VEHICULO.**

CONTINUACION. HOJA 3 DE 4.

VEHICULO.	COMBUSTIBLE.	ADITIVO MEJORADOR DE FLUJO.	DESEMPEÑO DEL VEHICULO.				LOCALIZACION DEL BLOQUEO COMBUSTIBLE.
			ENCENDIDO.	SIN CARGA.	25% DE POTENCIA.	100% DE POTENCIA.	
1	A	NO	BUENO	BUENO.	BUENO.	BUENO.	NINGUNO.
	B	NO	FALLO	SE AHOGA, BAJA LA POTENCIA.			TANQUE Y FILTRO.
	B	SI	BUENO	SE AHOGA, BAJA LA POTENCIA.			FILTRO PRIMARIO.
2	C	NO	BUENO	BUENO.	BUENO.	BUENO.	NINGUNO.
	C	NO	BUENO	AHOGA.	...	...	FILTRO PRIMARIO.
	C	SI	BUENO	AHOGA.	...	...	FILTRO PRIMARIO.
3	A	NO	BUENO	BUENO.	BUENO.	BUENO.	NINGUNO.
	D	NO	POBRE	BAJA POTENCIA, NO SE AHOGA.			PRIMERA Y ULTIMA ETAPA DE FILTRADO.
	D	SI	BUENO	AHOGA	...	...	FILTRO PRIMARIO.
	D	SI	BUENO	BAJA POTENCIA, NO SE AHOGA.			FILTRO PRIMARIO.
4	A	NO	BUENO	BUENO.	BUENO.	BUENO.	NINGUNO.
	D	NO	BUENO	BUENO.	BUENO.	BUENO.	NINGUNO.
	D	SI	BUENO	BUENO.	BUENO.	BUENO.	NINGUNO.
	D	SI	BUENO	BAJA POTENCIA, NO SE AHOGA.			FILTRO PRIMARIO.

**TABLA 2.7**  
**EFFECTOS DEL COMBUSTIBLE Y TRATAMIENTO CON**  
**ADITIVOS SOBRE LA OPERABILIDAD DEL VEHICULO.**

CONTINUACION. HOJA 4 DE 4.

VEHICULO.	COMBUSTIBLE.	ADITIVO MEJORADOR DE FILTRO.	DESEMPEÑO DEL VEHICULO.				LOCALIZACION DEL BLOQUEO COMBUSTIBLE.
			ENCENDIDO.	SIN CARGA.	25% DE POTENCIA.	100% DE POTENCIA.	
5	A	NO	BUENO	BUENO.	BUENO.	BUENO.	NINGUNO.
	D	NO	FALLO	BAJA POTENCIA, NO SE AHOGA.			PRIMERA Y ULTIMA ETAPA DE FILTRADO.
	D	NO	POBRE	AHOGA.	...	...	PRIMERA Y ULTIMA ETAPA DE FILTRADO.
	D	SI	FALLA	AHOGA.	...	...	FILTRO PRIMARIO.
	D	SI	FALLA	BAJA POTENCIA, NO SE AHOGA.			FILTRO PRIMARIO.
	E	NO	POBRE	BAJA POTENCIA, NO SE AHOGA.			FILTRO PRIMARIO.
	E	SI	POBRE	BUENO.	BUENO.	BUENO.	NINGUNO.
6	A	NO	BUENO	BUENO.	BUENO.	BUENO.	NINGUNO.
	D	NO	BUENO	BUENO.	BUENO.	BUENO.	NINGUNO.
	D	NO	BUENO	AHOGA.	...	...	FILTRO PRIMARIO.
	D	SI	BUENO	AHOGA.	...	...	FILTRO PRIMARIO.
	E	NO	BUENO	BUENO.	BUENO.	BUENO.	NINGUNO.
	E	NO	BUENO	AHOGA.	...	...	FILTRO PRIMARIO.
	E	NO	BUENO	AHOGA.	...	...	FILTRO PRIMARIO.

significativamente la operabilidad de algunos vehiculos.(6)

Un resumen de las pruebas efectuadas es el que a continuación se proporciona(5):

a.- MAQUINARIA AGRICOLA. Frecuentes dificultades, cuando la temperatura de prueba disminuye por debajo de la temperatura del punto de nubliamiento.

b.- CAMIONES DE TRANSPORTE PESADO. No presentaron problemas durante el desarrollo de las pruebas.

c.- CAMIONETAS DE CARGA LIGERAS Y PESADAS. Frecuentes dificultades cuando las temperaturas de prueba disminuían por debajo de la temperatura correspondiente al punto de nubliamiento del combustible de prueba.

d.- EQUIPO DE MINERIA. Dificultades con algunos equipos cuando la temperatura de prueba disminuye por debajo de la temperatura correspondiente al punto de nubliamiento del combustible. A pesar del escaso control en muchas de las pruebas, los resultados obtenidos concuerdan bastante bien con aquellos de pruebas de vehiculos similares o idénticos desarrollados sobre chasises dinamométricos. Evidentemente algunos vehiculos pueden ser operados satisfactoriamente a bajas temperaturas con aditivos que tienen temperaturas de punto de escurrimiento bajo y alto punto de nubliamiento. Para asegurar la buena operabilidad a bajas temperaturas en todos los vehiculos, un combustible adecuado, necesariamente debe tener una temperatura baja para el punto de nubliamiento.

EFFECTOS DE LA COMPOSICION DEL COMBUSTIBLE SOBRE LAS EMI-

SIONES DE HUMO DE MOTORES DIESEL (SAE)(6), Los efectos de la composición del combustible sobre la emisión de humo fueron investigados en motores comerciales, montados sobre chasises dinamométricos. Los motores fueron operados al 100% de su carga mecánica. Las emisiones de humo fueron medidas con un USPHS de flujo total con un medidor óptico de humo, un muestreador BP-Hartridge con medidor óptico de humo, un muestreador Robert Bosch con medidor por mancha de filtro y el método de las pesadas del hollín filtrado. Se utilizaron dos combustibles, uno conteniendo únicamente destilados primarios y el otro conteniendo 80% de reformado catalítico, para la realización de las pruebas.

Los motores y camionetas probados, representan un conjunto de equipos comerciales: camionetas, autobuses de pasaje, equipo de construcción y maquinaria agrícola. Los motores están enlistados en la tabla (2.8) y los vehículos en la tabla (2.9).

Se usaron cinco formulaciones diferentes de diesel . Se incluyó un disolvente para limpieza industrial para ampliar el intervalo de la densidad manejada. Las características correspondientes a los combustibles, se muestran en la tabla (2.10). Los primeros tres combustibles cumplen con los requisitos para diesel combustible No 2, y los dos siguientes cumplen con los requisitos para diesel combustible No 1 de

ASTM D-975. El combustible No 6 es un disolvente.

Para cada motor, se efectuaron cuatro pruebas a diferentes condiciones de rpm y carga. Los motores fueron ajustados para proporcionar la misma potencia con cada uno de los combustibles probados. Se procedió de igual manera con las camionetas. Los resultados se muestran en la tabla (2.11).

A igual potencia motriz, el combustible de desintegración catalítica, que contiene más aromáticos, produjo más emisiones de humo que el combustible obtenido de destilación directa de petróleo crudo.

ESTUDIOS REALIZADOS POR GENERAL MOTORS. (G.M.) (4) Entre las conclusiones a las que llegó el Departamento de Investigaciones de G.M., sobre la calidad de los combustibles que se expenden en los E.U.A., destacan las siguientes:

\* La contaminación de diesel con agua, causa problemas de corrosión en los componentes del sistema de combustible, y promueve el desarrollo de grupos de microorganismos. Tanto los óxidos, productos de la corrosión, como los grupos de microorganismos producen problemas de flujo inadecuado, hasta llegar a tapar totalmente alguno de los componentes del sistema de combustible.

\* Un alto contenido de parafinas causa el taponamiento de filtros a bajas temperaturas.

TABLA 2.8

MOTORES USADOS PARA LAS PRUEBAS.

MOTOR.	MODELO.	TIPO CICLOS.	NUMERO DE CILINDROS.	DESPLAZAMIENTO PULG. CUBICA.
CATERPILLAR.	D-338 <sup>*</sup>	4	4	358
CUMMINS.	V6-228	4	V-6	588
GENERAL MOTORS.	6V-71	2	V-6	426
INTERNATIONAL.	D-166	4	4	166
MAK.	END 711	4	6	711

\* TURBOSUPERCARGADO.

TABLA 2.9

CAMIONETAS USADAS PARA LAS PRUEBAS.

CHASIS.	MOTOR.	MODELO.	TIPO CICLOS.	NUMERO DE CILINDROS.	DESPLAZAMIENTO PULG. CUBICA.
INTERNACIONAL 2808-F.	CUMMINS.	NH-258.	4	6	655
MAK B-61	MAK	END 711	4	6	711
GENERAL MOTORS 7588.	GM TOROFLOW	DM 478	4	6	478

TABLA 2.10

CARACTERISTICAS DE LOS  
COMBUSTIBLES EMPLEADOS.

COMBUSTIBLES.	DENSIDAD. lb/galon.	°API <sup>m</sup>	% AROMATICOS.	CALOR BRUTO DE COMBUSTION, 1000 BTU POR	
				LIBRA.	GALON.
1	7.3	29	45	19.3	141.4
2	7.1	35	20	19.5	138.1
3	6.9	40	17	20.8	137.3
4	6.8	43	14	20.2	136.2
5	6.7	45	12	20.2	135.8
6	6.6	40	12	20.3	133.3

TABLA 2.11

EFFECTO DE LA COMPOSICION DEL COMBUSTIBLE  
SOBRE LAS EMISIONES DE HUMO.

	COMBUSTIBLES.			
	DESTILADOS PRIMARIOS.		MATERIAL DE DESINTEGRACION CATALITICA.	
DENSIDAD, °API	48		32	
AROMATICOS, %	17		43	
DESTILACION, °F				
18% DE EVAPORACION.	415		428	
58% DE EVAPORACION.	485		495	
98% DE EVAPORACION.	578		578	
CARACTERISTICAS.	MOTOR 1.	MOTOR 2.	MOTOR 1.	MOTOR 2.
RPM	2600	1200	2600	1200
POTENCIA AL FRENO.	178	115	178	115
HSN, HARTRIDGE	45	18	55	25
USPHS, % TRANSMISION.	98	99	86	96
BOSCH, MANCHA No	3.7	1.2	4.5	2.8
PESO DE HOLLIN, mg/cu ft	6.8	1.8	8.8	2.5

\* Su baja volatilidad y el alto contenido de aromáticos agrava la emisión de partículas.

**CONTAMINANTES DEL DIESEL.** De un muestreo realizado en el tanque de combustible de algunos vehículos producidos por G.M., se encontró que los principales contaminantes presentes en el diesel son: agua, alcohol, sal, óxidos de fierro, plomo y aluminio.

Es necesario señalar que no todos se encontraban presentes en cada uno de los vehículos muestreados.

Se supone que las fuentes de cada uno de los contaminantes presentes en el combustible, son:

\* AGUA. Las estaciones de servicio, en donde de alguna manera se introduce agua en el tanque de almacenamiento del combustible.

\* ALCOHOL. El uso de aditivos que no recomienda G.M., pero que un buen número de operadores utilizan.

**OXIDOS METALICOS.** La principal fuente, es la corrosión de los componentes del sistema de almacenamiento y distribución de combustible contaminado con agua.

\* SALES. La presencia de sal, identificada como cloruro de sodio, no se ha podido determinar con exactitud la causa de su formación o procedencia.

OPERABILIDAD A BAJAS TEMPERATURAS. Debido a que se presentan serios problemas de operación a consecuencia de un

alto contenido de parafinas en el diesel. G.M., recomendaba en años pasados, adicionar gasolina al diesel para evitar el taponamiento de filtros y líneas, por la formación de cristales parafinosos. En la actualidad recomienda el uso de aditivos mejoradores de flujo en frío que permiten la operación del vehículo por debajo del punto de nublamiento del combustible (de 10 a 15 °F por debajo del punto de nublamiento).

G.M. concluyó que una volatilidad alta y un bajo contenido de aromáticos dan por resultado disminuciones sustanciales en la emisión de partículas. En la actualidad G.M., realiza investigaciones para la producción de aditivos que contribuyan a reducir la emisión de partículas.

ESTUDIOS REALIZADOS POR CUMMINS ENGINE CO.(8) Paul A.

Bennett de Cummins Engine Co, realizó un estudio sobre las diferencias en eficiencia de los combustibles comerciales. La operación de un motor, con diferentes combustibles comerciales, da como resultado, diferencias en eficiencia de varios puntos porcentuales. Una camioneta en carretera puede llegar a promediar 5 millas por galón de combustible consumido, quemando 20 000 galones de combustible en un recorrido de 100 000 millas. Muchos vehículos llegan a realizar recorridos hasta de 800 000 millas. En estos casos

una baja en eficiencia del 2% en el rendimiento del combustible, se puede trasladar en un incremento de 3 200 galones de combustible por vehículo. A simple vista, pueden parecer insignificantes 3 200 galones en un recorrido de 800.000 millas, pero para una compañía de transporte es muy probable que tenga un significado importante.

Benette, concluyó su estudio afirmando que:

El encendido se ve favorecido por una alta volatilidad y adecuado número de cetano.

Los principales problemas del sistema de combustible, son debidos a la contaminación del combustible por agua que causa corrosión y depósitos. Los depósitos se relacionan con la inestabilidad del combustible (oxidación del combustible).

En la cámara de combustión, la formación de depósitos es causada por un alto contenido de azufre, y a consecuencia de una baja volatilidad.

La emisión de humos, se relaciona con el número de cetano y la composición general del combustible que está influenciada, por la procedencia o proceso de producción del diesel.

El funcionamiento del motor se ve afectado por el número de cetano y volatilidad (calidad de ignición); por el calor de combustión (eficiencia térmica).

Finalmente, la vida útil del motor está determinada por factores como la corrosión, desgaste y formación de depósitos, que tiene una relación directa con la calidad del combustible empleado.

## **CAPITULO 3.**

# **PROCESOS DE PRODUCCION DE DIESEL COMBUSTIBLE.**

El proceso de destilación para obtención del diesel a nivel mundial, en esencia sigue siendo el mismo, con algunas modificaciones poco importantes.(8)

También en México, aunque cada refinería tiene una capacidad nominal y un diseño propios, para tratar y fraccionar crudos con diferentes especificaciones (Cretácico marino, Maya, Tamaulipas, Pánuco, Arenque, Istmo, Poza Rica, etc.); el proceso empleado es básicamente el mismo. En el diagrama (2.1) se muestra un esquema simplificado del proceso.

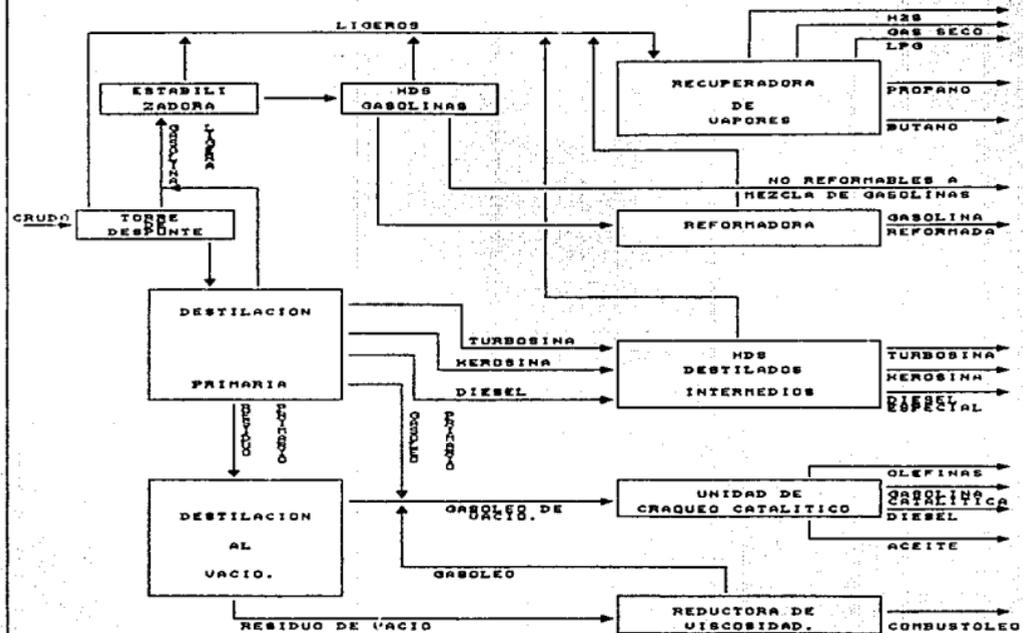
#### DESCRIPCION DEL PROCESO DE REFINACION DEL PETROLEO (9,15).

De la destilación del crudo se obtienen las siguientes fracciones principales: gas combustible, LPGC (gas licuado propano), combustible diesel, nafta ligera, nafta pesada, turbosina, kerosina, gasóleo pesado y crudo reducido. El tema de mayor interés para el presente trabajo, es el proceso de obtención del combustible diesel.

En las refinerías se llevan a cabo dos tipos de procesos: Procesos primarios y procesos secundarios. Los procesos primarios se efectúan en las plantas de destilación atmosférica y al vacío (destilación combinada).

Los procesos secundarios son los que se llevan a cabo, por ejemplo, en las plantas de desintegración catalítica e hidrodesulfuradoras.(15)

DIAGRAMA 3.1 REFINACION DE PETROLEO.



## PROCESO PRIMARIO.

Los procesos primarios los constituyen las operaciones básicas de la destilación del petróleo crudo.

PLANTA DE DESTILACION ATMOSFERICA. En la destilación atmosférica, se efectúan las operaciones de precalentamiento del crudo para llevarlo al nivel de temperatura adecuado para efectuar el desalado; el calentamiento y despunte que separa las fracciones ligeras contenidas en la alimentación y el calentamiento del crudo despuntado, destilación atmosférica y agotamiento.

SECCION DE PRECALENTAMIENTO Y DESALADO. La carga de crudo proveniente de baterías de separación desde los campos de producción es alimentada al proceso. Pasa a través de los trenes de precalentamiento para elevar la temperatura. El precalentamiento se efectúa en contracorriente aprovechando el calor de los productos de la destilación atmosférica así como de los reflujos externos de los mismos. Al crudo precalentado se le inyecta agua mientras se continúa con el calentamiento para efectuar el desalado. En la etapa de desalado se extraen: cloruro de sodio, magnesio, calcio y fierro, principalmente. El crudo desalado continúa su calentamiento para alimentarse a la torre de despunte.

SECCION DE DESPUNTE. Las torres de despunte tienen la función de separar las fracciones ligeras de hidrocarburos

del crudo desalado. La corriente de crudo previamente precalentada entra parcialmente vaporizada a las torres de despunte para efectuar la separación de ligeros. Del fondo de las torres el crudo despuntado se alimenta a los hornos de calentamiento para elevar aún más su temperatura, y en estas condiciones se envía como alimentación a la sección de fraccionamiento.

SECCION DE FRACCIONAMIENTO. El objetivo de esta sección es la separación primaria del crudo. Las extracciones o cortes de la destilación atmosférica se inician por el domo en donde se extrae una mezcla de vapores de agua y de nafta primaria.

Los siguientes cortes incluyen:

Nafta pesada o turbosina que después de pasar a una torre de agotamiento, una parte se recircula y la otra se envía a almacenamiento y en base a los requerimientos de mercado se puede utilizar para producción de diesel.

Kerosina, que pasa a la sección de agotamiento de donde una parte se recircula y otra se envía a almacenamiento para producir Diesel Nacional o se utiliza como disolvente en la unidad de destilación al vacío para formar combustóleo con el residuo de vacío.

Gasóleo ligero primario y/o Diesel Nacional, que entra a la torre agotadora en donde se eliminan los hidrocarburos más ligeros y se envía a almacenamiento para posteriormente

alimentarse a la planta hidrodesulfuradora.

Gasóleo pesado primario del cual, una parte se recircula, otra se utiliza para producir Diesel Nacional y una tercera corriente se mezcla con el gasóleo pesado de vacío para producir diesel especial en la planta hidrodesulfuradora. Otra parte se alimenta a la planta de desintegración catalítica (FCC) para producir aceite ciclico ligero y parte sale como Diesel Nacional.

De los fondos de la torre fraccionadora se obtiene el residuo primario que se envía a diferentes destinos. La corriente principal se envía a la planta de destilación al vacío.

PLANTA DE DESTILACION AL VACIO. La función de esta planta es procesar el residuo primario y obtener por destilación fraccionada al vacío: gasóleo ligero de vacío, gasóleo pesado de vacío y residuo de vacío.

La planta se divide en:

SECCION DE CARGA Y PRECALENTAMIENTO. El residuo primario (fondos de la torre atmosférica) es envía a un horno a fuego directo donde se lleva a cabo la vaporización parcial de los productos. Posteriormente, se alimenta a la torre de destilación al vacío.

SECCION DE DESTILACION AL VACIO. Cuenta con una torre de destilación que opera por debajo de la presión atmosférica, de la que se obtiene, de la parte superior, gasóleo ligero de vacío que se envía a almacenamiento para utilizarse posteriormente en la obtención de Diesel Nacional, ya sea en la planta catalítica o en la planta hidrodesulfuradora.

La extracción intermedia corresponde al gasóleo pesado de vacío que en algunas ocasiones se mezcla con el gasóleo pesado primario para producir Diesel Nacional.

De los fondos de la torre se obtiene la alimentación para las plantas hidrodesulfuradoras o catalíticas.

#### PROCESOS SECUNDARIOS.

Los procesos secundarios son aquellos cuyo objetivo es transformar las corrientes de salida de la destilación combinada o de vacío en productos que cumplan con estándares de calidad previamente establecidos. Los procesos secundarios más importantes para la producción de diesel son: la hidrodesulfuración y la desintegración catalítica.

PLANTA HIDRODESULFURADORA DE DESTILADOS INTERMEDIOS. En esta planta se lleva a cabo el proceso secundario que tiene como finalidad la de reducir en el diesel, el contenido de los compuestos de azufre, nitrógeno, cloro, de algunos compuestos metálicos y la saturación de olefinas por hidrogenación catalítica.



De acuerdo al diseño de la planta, el contenido máximo de azufre en las corrientes de alimentación es de 20 000 ppm (2%), en tanto que el contenido máximo de azufre de los productos es de 1 000 ppm (0.1%).

La planta se puede dividir en dos secciones:

SECCION DE REACCION. La carga se precalienta y cuando está parcialmente vaporizada se introduce a un reactor catalítico de lecho fijo que emplea como catalizador cobalto-molibdeno soportado en alúmina para efectuar la reacción de hidrogenación.

SECCION DE AGOTAMIENTO Y FRACCIONAMIENTO. La finalidad de esta sección es eliminar del efluente del reactor, los incondensables e hidrocarburos ligeros mediante el uso de vapor de agotamiento y mediante un fraccionamiento adicional, obtener el diesel especial así como una corriente de gasolina amarga.

En la torre agotadora se separan los gases incondensables producidos por la desulfurización e hidrocarburos ligeros de los hidrocarburos pesados. Los gases e hidrocarburos ligeros salen por los domos, se condensan parcialmente, realizándose la separación de los domos, en el acumulador de la torre agotadora. Los gases incondensables e hidrocarburos ligeros se envían a la planta de tratamiento de gases. El líquido del acumulador se une a los fondos de la torre.

Los fondos de la torre de agotamiento sirven de alimentación a la torre de fraccionamiento donde se efectúa la separación de los hidrocarburos ligeros de los más pesados, que saldrán como productos. Los ligeros salen por el domo, se condensan parcialmente y son separados en el acumulador. La corriente gaseosa constituida fundamentalmente por gas amargo se envía al desfogue. La corriente líquida se divide para recircular parte a la torre y otra que se envía como salida a almacenamiento.

PLANTA DE DESINTEGRACION CATALITICA. Para aumentar el rendimiento del crudo se cuenta con una planta de desintegración catalítica FCC que tiene por objeto desintegrar por medio de un catalizador los gasóleos vírgenes, que dependiendo de las necesidades del mercado, se transformarán en productos ligeros (aceite cíclico ligero y diesel) y gasolinas.

Los equipos principales de esta sección son el convertidor tipo Orthoflow, fraccionador y agotador de aceite cíclico ligero.

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL DIESEL. Los diseñadores de motores diesel y los productores de combustible, actualmente se enfrentan a dos problemas:

1.- Presiones por parte de las legislaciones ambientales que les solicitan que los motores diesel produzcan bajos niveles de emisiones y además que proporcionen una buena eficiencia.

2.- La calidad del diesel, actualmente es tan variable como los materiales que se están introduciendo en el "pool" de éste. Entre los materiales que se han integrado al pool de diesel se encuentran los productos de las plantas rompedora de viscosidad y de craqueo.(16)

Se espera que la demanda de diesel se incremente y con ello la proporción de materiales que originalmente no se contemplaban en el pool de diesel.(17)

Los medios que actualmente se tienen para mejorar la calidad del diesel en comparación con las opciones de proceso para las gasolinas es limitado. Lo anterior es una consecuencia de que la calidad del diesel depende básicamente de las propiedades del crudo y de su destilación, así como de la necesidad de absorber materiales de los procesos de conversión que de alguna manera contribuyen a aumentar la disponibilidad de materiales para la manufactura de combustibles.

En Europa, fundamentalmente, son tres las rutas disponibles para mejorar la calidad del diesel (8):

1. - MEZCLADO SELECTIVO;
2. - EL USO DE ADITIVOS MEJORADORES DEL NUMERO DE CETANO (Calidad de ignición);

### 3. - PROCESAMIENTO.

MEZCLADO SELECTIVO (8) Involucra la segregación de componentes de alto número de cetano para diesel automotriz, que a su vez, reduce la calidad e incrementa la aromaticidad del pool remanente de los gasóleos no automotrices. La capacidad de absorber materiales de baja calidad en el pool de gasóleos no automotrices es limitada, comparada con la demanda de diesel automotriz.

El mezclado selectivo no es una alternativa viable para satisfacer las demandas de calidad y de mercado de los combustibles automotrices.

EL USO DE ADITIVOS MEJORADORES DEL NUMERO DE CETANO (8, 10). Un amplio rango de compuestos han sido estudiados como mejoradores de ignición del diesel, los más comunes son nitratos de ésteres. Peroxidos y otros compuestos reactivos, se han descartado en vista de su naturaleza peligrosa y/o habilidad de promover daños laterales que afectan al combustible. Actualmente y a consecuencia de lo anterior, todos los mejoradores comunes o comerciales, están basados en el 2-etil-hexil-nitrato o mezclas de octilnitratos.

Si el número de cetano de un combustible se eleva hasta niveles altos, mediante el uso de aditivos, la respuesta a los mejoradores de cetano decrece y por lo tanto la

concentración de aditivo por unidad de cetano mejorada se incrementa exponencialmente.

Una respuesta típica del aditivo para un número de cetano de 45 en el diesel es de 0.017% en volumen de aditivo por unidad de cetano mejorada. Se espera que el uso de aditivos mejoradores del número de cetano, se incremente ampliamente.

Los costos asociados con el uso de mejoradores de número de cetano, son bajos comparados con los de otras alternativas como el procesamiento, que se describe más adelante. Se estima que los costos se incrementan, para una mejora de dos unidades en el número de cetano por medio del tratamiento con aditivos, de 42 a 50 millones de dolares por año, considerando los costos actuales para los países de la Comunidad Económica Europea y tomando 1988 como año base.

Claramente la ruta de los aditivos es menos costosa que el hidroprocesamiento, pero otros parámetros de calidad, tales como la densidad y el contenido de aromáticos, no cambian. Por otra parte, la dosis de aditivo se puede ajustar fácilmente por fluctuaciones en los niveles de cetano que ocurren frecuentemente en las refinerías a causa de cambios en el petróleo crudo que se procesa, variaciones temporales en la demanda del combustible, etc.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

ALTERNATIVAS DE PROCESAMIENTO. (8, 17) Para mejorar la calidad de diesel, están disponibles tres opciones de procesamiento:

1. - EXTRACCION DE AROMATICOS.
2. - HIDROCRACKING
3. - HIDROGENACION.

Las primeras dos rutas producen cambios significativos en el rendimiento del producto; por el contrario la última opción tiene solamente un impacto marginal sobre el balance de los productos.

La extracción de aromáticos con solventes de los gasóleos que contienen componentes altamente aromáticos, representa una baja significativa en la producción de gasóleos y un problema para la disposición de los desechos aromáticos. Esta ruta, es por consiguiente, considerada como una opción no viable, excepto en circunstancias muy específicas.

El hidrocracking produce gasóleos de buena calidad. Sin embargo, la construcción de nuevas plantas hidrocraqueadoras para la producción de gasóleos de buena calidad, implica competir con otras unidades que utilizan las corrientes de salida de la destilación combinada, reduciendo su capacidad de conversión. No es una solución económicamente aceptable, pero puede representar una alternativa viable.

HIDROGENACION. La hidrodesulfurización de gasóleos, típicamente opera a presiones relativamente bajas y tiene únicamente un efecto pequeño sobre la aromaticidad. La hidrodesulfurización convencional incrementa el número de cetano de las alimentaciones de almacenamiento en una o dos unidades.

Sin embargo, presiones elevadas para la hidrogenación de aceites cíclicos proporcionan mejoras significativas para el número de cetano. Tales tecnologías no tienen aplicaciones comerciales por el momento, aunque se están construyendo algunas plantas a nivel piloto para su aplicación. El proceso tiene la ventaja adicional que incrementa el contenido de hidrógeno del producto, reduciendo su densidad.

#### INVESTIGACIONES PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL COMBUSTIBLE.

HIDROTRATAMIENTO. (14, 18). El proceso de hidrotratamiento es de los más importantes dentro de los esquemas de refinación del petróleo a nivel mundial, ya que en la actualidad la mayor parte de las reservas mundiales de petróleo están constituidas por aceites crudos pesados; los cuales contienen una alta concentración de heteroátomos de azufre, aromáticos, metales, etc.. Estas impurezas provocan baja calidad en los combustibles recuperados de estos crudos, lo cual hace necesario el someter estas corrientes a procesos de hidrotratamiento para obtener combustibles (como en el caso

del diesel) que cumplan con las normas de control presentes y futuras para la protección del medio ambiente.

En México el 56% de las reservas del petróleo corresponden al aceite crudo pesado, por lo que es necesario mejorar el procesamiento típico en los esquemas de refinación y, en consecuencia, disponer de tecnologías de hidrotratamiento acordes con las demandas del país.

#### FUNDAMENTOS DEL PROCESO. (14) El

hidrotratamiento es el proceso catalítico más moderno y efectivo para la reducción de compuestos contaminantes en las fracciones del petróleo. Se han desarrollado procesos de hidrotratamiento muy eficientes utilizando catalizadores, en los cuales se emplea molibdeno como componente activo y níquel o cobalto como promotores.

El azufre se encuentra presente en el petróleo en una gran variedad de compuestos, que van desde los más sencillos como son los mercaptanos, hasta los más complicados que son los asfaltenos (moléculas con un peso molecular mayor de 30 000). En general, se ha observado, que al incrementar el punto de ebullición de la fracción de petróleo en estudio, aumenta la proporción de azufre, así como la complejidad de las moléculas.

El contenido de azufre de los diferentes tipos de aceites crudos, a nivel mundial, varía entre 0.1 a 7.5% en

peso, dependiendo del origen de estos. El contenido de azufre en los crudos nacionales es menor del 5% en peso.

En el proceso de hidrotratamiento, la reacción principal es la hidrogenación de los compuestos organosulfúricos. La reacción primaria de hidrogenólisis de dichos compuestos es la ruptura del enlace C-S y la adición de hidrógeno a los fragmentos formados. Como resultado, se forman los correspondientes hidrocarburos y el ácido sulfhídrico.

El factor que limita la profundidad de eliminación del azufre, es la velocidad de reacción. La cinética de hidrogenación de los compuestos organosulfúricos depende, en gran medida, de su estructura; en general, la velocidad de hidrogenación aumenta en la serie:

tiofenos < tetrahidrotiofenos = sulfuros < disulfuros < mercaptanos

Los compuestos organonítricos se hidrogenan con mayor dificultad que los organosulfúricos. Siendo análoga su estructura, la estabilidad respecto a la hidrogenación incrementa en la serie:

compuestos organosulfúricos < organooxigenados < organonítricos

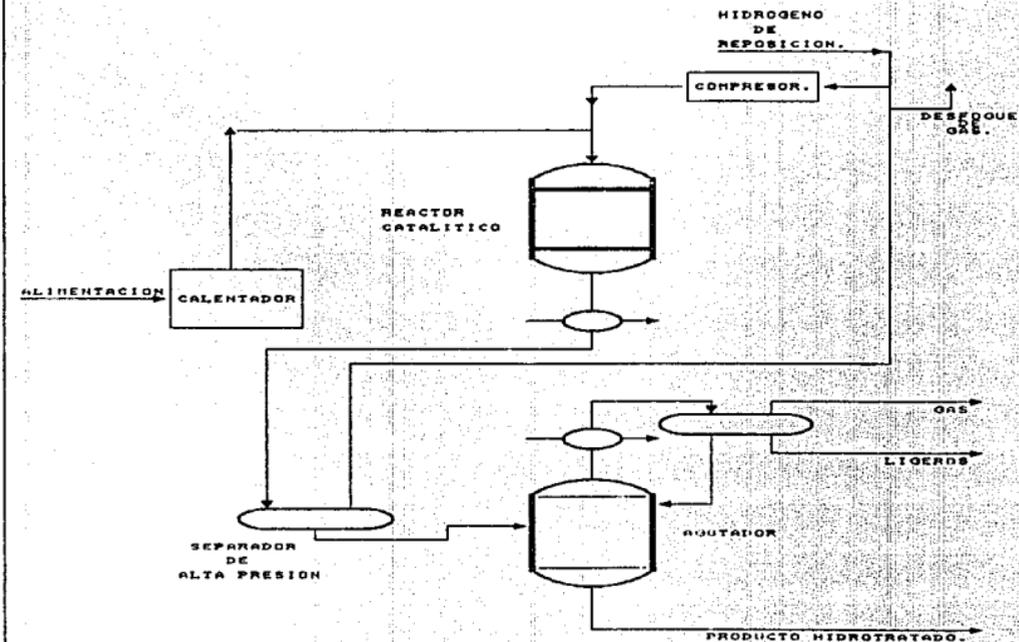
DESCRIPCION DEL PROCESO I. M. P., MEXICO(18) El proceso de hidrotratamiento de fracciones tipo diesel que se detalla aquí, se basa en la utilización de un catalizador de hidrodesulfurización cobalto-níquel-molibdeno soportado en alúmina. El proceso permite lograr una alta conversión de los compuestos aromáticos y nafténicos a compuestos parafínicos, siendo esta conversión la que favorece el mejoramiento del índice de cetano.

En el diagrama (3.2) se muestra el esquema del proceso simplificado.

La carga de alimentación pasa a un calentador donde alcanza la temperatura de operación y se mezcla con una corriente gaseosa, cuyo contenido mínimo de hidrógeno es de 80% (mezcla de gases de recirculación e hidrógeno de reposición) antes de su entrada al reactor de lecho fijo. El efluente del reactor se enfría y se conduce a un separador líquido-gas de alta presión. El producto líquido se alimenta a un agotador donde se eliminan los compuestos ligeros producidos por la hidrodesintegración. El gas rico en hidrógeno que sale del separador se recircula al reactor junto con el hidrógeno de reposición necesario.

El catalizador experimental que se consideró para realizar los estudios a nivel de planta piloto fue el IMP-DSD-10. La carga utilizada fue diesel, proveniente de la Refinería de Salina Cruz, Oax.

**DIAGRAMA 3.2 PROCESO IMP PARA  
HIDROTRATAMIENTO DE DIESEL.**



Las condiciones de operación a las cuales se efectuaron las experimentaciones fueron: una presión de 40-100 Kg/cm<sup>2</sup> y una relación hidrógeno/hidrocarburo de 1 500- 5 000 pie<sup>3</sup>/b; además se estudió el efecto de la temperatura de reacción en el intervalo de 250 a 400 °C y el espacio velocidad dentro de un margen de 1.5 a 2.5 1/h.

REMOCIÓN DE AZUFRE Y NITROGENO. En cuanto a la concentración de azufre como una función de la temperatura de reacción a los espacios-velocidades estudiados; se concluyó que con la combinación menos severa de 2.5 1/h de espacio-velocidad y baja temperatura se tienen niveles de azufre en el producto de 0.25% peso; mientras que con la combinación más severa, espacio velocidad de 1.5 1/h y alta temperatura se obtienen concentraciones de azufre en el producto de 0.02% en peso.

En cuanto a la remoción de nitrógeno se observaron comportamientos similares con respecto a las condiciones de operación.

## **CAPITULO 4.**

**TENDENCIAS TECNOLOGICAS DE LA INDUSTRIA  
AUTOMOTRIZ PARA DISMINUIR LA EMISION DE  
CONTAMINANTES DE MAQUINAS DIESEL.**

Las tendencias actuales de restringir cada vez más las emisiones contaminantes, han obligado a los fabricantes de vehículos diesel, al desarrollo de tecnologías más eficientes para mejorar el desempeño de los motores y reducir las emisiones contaminantes.

OPCIONES DE CONTROL DE EMISIONES. Comercialmente, se encuentran disponibles equipos y accesorios para motores diesel, que sirven para el control de las emisiones, pero cada uno de estos accesorios tienen efectos diferentes, por lo que es necesario establecer límites dentro de los cuales su aplicación sea realmente efectiva.

La tecnología aplicable a los vehículos ligeros, en la mayoría de los casos no lo es para los camiones de transporte pesado. Las investigaciones se han centrado en vehículos ligeros, para los cuales existe una gran cantidad de opciones de control. Debido a que las técnicas de control presentan variantes para los motores ligeros y pesados, se tratarán por separado. (2)

Las opciones de control se pueden clasificar dentro de cuatro grupos, que dependen de la severidad de los estándares aplicados. En la descripción de cada uno de los grupos se van a mencionar las tecnologías pertinentes a cada uno de ellos. Posteriormente se describirán algunas de éstas con mayor detalle.

#### OPCIONES DE CONTROL DE EMISIONES PARA VEHICULOS LIGEROS.

(2, 13,19,22) Las opciones disponibles para el control de las emisiones de motores diesel ligeros, utilizan técnicas, que en esencia pueden ser numericamente pocas. A continuación se describen los cuatro escenarios, que pueden presentarse y que requieren de la aplicación de diversas tecnologías. Los límites permisibles para las emisiones de los vehículos diesel se mencionan cuando se aborda el tema de los vehículos pesados.

PRIMERA OPCION. En la primera opción se plantea que no es necesario el uso de tecnologías que reduzcan las emisiones contaminantes, ya que se considera la ausencia de exigencias legales para restringirlas. Por otra parte, el funcionamiento del motor y la economía del combustible pueden marcar la pauta para el uso de algunos accesorios, o por lo menos tratar de mantener operables los vehículos.

Bajo este panorama, cualquier tecnología es adecuada, ya que no se requiere de control especial. Se considera como adecuado el uso de sistemas sencillos de recirculación de gases de escape, que no requieren más que del uso de conexiones y válvulas.

SEGUNDA OPCION. Se plantea la existencia de leyes poco restrictivas que permiten el uso de tecnologías que no incluyen trampas. Tales como la inyección electrónica del

combustible y el uso de sofisticados sistemas electrónicos de recirculación de gases de escape (EGR) que reducen el impacto negativo de las restricciones estándar sobre óxidos de nitrógeno. Estas tecnologías, están disponibles y proporcionan un control adecuado de las emisiones, reduciendo significativamente los niveles que se manejan actualmente.

Bajo este panorama, resulta muy adecuado el uso de sistemas de recirculación de gases de escape. Estos sistemas son más sofisticados que los correspondientes a la primera opción, y su empleo es de mucha utilidad cuando los efectos de la inyección electrónica parecen inciertos.

TERCERA OPCION. La tercera opción plantea restricciones más severas en la emisión de partículas, por lo que se puede mencionar que las tecnologías potencialmente capaces de aprobar las especificaciones sobre emisiones estarán basadas en el uso de trampas. En algunos casos los productores de vehículos que no han considerado el uso de trampas tendrán que hacerlo.

Se puede considerar que, desde el punto de vista de la tecnología, la tercera opción es una extensión de la segunda. Sin embargo, los estándares pueden resultar suficientemente bajos, de tal manera que no es necesario el empleo de tecnologías basadas en el empleo de trampas catalíticas.

En algunos casos puede resultar atractivo el empleo de trampas, sobre todo para vehículos ligeros.

CUARTA OPCION. Como cuarta y última opción, se plantea un escenario en el cual las restricciones llegan a ser excesivamente severas, de tal manera que tienden a reducir a casi cero las emisiones de partículas y óxidos de nitrógeno. Bajo este panorama, la única alternativa viable hasta el momento es el uso de trampas catalíticas en todos los vehículos diesel. En estas circunstancias ninguna de las tecnologías mencionadas anteriormente es capaz de aprobar las exigencias sobre emisiones.

Se requiere que las trampas catalíticas empleadas en cada caso sean técnicamente adecuadas. Aunque las trampas sean de alta eficiencia, además de su empleo en casi todos los vehículos, es muy probable que su eficacia requiera el empleo de dispositivos adicionales.

#### OPCIONES DE CONTROL PARA VEHICULOS DE TRANSPORTE PESADO.

(2, 13, 19, 20, 22) Los controles convencionales disponibles para las emisiones de vehículos de transporte pesado son más complejos que los correspondientes a los ligeros. No obstante, se consideran las mismas cuatro posibilidades.

PRIMERA OPCION. En la primera opción, al igual que en el caso de los motores ligeros, se plantea que no existen leyes restrictivas para el control de las emisiones. Bajo este panorama, se plantean como límites máximos permisibles 0.7 g/BHP-hr. para óxidos de nitrógeno y 7 g/BHP-hr para

partículas. Se ha observado que para esta opción resultan razonables niveles máximos de 0.6 y 6 g/BHP-hr de óxidos de nitrógeno y partículas, respectivamente. Estos estándares pueden asociarse con el empleo mínimo de controles relacionados con el motor (entre los que se pueden mencionar la calibración o ajuste del tiempo de inyección y el diseño de los inyectores).

SEGUNDA OPCION. Se propone aprobar los siguientes estándares como límites máximos, 0.4 y 4 g/BHP-hr para óxidos de nitrógeno y partículas, respectivamente. Para lograrlo se sugiere el empleo de tecnologías más avanzadas que las propuestas en la primera opción, y que resultan más difíciles de evaluar debido a la escasa investigación efectuada en motores pesados. Entre las tecnologías que son aplicables en estas circunstancias, se encuentran los controles electrónicos para la inyección de combustible y sistemas avanzados de recirculación de gases de escape que pueden resultar efectivos para la aprobación de estos estándares.

TERCERA OPCION. Esta opción implica que los vehículos deben cumplir con un estándar de 0.25 y 1 g/BHP-hr para óxidos de nitrógeno y partículas, como límites máximos. Bajo este supuesto, para algunos motores se puede considerar el uso de trampas que resulten técnica y económicamente viables de ser aplicadas. Con la imposición de estas normas es necesario tomar en cuenta la economía y durabilidad del

motor, ya que pueden ser factores determinantes en el cumplimiento de los estándares y para la operación del vehículo.

CUARTA OPCION. Supone la imposición de estándares severos de 0.1 g/BHP-hr para partículas y de prácticamente cero para las emisiones de óxidos de nitrógeno, lo cual puede ser factible con el uso de trampas catalíticas en todos los vehículos diesel, ayudados por otras tecnologías como la inyección electrónica.

Con el uso de trampas catalíticas en motores de servicio pesado surgen nuevos problemas entre los que se pueden mencionar:

\* Las trampas para motores de servicio pesado son más difíciles de controlar y regenerar, comparadas con las trampas catalíticas instaladas en motores ligeros.

\* El tipo de uso que generalmente se les asigna a los motores de servicio pesado obliga a que las trampas catalíticas tengan un intervalo de tiempo mayor entre regeneración y regeneración, comparadas con las instaladas en motores ligeros.

\* Las emisiones de motores para servicio pesado son más frías, y los volúmenes producidos son mucho mayores y, debido a que estos parámetros desempeñan un papel importante en el diseño y construcción de estos sistemas, presentan más limitaciones.

DESCRIPCION DE ALGUNAS TECNOLOGIAS DISPONIBLES PARA EL CONTROL DE LAS EMISIONES CONTAMINANTES DE MOTORES DIESEL. En este apartado, se describen algunos equipos y accesorios que se han desarrollado para disminuir las emisiones contaminantes producidas por motores diesel.

TRAMPAS CATALITICAS.(2) El primer componente de un sistema para la reducción de las emisiones de partículas, por la combustión de diesel, es la trampa. En adición a la trampa, se requieren accesorios o componentes, que dependen básicamente de necesidades específicas, del diseño de la trampa. Las trampas pueden clasificarse de acuerdo al material de construcción del filtro.

Una trampa, cuando se instala en un vehículo diesel, ocupa un lugar análogo al que ocupa un convertidor catalítico en un vehículo equipado con motor a gasolina. La trampa, puede o no ser catalítica, de acuerdo a la presencia o ausencia de material catalítico que participe en la oxidación de las partículas acumuladas.

Una descripción detallada sobre el funcionamiento de las trampas catalíticas, se puede encontrar en "The EPA trap-oxidizer feasibility Study" (Ref.2)

Los dos materiales más utilizados para la construcción de los filtros de las trampas son: cerámica y alúmina revestida, soportada en mallas de alambre. Se han efectuado

investigaciones con otros materiales, pero hasta el momento, se siguen utilizando estos.

Cuando las trampas utilizan cerámica como material para la construcción del filtro, pueden o no ser catalíticas. El diseño de trampas de cerámica a base de óxidos de magnesio, silicio y alúmina pertenecen a las empresas Corning, NGK y otras firmas.

Johnson-Mathey es el principal fabricante de trampas a base de alúmina revestida soportada en malla de alambre, como material del filtro. La forma del filtro es la de un cartucho cilíndrico con el centro hueco. El flujo de las emisiones contaminantes es radial quedando atrapadas, las partículas en el centro del cilindro, que contiene materiales catalíticos que contribuyen a la oxidación de las partículas almacenadas. El diseño de este tipo de trampas requiere de una regeneración más o menos constante, que depende de las condiciones de operación del vehículo y de la frecuencia de uso.

Ambos tipos de trampas, están protegidas por una coraza cilíndrica de acero al carbón, básicamente del mismo tipo de las que se emplean como corazas exteriores para los convertidores catalíticos.

SISTEMAS DE REGENERACION DE TRAMPAS (21) Adicionalmente a su instalación, cada tipo de trampa requiere de un método



para su regeneración. Un exceso de partículas acumuladas en la trampa incrementa la presión de salida de los gases de combustión ( provocando una disminución en la economía del combustible y en el funcionamiento del vehículo ), éstas se deben oxidar o quemar periódicamente, para evitar problemas. La temperatura de los efluentes de la combustión de diesel, es inadecuada para iniciar y sostener la oxidación continua de estas partículas. Por consiguiente, se requiere de un sistema de regeneración para un control efectivo de las partículas.

El conjunto de accesorios requeridos para un sistema de regeneración efectivo, dependen en parte, del tipo de trampa. La presencia de materiales catalíticos en el filtro de la trampa, reduce el incremento de temperatura necesario para lograr la oxidación de las partículas, permitiendo el uso de sistemas de regeneración menos complejos que los requeridos para trampas no-catalíticas.

Un sistema típico para la regeneración de trampas no-catalíticas está basado en un quemador de diesel. Para la regeneración se inyecta una corriente de diesel y un exceso de aire a la entrada de la trampa. Quemando el combustible se eleva la temperatura de la trampa, hasta que se produce el quemado de las partículas almacenadas.

Este sistema consta básicamente de siete accesorios: cabezal del quemador, un sistema de abastecimiento de aire

para combustión, un sistema de abastecimiento de combustible, un sistema de ignición, un sistema para la desviación de las emisiones, un sensor de temperatura y una unidad de control electrónico.

El componente más importante del sistema de regeneración es la unidad de control electrónico, ya que recibe e interpreta señales de varios sensores para mantener el control del proceso de regeneración.

De los siete accesorios básicos requeridos para la regeneración de trampas no-catalítica, únicamente los sensores y la unidad de control electrónico son necesarios, en casi todos los sistemas de regeneración de trampas catalíticas y no catalíticas.

Engelhard Corp. ha desarrollado un filtro autoregenerable, diseñado para disminuir en un 90 por ciento o más las emisiones de humo visible y partículas carbonosas (Hollín). El filtro llamado DPX es un diseño común de flujo continuo, fabricado en cerámica, protegido por una canastilla de acero inoxidable.

Estudios realizados con el sistema DPX han indicado que el filtro es realmente autoregenerable y quema las partículas atrapadas, cuando la temperatura de los gases de escape se eleva, por un periodo de tiempo corto, alrededor de los 707 °F (375 °C).

La autoregeneración es considerada por Engelhard como la

característica más importante del filtro DPX, ya que disminuye los costos derivados del mantenimiento que se debe proporcionar a sistemas homólogos. Otro tipo de filtros de cerámica que no incluyen materiales catalíticos, requieren temperaturas de aproximadamente 900°F para su regeneración. Además de requerir de temperaturas elevadas, es necesario desmantelarlos y darles un mantenimiento más exhaustivo.

A continuación se mencionan algunas tecnologías que contribuyen a reducir las emisiones de motores diesel y aumentan el desempeño.

#### CALIBRACIÓN DEL TIEMPO DE INYECCIÓN: METODO VIA MICROON-

DAS. (23) Dado que las presiones por parte de las legislaciones ambientales cada vez son más fuertes, las emisiones de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno, se han restringido más. El tiempo de inyección del combustible juega un papel muy importante en las emisiones de los contaminantes mencionados.

La combinación de la localización del punto muerto superior y el uso de un detector luminoso, como indicador de encendido de combustión, puede incrementar la exactitud de la calibración del tiempo de inyección de la bomba de combustible.

GENERAL MOTORS (G.M.), ha desarrollado un equipo para calibrar la bomba de inyección de combustible de los motores

diesel. El equipo emplea un sensor de microondas para determinar el punto muerto superior con un error de 0.1 grados.

Un motor diesel puede ser puesto a tiempo de dos formas, por calibración dinámica o estática. La calibración dinámica está basada en el empleo de equipo como el desarrollado por G.M. para poner a tiempo el motor. La calibración estática, consiste en hacer un ajuste manual de las piezas que se acoplan para transmitir el movimiento a la bomba. Normalmente de fábrica, el engrane de la bomba trae una marca que debe coincidir con otra que se encuentra en el engrane que le transmite la potencia a la bomba, hacer coincidir ambas marcas se conoce como calibración estática. La calibración estática puede tener un error de hasta 3 grados.

Se ha observado que en los motores diesel, las emisiones de óxidos de nitrógeno se incrementan cuando disminuyen las emisiones de hidrocarburos; retardando el tiempo de inyección se produce el efecto contrario. Como los estándares para estos contaminantes están muy restringidos, se hace necesario tener mayor exactitud en la calibración del tiempo de inyección de la bomba de combustible.

Se midieron las emisiones en motores que se calibraron o ajustaron dinámicamente y estáticamente. De las pruebas efectuadas se puede concluir que los motores que fueron calibrados dinámicamente, lograron disminuciones notables en



las emisiones de humo. En la referencia (23) se presentan más detalles sobre la calibración dinámica y los beneficios que se obtienen de su empleo en la disminución de las emisiones generadas.

CONTROL ELECTRONICO PARA MOTORES DIESEL.(24) En la década de los 80's Bosch (compañía que se dedica a producir equipos y accesorios eléctricos y electrónicos automotrices), desarrolló el control electrónico diesel (CED), cuyo primer prototipo operaba en sus laboratorios en 1980. Para 1986, el mismo se empezó a producir en serie, con la finalidad de usarse en autobuses de pasajeros.

Aún cuando el proyecto original estaba pensado sólo para motores de inyección indirecta, se ha generalizado a motores con sistemas de inyección directa.

Este equipo puede ayudar a reducir de una manera significativa las emisiones y a aprobar las especificaciones sobre emisiones contaminantes; asimismo contribuye a lograr un mejor desempeño en los motores diesel.

El sistema CED es marcadamente más complejo que los sistemas homólogos para motores de gasolina. Por ejemplo, la bomba de inyección se ha complicado enormemente. Una bomba de inyección tipo distribuidor para abastecimiento de combustible consta de: un actuador para regular la cantidad de combustible distribuido, control de tiempo, estrangulador

de flujo auxiliar, y un sensor (potenciómetro) para proporcionar control sobre el combustible remanente de la línea. Entrada de operador, monitoreado por un switch a través de un potenciómetro conectado al pedal del acelerador. Otros componentes del equipo de control electrónico son piezas estándar de Motronic, Jetronic o sistemas ABS.

Para la operación de un motor diesel con el CED, se requiere de una instalación adecuada. Para su instalación es necesario hacer un ajuste preciso de la bomba de distribución de combustible; la localización exacta del punto muerto superior de cada uno de los cilindros para proceder a su instalación y de la calibración del CED.

El CED incluye microprocesadores para interpretar las señales de los componentes periféricos que registran carga, velocidad y propiedades del combustible. El CED puede integrarse de dos microprocesadores como mínimo, en algunos casos puede resultar muy complicado por el uso de un número elevado de microprocesadores.

En la referencia (24) se muestra esquemáticamente la configuración de un motor diesel equipado con CED, en donde se puede observar una gran interdependencia de los componentes que lo integran.

Se espera que con el uso de CED, se reduzcan las fallas en motores diesel, se obtengan ahorros reales y sustanciales en combustible y un mejor desempeño. En cuanto a emisiones,

se pueden reducir considerablemente por el uso de este nuevo equipo.

Cabe aclarar que se tienen posibilidades de mejorar aún más por el uso de microprocesadores más eficientes y veloces que reduzcan los tiempos de respuesta a los cambios producidos en el sistema.

#### DISEÑO DE COMPONENTES DEL SISTEMA DE COMBUSTION. (25, 26)

La regulación de emisiones de motores de combustión interna, ha ocasionado que los componentes de los motores sean modificados constantemente. Uno de los aspectos clave, para aprobar los estándares es el diseño de las cámaras de combustión, mejorando pistones, anillos, cojinetes y forros o recubrimientos de los cilindros. Los progresos logrados en esta área pueden marcar la pauta para el desarrollo de otros aspectos importantes en el diseño de los motores diesel, tales como mejores turbocargadores, sistemas de inyección electrónica, etc.

A continuación se proporciona un breve resumen sobre los avances logrados en los componentes del sistema de combustión de los motores diesel.

PISTONES. En años pasados, los pistones de aluminio eran más o menos comunes, en la actualidad la tendencia es fabricar los pistones de materiales ferrosos, en dos partes. Las dos razones que existen para este cambio es la economía

del combustible y las regulaciones sobre emisiones.

Dado que las presiones de operación en la cámara de combustión y los niveles de temperatura, son muy elevados, el aluminio bajo ciertas circunstancias resulta inadecuado. Una posible solución, consiste en revestir la cabeza del pistón con acero para proporcionarle mayor resistencia y a la vez impedir que se perfora.

En el desarrollo de nuevos materiales se ha investigado sobre la posibilidad de construir pistones de cerámica o de fibra reforzada.

Con la construcción de pistones de estos materiales también se pueden incluir cambios en el espacio destinado para la combustión, por ejemplo proponer cambios de forma para la concavidad de la cabeza del pistón que ayude a disminuir los espacios muertos de aire; que produzca una movilización del aire y que favorezca la combustión de la mezcla aire/combustible.

Existe la posibilidad de usar fibras reforzadas para el rediseño de la concavidad del pistón, de tal manera que los pistones típicos de aluminio puedan ser modificados, por la adición de piezas de fibra reforzada, en la cabeza del pistón.

Actualmente las cerámicas, realmente se encuentran en uso, en aplicaciones muy especiales. Cummins, por ejemplo, está usando cerámica para el revestimiento de los cilindros

de un motor para un vehículo militar prototipo. Su uso aún no se ha podido extender al plano netamente comercial. Se ha estado investigando en pistones, anillos y revestimientos para cilindros de cerámica. Se considera que la tecnología a base de cerámica puede jugar un papel muy importante en el futuro. Los diseños actuales incluyen motores que emplean cerámica para la construcción de los componentes de combustión, que exhiben propiedades interesantes en cuanto al desgaste; el inconveniente de estos motores es su elevado costo.

ANILLOS (PARA PISTON). No existe una tendencia clara para cambiar los diseños actuales de los anillos del pistón, o los materiales para su construcción. Los principales cambios consisten en modificar la posición y empaque de los anillos en la cabeza de los pistones. Los anillos elevados siempre han sido más o menos comunes, la principal ventaja es que los anillos elevados forzan a que el aire se encuentre en la zona de combustión; facilitando un mejor mezclado del aire con el combustible, mejorando la economía del combustible y reduciendo las emisiones.

CILINDROS. Los trabajos realizados para mejorar los diseños de los cilindros, se han encaminado a obtener un buen pulido de la superficie para lograr un mejor control en el consumo del aceite lubricante, evitando en lo posible rugosidades que permitan el paso del aceite a través de los anillos.

Se han realizado investigaciones para el empleo de materiales de revestimiento de los cilindros; una de las alternativas que hasta el momento resulta la más viable técnicamente, consiste en el uso de cerámicas para el revestimiento de los cilindros. El principal obstáculo para su aplicación son los costos tan elevados asociados con los procedimientos actualmente utilizados.

Otro diseño que se encuentra en experimentación, es el desarrollo de un sistema de lubricación en fase vapor para evitar los altos índices de contaminación por la combustión del aceite lubricante. Para su aplicación se requiere de un pulido especial de la superficie del cilindro y cambios en el diseño de los anillos de los pistones.

COJINETES. Los cojinetes, se encargan de absorber los golpes bruscos producidos por la combustión y reducen la fricción entre piezas importantes como las velas y los muñones del cigueñal, que sin el uso de cojinetes se desgastarían prematuramente elevando los costos por mantenimiento y reparación.

Las investigaciones más importantes están encaminadas a la búsqueda de mejores materiales para la fabricación y el diseño de cojinetes con geometrías diferentes que tiendan a reducir las deformaciones y el desgaste.

PURIFICADORES DE COMBUSTIBLE (27) Entre los principales factores que contribuyen a la contaminación del combustible se encuentra la condensación de agua en el tanque de combustible del vehículo o en los tanques de almacenamiento; polvo de la atmósfera o partículas de suciedad; grupos de microbios y bajas temperaturas ambientales. Estos factores causan daño a los componentes del motor y afectan adversamente la operación y el desempeño. Adicionalmente, un combustible contaminado incrementa la emisión de partículas en los gases de escape.

Para solucionar este problema, R.C.I. Purificadores Diesel, ha desarrollado una línea de filtros purificadores permanentes de bajo mantenimiento, diseñados para atrapar agua y sólidos antes de que lleguen al motor.

El sistema esta diseñado para instalarse entre el tanque de combustible y el filtro primario, tiene tres configuraciones:

MODELO	ALTURA (in)	DIAMETRO(in)	FLUJO(GPM)	MOTOR(HP)
RC-80E	10.75	3.75	1.8	1-150
RC-400E	15	4.6	3.6	1-500
RC-1000L	29.5	7.25	40	1500

En cuanto al peso de estos filtros, va desde las 5 lbs. para el modelo RC-80E hasta 23 lbs. para el modelo RC-1000L.

Este filtro purificador es uno de los primeros diseños que trae un sistema de precalentamiento integrado; ayudando a eliminar el problema de la formación de cristales parafinosos por las bajas temperaturas ambientales. El único modelo que no incluye precalentamiento, es el RC-1000L, dado que en los sistemas en donde aplica no es muy probable que se presenten temperaturas extremas que requieran el empleo de precalentamiento.

La construcción interna de cada uno de los modelos, parte de un diseño que permite crear turbulencia en el flujo del combustible, que separa el agua y los sólidos suspendidos hasta diámetros menores a los cinco micrones. Tanto los sólidos como el agua se conducen al fondo del filtro en donde se encuentra una válvula de drenado para una limpieza continua, que es el único mantenimiento que se proporciona al sistema.

El cuerpo del filtro purificador es un recipiente de acero con entrada y salida de combustible, válvula de drenado y conexiones para las resistencias de precalentamiento. No se proporcionan detalles sobre los materiales de construcción del filtro, materiales aislantes, tipos de resistencias eléctricas para el precalentamiento, etc.

## CONFIGURACIONES TÍPICAS DE MOTORES DIESEL DE ACUERDO CON

LA POTENCIA. (13) Esta clasificación se basa en la potencia, tamaño y uso de los motores diesel. Se considera que típicamente existen tres configuraciones para los motores diesel.

MOTORES PEQUEÑOS. Son motores que desarrollan una potencia menor a los 188 Kw, y que normalmente se encuentran instalados en automóviles, camionetas para carga ligera, seguidos por aplicaciones en agricultura, construcción y usos estacionarios como marinos, generación de potencia eléctrica y conductos mecánicos. Son los motores más usuales, por lo que sí es importante reglamentar las emisiones producidas por los mismos.

Los motores pequeños normalmente son de cuatro o seis cilindros en línea con turbocargador y postenfriamiento. Se pueden considerar algunos motores V8. Comúnmente son de bajo consumo de combustible. En Europa y Japón utilizan dos válvulas por cilindro. Asimismo, se ha observado la tendencia a utilizar sistemas de distribución de combustible en donde se tiene una bomba por cilindro, con los inyectores en el centro de la cabeza del pistón para una buena distribución del aire usado en la combustión. También es común el empleo de controles electrónicos en las unidades de inyección. La finalidad de utilizar sistemas electrónicos de inyección, así como la inyección directa; es para compensar los cambios ocurridos en carga y velocidad.

MOTORES MEDIANOS. Son aquellos que se encuentran entre 188-340 Kw de potencia, en algunas ocasiones deben aprobar las especificaciones para motores pequeños. Sus principales usos se reducen a los camiones de carga para servicio pesado, en donde el costo del combustible es uno de los principales factores. Para este tipo de motores es importante un rendimiento aproximado de 10 millas por galón. Para los motores medianos, se tienen las siguientes características: Son motores de seis cilindros en línea; se pueden incluir versiones modificadas, incluso motores V8 y V12. Son turbocargados, con inyección directa, con post-enfriamiento, todos deben incluir cuatro válvulas por pistón, comandos de inyección totalmente electrónicos y eficiencias térmicas del orden del 42 por ciento.

MOTORES GRANDES. Motores de aproximadamente 750 Kw, son poco usuales, la mayoría son usados para la generación de energía eléctrica, en locomotoras, aplicaciones marinas y mecánicas. El uso de estas máquinas es de un alto costo; se estima que puede llegar a ser de hasta 113 Dls/Kw.

Se deben tener sistemas de inyección directa, con cuatro válvulas por cilindro, están diseñados para desarrollar velocidades de 1000 a 1800 rpm cuando son motores pequeños en este intervalo; y de 500 a 1100 rpm cuando se trata de grandes unidades. Utilizan comandos de inyección totalmente



electrónicos. Los motores turbocargados tienen eficiencias globales de 65 a 70 por ciento. Su eficiencia térmica es de alrededor del 47 por ciento.

**APENDICE.**

**METODOS DE PRUEBA ASTM PARA  
COMBUSTIBLE DIESEL.**

CLASIFICACION ASTM PARA DIESEL COMBUSTIBLE. (11)Una

clasificación de DIESEL debe reflejar las necesidades de los consumidores y ser compatible con los combustibles disponibles comercialmente. La clasificación ASTM D-975, que se muestra en la tabla (A.1), es la base para las especificaciones del diesel en los Estados Unidos de Norteamérica. Esta clasificación se ha modificado ocasionalmente, no define la calidad para cada tipo o aplicación. Es un intento para establecer límites permisibles de las propiedades importantes para el diesel. De un modo general, menciona dos combustibles que pueden usarse en motores.

Como una consecuencia de que ASTM no proporciona especificaciones detalladas, muchas organizaciones han elaborado sus propios estándares, con la finalidad de satisfacer sus necesidades, que pueden ser muy variadas.

REQUISITOS PARA UNA BUENA CLASIFICACION.(5) Debido a que es impracticable producir, almacenar y distribuir muchos tipos de combustible, algunos acuerdos son inevitables en cuanto a la amplia aplicación del diesel. No obstante, una buena clasificación permite al usuario seleccionar el combustible más apropiado para un servicio en particular.

**TABLA A.1**  
**CLASIFICACION ASTM D-975**  
**REQUERIMIENTOS PARA ACEITES COMBUSTIBLES DIESEL.**

CONTINUACION.

COMBUSTIBLES	TEMPERATURAS DE DESTILACION. ° F (° C)		VISCOSIDAD CINEMATICA, c.S. (SUS) A 100 ° F		AZUFRE. % PESO MAX.	CORROSION AL COBRE. MAX.	NUMERO DE CETANO. MIN.
	MIN.	90%, MAX.	MIN.	90%, MAX.			
	GRADO No 1-D	...	550 (287.8)	1.4	2.5	0.50	No 3
GRADO No 2-D	540 (282.2)	640 (338)	2.8	4.3	1.8	No 3	40
GRADO No 4-D	130 (54.4)	...	5.8	26.4	2.8	...	38

TABLA A.1

CLASIFICACION ASTM D-975

REQUERIMIENTOS PARA ACEITES COMBUSTIBLES DIESEL.

TIPO DE COMBUSTIBLE.	P. DE INFLAMACION °F (°C)	P. ESCURRIMIENTO °F (°C).	AGUA Y SEDIMENTOS. VOL. MAX.	RESIDUOS CARBON % MAX.	CENIZAS. % PESO. MAX.
GRADO No 1-D. No 1-D. UN COMBUSTIBLE VOLATIL PARA MOTORES EN SERVICIOS QUE INVOLUCRAN CAMBIOS FRECUENTES EN VELOCIDAD Y CARGA.	160 (37.8)	*	TRAZAS	0.15	0.01
GRADO No 2-D. No 2-D. COMBUSTIBLE DE BAJA VOLATILIDAD PARA MOTORES DE SERVICIO INDUSTRIAL Y DE TRANSPORTE-PESADO.	125 (51.7)	*	0.10	0.35	0.02
GRADO No 4-D. No 4-D. COMBUSTIBLE PARA MOTORES DE MEDIA Y BAJA VELOCIDAD.	130 (54.4)	...	0.50	...	0.10

\* SE ESPECIFICA COMO 10 °F POR DEBAJO DE LA TEMPERATURA AMBIENTE.

Una buena clasificación debe:

\* Especificar el tipo apropiado de combustible, consistente con las demandas del motor y con las características mínimas en común, entre un diesel y otro.

\* Especificar todas las propiedades relevantes- pero únicamente las relevantes- para la operación del motor, de cada grado en particular.

Las propiedades especificadas tienen que ser medibles rutinariamente por pruebas estandarizadas, y las especificaciones para los tipos de combustible compatibles con otros destilados.

PROPIEDADES IMPORTANTES DEL DIESEL (5) Un diesel debe aprobar cuatro requerimientos básicos para toda aplicación en motores: propiedades adecuadas de flujo, vaporización, quemado y contemplar momentáneamente el sistema de almacenamiento y el motor. Las características enlistadas en la clasificación del ASTM (o en otras especificaciones para el combustible deben incluir mucho más términos) intentan reflejar los rasgos básicos de eficiencia por métodos de prueba que sean aplicables en corto tiempo. Sin embargo, el conjunto de propiedades especificadas pueden diferir marcadamente en importancia técnica y comercial, tanto para vendedores como para consumidores. Las de mayor relevancia

para la industria de refinación, son aquellas que proporcionan control sobre la composición de lotes de combustible. Por simplicidad, únicamente las propiedades que son de significado general se consideran en la clasificación. Se pueden incluir en este rubro a las siguientes:

COMPOSICION. El diesel, es una mezcla compleja de hidrocarburos. En la actualidad se cuenta con un gran número de procedimientos para la determinación de sus propiedades. Normalmente, las determinaciones son referidas a los métodos ASTM.

NUMERO DE CETANO. El número de cetano se puede definir como el porcentaje en volumen de cetano normal en una mezcla con la cantidad necesaria de heptametilnonano para igualar la calidad de ignición del combustible examinado. La calidad de ignición, se determina por el método ASTM D-813, "CALIDAD DE IGNICION DE DIESEL COMBUSTIBLE".

VOLATILIDAD. La volatilidad influye sobre otros parámetros, como las temperaturas a partir de las que se construye la curva de destilación. No tiene una influencia directa sobre la potencia y economía del motor.

Normalmente, la volatilidad se determina por el método ASTM D-86 "PRUEBA PARA LA DESTILACION DE PRODUCTOS DEL PETROLEO."

VISCOSIDAD. Para algunos motores es conveniente especificar una viscosidad mínima por la baja potencia con la que la bomba envía el combustible y por las pérdidas en el inyector. Por otra parte, la viscosidad máxima, está limitada por consideraciones que involucran el diseño y tamaño del motor, así como por las características del sistema de inyección.

La viscosidad del diesel se determina por el método ASTM D-445, "VISCOSIDAD DE LIQUIDOS TRANSPARENTES Y OPACOS" ( VISCOSIDADES DINAMICAS Y CINEMATICAS).

RESIDUOS DE CARBON. Los residuos de carbón proporcionan una medida de la tendencia de un combustible a depositar carbón cuando se usa como combustible en los motores de combustión interna. Aun cuando no hay una correlación directa con los depósitos del motor, el valor de esta propiedad se considera una aproximación.

El carbón residual del diesel, se determina por el metodo ASTM D-524, "METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA CARBON RESIDUAL RAMSBOTTOM DE PRODUCTOS DEL PETROLEO."

CONTENIDO DE AZUFRE. El efecto del contenido de azufre sobre el desgaste del motor y formación de depósitos varía considerablemente y depende en gran parte de las condiciones de operación. El contenido permisible de azufre se especifica en forma consistente con las consideraciones

sobre mantenimiento, y muy especialmente con los límites por contaminación.

El contenido de azufre en el diesel, se determina por el método ASTM D-129, "METODO DE PRUEBA PARA CONTENIDO DE AZUFRE EN PRODUCTOS DEL PETROLEO " (METODO GENERAL DE BOMBA).

PUNTO DE IMFLAMACION. El punto de inflamación indica la temperatura a la que el vapor del aceite explota o prende momentáneamente en presencia de una flama. Como especificación, no está directamente relacionado con el desempeño del motor. Sin embargo, es importante en relación con requerimientos legales y precauciones de seguridad relacionadas con el manejo y almacenamiento del combustible, y normalmente se especifica para satisfacer requisitos de seguridad y regulaciones contraincendio.

El punto de inflamación para el diesel se determina por el método ASTM D-93, "METODO DE PRUEBA PARA EL PUNTO DE INFLAMACION CON EL PROBADOR CERRADO DE PENSKY-MARTENS".

PUNTO DE ESCURRIMIENTO. El punto de escurrimiento es la temperatura a la cual una buena cantidad del combustible se ha vuelto insoluble formando un gel que evita el flujo.

El punto de escurrimiento para el diesel se determina por el método ASTM D-97, "METODO DE PRUEBA PARA EL PUNTO DE ESCURRIMIENTO DE PRODUCTOS DEL PETROLEO."

TELIS CON  
FALLA DE ORIGEN

PUNTO DE NIEBLA. Define la temperatura a la cual una nube o bruma de cristales parafinosos aparecen en el combustible por debajo de las condiciones de prueba. Las pruebas consisten en enfriar el diesel desde una temperatura de unos 25 'F más alta que el punto de niebla estimado. El baño de enfriamiento se mantiene entre 15 y 30 'F debajo del punto de niebla del aceite. A intervalos de tiempo, la vasija se retira del baño de salmuera hasta que aparece una especie de bruma en el aceite. La temperatura que tiene el aceite en ese momento se denomina como el punto de niebla.

El punto de niebla, se determina por el método ASTM D-2500, "METODO DE PRUEBA PARA EL PUNTO DE NUBLAMIENTO DE ACEITES COMBUSTIBLES."

CENIZAS. La formación de materiales en forma de cenizas se puede presentar de dos maneras:

1. - SOLIDOS ABRASIVOS.
2. - MATERIALES METALICOS SOLUBLES.

Los sólidos abrasivos contribuyen al desgaste del inyector, bomba de combustible, anillos y pistones, así como a la formación de depósitos en el motor. Los materiales metálicos solubles tienen poco efecto sobre el desgaste, en cambio, contribuyen principalmente a la formación de

depósitos en el motor.

La cantidad de cenizas presentes en el diesel se determinan por el método ASTM D-482, "METODO DE PRUEBA PARA CENIZAS DE PRODUCTOS DEL PETROLEO."

PRUEBA DE CORROSION AL COBRE Y ALCALINIDAD. Las

especificaciones sobre corrosión al cobre y alcalinidad son propuestas para asegurar que no habrá daños al motor. La prueba de corrosión al cobre sirve como una medida de predecir posibles dificultades con partes del sistema de combustible que hayan sido fabricadas de cobre, latón o bronce; es sensible a la presencia de ciertos compuestos de azufre introducidos en el proceso de refinación para mejorar olor. La prueba de alcalinidad es sensible a la sosa usada en mejoradores de estabilidad del combustible.

Los métodos indicados para la determinación de las pruebas anteriores son el método ASTM D-130, "CORROSION AL COBRE POR PRODUCTOS DEL PETROLEO."

ESTABILIDAD, SEPARACION DE AGUA Y ENMOHECIMIENTO.

Los problemas que involucran a estas propiedades no son muy comunes, pero cuando se presentan, son problemas difíciles de resolver. Aunque la mayoría, de los problemas de taponamiento de filtros se dan a consecuencia de partículas tales como moho o basura, contaminación por agua debido a un mal

TECIS CON  
FALLA DE ORIGEN

almacenamiento, se pueden relacionar con la inestabilidad del combustible, como resultado de la formación de materiales insolubles de la oxidación del mismo. Estos materiales insolubles pueden tapan un filtro y tener el aspecto de estar totalmente limpio. El método ASTM D-2274 "ESTABILIDAD DE ACEITES COMBUSTIBLES DESTILADOS (METODO ACELERADO)"; es la mejor prueba disponible para la estabilidad a la oxidación del diesel, debido a su fácil implementación.

La eliminación de agua de los tanques de almacenamiento es casi imposible, un combustible diesel indudablemente tiene contacto con agua en algún momento durante su distribución y almacenamiento.

Un combustible que proporcione buena protección contra el enmohecimiento, debe minimizar la formación de partículas de óxido de hierro ( que tapa filtros) en tanques de almacenamiento, y el enmohecimiento del equipo de inyección cuando los motores estan fuera de uso. El método ASTM D-665 "RUST PREVENTING CHARACTERISTICS OF STEAM TURBINE OIL IN THE PRESENCE OF WATER", es el mejor examen para la protección contra el enmohecimiento.

CALOR DE COMBUSTION. Es una de las propiedades más importantes, ya que es una medida de la energía útil del combustible. El conocimiento de este valor es esencial cuando es necesario hacer consideraciones de eficiencia térmica del

equipo para la producción de potencia.

El método ASTM D-524, "CALOR DE COMBUSTION DE HIDROCARBUROS LIQUIDOS POR BOMBA CALORIMETRICA.", es aplicable al diesel.

CLASIFICACION PROPUESTA (C5) La propuesta de clasificación incluye cuatro tipos distintos de diesel:

GRADO I. Es un combustible volátil de alta calidad global, útil para usos especiales. Debe tener baja tendencia a la emisión de humos, buena estabilidad, protección al enmohecimiento y excelentes propiedades de flujo en frío. Este combustible debe ser apropiado para su uso en vehículos en donde la emisión de humos es importante, cuando el motor no opera durante periodos largos de tiempo o cuando las temperaturas ambientales son extremas. Si el costo del combustible es relativamente elevado, resulta atractivo únicamente cuando este es secundario en relación con otros costos de operación. Las propiedades son compatibles con el combustible No 1 en ASTM D-396 "Requerimientos detallados para aceites combustibles" y con las las especificaciones para tipo A y A-1 "Combustibles para turbinas de aviación ". Sin embargo, no son idénticos. Un combustible que aprueba justamente las especificaciones de esta clasificación puede

igualmente aprobar éstas para el combustible No 1, pero no necesariamente aprueba las especificaciones para punto de congelamiento, temperatura máxima de destilación, o estabilidad térmica del tipo de combustible A o A-1. Contrariamente, un combustible que cumple con las especificaciones D-396 o D-1855 puede suspender los requerimientos para protección contra enmohecimiento propuesto en esta clasificación.

GRADO II. Es un combustible de buena calidad global que puede ser apropiado para muchos tipos de servicios. Asimismo, debe tener baja tendencia a la emisión de humos, buena estabilidad y protección al enmohecimiento. Sus características de flujo en frío deben ser buenas, pero no tan buenas como las correspondientes al grado I. Debe aprobar las especificaciones corrientes para el diesel No 2 en D-396. Un combustible que apruebe exactamente estos requerimientos, no necesariamente debe aprobar las especificaciones propuestas en esta clasificación.

GRADO III. Es un combustible de buena calidad. Comparado con el grado II, tiene mayor tendencia a la emisión de humos, baja estabilidad, proporciona menor protección al enmohecimiento, sus propiedades de flujo en frío son pobres. Es de menor costo, y atractivo para uso en aplicaciones donde

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

predominan condiciones de operación calurosas, además de ser adecuado cuando el costo del combustible es un factor importante; por ejemplo, en camiones foraneos y locomotoras. Un combustible que aprueba estas especificaciones debe igualmente aprobar las de combustible No 2 en D-396.

GRADO IV. Es el mismo que el común ASTM No 4 en D-396 y D-975. Es un combustible de baja calidad de costo mínimo, y puede ser apropiado para motores marinos estacionarios de baja velocidad.

## CONCLUSIONES.

Las tendencias a nivel mundial indican que las propiedades de mayor relevancia para establecer los estándares de calidad del diesel, son aquellas que están relacionadas con la potencia y economía del motor, así como con las emisiones contaminantes. Las propiedades de mayor importancia son el contenido de azufre, que en la mayoría de los casos se ha fijado como 0.5% en peso, como máximo. Un número de cetano mínimo de 42 y contenido de aromáticos no mayor al 30% en volumen. En ocasiones el contenido de aromáticos, es sustituido por otro parámetro, la densidad, cuyo valor se ha establecido entre 0.7 y 0.8.

Se observa que en México, el punto de mayor importancia para el control de la calidad del diesel, es el contenido de azufre, debido a que los demás parámetros de calidad son aceptables de acuerdo con las tendencias internacionales. No es necesario poner énfasis en los puntos de nublamiento y escurrimiento, dado que en México no es muy probable que se presenten condiciones climatológicas extremas.

El diesel forma parte sustancial de la demanda total de productos refinados del petróleo. Sin embargo, los hidrocarburos utilizados para su producción, también son materia prima de otros procesos. Estos hidrocarburos originalmente se obtienen de la destilación directa del petróleo crudo o de plantas craqueo que transforman hidrocarburos pesados (combustibles residuales) en otros más

ligeros. Es así como se está desarrollando una competencia entre los hidrocarburos básicos del petróleo crudo. Para producir la gama de satisfactores que demanda el mercado. Las materias primas que dan origen al diesel, cada vez escasean más, debido a que se emplean para la producción de gasolinas, kerosinas, etc., lo que ha originado cambios en las condiciones de proceso dando como resultado más severidad en el tratamiento de las fracciones pesadas del petróleo crudo.

Es necesario que los cambios, dentro del proceso de producción de diesel, a nivel nacional, estén orientados a la disminución del contenido azufre.

El empleo de aditivos multipropósito puede ser adecuado, para absorber variaciones en la calidad del diesel producido. Así como en el caso de la gasolina, el MTBE, contribuye a disminuir las emisiones contaminantes, para el diesel se pueden desarrollar productos que contribuyan a elevar su calidad, de tal manera que formen parte de las formulaciones de éste.

En cuanto a la industria automotriz, es necesario que desarrolle trabajo de equipo con PEMEX, para la propuesta de estándares de calidad que satisfagan los requisitos para una buena operación de sus unidades.

Además, se requiere de que haga uso de tecnologías que actualmente han demostrado eficiencia en el abatimiento de las emisiones contaminantes.

## BIBLIOGRAFIA.

## BIBLIOGRAFIA.

1. - Annual Book of ASTM Standards, vol 05, 1991.

2. - Regulation of Fuels and Fuel Additives: Fuel Quality Regulations for Highway Diesel Fuel Sold in 1993 and Later Calendar Years. EPA (Environmental Protection Agency), 55, No 162, 1990.

3. - Richards and J. E. Sibley. "Diesel emission control for the 1990s". *Automotive Engineering*. 96, No 9, pag. 32-39, 1988

4. - Amoco official. "Energy efficiency keyed to diesel use." *Oil and Gas Journal*, nov. 17, pag. 12-22, 1980.

5. - R.P. Lindeman and D.K. Lawrence, "Classification of Diesel Fuels", SAE (Society of Automotive Engineers), Mid-Year Meeting, Mich., May 20-24 1988. No 880467

6. - Matching Diesel Fuel Quality to Diesel Engine Requirements SP-577. SAE (Society of Automotive Engineers, Inc.), Octubre-Noviembre, 1983.

7.- H. Henssler, " European Community exhaust emission standards." *Automotive Engineering*, 97, No 5, pag. 34-41, 1988.

8.- REPORTE CONCAWE (1990) Future diesel fuel quality. Report No 90/71. pag. 32

9.- Petróleos Mexicanos, Superintendencia General de Ingeniería de Operación de Plantas. Folletos Informativos.

10.- Douglas Leslie Sutton, Maurice William Rush, and Paul Richards. "Diesel Engine Performance and Emissions Using Different Fuel/Additive Combinations." SAE (Society of Automotive Engineering) SAE Technical Paper Series No 880635, 1988, pag. 54

11.-Report, "DIESEL FUELS"-SAE J313 APR82. SAE Information , Abril 1982.

12.- J. M. McGeehan and A.V. Kulkarni. "Wear Control in diesels: Influence of lubricants." Chevron Research Co. *Automotive Engineering*, 96, No 9, pag. 15-24, 1988.

13.-Kieser, Richard D. " Diesel Engines: Future Trends". *Automotive Engineering* 96, No 9, pag. 50-55. 1988.

14.- Archeyla Juarez, Jorge. "Una alternativa para reducir la emisión de contaminantes al medio ambiente provocada por el consumo de combustible tipo diesel". *Revista del Instituto Mexicano del Petróleo*, Enero, pag. 43-47, 1992.

15.-Kutler, Andrew A. "Crude Distillation". *Petro Chem Engineer*, mayo, pag. 5-9, 1989.

16.-Reporte, "The emissions potencial of diesel combustion systems". SAE Report 865010. Monaghan, M.L., 1986.

17.-Skriper, Milan et al. "High Quality Diesel By Hydrocracking". NPRA. Annual Meeting, AM-88-55, 1988

18.-Moreno, O. "Hidrotratamiento de fracciones tipo diesel". *Revista del Instituto Mexicano del Petróleo*, Enero, pag. 10-15, 1978.

19.-Hutcheson, R.C. "Can diesel fuel quality be maintained into the next century?". *Petroleum Review*, June, pag 32-35, 1990.

20.-Collins, Steve. "Reduce diesel emissions by combining control techniques". *Power*, Diciembre, Pag. 14-19, 1990.

21.-Engelhard, "Self-Cleaning Diesel Soot Filter Introduced". *Diesel Progress Engines and Drives*, Abril, Pag.30.1991.

22.-"Auto makers hit quality of U.S. diesel fuels". *Oil and Gas Journal*, May 17, pag. 19.1982.

23. - Report, "Dynamic Diesel Engine Timing With Microwaves-The General Motors Approach". SAE (Society of Automotive Engineering). SAE Report No 820053.1982.

24. - Ulrich Flaig and Albrecht Seiber, Robert Bosch GmbH. "Electronic Control for Diesel Engines". *Automotive Engineering*, 98, No 9, pag.22-27, 1988.

25.-Brezonick, Mike, "Combustion Component Design Driven By Emissions Concerns". *Diesel Progress Engines and Drives*. Abril, pag. 17-23,1991.

26.-Wynn Engineering "Field Test For Diesel Fuel Combustion Catalyst". *Diesel Progress Engines and Drives*. Abril, pag.33-37, 1991.

27. - New Diesel Fuel Purifier Introduced. R.C.I. Diesel Purifiers. DIESEL PROGRESS Engines And Drives. Abril,1991.