

# COMBUSTIBLE PARA EL MOTOR DIESEL

Los fabricantes de motores recomiendan, en sus manuales de operación y otros materiales técnicos, el combustible más idóneo para sus motores.

Si usted solamente puede obtener combustible de una norma diferente a la recomendada por el fabricante del motor, es importante que se comprenda el efecto que producirá esta diferencia sobre el rendimiento y vida útil del motor al manipular el combustible y realizar el mantenimiento y reparaciones en el motor.

Este manual ofrece las normas recomendadas para uso por Komatsu (ver página 6) y al mismo tiempo, explica punto a tener presente cuando las normas básicas no se pueden cumplir.

Es importante tener conocimientos básicos sobre el combustible.

Esto le permitirá hacer lo siguiente:

- (1) Usted podrá juzgar si el combustible es de buena o mala calidad.
- (2) En situaciones en que sólo se dispone de combustible de pobre calidad, usted podrá obtener de su motor el rendimiento máximo y será capaz de evitar problemas.

## Para prolongar la vida útil del motor

### Asegure buena combustión

Comprenda el mecanismo de la combustión y mantenga las condiciones que aseguren una buena combustión

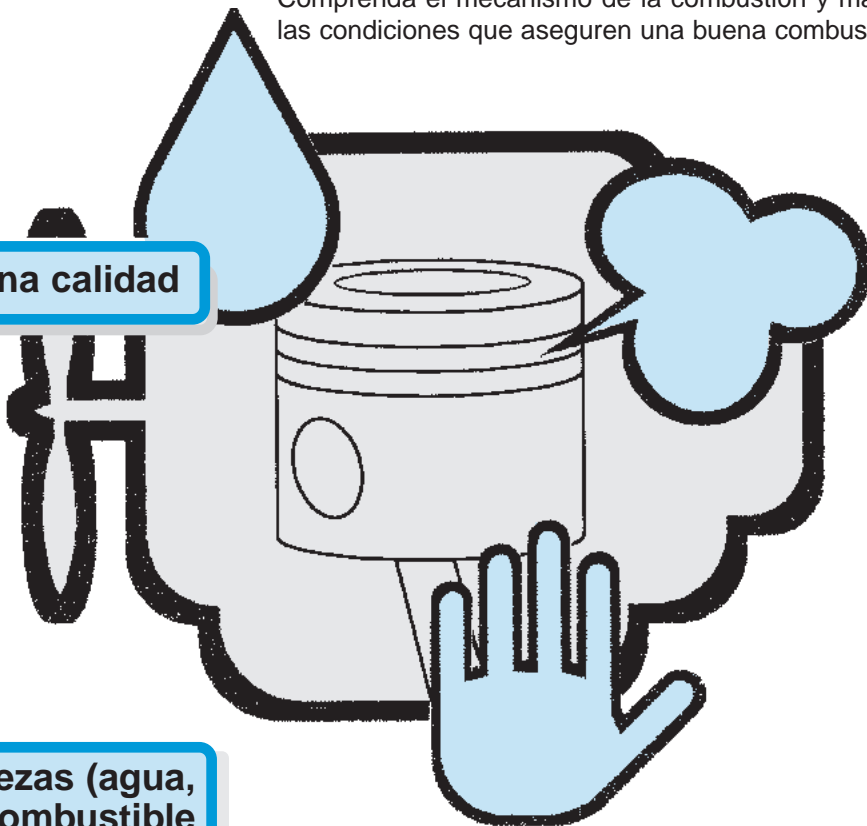
### Use combustibles de buena calidad

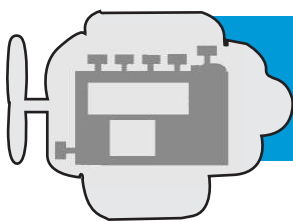
Conozca los tipos y propiedades del combustible y use el combustible apropiado.

Al usar combustibles distintos a los recomendados por el fabricante, esté consciente de las diferencias en resultados obtenidos con el otro tipo de combustible.

### No permita que las impurezas (agua, suciedad, etc.) entren al combustible

Conozca que impurezas entran al combustible y de que forma entran y tome las acciones necesarias para evitarlo.



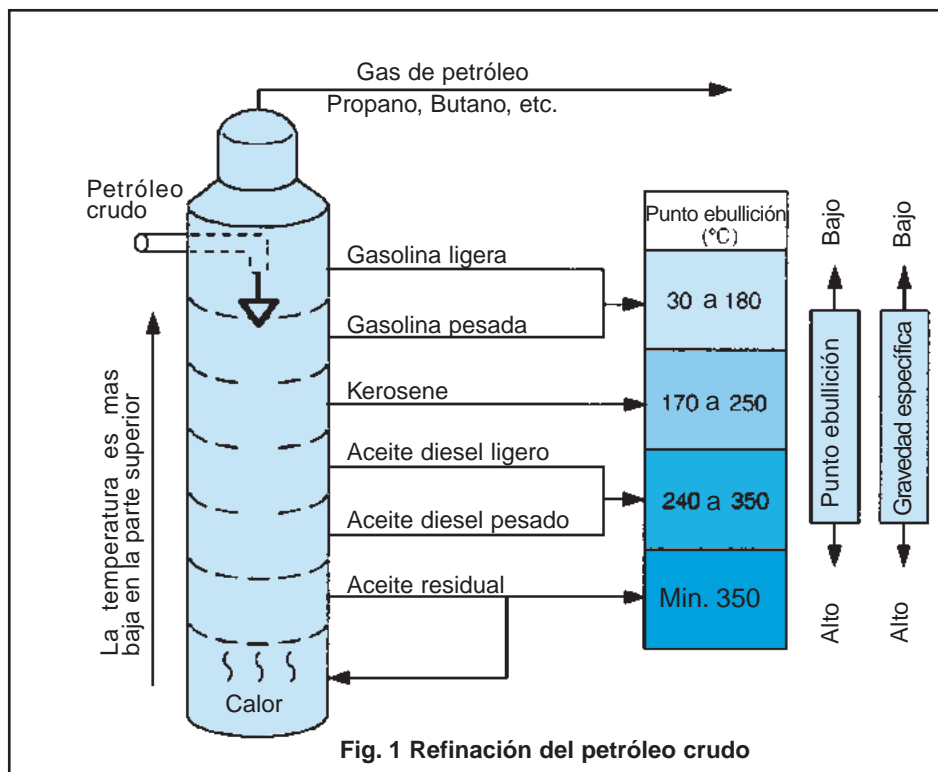


## TIPOS DE COMBUSTIBLE

El aceite combustible está formado por un grupo de aceites obtenido del aceite crudo a determinado punto de ebullición. Cuando se calienta el aceite crudo, primero se evaporan los componentes con un bajo punto de ebullición siguiendo después en orden, otros componentes por el orden de sus puntos de ebullición. La Figura 1 hace una exposición sencilla del proceso de refinación usado con el aceite crudo. El interior de la torre de fragmentación están formados de pisos a distintos niveles.

El aceite crudo se vierte desde la parte superior de la torre de fragmentación y se calienta desde el fondo. Cuando sucede esto, la temperatura en la parte superior de la torre de fragmentación es menor que la temperatura en el fondo de manera que en el piso superior, se evaporan los componentes con un bajo punto de ebullición (componentes que se evaporan fácilmente) y el resto de los componentes fluyen hacia abajo, al piso siguiente. Los componentes del aceite crudo que fluye hacia el piso inmediato inferior y se evapora a una nueva temperatura. El resto de los componentes continúa fluyendo hacia abajo al piso inferior. De esta forma, a medida que el aceite crudo fluye desde la parte superior de la torre de fragmentación hacia la parte inferior, los componentes con un bajo punto de ebullición se evaporan a su vez.

El aceite evaporado se agrupa en cada nivel, se enfría para hacer distintos tipos de aceite combustible. El aceite que fluye desde el fondo, es aceite residual.



## CONTENIDO

### TIPOS Y PROPIEDADES DE LOS COMBUSTIBLES

- Tipos de combustibles .....2
- Aditivos para el combustible .....3
- Propiedades e influencia del aceite combustible .....4

### ESPECIFICACIONES DEL COMBUSTIBLE DIESEL .....6

### COMBUSTIÓN EN LOS MOTORES DIESEL

- Combustión completa y combustión incompleta .....8
- Combustible pulverizado .....11
- Regulación de la inyección de combustible .....14
- Humo del escape .....16
- Productos formados por la combustión .....18

### OPERACIÓN DEL COMBUSTIBLE

- Almacenamiento del combustible .....20
- Para evitar que el agua o suciedad penetren en el combustible .....20

# LOS COMBUSTIBLES

## Kerosene

Este es un aceite combustible con un punto de ebullición entre 170 y 250°C y se utiliza como combustible de aeroplanos. Si se emplea como combustible en motores diesel, producirá los problemas siguientes:

1. El combustible actúa como lubricante en las piezas deslizantes del sistema, por ejemplo, el émbolo de la bomba de inyección o los inyectores. Sin embargo, el kerosene tiene baja viscosidad y no puede lubricar adecuadamente las piezas deslizantes. Esto significa que la película de lubricación se pierde y hay desgaste anormal y agarrotamiento.
2. Comparada con el combustible diesel, el rendimiento de kerosene baja 5 ~ 10%.

La inyección de combustible en motores diesel está controlada por el volumen de combustible. Kerosene tiene una gran generación de calor por unidad de peso, pero el peso por unidad de volumen (gravedad específica) es bajo y como resultado, la cantidad de calor (energía) por unidad de volumen disminuye.

**Komatsu no permite el uso de kerosene en los motores diesel Komatsu.**

## Aceite Diesel

Este es un aceite combustible con un punto de ebullición entre 240 y 350°C y es destilado después del kerosene. De todos los tipos de combustible, el aceite diesel tiene propiedades más idóneas para ignición, combustión y viscosidad necesarias a los pequeños motores diesel de alta velocidad, de manera que, la mayor parte de los motores diesel de alta velocidad, incluyendo motores para equipos de construcción, usan aceite diesel como combustible.

**Komatsu recomienda aceite diesel para uso como combustible en los motores diesel Komatsu.**

## Aceite Pesado

El aceite pesado está formado por aceite ligero mezclado con aceite residual y se clasifica según la proporción de mezcla de aceite pesado y aceite ligero. El aceite pesado se emplea como combustible para calderas, estufas de calefacción, y en motores diesel grandes o de mediano tamaño con velocidad media. Comparado con el aceite diesel, tiene los problemas siguientes y por eso, casi nunca se usa como combustible para motores diesel de alta velocidad.

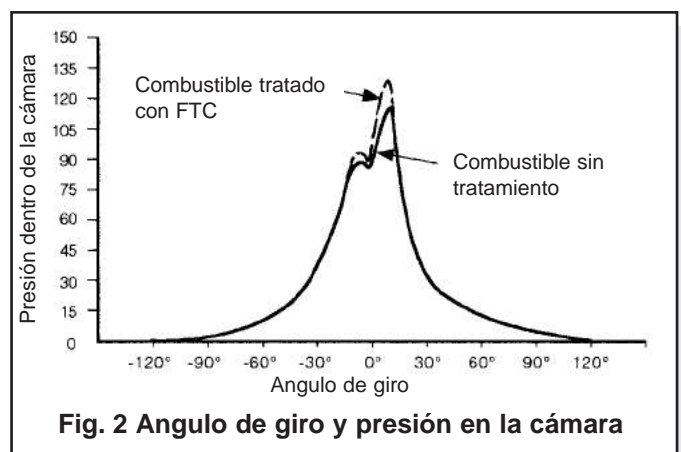
1. Contiene muchas impurezas y el sistema de combustible del motor fácilmente se obstruye.
2. Tiene alta viscosidad, de manera que las partículas en la atomización de inyección son grandes y la combustión incompleta resultante tiende a producir partículas de carbón.
  - > Las piezas deslizantes se desgastan más rápidamente.
  - > Emite humo negro.
3. El contenido de azufre es elevado y hay mayor desgaste corrosivo.

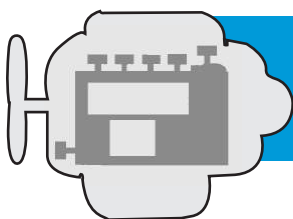
**Komatsu no permite el uso de aceite pesado en los motores diesel Komatsu.**

## Aditivos para combustibles

Métodos avanzados de comprobación indican destacadas mejoras en la ignición y combustión cuando se emplea combustible tratado con FTC.

Si el combustible se usa con un aditivo (FTC-1) mezclado en el mismo, el valor cetánico subirá igual que la presión dentro del cilindro. Esto tendrá efecto adverso sobre la durabilidad del motor de manera que, Komatsu no recomienda el uso de aditivos en el combustible.





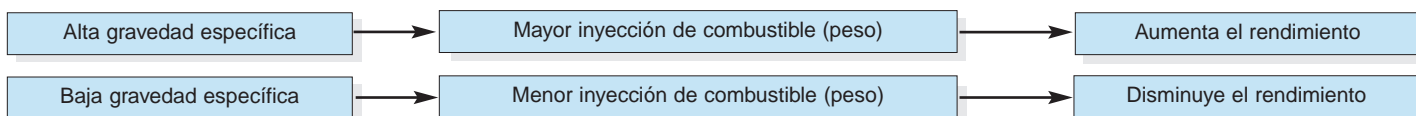
## Propiedades e influencia del aceite combustible

Estas propiedades son necesarias para el combustible usado en motores diesel.

- (1) Su inflamabilidad es de mayor importancia.
- (2) Debe tener viscosidad apropiada.
- (3) Debe tener un bajo punto de fluidez.
- (4) Debe tener un bajo contenido de azufre.

### 1. Gravedad específica

Un aceite con elevado punto de ebullición y viscosidad tiene mayor gravedad específica que un aceite con bajo punto de ebullición o viscosidad. (Por ejemplo, el aceite diesel tiene una gravedad específica mayor que la gasolina o el kerosene. (Ver el diagrama de la página 2). La cantidad de combustible inyectado por la bomba de inyección es controlado por el recorrido del émbolo, es decir, por el volumen del combustible. Por lo tanto, si el combustible está a una temperatura constante, el combustible con elevada gravedad específica proporcionará mayor cantidad combustible para inyección (peso ... mg/st) de manera que aumentará el rendimiento del motor.



### 2. Punto de inflamación

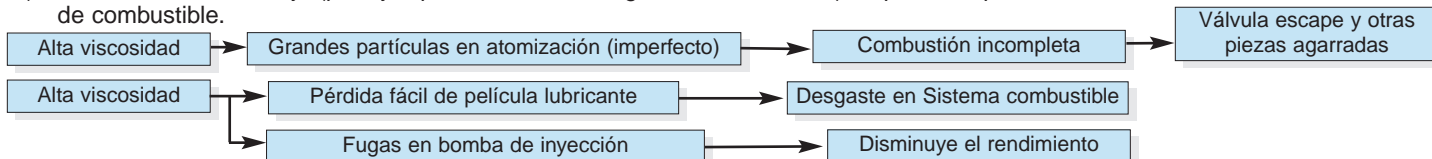
El punto de inflamación carece de verdadero efecto en el rendimiento del motor, pero un aceite con un punto de inflamación bajo se inflama con mayor facilidad que un aceite con alto punto de inflamación, de modo que, por razones de seguridad hay que tener cuidado al manejar aceites con bajo punto de inflamación.



### 3. Viscosidad

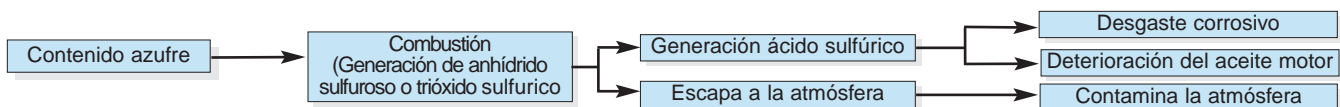
Cuanto más alta sea la temperatura del aceite, menor será su viscosidad. Dentro del régimen normal de temperatura, la viscosidad cambia más o menos en línea recta, pero cuando la temperatura baja, la viscosidad aumenta súbitamente. Comparado con alta temperaturas, no hay problema dentro del régimen normal de temperaturas (hasta +50°C), pero con temperaturas bajas (inferiores a -15°C), hay que darle consideración apropiada para arrancar el motor.

- a) Si la viscosidad está alta, las partículas de la atomización de inyección se tornan grandes y hay combustión imperfecta.
- b) Si la viscosidad es baja (por ejemplo, kerosene en lugar de aceite diesel) se puede esperar lubricación inadecuada en el sistema de combustible.



### 4. Contenido de azufre

El contenido de azufre del combustible reacciona con el oxígeno y el hidrógeno (vapor de agua) durante la combustión y genera ácido sulfúrico (ver página 16). Esto ocasiona el deterioro del aceite del motor y el desgaste por corrosión en el sistema de combustible. De manera que, es deseable un bajo contenido de azufre. El contenido de azufre del combustible puede variar considerablemente según el fabricante o la región de procedencia del crudo, hasta para el mismo tipo de aceite. Por esta razón, si se usa combustible con un contenido de azufre superior al 0.5%, cambie el aceite del motor según la tabla mostrada en la página 6.



# LOS COMBUSTIBLES

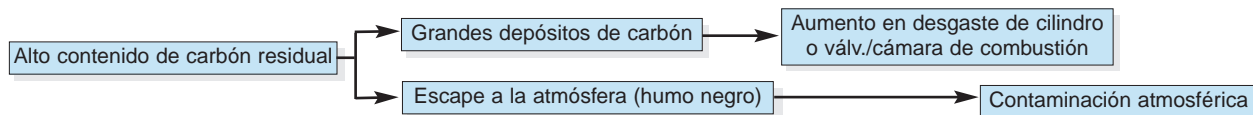
## 5. Punto de fluidez

Si el punto de fluidez es alto y la temperatura descende, la parafina del aceite combustible se separa fácilmente. Cuando los cristales de la parafina precipitada alcanzan un porcentaje, el flujo del aceite se torna extremadamente pobre y la parafina obstruye el interior del sistema de combustible. Si la temperatura a la cual se separan los cristales de parafina es superior a la temperatura en que se puede arrancar el motor, los cristales de parafina ya están separados cuando el motor arranca. Esto impedirá la inyección adecuada del combustible y como resultado, el motor puede que no arranque; o si arranca, la velocidad no se elevará y el motor se parará en breve. Por lo tanto, para motores de alta velocidad es necesario tener algún dispositivo que caliente el combustible. En áreas frías recomendamos el uso de aceite combustible para tiempos fríos con un contenido bajo de parafina y una fracción mayor de punto de ebullición bajo.



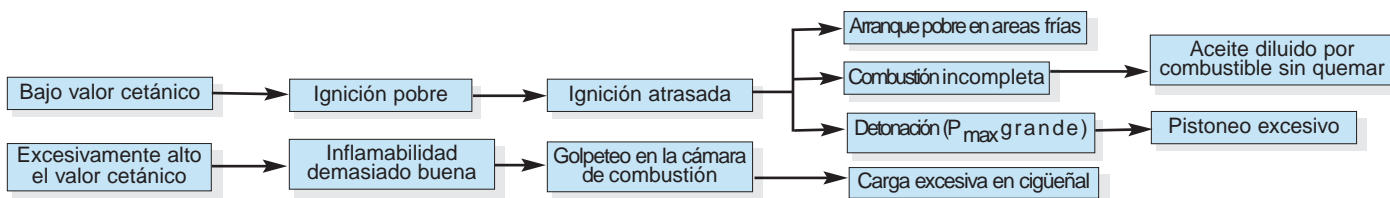
## 6. Conteniendo el carbón residual

El contenido de carbón residual básicamente no está incluido en el aceite diesel (aparece en el aceite pesado). Como medida de la tendencia a depositar carbón por medio de combustión, el combustible es evaporado y quemado bajo condiciones específicas para generar carbón y el contenido del carbón residual se usa para mostrar los resultados de la prueba.



## 7. Número cetánico (índice cetánico)

Este valor se usa para indicar la inflamabilidad del combustible y es un índice importante que influencia la facilidad del arranque y de la combustión (—> salida) en motores diesel de alta velocidad. Particularmente en áreas frías, se demandan valores de altos cetanos para facilitar el arranque, calentamiento y reducción en generación del humo blanco.

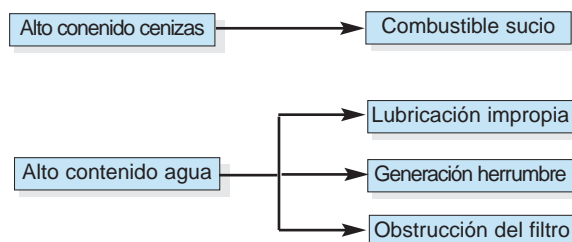


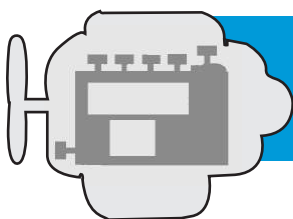
## 8. Contenido de cenizas

La ceniza del aceite de combustible generalmente está formada por tres tipos: partículas sólidas, solución de sales inorgánicas y compuestos orgánicos solubles en aceite. El contenido de cenizas en el aceite diesel es muy pequeño. En el aceite pesado, el contenido de cenizas es mucho mayor que en el aceite diesel, pero aún así, el nivel promedio está alrededor de 0.02 ~ 0.03%. Si el contenido cenizas aumenta, se debe a la herrumbre, arenas o lodos que penetran del exterior.

## 9. Contenido de agua

Básicamente el agua no es parte del combustible pero penetra como humedad del aire o por descuidos en la manipulación del combustible. El agua en el combustible provoca lubricación defectuosa en las piezas deslizantes del sistema, oxidando las piezas metálicas y provocando la prematura obstrucción del filtro de combustible. El contenido de agua debe ser lo mas bajo posible.





# ESPECIFICACIONES DEL

**Tabla 1 Especificaciones del combustible recomendado por Komatsu para motores diesel**

	Temperatura ambiental*1)		Uso general	Uso en áreas frías	Uso en áreas extremadamente frías
	Items		-10 a +40 °C	-20 a +20 °C	Bajo -20°C
1	Densidad (15 / 4°C)	g/cm²	0.81 a 0.87		0.76 a 0.84
2	Punto de inflamación	°C	Min. 50		Min. 40
3	Temperatura de destilación (al punto 90%)	°C	Max. 360	Max. 330	Max. 260
4	Punto de fluidez	°C	Inferior a la temperatura ambiental menos 10 °C		
5	Punto de nebulosidad	°C	Inferior a la temperatura ambiental menos 5 °C		
6	Punto de separación	°C	Inferior a la temperatura ambiental menos 5 °C		
7	Residuo 10% de carbón	Peso %	Max. 0.35	Max. 0.1	
8	Número Cetánico		Min. 40		
9	Índice cetánico		Min. 40		
10	Viscosidad cinemática mm² / s (=cSt )	a 30 °C *4)	2.0 a 7.3		Min. 1.0 *2)
		a 40 °C *4)	1.7 a 5.5		Min. 0.9 *2)
11	Azufre	Peso %	Max. 0.5 *3)		
12	Contenido de agua	Peso %	Max. 0.05		

1) Indica la temperatura ambiental más baja en un mes.

2) Las cifras para máquinas con motores Cummins son las siguientes:

Min. 1.6mm<sup>2</sup> / s a 30°C

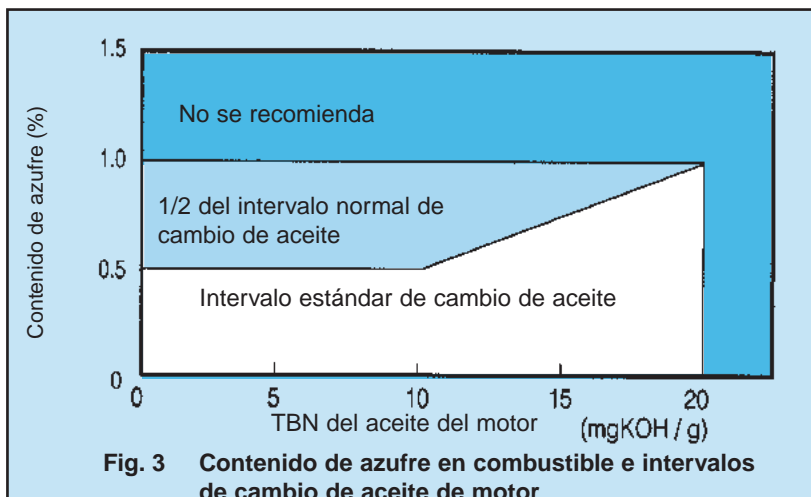
Min. 1.4mm<sup>2</sup> / s a 40°C

\*3) Si el contenido de azufre es superior a 0.5%, use el diagrama Fig. 3

\*4) Debe cumplir por lo menos con uno de estos.

Si el contenido de azufre en el combustible excede el 0.5%, reduzca el intervalo del cambio de aceite del motor tal como se indica en el diagrama y verifique que el estado del aceite se encuentre dentro del valor estándar para juzgar el deterioro.

- 1 Siempre use aceite para motor de la clase CD o superiores (CD, CE, CF)
- 1 Cuando el número de base total (TBN) es 20 mgKOH/g, las cenizas sulfatadas en el aceite de motor deben estar por debajo de 2.7%.
- 1 Para motores Cummins, se debe evitar el uso de aceites con alto TBN que contengan mas del 1.85% de cenizas sulfatas.



TBN (Total Base Number = Número Básico Total)

La cantidad de ácido (perclorídico o hidroc্লórico) necesaria para neutralizar todo o una parte de la base de un lubricante como equivalentes KOH. (ASTM D2896)



# COMBUSTIBLE DIESEL

**Tabla 2 Comparación de normas para combustible diesel automotriz en los grandes países**

País	UK		Alemania	USA		Japón				
No. de la norma	BS 2869 : 88		DIN 51601	ASTM D 975-81		JIS K 2204				
Año de revisión	1988		1986	1985		1988				
Grado	A1	A2	DK	No.1-D	No.2-D	No.1	No.1	No.2	No.3	No.3
Densidad 15°C kg/L	0.835-0.865 *4	—	0.820-0.860	—	—	—	—	—	—	—
Punto de inflamación °C (min.)	56.0	56.0	55	38	52	50	50	50	45	45
Destilación °C										
10% (max.)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
50% (min.)	310 *4	240~340	—	—	—	—	—	—	—	—
65% (min.)	—	—	250	—	—	—	—	—	—	—
85% (min.)	350	350	350	—	—	—	—	—	—	—
90% (max.)	—	—	—	288	282 (min) 338 (max)	360	360	360	330 *3	330
Final (max.)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Viscosidad cinemática @20°C	—	—	2.0~8.0	—	—	—	—	—	—	—
mm²/s @30°C (max.)	—	—	—	—	—	2.7	2.7	2.5	2.0	1.7
@40°C	1.50~5.00	1.5~5.0	—	1.3~2.4	1.9~4.1	—	—	—	—	—
No. Cetánico °C (min.)	50	45	45	40 *1	40 *1	50	50	45	45	45
Indice Cetánico	45 *4	—	45	—	—	—	—	—	—	—
Temp. de oscuridad °C (max.)	—	—	—	*2	*2	—	—	—	—	—
CFPP °C (max.)	*5	*6	Verano :0 Invierno : -15	—	—	—	-1	-5	-12	-19
Punto de fluidez °C (max.)	—	—	—	—	—	+5	-2.5	-7.5	-20	-30
Contenido de azufre % (max.)	0.30	0.50	0.30	0.50	0.50	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Contenido de cenizas w% (max.)	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	—	—	—	—	—
10% ceniza residual % (max.)	0.20	0.20	0.10	0.15	0.35	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Contenido agua, lodo% (max.)	—	—	—	0.05	0.05	—	—	—	—	—

\*1: En grandes elevaciones y áreas frías se necesita usar un combustible con número cetánico mayor.

\*2: El combustible debe tener una temperatura de oscuridad de 6°C mayor que la temperatura ambiental.

\*3: Si la viscosidad cinética (30°C) es inferior a 4.7 mm²/s (cSt) debe ser inferior a 350°C.

\*4: Vigente desde octubre 1, 1989.

\*5: Verano (Marzo~Septiembre): -4°C Invierno (Octubre~Febrero): -15°C

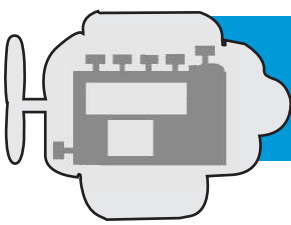
\*6: Verano (Marzo~Septiembre): -4°C Invierno (Octubre~Febrero): -12°C

BS: British Standards

DIN: Deutsches Institut for Normung

ASTM: American Society for Testing and Materials

JIS: Japanese Industrial Standards



# COMBUSTION EN LOS

## Combustión completa y combustión incompleta

En los motores, el combustible que se encuentra en el cilindro se inflama y la potencia de expansión resultante de los gases inflamados produce la rotación.

Por lo tanto, si las condiciones de combustión son bajas, habrá un descenso en la potencia de rotación. Para que el combustible arda, es necesario tener oxígeno. El área circundante se emplea como fuente disponible de oxígeno. El oxígeno representa el 21% del volumen del aire.

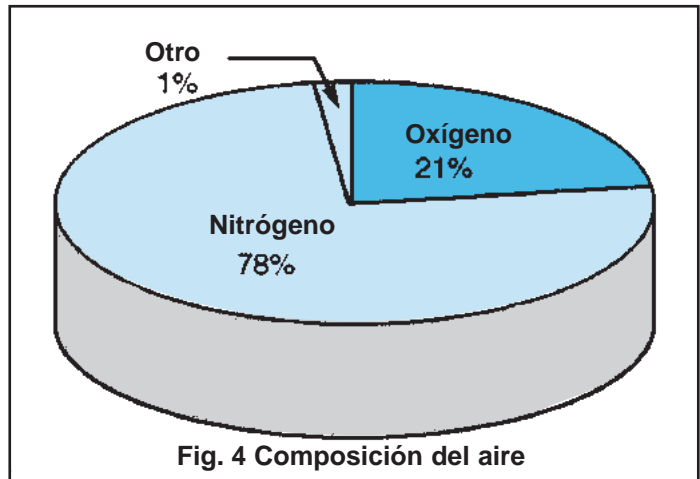


Fig. 4 Composición del aire

Lo que normalmente llamamos oxígeno, es una colección de moléculas de oxígeno. Una molécula de oxígeno ( $O_2$ ) está formada por la combinación de dos átomos de oxígeno (O).

El combustible está formado por una colección de gran número de moléculas formadas por la combinación de átomos de carbono (C) y átomos de hidrógeno (H).

Si exponemos los distintos átomos como bolas, las moléculas de oxígeno y del combustible pueden exponerse con el patrón que aparece en la Fig. 5.

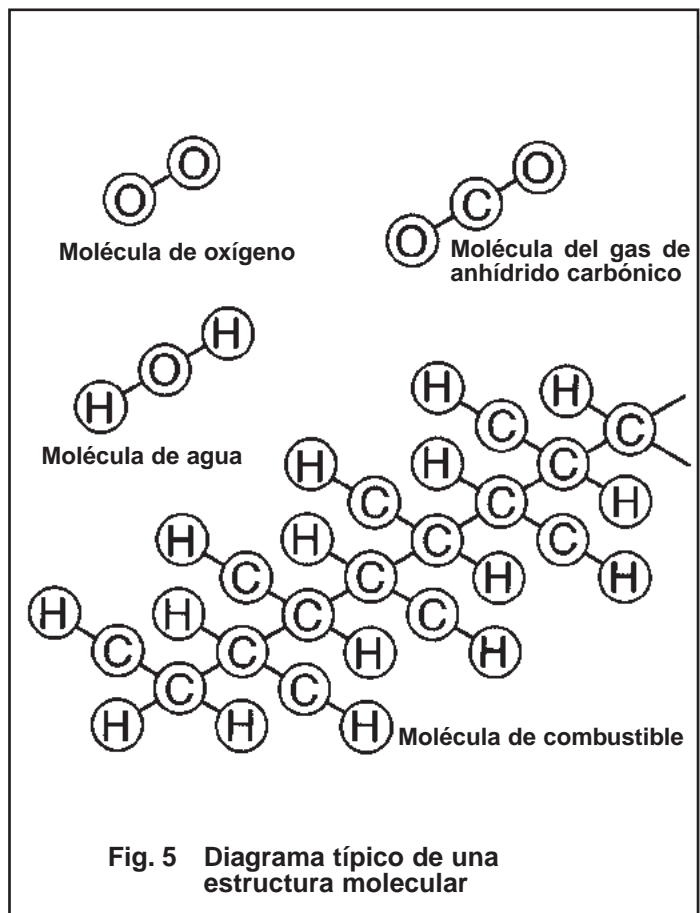
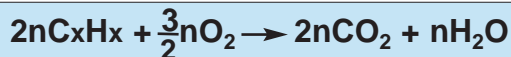


Fig. 5 Diagrama típico de una estructura molecular



# MOTORES DIESEL

Cuando el combustible y el oxígeno se ponen juntos en un espacio sometido a alta temperatura y presión, las moléculas del combustible son liberadas de su unión y se descomponen en átomos de carbono (C) y átomos de hidrógeno (H). Repetidamente producen calor y se vuelven a unir en una combinación más fácil con los átomos de oxígeno (O) para formar el gas de anhídrido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y agua ( $\text{H}_2\text{O}$ : vapor de agua a elevada temperatura).



Esta reacción se denomina combustión. Si todas las moléculas de carbono e hidrógeno del combustible se combinan con oxígeno de esta manera, se le llama combustión completa. Sin embargo, si hay falta de oxígeno o las moléculas de carbono no se unen con las moléculas de oxígeno antes de completarse la combustión, se forma el monóxido de carbono (CO) en vez del anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ), o las moléculas de carbono (C) permanecen libres y no se combinan con ninguna molécula de oxígeno. Este tipo de combustión se le llama combustión incompleta. El anhídrido carbónico y el vapor de agua (agua) forman moléculas de fuerte combinación que no dañan a los seres humanos, pero el monóxido de carbono es una molécula inestable que posteriormente puede combinarse con oxígeno para formar el gas de bióxido carbónico que es peligroso. Sin embargo, el monóxido de carbono no tiene ni olor ni color y no puede verse aunque esté presente en los gases de escape. Las moléculas de carbono libre se presentan en la forma de partículas de carbono (hollín) y se mezclan con los gases de escape para formar el humo negro que al mismo tiempo contamina la atmósfera circundante. Una de las características de los motores diesel es que tienen menos monóxido de carbono en sus gases de escape que los motores de gasolina.

De esta forma, para asegurar una combustión completa del combustible es necesario introducir una cantidad de oxígeno que se equipare con la cantidad de combustible, en otras palabras, necesitamos aire que incluya este oxígeno. La cantidad de aire que se calcula sea el mínimo necesario para la cantidad de combustible es llamado **aire teórico**. Si es posible tener combustión completa del combustible con el aire teórico, todo el combustible suministrado a la cámara de combustión se cambiará al gas anhídrido carbónico y vapor de agua y no habrá monóxido de carbono o carbono libre y todo el oxígeno suministrado a la cámara de combustión será utilizado sin quedar sobrante de oxígeno. Para obtener la combustión completa de 1 gramo de combustible, se calcula que se necesitan 14.5 gramos de aire. En otras palabras, el aire teórico es 14.5 g por cada 1 g de combustible. Cuando esto se convierte a volumen de aire, significa que se necesitan 12 L (litros) de aire a nivel del mar.

## Relación de aire excesivo

Sin embargo, al realizar la combustión del combustible dentro del cilindro de un motor, un ciclo del tiempo de combustión es corto; de manera que, si sólo el aire teórico se introduce en la cámara de combustión, las moléculas del combustible no tendrán tiempo para encontrarse con el oxígeno antes que se complete la combustión. Esto resultará en combustión incompleta. (Por ejemplo, si la velocidad del motor es de 1800 rpm, el tiempo para un ciclo de combustión es aproximadamente 1/60 de segundo.)

Para evitar esa combustión incompleta se introduce mayor cantidad del aire teórico para asegurar la combustión. La relación de exceso de aire se emplea como un índice para mostrar la cantidad de aire introducido a la cámara de combustión. La relación de exceso de aire muestra cuantas veces la cantidad actual de aire suministrado a la cámara de combustión es mayor que el aire teórico. Por ejemplo, si se suministran 18L de aire para 1 gramo de combustible, y el aire teórico es 12L, la relación de exceso es de 1.5. Con cualquier motor, el tamaño del cilindro es fijo; por lo tanto, la cantidad de aire que puede aspirar por sí mismo es constante. Por lo tanto, la relación entre la cantidad de combustible inyectado y la relación de exceso de aire es la siguiente:

Si se inyecta MAS combustible, la relación de exceso de aire se vuelve MENOR

Si se inyecta MENOS combustible, la relación de exceso de aire se vuelve MAYOR

Con los motores diesel para equipos de construcción, la relación de exceso de aire es regulada entre 1.5 y 2.0 para cuando se inyecte la máxima cantidad de combustible. La relación de exceso de aire difiere con el motor.

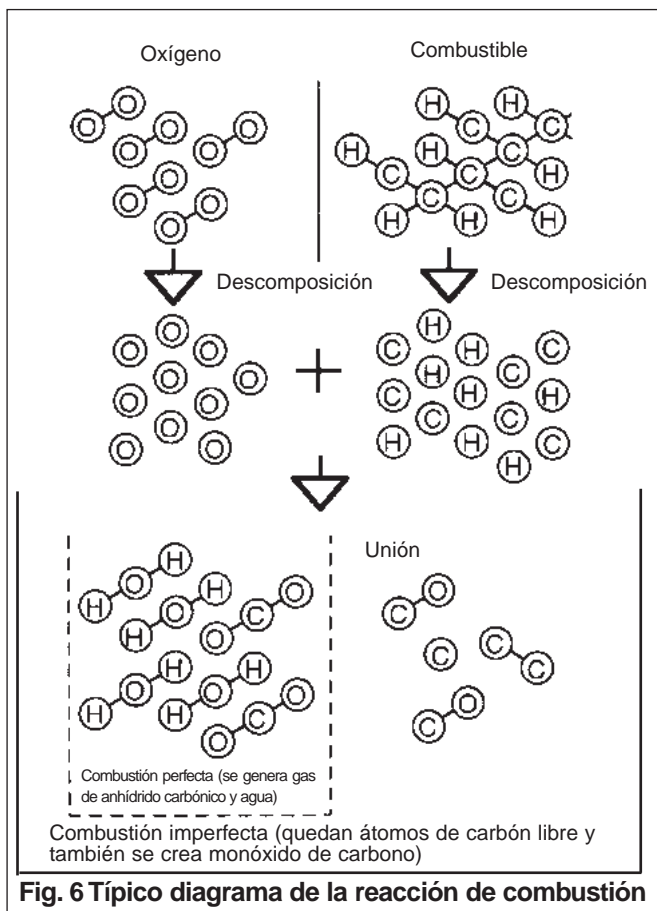
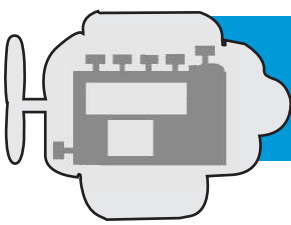


Fig. 6 Típico diagrama de la reacción de combustión



## Sobrealimentador

La cantidad de aire que el cilindro aspira es determinada por el recorrido del pistón (cilindrada) dentro del cilindro de manera que, existe un límite a la cantidad de combustible que puede quemar el aire aspirado por el motor. Aunque se inyecte más combustible que el límite, el exceso de combustible provocará la combustión incompleta y esto producirá los gases de escape negros, un aumento en la temperatura de escape sin aportar ningún aumento de potencia.

(Referencia) La cilindrada total de un motor se calcula multiplicando el desplazamiento del pistón de un cilindro por el número de cilindros.

Cilindrada total = Desplazamiento del pistón de un cilindro x No. de cilindros.

El desplazamiento del pistón en un cilindro se calcula multiplicando el área de la sección transversal del cilindro por el recorrido del pistón.

Desplazamiento del pistón en un cilindro = Área transversal del cilindro multiplicada por el recorrido del pistón.

Por lo tanto, los motores con un gran desplazamiento de pistones pueden aspirar más aire que los motores con pequeño desplazamiento de pistones; de manera que, se podrá inyectar mayor cantidad de combustible dando por resultado mayor potencia. Aunque el desplazamiento del pistón de un motor sea grande, si se reduce la inyección de combustible, la potencia de salida quedará reducida. En motores diesel de aspiración natural para equipos de construcción, la potencia máxima por 1000 cm<sup>3</sup> de desplazamiento de pistón está aproximadamente entre 7.4 y 12.5 Kw (10 a 17 PS).

Si se desea producir mayor potencia que la potencia que aporta el desplazamiento del tamaño de pistón, no es suficiente el aspirar aire a la cámara de combustión; es necesario hacer penetrar más aire. Si se logra esto, es posible quemar más combustible en proporción a la cantidad de aire de admisión aumentada, y de esa forma, es posible aumentar la potencia de salida.

Este método de hacer entrar aire en la cámara de combustión se denomina **sobrealimentar**. Ejemplo de un dispositivo usado para empujar aire es el turboalimentador.



Fig.7

A grandes alturas, se reduce la densidad del aire y comparado a menores alturas el peso del aire dentro del mismo volumen es menor. Por ejemplo, a baja altura, 1 L de aire pesa 1.2 gramos, pero a 3800 metros, solo pesa 0.77 gramos. Debido a esto, si un motor usado a baja altura se usa a grandes alturas, habrá falta de aire dando por resultado una reducción en potencia, aumento del humo negro en el escape y aumento en la temperatura del escape. Esto se debe a la reducción en la relación de exceso de aire. Sin embargo, con motores donde hay cierto margen en la relación de exceso de aire, los efectos de esos problemas pueden conservarse al mínimo.

El ajuste de combustible necesario para grandes alturas difiere según el modelo de cada motor y hasta con el mismo modelo de motor difiere según la regulación para la salida máxima. En términos generales, el ajuste de combustible es necesario para alturas superiores a los 1,000 metros pero hay algunos motores que no requieren ajuste de combustible hasta cerca de los 3,000 metros.

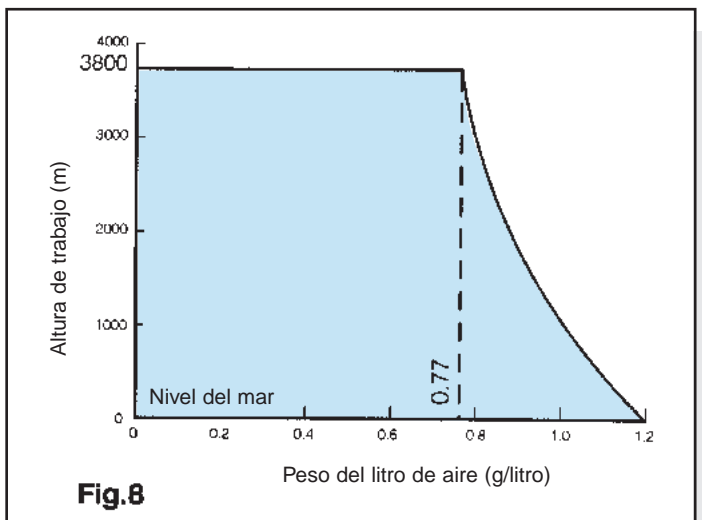


Fig.8

# MOTORES DIESEL

## Atomización del combustible

## Calidad del aire

Si se comprime el aire, suben tanto la presión como la temperatura. Si se hace una compresión lenta, el calor puede escapar al exterior a medida que se comprime y no hay ascenso en la temperatura y la presión aumenta en proporción a la relación de compresión. Este tipo de compresión se denomina **compresión isotérmica**.

Si se comprime súbitamente el aire y no hay tiempo para que el calor escape al exterior y la temperatura también asciende súbitamente resulta que la presión sube aún más que para la compresión isotérmica. Este tipo de compresión se denomina **compresión adiabática**.

La Fig. 9 ofrece una comparación entre la compresión isotérmica y la compresión adiabática cuando se comprime aire a una temperatura de 25°C a razón de 1/16 (relación de compresión: 16). Con la compresión isotérmica la temperatura permanece a 25°C y la presión sube a 1.6kPa (16 atmósferas). Con la compresión adiabática, la temperatura asciende a 630°C y la presión sube a 4.9 Kpa (49 atm), de modo que hay gran diferencia.

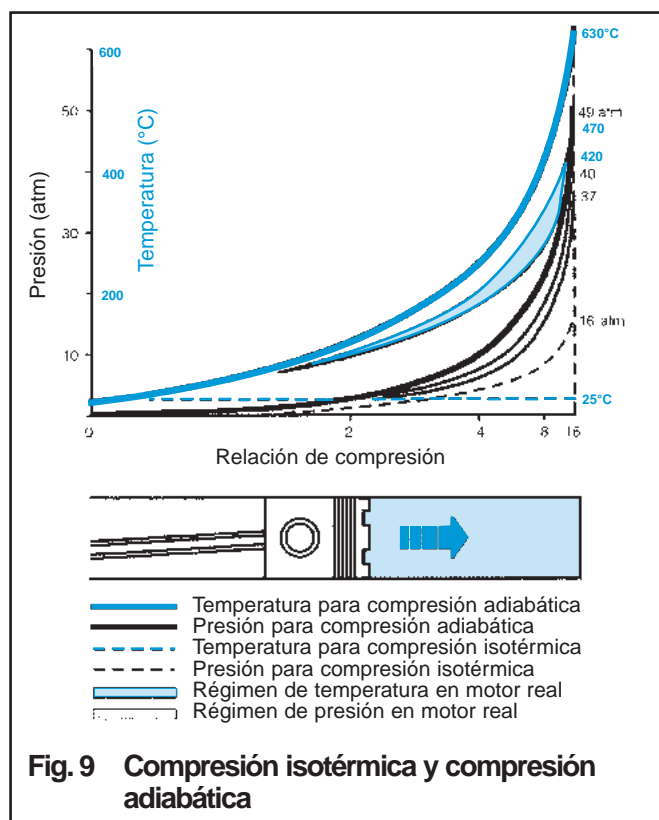


Fig. 9 Compresión isotérmica y compresión adiabática

Los ejemplos anteriores asumen que no hay escapes de aire pero si hubiera escapes de aire durante la compresión, los valores serían inferiores.

Dentro del cilindro de un motor, al comprimir el aire, el calor es transferido a la pared del cilindro y al pistón, y se escapa desde ahí, pero también hay escapes de aire entre el pistón y el cilindro, de modo que la situación real es una condición media entre la compresión isotérmica y la compresión adiabática.

**Con la operación en alta velocidad, la condición se aproxima más a la compresión adiabática.**

Por ejemplo, cuando un motor de 4 cilindros se trabaja a 2000 rpm, el proceso de compresión se finaliza en 0.015 segundos; apenas hay tiempo para que el aire o el calor se escapen. Además, el motor está caliente y apenas hay diferencia con la temperatura de la combustión y la condición es cercana a la de la compresión adiabática.

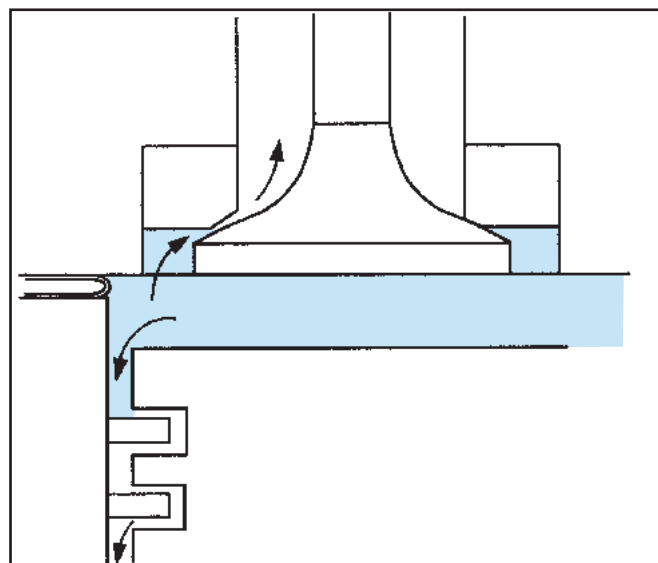
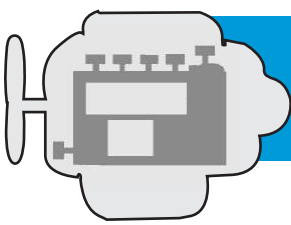
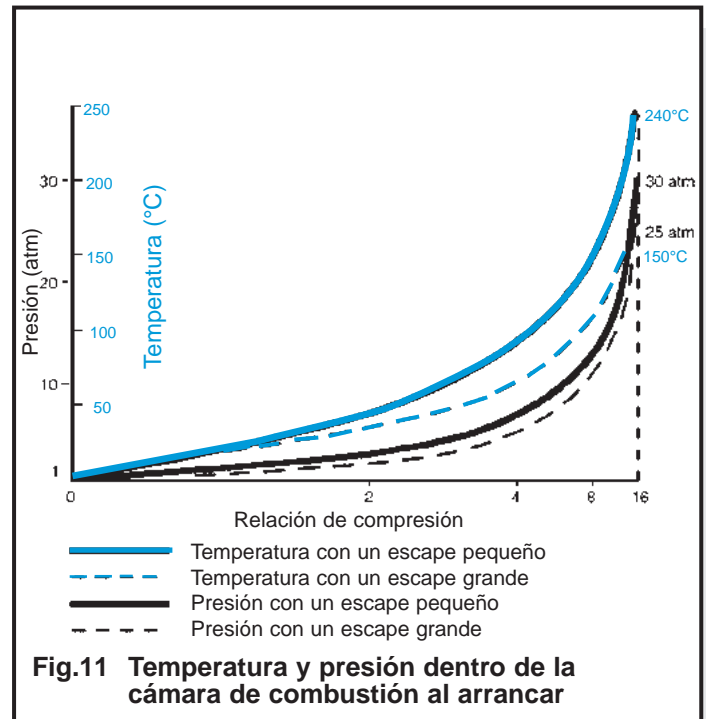


Fig. 10



# COMBUSTION EN LOS

Al hacer girar el motor **en baja velocidad o al arrancar el motor**, se invierten las condiciones. El motor está frío y la rotación es lenta; el calor y el aire se pueden escapar fácilmente, de manera que, **la condición se aproxima a la compresión isotérmica**. La dificultad para que el combustible arda al arrancar el motor se debe a este hecho. Especialmente si los anillos de los pistones o el interior de las camisas están gastados, o la válvula y su asiento no hacen contacto en la forma debida es más fácil la fuga del aire y esto dificulta aún más el arranque. La Fig. 11 muestra la presión y temperatura dentro de la cámara de combustión al arrancar el motor según la cantidad del escape de aire.

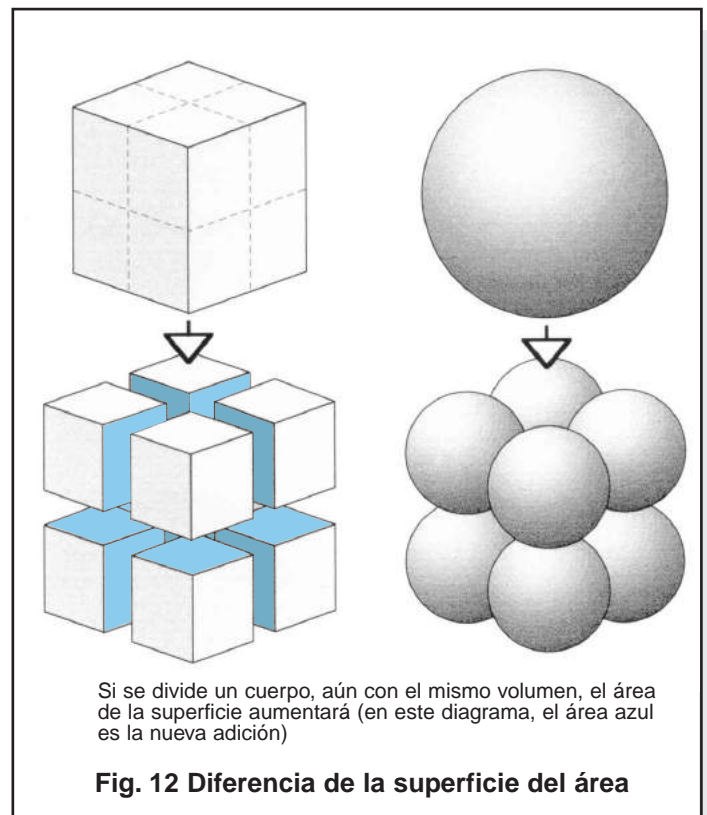


## Combustión y tamaño de partículas atomizadas

Con objetos, cuanto más pequeños sean, mayor se convierte el área de la superficie para el mismo volumen. Las partículas de la atomización son redondas pero si comparamos esto usando el cuerpo tridimensional del diagrama, es fácil de comprender. Si se agranda el área de superficie de las partículas de atomización, la superficie en contacto con el oxígeno también se hace mayor y al mismo tiempo es más fácil de evaporar; de manera que, cuanto más pequeñas sean las partículas, más rápido se inflaman y menor el tiempo necesario para que ardan.

### Cuanto más pequeñas sean las partículas, más fácil se quemarán

Si las partículas inyectadas son muy pequeñas, arderán en forma explosiva por breve tiempo y la explosión generará una onda de impacto que golpeará la pared interna del cilindro y la cabeza del pistón provocando un ruido de golpeteo. Además, la velocidad de rotación del motor no será capaz de sostenerse con la velocidad de combustión y disminuirá la potencia del motor. Si las partículas de la atomización son muy grandes, se tomará mucho tiempo para que ardan totalmente y comenzará la carrera de escape antes de finalizar la combustión. El resultado será combustión incompleta con gases de escape negros y disminución de potencia.





# MOTORES DIESEL

Cada motor tiene su propio tamaño óptimo para combustión, de manera que si el tamaño de las partículas de atomización no igualan el tamaño óptimo, habrá una combustión incompleta.

Por otra parte usando el mismo inyector, cuanto mayor se la presión de inyección del combustible, menores serán las partículas de atomización; cuando menos sea la presión de inyección, mayores serán las partículas de atomización. Si la presión de inyección es muy pequeña, el combustible saldrá del inyector sin patrón de atomización. Para conservar el tamaño óptimo, las partículas de atomización y la presión de inyección deben ajustarse a la presión óptima. Para ajustar la presión de inyección, el inyector se monta en un comprobador para medir la presión de inyección.

**Para obtener la combustión completa del combustible**, las partículas del combustible y aire dentro de la cámara de combustión deben estar mezcladas uniformemente. La forma de la cámara de combustión crea una turbulencia dentro de la cámara cuando entra el aire procedente de la válvula de admisión y cuando el pistón comprime el aire. La cámara está diseñada para hacer una buena mezcla de las partículas de combustible atomizado y del aire y para lograr una buena mezcla.

Además, la posición del inyector, del ángulo de inyección y la dirección de la inyección están situados en la combinación óptima para mezclar el combustible inyectado y el aire de manera que al medir la presión de inyección del inyector, también es necesario comprobar que no haya anomalía en la atomización.



Fig.13

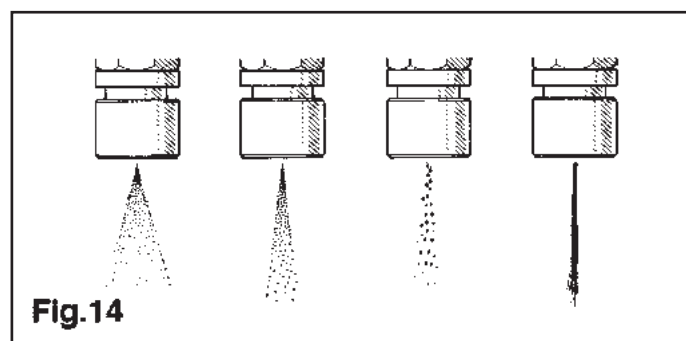


Fig.14

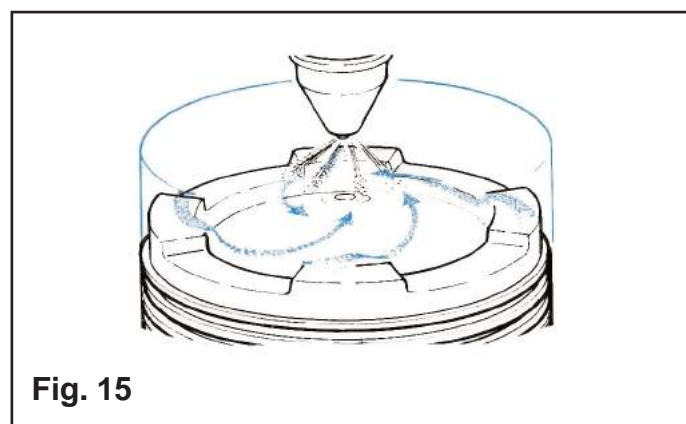


Fig. 15

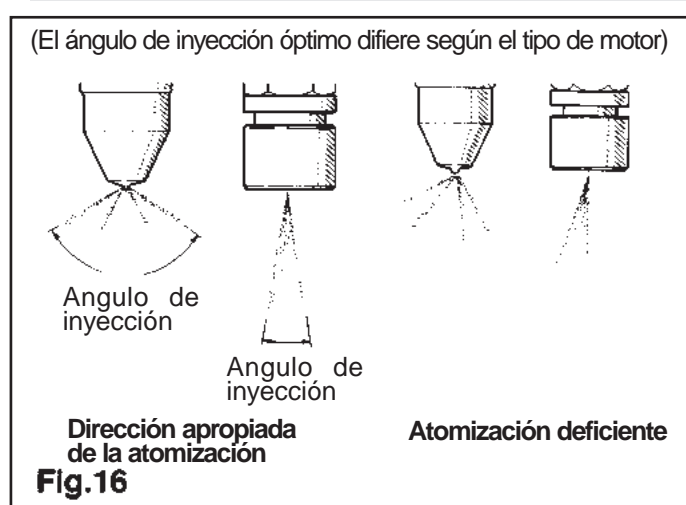
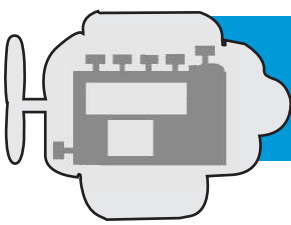


Fig.16



# COMBUSTION EN LOS

## Tiempo de inyección de combustible

El tiempo de inyección del combustible es un factor importante que influye en la efectividad de la combustión de un motor diesel.

Los siguientes factores provocan el tiempo impropio de la inyección.

- 1 Al reensamblar el motor, las marcas de sincronización de los engranajes no quedaron debidamente alineadas.
- 1 Las marcas de sincronización en el acople de la bomba de inyección no están debidamente alineadas.

Si el tiempo de la bomba de inyección cambia, la condición de combustión dentro de la cámara de combustión, la potencia, el ruido (ruido de golpeteo) y el color del escape también cambian.

Sin embargo debido a los factores siguientes y a la interacción mutua de las distintas condiciones, es imposible predecir en que forma cambiarán.

- 1 Tipo y forma de la cámara de combustión
- 1 Velocidad del motor
- 1 Regulación de la apertura y cierre de las válvulas de admisión y escape
- 1 Tamaño del exceso de la relación de aire
- 1 Forma del inyector
- 1 Tipo del combustible en uso

Además, el efecto también cambiará dependiendo en cuanto se ha avanzado o retrasado el tiempo. Por lo tanto es peligroso realizar ajustes simplemente descansando en experiencia de como mirar la densidad del color de los gases de escape y después cambiar el tiempo. Al ajustar la bomba de inyección, siempre realice los ajuste en la forma especificada por el fabricante del motor.

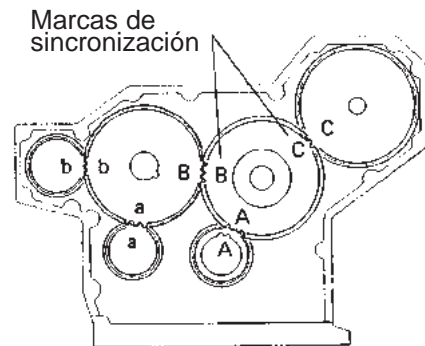


Fig. 17 Marcas de tiempo en los engranajes

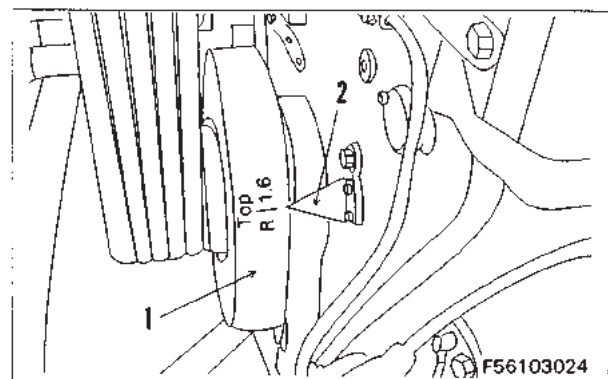


Fig. 18 Puntero (2) y marca de regulación en el amortiguador (1)

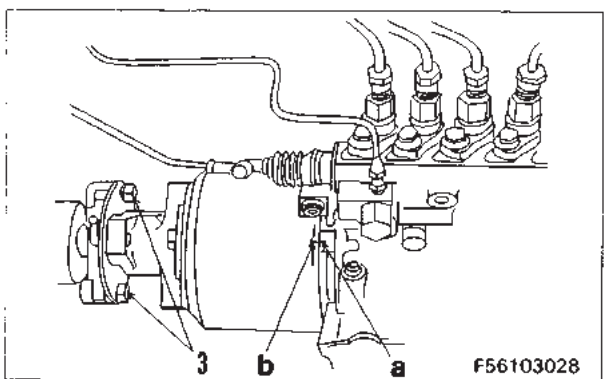


Fig. 19 Marcas de regulación (1) y (b) en el acople de la bomba de inyección

La relación entre la carrera de combustión y el tiempo de la inyección de combustible es como sigue:

Si el interior de la cámara de combustión está en alta temperatura y alta presión, el combustible inyectado en la cámara de combustión se inflamará espontáneamente y comenzará a arder. Hace falta un corto lapso de tiempo entre el comienzo de la inyección hasta el momento de la ignición. Además, la ignición inicial ocurre en un lugar dentro de la cámara de combustión y poco después, la combustión se esparce a toda la cámara.



# MOTORES DIESEL

Por lo tanto, toma tiempo desde el inicio de la ignición para que la presión dentro de la cámara de combustión alcance el valor máximo. Por esta razón, la inyección del combustible comienza antes de que el pistón alcance el punto muerto superior (la posición mas alta del pistón).

Cuando el combustible comienza a inflamarse, la presión dentro de la cámara de combustión asciende súbitamente a medida que se esparce la combustión y al terminar ésta, se alcanza la presión máxima.

Si esta máxima presión es muy elevada, la temperatura dentro de la cámara de combustión también será muy alta y se producirán los problemas siguientes:

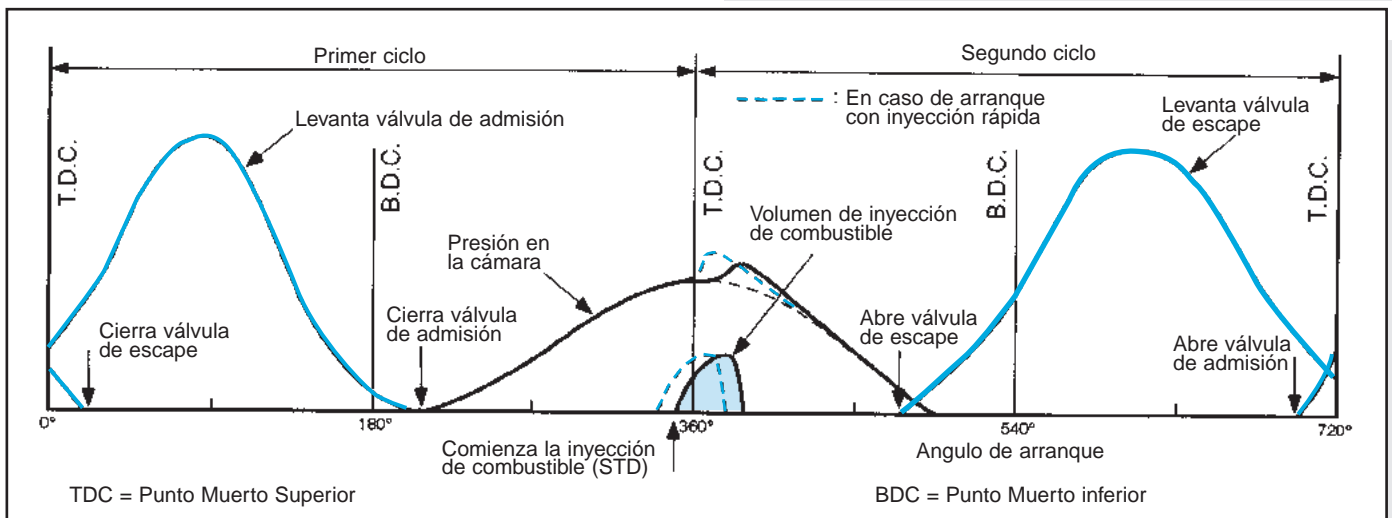
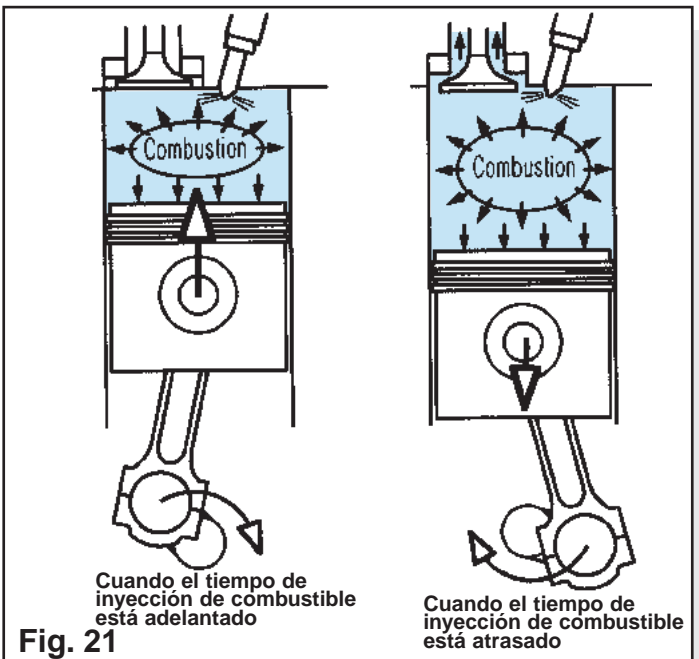
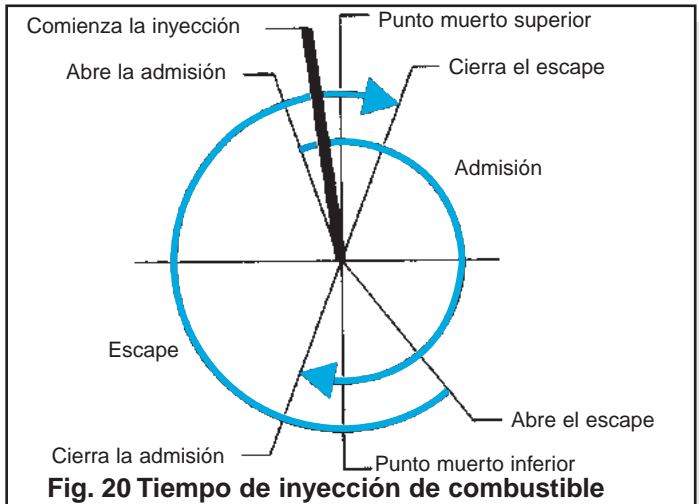
- 1 Agarramiento de la tobera por contra flujo del gas dentro del inyector.
- 1 Fugas de gas por el empaque o junta
- 1 Quemado el orificio de inyección en la cámara de pre-combustión
- 1 Quemada la bujía de precalentamiento

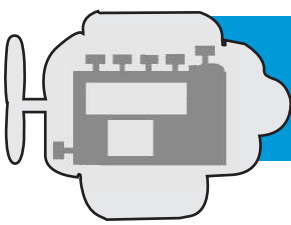
En caso de motores con cámara de precombustión

Si el tiempo de la inyección de combustible está adelantado, la presión máxima dentro de la cámara de combustión se alcanzará antes que el pistón alcance el punto muerto superior. Esto significa que habrá una aplicación de fuerza para evitar que el pistón suba y la fuerza que empuja el pistón de la carrera descendente también se perderá, de modo que cuanto más alta sea la presión máxima, mayor será la pérdida de potencia. Si la presión máxima se vuelve demasiado alta, habrá efectos adversos en la duración del motor.

Si el tiempo de la inyección está atrasado, las válvulas de escape se abrirán antes que la combustión haya finalizado, se perderá la presión y disminuirá la potencia. La presión máxima descenderá, pero la temperatura de los gases de escape también subirá y habrá un efecto adverso sobre piezas tales como el turboalimentador.

Por lo tanto, el tiempo para el inicio de la inyección de combustible está regulado para que la máxima presión dentro de la cámara de combustión alcance después que el pistón pase por el punto muerto superior y comience a bajar.



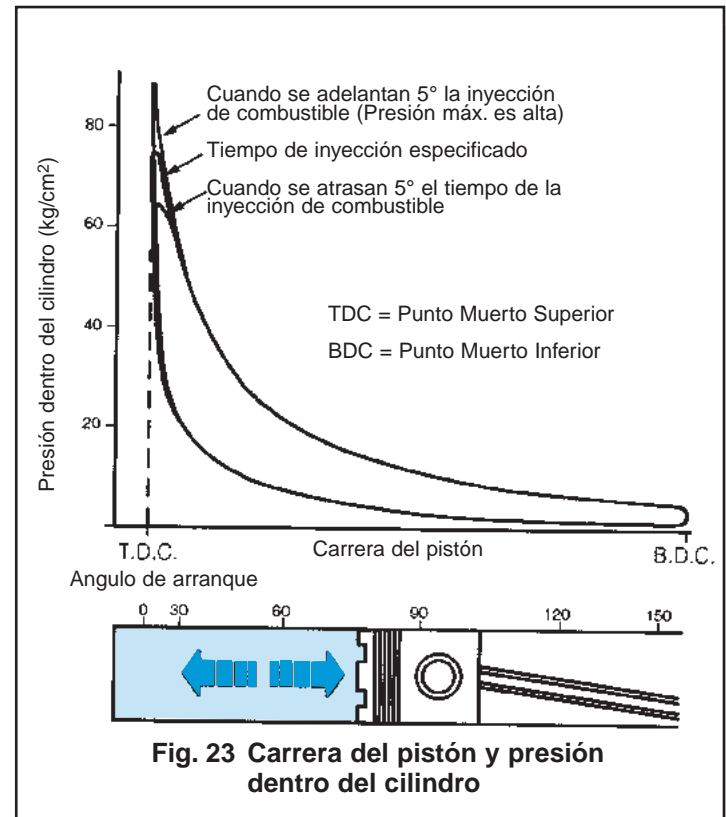


# COMBUSTION EN LOS

El diagrama de la derecha muestra los resultados de la medición de la presión dentro de la cámara de combustión cuando se cambia el tiempo de inyección en cierto motor. Con este motor, si se adelanta el reglaje de inyección, el color de los gases de escape es bueno y la potencia aumenta ligeramente, pero la máxima presión aumenta aprox. 20%.

Si se cambia el tiempo de inyección basado en el color de los gases de escape y potencia de salida, se producirán problemas con otros factores como se muestran en este ejemplo. En términos generales, si se avanza el reglaje de inyección, se elevará la presión máxima.

**Siempre regule correctamente el tiempo de la inyección de combustible según especifique el fabricante.**



**Fig. 23 Carrera del pistón y presión dentro del cilindro**

## Humo de escape

Cuando la combustión es completa, los gases de escape están más o menos claros. Sin embargo, si partículas de cualquier cosa se mezclan en grandes cantidades en los gases de escape, esto se convertirá en humo y se podrá ver.

El humo de escape se puede dividir en los tres tipos siguientes:

### Humo negro

Se produce cuando el motor está sometido a una carga grande o a una aceleración rápida y el humo aparece negro o gris. (tamaño de partículas: Aprox. 0.05 micrones)

### Humo azul

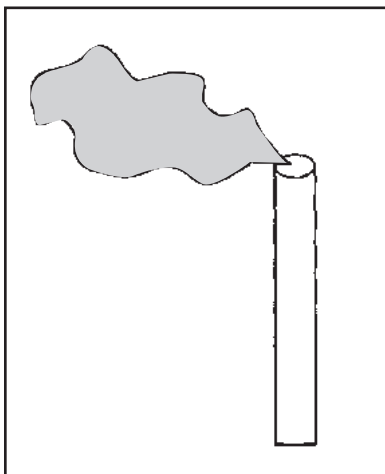
Se produce cuando el motor está sometido a carga ligera y el humo aparece azul claro y con fuerte olor. (tamaño de partículas: Aprox. 0.04 micrones)

### Humo blanco

Se produce cuando la temperatura ambiental es baja inmediatamente después de arrancar el motor. También ocurre en motores con los cilindros gastados y se presenta como humo blanco grueso. (tamaño de partículas: 1 micrón y más)

# MOTORES DIESEL

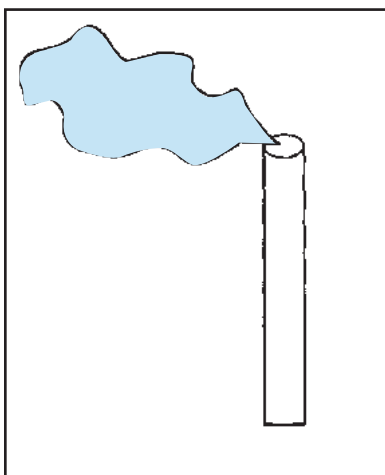
## Humo negro



Cuando el combustible tiene alta temperatura se descompone bajo el calor en carbón e hidrógeno. Estos se unen con oxígeno para hacer el gas de dióxido de carbono y agua (vapor de agua); pero si hay escasez de oxígeno, los átomos del carbón se unen y estas moléculas de carbón se unen y se convierten en hollín. El dióxido de carbono y el vapor de agua, ambos son gases transparentes, pero el hollín está formado por partículas negras que se mezclan con el gas de escape y si hay grandes cantidades de hollín, el humo se torna negro.

Hablando en términos generales, el humo negro es provocado por falta de oxígeno (falta de aire). Visto de otra forma, significa que se está suministrando un exceso de combustible, pero este problema también lo pueden provocar otros factores por lo cual, es necesario investigar detalladamente las causas.

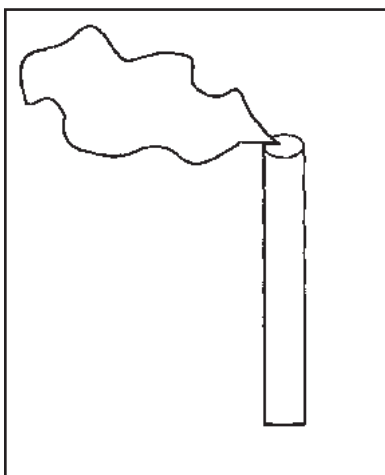
## Humo azul



Cuando el combustible arde, las impurezas que penetran en la cámara de combustión también arden al mismo tiempo. Estas impurezas contienen otros componentes además del carbón e hidrógeno, de manera que otros compuestos además del gas de anhídrido carbónico y agua son creados por la combustión. Si el aceite del cárter entra a la cámara de combustión, el aceite no quema tan fácilmente como el combustible y parte del aceite es evacuado como atomización sin ser quemado. Si a estos componentes se les da escape juntos con los gases de escape del motor, el humo será color azul.

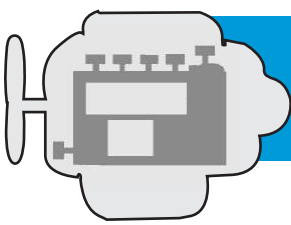
Humo azul frecuentemente indica que se está quemando aceite del cárter.

## Humo blanco



Cuando el motor no se ha calentado debidamente, parte del combustible inyectado en la cámara de combustión no es descompuesto por el calor (aunque sea descompuesto por el calor, todavía se produce la combustión incompleta) se le da escape como una atomización y se convierte en humo blanco. Esto ocurre con frecuencia después de arrancar el motor y mientras se está calentando el motor. Sin embargo, si la regulación de la bomba de inyección es incorrecta, también se puede producir durante operaciones normales si la cámara de combustión no adquiere la temperatura adecuada. Además, si se expulsa por el escape agua atomizada, también puede aparecer como humo blanco. Esto puede suceder inmediatamente después de arrancar el motor mientras el motor adquiere temperatura pero el vapor creado por la combustión todavía está frío. Sin embargo, también esto puede ocurrir cuando hay demasiado agua en el combustible y toda ella no se convierte en vapor de agua dentro de la cámara de combustión.

Durante operaciones normales, el humo blanco indica que la regulación de la bomba de inyección es incorrecta o que hay mucha agua mezclada con el combustible.



# COMBUSTION EN LOS

## Productos formados por la combustión

### Contenido de azufre

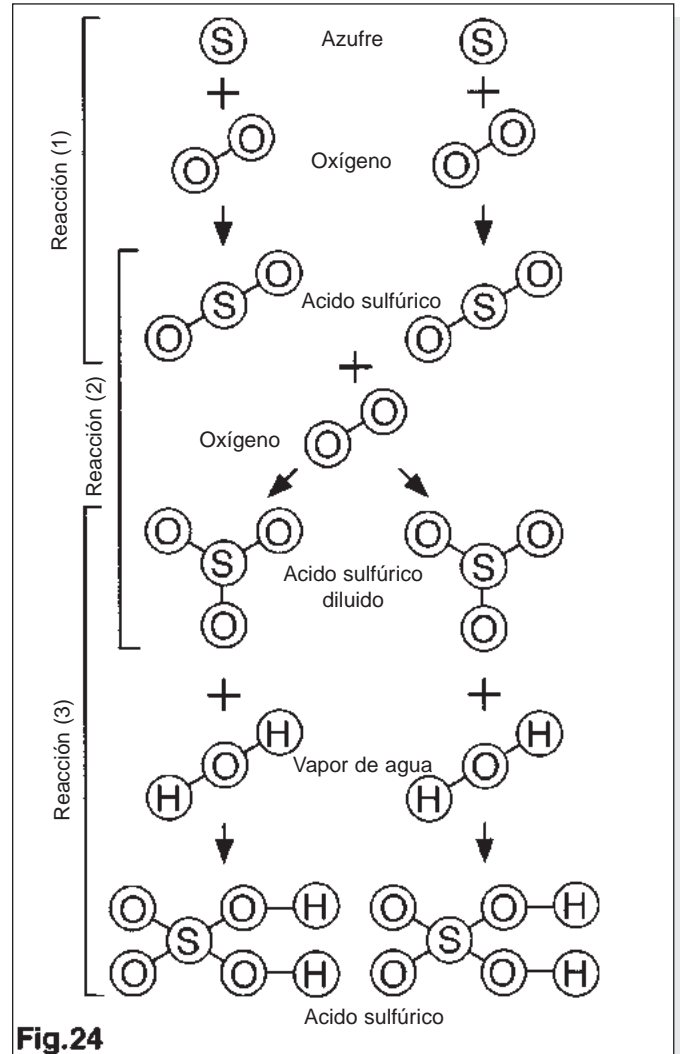
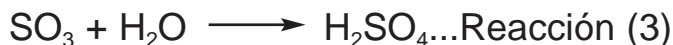
El contenido de azufre en el combustible diesel mayormente ejerce influencia en el desgaste del motor y en la emisión de los gases de escape.

El azufre (S) se oxida (combinado con oxígeno (O)) porque la combustión en la forma siguiente forma anhídrido sulfúrico ( $\text{SO}_2$ ) y parte del mismo puede ser oxidado aún más para formar ( $\text{SO}_3$ ).



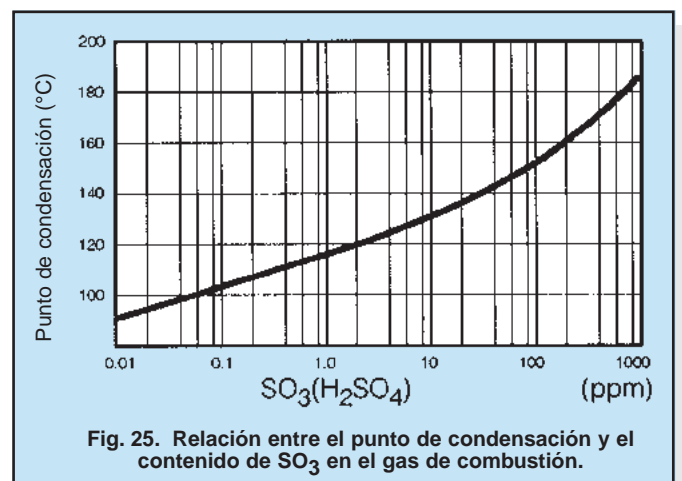
Esta reacción es influenciada por varios factores tales como la temperatura de combustión, la temperatura del escape, área de superficie de las partículas, humedad relativa, y relación de aire a combustible. ( $\text{SO}_2$ ) cambia a ( $\text{SO}_3$ ) dentro de la cámara de combustión del motor cuando la temperatura de los gases de combustión desciende súbitamente en la carrera de expansión del ciclo de combustión.

Por lo tanto, si la combustión dentro de la cámara de combustión no es uniforme, esta reacción puede ocurrir fácilmente. El ( $\text{SO}_3$ ) generado de esta forma reacciona con el vapor de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) generado por la combustión y forma el ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).



Además, minúsculas cantidades de  $\text{SO}_3$  en el gas de combustión actúan para elevar el punto de condensación del vapor de agua (el vapor de agua se condensa hasta en elevadas temperaturas).

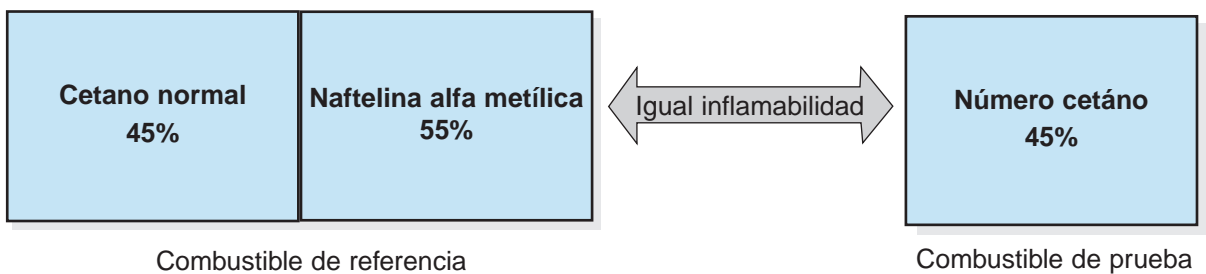
El vapor de agua se condensará hasta en los pistones y camisas que se piensa se encuentran a temperaturas muy elevadas y esto resulta en corrosión provocada por la generación de ácido sulfúrico. Este desgaste por corrosión también recibe ayuda del hollín creado por la combustión (átomos de carbón libre) que absorben el ácido sulfúrico y después se pegan a las ranuras de los pistones o dentro de la pared de la camisa del cilindro.



# MOTORES DIESEL

## El número cetano

El número cetano o índice cetano es la escala para indicar la inflamabilidad de un combustible. El **número cetano** es un índice que indica la facilidad de ignición, mientras que el número octano usado para la gasolina indica la dificultad de ignición. Estos dos números tienen relaciones opuestas. El valor cetano se determina usando un motor CFR (motor de prueba diseñado para medir el número cetano) y comparar la inflamabilidad del combustible de prueba al cual se va a designar un número cetano con la inflamabilidad del combustible de referencia empleado para determinar el número cetano. El combustible de referencia se hace mezclando cetano normal (número cetano 100) de inflamabilidad muy elevada con naftelina alfa-metilica (número cetano 0) cuya inflamabilidad es muy baja. El porcentaje de volumen de cetano normal incluido en el combustible de referencia que aporta la misma inflamabilidad que el combustible de prueba se toma como número cetano.



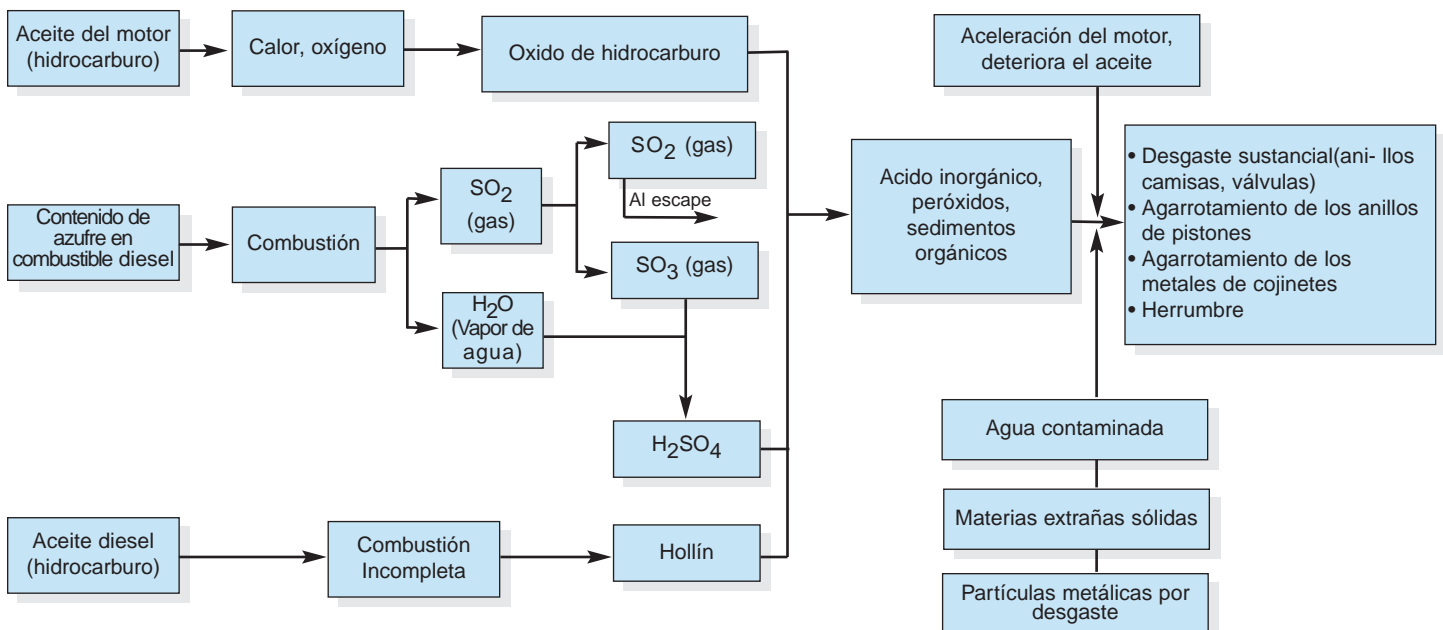
### Ejemplo para determinar el número cetano del combustible de prueba

Es muy problemático medir el número cetano; actualmente, casi nunca se mide el número cetano. En lugar de ello, ASTM emplea el grado API y el 50% de la temperatura de destilación (°F) y una fórmula fija para el índice cetano. En la práctica, no hay problema en tomar el **índice cetano** como igual al número cetano.

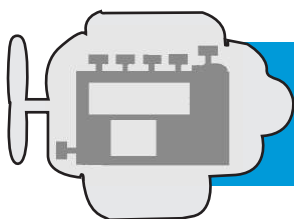
(Observaciones) Grado API: Esta es una unidad empleada por el American Petroleum Institute para mostrar la gravedad específica regulada del petróleo como el índice usado en los EE. UU.

50% temperatura de destilación: Esta es la temperatura en que el 50% del combustible de prueba se evapora al ser calentado.

## Efectos en el motor de los productos formados por la combustión







# OPERACION CON EL COMBUSTIBLE

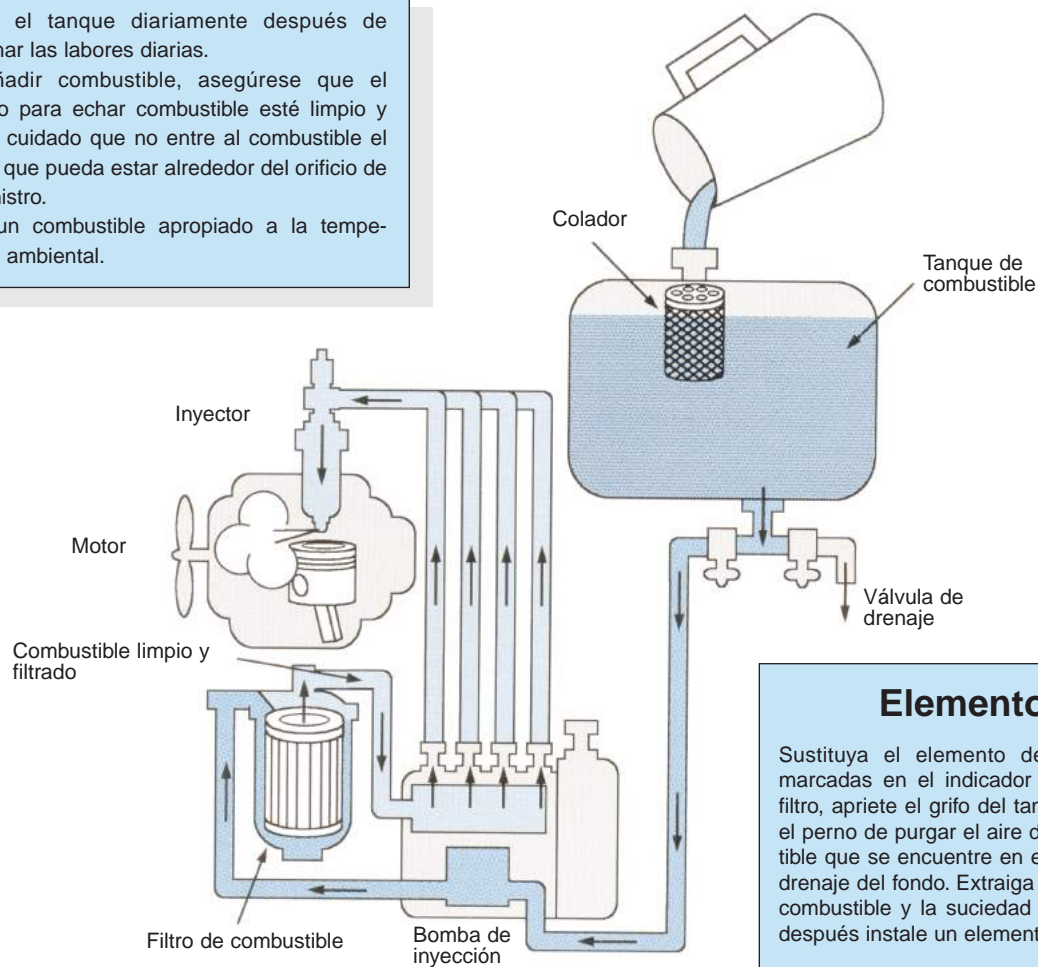
## Almacenamiento del combustible

**Para evitar el deterioro del combustible almacenado y evitar el uso de combustible deteriorado, tenga presente los puntos siguientes:**

1. Conserve el tanque del combustible dentro de un recinto evitando contacto directo con el sol y el agua.
2. Tenga cuidado para evitar se acumule agua, herrumbre o polvo en la parte superior del tanque de combustible y no permita que el polvo o materias extrañas penetren al combustible por el orificio de suministro. Es preferible usar un tanque que impida acumular el agua y el polvo en su parte superior.
3. Evitar que el agua o sedimentos se acumulen en la parte inferior del tanque de guardar el combustible para no suministrarlo a la máquina. Evitar el uso del combustible que se encuentre en el fondo del tanque de almacén. Es preferible usar un tanque de combustible diseñado para drenar los sedimentos.
4. No use combustible viejo cuyas propiedades se hayan deteriorado (como directriz, cualquier aceite que haya estado guardado más de un año).

## Para evitar que el agua o suciedad penetren al combustible

- Llene el tanque diariamente después de terminar las labores diarias.
- Al añadir combustible, asegúrese que el equipo para echar combustible esté limpio y tenga cuidado que no entre al combustible el fango que pueda estar alrededor del orificio de suministro.
- Use un combustible apropiado a la temperatura ambiental.



### Elemento filtrante

Sustituya el elemento del filtro cada **500 horas** marcadas en el indicador de servicio. Al sustituir el filtro, apriete el grifo del tanque de combustible, afloje el perno de purgar el aire del filtro y drene el combustible que se encuentre en el filtro usando el tapón de drenaje del fondo. Extraiga el elemento viejo, limpie el combustible y la suciedad acumulados en el fondo y después instale un elemento nuevo.

**¡Siempre use los elementos genuinos de KOMATSU!**