



**Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas e Ingeniería**  
**CATEDRA DE MAQUINAS TERMICAS**  
**CARRERA DE INGENIERIA INDUSTRIAL**

Tema: Combustibles

## **NUMERO OCTANO**

En los motores Otto cuanto mayor es la relación de compresión, mayor es el rendimiento térmico y, por consiguiente, menor el consumo de combustible a igual potencia desarrollada por el motor.

Se observó desde siempre que para cada tipo de gasolina existía una relación de compresión máxima a partir de la cual se presentaba el fenómeno de “detonación” con efectos destructivos para el motor.

En los motores con encendido por bujía se pueden manifestar varios tipos posibles de combustiones.

El proceso normal consiste en una combustión rápida pero progresiva de la mezcla aire-combustible atomizada y homogeneizada debido a la propagación de un frente de llama que se origina a partir de la chispa que se produce entre los electrodos de la bujía y que crea un núcleo inicial y pequeño de llama el cual rápidamente se propaga por el interior de la cámara de combustión. En la combustión normal, la llama avanza a una velocidad del orden de 22 a 40 m/seg.

La detonación es el proceso de auto inflamación instantánea y en masa de una parte de la carga aun no quemada. El desarrollo es el siguiente: a medida que el frente de llama avanza comprime la mezcla sin quemar cuya temperatura se incrementa por efecto combinado de compresión y de radiación, entonces, puede ocurrir que durante su avance, el frente de llama alcance un punto tal en que la carga remanente sin quemar queda sujeta a una elevada intensidad de calor y se enciende espontáneamente. Esta ignición espontánea origina ondas de presión que se propagan a través de la mezcla quemada y sin quemar a una velocidad extremadamente elevada, del orden de los 300 m/seg. Las ondas se reflejan contra las paredes de la cámara de combustión y coincidentemente las hacen vibrar creando un ruido audible característico similar a un tintineo metálico. La frecuencia fundamental de las ondas de presión es del orden 800 a 5000 Hz.

Con el transcurso del tiempo las condiciones de funcionamiento de los motores se vuelven cada vez más exigentes, con el fin de obtener menores pesos por unidad de potencia, de manera que una de las propiedades más importantes de un combustible es la resistencia a la detonación, que permite una marcha con elevado índice de compresión y, por lo tanto, con una buena utilización del combustible.

Los primeros ensayos sobre la medición de la resistencia a la detonación fueron efectuados por Sir Harry Ricardo utilizando un motor con relación de compresión variable

de 2 litros de cilindrada estableciendo como criterio de estimación la “compresión útil más elevada”, esto es, la relación de compresión a la cual, bajo determinadas condiciones de funcionamiento, aparecía una detonación ligera o incipiente, alcanzando la potencia su valor máximo; dicha relación de compresión la obtenía trazando una curva de potencia.

En general, como procedimiento de ensayo para determinar la resistencia a la detonación se adoptó el principio propuesto por Ricardo, es decir, la comparación con combustibles conocidos. Para ello se mezcla un combustible determinado de gran resistencia a la detonación con otro que la tenga muy pequeña, haciendo dicha mezcla en proporciones tales que se comporte en el motor de ensayos de igual manera que el combustible que se quiere probar.

El número octano mide el poder antidetonante de un combustible. Es una medida de la resistencia a la detonación o al auto-encendido de un combustible.

En el año 1927, el Dr. Edgar propuso como combustibles tipos para la determinación del número octano a dos hidrocarburos parafínicos que tienen muy diferentes propiedades detonantes y que son tomados para definir los extremos de la escala. Son ellos:

- Iso-octano ( $C_8H_{18}$ ) o 2,2,4 trimetil pentano que tiene una resistencia a la detonación muy elevada y, por consiguiente, se le asigna un número octano de 100.
- Normal Heptano ( $C_7H_{16}$ ) que es muy propenso a detonar y, por lo tanto, se le asigna valor 0.

Las mezclas binarias iso-octano y normal heptano se denominan “carburantes primarios de referencia”.

Con esto se admitió en ese entonces que todos los demás combustibles estaban, en lo que a detonación se refiere, comprendidos entre ambos.

El número octano de un combustible comercial se determina midiendo qué mezcla de estos dos combustibles primarios de referencia iguala las propiedades desconocidas del combustible que se está ensayando.

Varias mezclas de combustibles de referencia también se ensayan en las mismas condiciones hasta que la relación de compresión de una de estas mezclas de referencia coincida exactamente con la del combustible comercial desconocido en términos de “intensidad detonante similar”. De esta manera, este combustible queda clasificado por el porcentaje de iso-octano de la mezcla equivalente del combustible de referencia.

La mezcla de estos dos combustibles de referencia definen la resistencia a la detonación de números octanos intermedios, de esta manera, una mezcla de 7% de normal heptano y 93% de iso-octano, en volumen, tiene un número octano de 93.

En la actualidad el número octano 100 ha sido sobrepasado por varios hidrocarburos, entre ellos el 2-2 dimetil butano (NO = 114) y el 2-2-3 trimetil butano (NO = 115).

La medición práctica de la resistencia a la detonación se realiza mediante ensayos en un motor de pruebas con relación de compresión variable. El número de octano de un combustible se determina haciendo funcionar el motor de pruebas en condiciones estándar de marcha fijando algunas variables.

El número octano se obtiene de acuerdo a dos métodos de ensayo distintos:

#### **Método RON (Ensayo F1)**

Siglas de Research Octane Number. Según Norma ASTM D2699 ó DIN 51756. En este método se miden las cualidades anti-detonantes en aceleración de acuerdo a condiciones de funcionamiento relativamente suaves. Esta condición se considera similar a la tendencia a la detonación de un combustible cuando el motor es acelerado desde baja velocidad y con una relación de caja de velocidades alta y con una gran apertura de la mariposa del acelerador en condiciones de cargas medias.

#### **Método MON (Ensayo F2)**

Siglas de Motor Octane Number. Según Norma ASTM D2700 ó DIN 51756. En este método se miden las cualidades anti-detonantes de acuerdo a condiciones de funcionamiento relativamente severas. Esta condición se considera similar a la tendencia a la detonación de un combustible cuando el motor está marchando a velocidades medias, en una relación de caja de velocidades alta y con una gran apertura de la mariposa del acelerador en condiciones de elevadas cargas.

Las principales variables de ambos ensayos se indican en la siguiente tabla I:

**TABLA I**

<b>VARIABLE</b>	<b>METODO RON</b>	<b>METODO MON</b>
Temperatura de admisión	52°C	149°C
Presión de admisión	Atmosférica	Atmosférica
Humedad	0,0036/0,0072 Kg/Kg aire	0,0036/0,0072 Kg/Kg aire
Temperatura refrigerante	100°C	100°C
Velocidad del motor	600 rpm	900 rpm
Avance al encendido	13° (constante)	19° a 26° (variable)
Relación aire/combustible	Ajustada a máx. detonación	Ajustada a máx. detonación

La condición de funcionamiento más severa del método MON tiende a dar un valor del orden de 10 unidades menos que el método RON.

En la tabla II se muestra una comparación entre los métodos RON y MON para combustibles de diferentes grados.

**TABLA II**

<b>GRADO</b>	<b>METODO RON</b>	<b>METODO MON</b>
5 Estrellas	100	89
4 Estrellas	97	86
3 Estrellas	94	82
2 Estrellas	90	80

La diferencia entre el número octano obtenido por el método RON y por el método MON se denomina “sensibilidad del combustible”. Así:

$$\text{Sensibilidad del Combustible} = \text{RON} - \text{MON}$$

Los combustibles parafínicos suelen tener el mismo número octano con cualquiera de los dos métodos de ensayo desde que su estructura química es similar a la de los combustibles primarios de referencia (mezcla iso-octano y normal heptano). A medida que la composición química se aleja de la estructura parafínica y se acerca a la aromática o nafténica, la sensibilidad del combustible se incrementa.

Es deseable que el combustible tenga una baja sensibilidad.

La sensibilidad de una gasolina depende de la naturaleza del crudo y del tipo de proceso de manufactura seguido. Las gasolinas naturales y de primera destilación, se consideran insensibles porque sus índices RON y MON tienen aproximadamente el mismo valor. Por otra parte, las gasolinas termofracionadas son bastantes sensibles y algunas muestran sensibilidades de hasta 15 números de octano. Las gasolinas comerciales corrientes poseen sensibilidades comprendidas entre 6 y 8 números de octano.

Entre dos gasolinas que tengan iguales números MON, la de mayor índice RON se comportará mejor en la carretera. De la misma manera, entre dos gasolinas que tengan el mismo índice RON, la mejor será generalmente la más sensible.

Ninguno de los dos métodos de medición del número octano refleja los efectos de las verdaderas velocidades de funcionamiento y de las condiciones de carga cuando el vehículo está marchando sobre una carretera. Los ensayos efectuados con dinamómetros de chasis que permiten predecir las condiciones de carretera han sido decisivos para determinar el número octano del combustible más real. Se ha establecido que el número octano en condiciones de ruta se encuentran normalmente entre los valores de los métodos RON y MON. Entonces, el valor promedio entre ambos números octano es un buen indicador de las cualidades antidetonantes y se denomina “índice antidetonante”. Así:

$$\text{Indice Antidetonante} = (\text{RON} + \text{MON}) / 2$$

En otras palabras, los métodos RON y MON se llevan a cabo en un motor monocilíndrico funcionando a velocidad constante, con apertura de mariposa del acelerador fija y adelanto del encendido fijo. Por consiguiente, ambos métodos no siempre predicen ajustadamente el

comportamiento de un combustible en el motor de un vehículo funcionando bajo una amplia variedad de velocidades, cargas y condiciones atmosféricas.

Para superar estos inconvenientes se ha propuesto otros métodos:

#### **Número Octano en Carretera (ROAD-ON)**

Para los combustibles de uso común, su valor se ubica entre los índices RON y MON. La relación puede establecerse con una expresión matemática de la forma:

$$\text{ROAD-ON} = a (\text{RON}) + b (\text{MON}) + c$$

siendo a, b y c constantes obtenidas experimentalmente.

Recientes estudios mostraron que adoptando los siguientes valores:  $a = b = 0,5$  se obtienen buenos resultados.

#### **Número Octano OR (Octane Number Requirement)**

Es el número octano mínimo que resiste la detonación dentro de todo el rango de cargas y velocidades de funcionamiento. No obstante, este valor tampoco provee una adecuada información para un determinado modelo de vehículo, y esto por los dos siguientes motivos:

- Tolerancias de fabricación.
- Variaciones de las condiciones en el motor y en el vehículo.

#### **Número Octano DON (Distribution Octane Number)**

Este número pretende mostrar la manera en que la calidad del número octano se distribuye dentro del rango de ebullición de una gasolina, medido mediante el empleo de un motor CFR modificado.

### **Gasolinas de avión (Avgas)**

Las gasolinas de avión (Avgas), que tienen números octanos superiores a 100, no es posible ensayarlas aplicando la escala preestablecida. La determinación del número octano de estas gasolinas se ha continuado realizando sobre la base de los ensayos originales a que se sometían los combustibles de altas performances empleados en los aviones de la Segunda Guerra Mundial y no en función de los procedimientos de ensayo para gasolinas de automóviles.

Los ensayos que establecen los dos números octanos con los cuales se identifican las aeronautas fueron diseñados a partir del hecho que todos los motores de pistón usados en aviones tenían un control, accionado por el propio piloto, para ajustar la relación aire-combustible de la mezcla.

Se define el número octano con sobrecarga (SON) obtenido por extensión lineal, más allá del 100, de la escala tradicional.

Para estos ensayos de número octano superiores a 100, el combustible de referencia es una mezcla de iso-octano más plomo. Los números octano superiores a 100 se determinan en términos de mililitros de aditivo antidetonante agregados al iso-octano, normalmente tetraetilo de plomo (TEP),  $(C_2 H_5)_4 Pb$ , por galón americano (1 galón americano = 3,785 litros). Un mililitro de tetraetilo de plomo contiene 1,06 gramos de plomo.

Luego, el número octano se determina mediante la expresión siguiente:

$$ON = (100 + 28,28 T) / 1,0 + 0,736 t + [(1,0 + 1,472 T - 0,035216 T^2)]^{1/2}$$

siendo T los mililitros de TEP por galón americano.

En definitiva, por encima de 100, el número octano está basado en el número de mililitros de TEP por galón americano que se agregan al iso-octano para dar igual intensidad antidetonante que el combustible desconocido ensayado.

Las naftas de avión se identifican mediante un doble índice, tal como 100/130. Esto se debe a que hay involucrados dos ensayos diferentes denominados F3 y F4.

Una gasolina con número de octano superior a 100 puede expresarse por ejemplo, como “100 + 2,5” para indicar que tal gasolina posee el mismo número octano que el iso-octano cuando a éste se le añaden 2,5 mililitros por galón americano de tetraetilo de plomo.

### **Ensayo F3**

Según Norma ASTM D2700. Método de mezcla pobre. Está indicado por el primer número y simula a un motor funcionando con una mezcla aire-combustible estequiométrica, similar a las utilizadas durante el vuelo a velocidad de crucero.

### **Ensayo F4**

Según Norma ASTM D909. Método de mezcla rica. Está indicado por el segundo número y simula un motor funcionando con sobrecarga y, por consiguiente, con una mezcla aire-combustible rica, similar a las utilizadas en condiciones de despegue o durante combate.

En la actualidad solo hay dos tipos de aeronaftas disponibles, ambas identificadas con índices 100/130, son ellas.

1. La antigua, con colorante verde y elevado contenido de plomo: 4,5 a 6,0 gramos de TEP por galón americano.
2. La moderna, con colorante azul y bajo contenido de plomo: 2,0 a 2,7 gramos de TEP por galón americano.

Las propiedades antidetonantes de los combustibles derivados de los hidrocarburos están relacionadas con su estructura molecular. Las parafinas, tal como el normal heptano o el

querosene, tienen largas cadenas de carbonos e hidrógenos con enlaces moleculares débiles que se rompen fácilmente por acción del calor.

El iso-octano es un miembro de la familia de las isoparafinas que presentan una estructura en cadena con ramificaciones y enlaces fuertes que resisten mejor la detonación. A igualdad de átomos de carbono, el número octano de un hidrocarburo saturado no cíclico es tanto mayor cuanto más ramificado sea.

Comparando dos hidrocarburos saturados no ramificados ni cíclicos, tiene mayor número octano el de menor cantidad de átomos de carbono.

Las cicloparafinas o naftenos también tienen buenas propiedades antidetonantes porque sus átomos de carbono e hidrógeno están bien enlazados formando una molécula en forma de anillo.

Los combustibles aromáticos, tales como el toluol, tienen una estructura en forma de anillo con enlaces muy fuertes; esto implica buenas características antidetonantes.

La composición química determina cuán rápidamente se quema el combustible y cuán resistente es a la detonación cuando se lo somete a elevadas presiones y temperaturas por efecto de la compresión. Los combustibles con enlaces moleculares débiles se rompen y queman espontáneamente a bajas presiones y temperaturas en comparación con los combustibles cuyas estructuras tienen enlaces fuertes.

Los hidrocarburos parafínicos tienen un poder antidetonante, que:

1. Es tanto mayor cuánto más corta sea la cadena principal.
2. Aumenta en los isómeros con respecto a los normales tanto más cuanto mayor número de radicales metilo ( $\text{CH}_3$ ) existan y aun cuanto más hacia el centro de la molécula estén ubicados.

En las olefinas el poder antidetonante aumenta con el acortamiento de la cadena principal con la introducción de radicales metilo y cuanto más hacia el centro estén éstos de la molécula. Además, también aumenta cuanto más hacia el centro de la molécula esté ubicado el doble enlace de los carbonos.

En los hidrocarburos nafténicos se mejora el poder antidetonante disminuyendo el tamaño de los anillos y disminuyendo la longitud de las cadenas laterales. Estos hidrocarburos tienen mayor poder antidetonante que las parafinas. Del mismo modo, los hidrocarburos aromáticos también presentan un gran poder antidetonante.

De lo dicho se deduce que, las distintas fracciones que destilan sucesivamente en una misma gasolina tienen distintos poderes antidetonantes.

De las cuatro clases generales de gasolinas las de menor poder antidetonante son las gasolinas de destilación directa porque en su composición predominan los hidrocarburos parafínicos. Por el contrario, las gasolinas de cracking tienen alto poder antidetonante.

No existe una relación bien definida entre el número octano de una gasolina y la máxima relación de compresión, pues ésta, además del número octano, depende de la velocidad del motor (al aumentar el número de vueltas la detonación tiende a disminuir), de su construcción, del grado de refrigeración del motor y de factores tales como la temperatura ambiente, humedad del aire, presión atmosférica, etc.

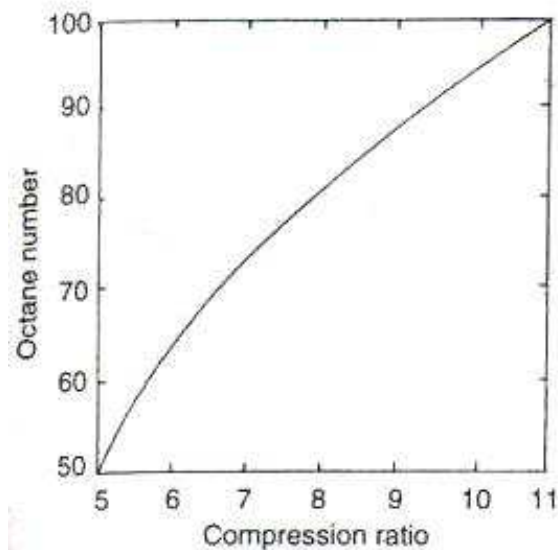
El número octano requerido varía con:

1. La relación de compresión.
2. Consideraciones geométricas.
3. Consideraciones mecánicas.
4. Condiciones de funcionamiento.

En un motor de mediana potencia que se hizo funcionar con la máxima relación de compresión posible, la potencia y el consumo de combustible varían aproximadamente como se indica en el siguiente cuadro:

<b>NUMERO OCTANO</b>	<b>POTENCIA MAXIMA (%)</b>	<b>CONSUMO ESPECIFICO (g/CV- hora)</b>
100	100	165
90	90	193
80	82	220
70	76	245

El siguiente gráfico indica la relación aproximada que existe entre el número de octano y la relación de compresión.



Altas relaciones de compresión permiten incrementar la potencia desarrollada por el motor y obtener una disminución en el consumo de combustible. Esto se indica en la figura según Blackmore y Thomas. El número octano requerido para una determinada relación de compresión varía ampliamente, pero normalmente puede establecerse:

Para  $\varepsilon = 7,5$  a 1 se requiere un NO = 85

Para  $\varepsilon = 10$  a 1 se requiere un NO = 100

## **MOTOR C.F.R.**

Es necesario establecer:

1. Con que relación de compresión detona un determinado combustible.
2. Qué número octano debe tener un cierto combustible para una determinada relación de compresión.

Para responder a estas preguntas, se adoptó un motor único, el C.F.R., siglas de Cooperative Fuel Research, que ha sido aprobado por la ASTM (American Society Test Material).

Es un motor monocilíndrico vertical cuyo cigüeñal gira sobre cojinetes de bolas. La relación de compresión puede variarse desde 4 a 1 hasta 12 a 1.

Sus principales características son:

Diámetro del cilindro: 3  $\frac{1}{4}$  pulgadas u 82,5 mm.

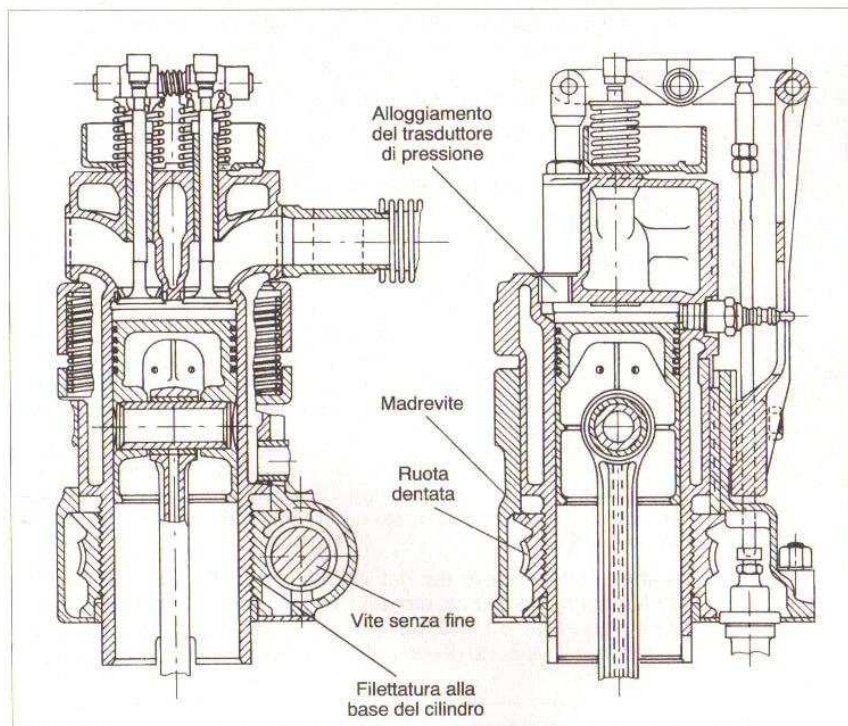
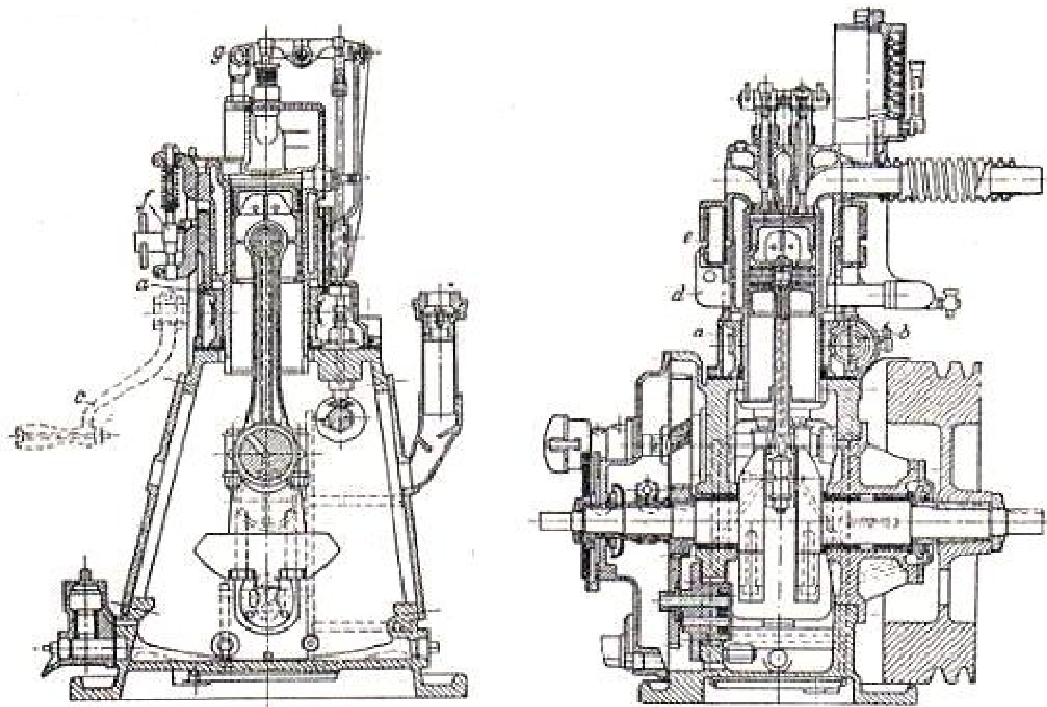
Carrera del pistón: 4  $\frac{1}{2}$  pulgadas ó 114,3 mm.

Cilindrada: 49,393 pulgadas<sup>3</sup> ó 613 cm<sup>3</sup>.

Volumen de la cámara de combustión: máximo: 204,333 cm<sup>3</sup>.

mínimo: 55,727 cm<sup>3</sup>.

Líquido refrigerante: mezcla de glicerina y alcohol (glicol etileno).



Sezioni principali del monocilindro CFR utilizzato per determinare il NO di una benzina, secondo procedure normalizzate. Il rapporto di compressione può essere variato con uno spostamento del gruppo cilindro-testa lungo il suo asse, ottenuto facendo ruotare la vite senza fine che ingrana con la ruota dentata, solidale con la madrevite accoppiata alla filettatura alla base del cilindro.

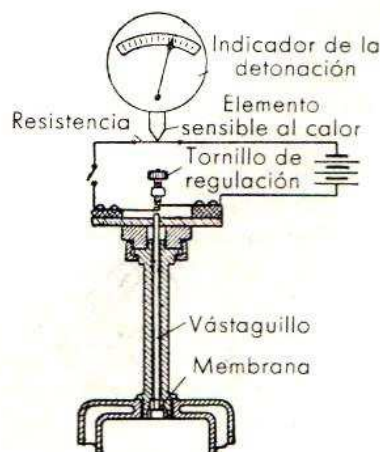
Para que las condiciones de trabajo del motor de ensayos se aproximen a las de trabajo de los motores corrientes, se realiza un calentamiento adecuado de la admisión, se agrega una resistencia eléctrica que rodea al tubo de admisión y una regulación precisa de la temperatura del cilindro a través del líquido refrigerante y un sistema de frenado o carga acoplada a una dínamo por intermedio de correas en V.

El motor C.F.R. permite establecer el número octano que corresponde a:

1. Distintas gasolinas puras, procedentes de petróleos de diferentes orígenes.
2. Combustibles puros tales como el alcohol y benzol.
3. Mezclas antidetonantes como aquellas en que intervienen estos elementos o el TEP mezclado con la gasolina.

El dispositivo destinado a determinar la “detonación incipiente” o aparato registrador, ha sido ideado por Thomas Migdley. La exactitud de su indicación está basada en la elasticidad de un diafragma que empuja la varilla cuando actúa sobre él, la presión del gas de combustión. Su elasticidad es tal que el diafragma, bajo los efectos de la presión de los gases de la combustión normal, es decir, cuando no hay detonación, no se deforma en absoluto de manera que la aguja permanece inmóvil. Cuando se produce detonación, el brusco aumento de la presión afecta al diafragma que se deforma y vibra.

La detonación incipiente tan pronto como mueve la aguja, llamada “bouncing pin”, califica como régimen detonante, quedando fijado el límite máximo de compresión admitido por el combustible.



Desde que los alcoholes enfrían significativamente el aire de admisión, el ensayo de número octano en el motor C.F.R. requiere un equipo especial que permita recalentar el aire de admisión, en particular para el ensayo MON.

Para que durante los ensayos también sea posible hacer funcionar el motor C.F.R. con diferentes presiones de admisión (sobrealimentación) se le agrega un equipo adicional, conformado por un compresor de aire alternativo accionado por un motor eléctrico alimentado por la corriente producida por el generador movido por el propio motor C.F.R. para absorber la potencia producida.

El compresor también puede ser de tipo centrífugo o de paletas, y el aire a presión es enviado a un tanque de almacenamiento de menor volumen y desde éste hacia otro tanque de mayor volumen pero a menor presión comunicado directamente con la admisión del motor.

El tanque de pequeño volumen y alta presión constituye un depósito de reserva, mientras el tanque de gran volumen y baja presión se regula la presión del aire a voluntad.

Este equipo permite determinar el número octano de cada combustible ensayado para cada relación de compresión y para diversas presiones de admisión o alimentación.

Entonces:

1. Puede fijarse la presión de admisión y realizar sucesivos ensayos con diferentes compresiones.
2. Puede hacerse funcionar el motor con una relación de compresión determinada e ir variando la presión de alimentación.