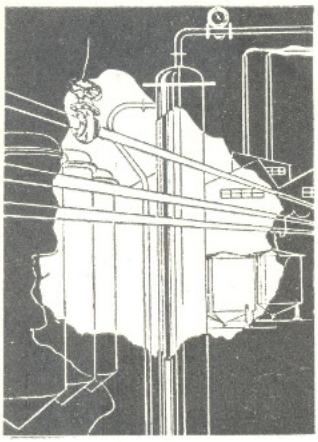


QUIMICA INDUSTRIAL

PUBLICACION CIENTIFICA TECNICA E INFORMATIVA DE LA ASOCIACION DE QUIMICOS INDUSTRIALES DEL URUGUAY

AÑO X — VOL. III
NUM. 2

JULIO - DICIEMBRE
1957

COMISION DE REVISTA

Director-Redactor Responsable:
Quím. Ind. LUIS C. NEIROTTI

◆

Administrador:
Quím. Ind. OMAR J. ROSSELLI

◆

Cuerpo de Redacción:
Q. Ind. TOMAS BENSE
Q. Ind. ROBERTO DELL'ACQUA
Q. Ind. WALTER DIBARBOURE
Q. Ind. FRANCISCO OLIVERA

◆

Secretario:
Sr. WALTER SUAREZ

◆

Colabora en este número:
Q. Ind. REMIGIO GABIN

Dirección y Administración:
Avda. AGRACIADA 1464 - Piso 13
Montevideo - Uruguay

SUMARO

EDITORIAL ..... Pág. 49

SECCION CIENTIFICA

LA DETONANCIA — SUS CAUSAS Y EFECTOS — SU MEDIDA Y CONTROL — GENERALIDADES. — Quím. Ind. Luis C. Neirotti ..... " 51

PRECURTIDO AL CROMO EN EL CURTIDO CON EXTRACTO DE QUEBRACHO. — Quím. Ind. Humberto Giovambattista (La Plata - Argentina) ..... " 74

ESTUDIO TECNOLOGICO DE LA CASEINA COMO MATERIAL PLASTICO. — Nuevo procedimiento. — Ing. Quím. Gregorio P. Maidana (Santa Fe - Argentina) " 81

NYLON. — Quím. Ind. José Storace ..... " 97

DETERMINACION DEL AZUFRE ACTIVO EN DESTILADOS DEL PETROLEO. — Quím. Ind. César Papa Blanco ..... " 112

"QUIMURGIA DEL MAIZ". — Quím. Ind. Jacinto R. Muxi Freccero ..... " 116

APORTE AL ESTUDIO DE LOS CURTIENTES NACIONALES (La Corteza de Acacia). — Químs. Inds. Ana María Rivero y María G. Mórtola de Solari ..... " 123

INFORMACION GENERAL

El movimiento profesional universitario y sus relaciones con el movimiento estudiantil ..... " 126

Bibliografía Química Nacional ..... " 133

Noticias Químicas ..... " 134

Nuestra carátula ..... " 48

Autoridades ..... " 48

◆ Precio de un ejemplar: $ 3.00 moneda nacional. Suscripción por volumen de seis números: $ 18.00 moneda nacional.

◆ **Fotocopias y microfilms.** — Se remitirán a requerimiento de los lectores, fotocopias y/o microfilms de los artículos publicados. El precio de los microfilms es de $ 1.00 por página (en negativo). Las copias fotostáticas se remitirán a $ 1.00 por página (en negativo). En ambos casos se recargará el costo de franqueo.

◆ Esta Revista se remite gratuitamente a los socios, a las publicaciones que mantengan canje regular con ella y a las instituciones científicas nacionales que lo soliciten.

◆ SE SOLICITA CANJE, ON PRIE L'ECHANGE, EXCHANGE SOLICITED, PREGIAMIO IL CAMBIO, PEDESE PERMUTA.

◆ Los apartados se solicitarán al presentar los originales y serán de cuenta de los autores.

La Asociación de Químicos Industriales y la Dirección de QUIMICA INDUSTRIAL no siempre se solidarizan con las ideas y juicios emitidos en los artículos de los cuales son responsables sus autores.

LA DETONANCIA

Sus Causas y Efectos – Su Medida y Control

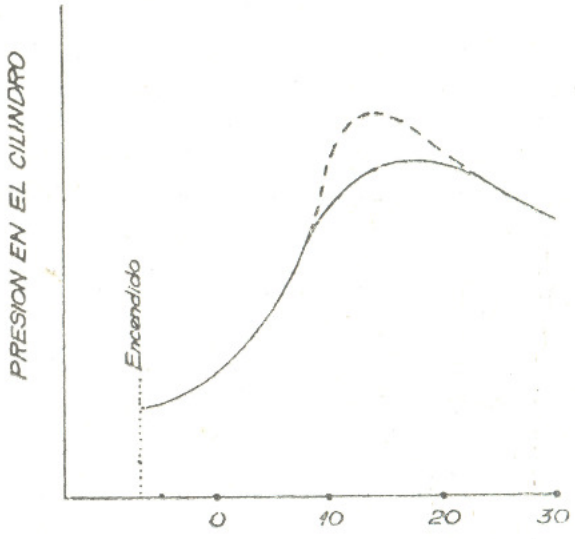
Quím. Ind. LUIS C. NEIROTTI
División Laboratorios — Departamento de Combustibles ANCAP
Montevideo — Uruguay

GENERALIDADES

Desde el punto de vista de la competencia en el mercado, la detonancia es la más importante característica de la nafta. Ello se justifica plenamente si se considera que el rendimiento de un motor de explosión es función de su relación de compresión y el factor limitante de ésta, es precisamente la detonancia.

El fenómeno ha recibido considerable atención y el conocimiento que de él se tiene es hoy aceptablemente bueno. Concretamente consiste en lo siguiente: cuando en un cilindro la masa de aire y combustible ha sido comprimida y se produce el salto de la chispa, se iniciará la combustión de la mezcla, avanzando el frente de mezcla quemada desde la bujía hasta el extremo más alejado de la cámara de combustión. Eso es lo que corresponde a una explosión normal siendo la velocidad de propagación de la llama del orden de 100 mts. segundo. Pero sucede a veces que al avanzar el frente de llama y comprimir la parte de mezcla no quemada, ésta hace explosión subitamente, siendo esta segunda explosión mucho más enérgica que la normal, con velocidades de propagación varias veces superiores a la de aquella y bruscos ascensos de presión y temperatura. (1)

Si en un gráfico se representan las variaciones de presión que ocurren en el cilindro en función de la posición del pistón indirectamente representada por el ángulo del cigüeñal, se observa que la detonancia (línea punteada) provoca una sobrepresión marcada sobre los valores normales. En la práctica el fenómeno se traduce en un golpeteo pronunciado; fuerte vibración y aumento de la temperatura del motor. Si bien un golpeteo ligero no trae en general consecuencias graves para el motor, cuando es intenso trae todas las consecuencias previsibles para un motor que está trabajando en condiciones de temperaturas y presiones que difieren sensiblemente de las de diseño.



Lo que sucede en el motor es un fenómeno de auto encendido de una parte de la mezcla, que se ve sometida a una compresión adiabética por parte de la mezcla ya quemada y por el movimiento ascendente del pistón en su carrera. La temperatura final en una compresión adiabética está dada por la conocida expresión:

$T_f = T_i \left(\frac{P_f}{P_i}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$ y en consecuencia todo factor que tienda a elevar el valor T_f será un factor prodetonante. La compresión no es rigurosamente adiabática pero no se comete error apreciable al considerársela así, pues tiene lugar en un tiempo muy pequeño. Como referencia digamos que una carrera del pistón en un motor que gira a 4000 R. P. M. se efectúa en un tiempo del orden de 0,01 seg.

Las reacciones químicas que suceden durante la combustión con detonancia no se conocen exactamente, pero parece estar suficientemente demostrado que durante la compresión se formarían radicales libres de muy corta vida, los que por oxidación darían lugar a la formación de peróxidos. Estos por descomposición darían lugar a la generación de nuevos radicales libres oxigenados los que actuarían como trasmisores de una serie de reacciones en cadena, algunos de cuyos productos intermediarios han sido identificados como aldehidos cetonas y ácidos. Esta acumulación de productos de oxidación sería la causa del auto encendido de la mezcla carburada no quemada lo que se manifestaría por la detonancia.

De acuerdo con esto debería existir cierta relación entre la facilidad de auto encendido de un combustible y su tendencia a detonar. Con la finalidad de demostrarlo se efectuaron numerosos ensayos con combustibles como hexano y heptano normal, dietilester, iso-octano, etc., en diversos laboratorios; de ellos merecen mencionarse los llevados a cabo por Leary en Instituto Tecnológico de Massachussets y por Levedahl y Howard en el National Bureau of Standards. En estos experimentos se utilizaron motores capaces de llevar las relaciones de compresión hasta 20:1 o aún superiores, teniendo ello como finalidad el provocar la explosión de la mezcla carburada por el calor desarrollado durante la compresión. Como el encendido debía efectuarse sin chispa, previamente se habían sacado las bujías. En todos los casos se observó que la combustión se desarrolla en dos etapas. En la primera de ellas se constata una emisión de luz poco intensa y la producción de presiones moderadas. En la segunda etapa se observa una emisión de luz muy intensa y tiene lugar un brusco aumento de presión, siendo precisamente aquí que tiene lugar la detonancia. Se pudo demostrar además que la segunda etapa es inducida por la primera y que si ésta so llega a producir un cierto valor mínimo de presión y temperatura, la segunda no tiene lugar. Del ensayo de los diversos combustibles se dedujo que la resistencia a la detonancia es una función de la presión necesaria para iniciar la reacción de la primera etapa y usa función inversa del calor desarrollado en la misma. (2)

FACTORES QUE AFECTAN LA DETONANCIA.

Los factores que afectan la detonancia son muchos pero podemos reunirlos en dos grupos: los que dependen del motor y los que dependen del combustible. Veremos también más adelante de que manera interviene el aceite lubricante es la detonancia, aún cuando es un elemento que debería ser ajeno a la combustión. En general serán factores prodetonantes todos aquellos que tiendan a elevar la temperatura de la mezcla durante la combustión por encima de los valores que se aceptan como normales.

FACTORES QUE DEPENDEN DEL MOTOR.

De acuerdo con la expresión (1) es fácil ver que el aumento de la relación de compresión es factor que favorece el aumento de temperatura al término de la compresión. Lo mismo puede decirse con respecto al uso de compresores de mezcla pues al aumentar la cantidad de la misma en la cámara de combustión la explosión será de mayor intensidad y mayor será el calor desprendido.

La velocidad de giro influye en la detonancia pues de ella depende la rapidez con que el calor es disipado. En consecuencia al incidir la velocidad sobre la temperatura del motor lo hace también sobre la detonancia. También según (1) el aumento de la temperatura de admisión será un factor de golpeteo.

El avance del encendido es otro factor primordial, pues cuanto más se avance el salto de la chispa con respecto al P. M. S. de la carrera de compresión, mayor será la superposición de los aumentos de presión provocados simultáneamente por el movimiento ascendente del pistón, y por la expansión provocada por la combustión de la mezcla.

El otro factor importante es la relación combustible-aire. Cuando una mezcla pobre se va enriqueciendo, van aumentando la temperatura y la velocidad de propagación del frente de llama, hasta llegar a valores máximos cuando la mezcla es estequiométrica. A partir de ese punto los valores decrecen nuevamente.

Digamos finalmente que hay otros factores pro-detonantes tales como diseño de la cámara de combustión, enfriamien-

to de las paredes del cilindro, turbulencia de la mezcla dentro del mismo, etc.

Debido a que la detonancia depende de todos esos factores los motores utilizados en su medida deben tener perfectamente establecidas las condiciones en las cuales se efectúan los ensayos.

De acuerdo a la finalidad perseguida los motores de ensayo pueden tener los factores mencionados absolutamente fijos como ocurre con la velocidad de giro, avance del encendido (métodos F-1, F-3, y F-4), relación de compresión (método F-4), temperatura de precalentamiento de mezcla, etc.; o bien variables de acuerdo al nivel de detonancia del combustible como avance de encendido (método F-2), relación de compresión (métodos F-1, F-2 y F-3).

Los factores que inciden sobre la detonancia pero que dependen del combustible y del lubricante se irán señalando luego de la descripción de los métodos de ensayo.

METODOS DE DETERMINACION DE DETONANCIA

Las diferencias en las condiciones operatorias de los diversos tipos de motores, y aún las diferencias que en un mismo motor resultan de las exigencias a que debe responder, hace que no exista un método único capaz de medir la detonancia siendo la misma, función de tantas variables. Es prácticamente universal la adopción de los métodos ASTM como procedimientos de medida y expresión de resultados, aunque muchos otros métodos ya se utilizan o están a estudio en los laboratorios de las grandes compañías petroleras o fabricantes de motores.

Los cuatro ensayos ASTM se efectúan en motores monocilíndricos y las condiciones operatorias se observan en el cuadro 1. (3)

Los métodos Research y Motor determinados sobre un mismo combustible dan una buena idea del valor anti detonante del mismo y de sus posibilidades para ser utilizados en motores de explosión del tipo usado en automóviles. En efecto ellos representan el comportamiento del combustible en dos condiciones típicas del uso del mismo. Puede asimilarse el método Research a las condiciones del motor de un automóvil que se detiene con frecuencia o camina lentamente tal como sucede en el tráfico de la ciudad, es decir condiciones de temperaturas moderadas y bajas velocidades. Por el contrario el método Motor representa bien el funcionamiento del motor del automóvil en condiciones de marcha en carretera es decir con alta velocidad y temperaturas elevadas. De la observación de las condiciones operatorias de los métodos F-1 y F-2 es evidente que el F-2 trabaja en condiciones más severas que el F-1. A aquellos combustibles que disminuyen apreciablemente su valor antidetonante al aumentar la severidad de las condiciones operatorias se les llama sensitivos. La sensitividad es una cualidad muy importante de los combustibles y se acosumbra expresarla matemáticamente por la diferencia entre el número octano Research y el número de octano Motor de un combustible. Como ejemplo: un combustible que tiene 90 octanos por el método F-1 y 82 por el F-2 tiene una sensitividad de 8 unidades.

Veremos posteriormente la relación que existe entre la sensitividad y la estructura química.

Los métodos Aviation y Supercharge representan el comportamiento de las gasolinas en las dos condiciones típicas de los motores de explosión de uso en aviación. El método F-3 trabaja al igual que los métodos F-1 y F-2 por aspiración directa, no hay sobrealimentación, y la mezcla es pobre, es decir que la cantidad de nafta es inferior a la estequiometricamente necesaria para la combustión. El método F-3 es muy similar al F-2 y los resultados obtenidos en ambos ensayos sobre un mismo combustible, son muy próximos. En general una misma nafta ensayada según los métodos F-2 y F-3 arroja por el primer método un resultado inferior en unas pocas unidades al valor del segundo. El ensayo F-3 es pues representativo de las condiciones de crucero de los motores de aviación o sea cuando el motor no trabaja a su máxima potencia. Pero existen circunstancias en las cuales el motor debe rendir su máxima potencia las cuales se producirán más o menos frecuentemente según el carácter del vuelo, y evidentemente se presentarán toda vez que el avión tenga que iniciar el mismo. Es para esos momentos que el motor debe ser sobrealimentado (supercharge) lo cual se consigue por aumento de la presión de admisión y enriquecimiento de la

CUADRO I

CONDICIONES	MOTOR	RESEARCH	AVIATION	SUPERCHARGE
Velocidad del motor R.P.M.	900-9	600-6	1200-12	1800-45
Aceite del carter Grado SAE	30	30	50	50
Presión de aceite a la temp. de trabajo Lbs. por pulg²	25 a 30	25 a 30	50 a 70	55 a 65
Temperatura del aceite del carter °F	135-15	135-15	150-10	165-5
Temperatura de enfriamiento °F				
Intervalo	212-3	212-3	374-9	375-5
Tolerancia	1	1	.....	.....
Humedad del aire de admisión: gramos de agua Lb. de aire seco	25 a 50	25 a 50	25 a 50	70 máx.
Temperatura de admisión °F	100-25	125-2	125-5	a
Temperatura de mezcla °F	300-2	.....	220-2	.....
Avance del encendido APMS. — Grados	b	13	35	45
Luz en la bujía	0.020	0.020	0.020	0.020
Luz en el distribuídor	0.020	0.020	0.020	0.015
Luz de las válvulas				
Admisión	0.008	0.008	0.008	0.008
Escape	0.008	0.008	0.006	0.010
Relación Combustible/aire	ajustado para máx. detonancia	ajustado para máx. detonancia	ajustado para máx. temperatura	varía de 0.08 a 0.1

a — 125 — 5° F antes de pasar por el medidor de caudal.
225 — 5° F en el receptor de donde se hace la admisión.

b — Varía automáticamente con la relación de compresión, el valor básico es de 26° APMS para relación de compresión 5:1.

mezcla hasta un límite que va más allá de la cantidad estequiométricamente necesaria. Cuando una mezcla pobre se va enriqueciendo, gradualmente va aumentando la potencia del motor pero también su temperatura y detonancia. Cuando la mezcla pasa a ser rica la temperatura decrece nuevamente lo que veremos más adelante viene a favorecer a ciertos tipos de hidrocarburos (olefinas y aromáticos) y trae como consecuencia un aumento de potencia.

Como medida de simplificación, en adelante llamaremos motonaftas y aeronaftas a los respectivos combustibles para motores de automóviles y de aviación.

Por definición se establece que el número de octano ASTM de un combustible es el número entero más próximo al porcentaje volumétrico de iso-octano (2-2-4 trimetilpentano) en la mezcla con heptano normal que iguala las características de detonancia del combustible, cuando se le ensaya de acuerdo al método especificado.

Para el caso de Métodos F-3 y F-4 se establece además que los resultados de los ensayos de combustibles cuya deto-

nancia les asigne un número de octano ASTM superior a 100, se expresarán en términos de iso-octano más plomotetraetilo. Vemos pues que de acuerdo a estas definiciones los métodos F-1 y F-2 están previstos hasta un valor tope de número de octano 100, lo cual era un valor suficientemente elevado para motonaftas hasta hace muy poco tiempo. Sin embargo veremos más adelante que esa barrera ya ha sido superada y en qué términos se encuestra planteado el problema en la actualidad.

METODOS F-1 y F-2. — Siempre según la ASTM, el número de octano de un combustible (Research o Motor) se determina comparando su tendencia a detonar con la que tienen dos combustibles de referencia (mezclas de iso-octano y heptano normal) de número de octano conocido, en las condiciones standards especificadas en el cuadro 1. Esto se efectúa variando la relación de compresión para el combustible en ensayo hasta obtener la detonancia standard definida por el método y medida por un medidor electrónico de detonancia. Cuando la lectura del medidor para el combustible en ensayo está comprendida entre las dos lecturas correspondientes a los combustibles de referencia, el número de octano de la muestra se calcula por interpolación.

A

Veamos ahora en qué consiste el instrumento medidor de detonancia. El elemesto captador del golpeteo es un pick-up Lane-Wells cuyo fundamento es el siguiente: entre dos láminas de acero se encuentra firmemente aprisionada una barrita magnética alrededor de la cual hay un bobinado. La lámina A está colocada en la cabeza del cilindro y forma parte de la pared de la cámara de combustión. Por lo tanto los picos de presión producidos por la detonancia flexionarán la chapa y comprimirán la barra magnética, lo que generará una corriente en el bobinado proporcional a las variaciones de presión. La corriente así generada es amplificada electrónicamente y medida en un instrumento medidor común. Por supuesto el instrumento no está destinado a captar y medir valores aislados de golpeteo sino que actúa como un verdadero integrador y las lecturas son así estables y reperesentan los valores medios.

METODO F-3. — El número de octano Aviation de un combustible se determina comparando la temperatura promedio indicada por una termocupla colocada en la cámara de combustión para el combustible, con los promedios de mezclas de referencia de número de octano conocido, efectuando el ensayo en las condiciones indicadas en el cuadro 1. El ensayo se efectúa variando la relación de compresión para el combustible en ensayo hasta obtener la temperatura standard de la termocupla definida por la "línea de comparación de temperaturas" y medida por una termocupla y un potenciómetro. Cuando la temperatura obtenida para la mezcla se encuentra entre las temperaturas de dos mezclas de referencia que no difieren entre sí en más de dos números de octano por debajo de número de octano 100, o no más de las cantidades prescriptas de plomotetraetilo en iso-octano por encima de 100, el resultado del ensayo de la muestra se calcula por interpolación. Nos quedaría por aclarar que la "línea de comparación de temperaturas "se determina prácticamente cada día y para cada motor y que ella indica las temperaturas a las cuales se deben efectuar los ensayos de la muestra problema. Su trazado es simple y consiste en determinar dos puntos de la misma de la manera siguiente: se determina la relación de compresión a la cual benceno puro y una mezcla de 87 volúmenes de iso-octano y 13 de heptano normal dan la misma temperatura de la termocupla. Se reduce en una unidad la relación de compresión hallada y se determina la temperatura de la termoupla nuevamente, usando benceno como combustible.

Se tiene así definida la línea del benceno. Se transportan los valores de temperaturas y relaciones de compresión halladas a un papel para gráficas trazándose la línea del benceno. Se define "la línea de comparación de temperaturas" como a la línea que pasando por el pun-

to en que el benceno y la mezcla de 87 octanos dan igual temperatura de termocupla, tiene una pendiente que es el 75% de la correspondiente a la curva del benceno.

METODO F-4. — El número de octano Supercharge se determina comparando la potencia hasta el límite de detonancia incipiente desarrollada por el combustible, con las desarrolladas por dos combustibles de referencia de número de octano conocido cuando se efectúa el ensayo de acuerdo a las condiciones del cuadro 1. La operación se efectúa a relación de compresión constante variando la presión de aire de admisión y la inyección de combustible (variables independientes del ensayo), y midiendo la presión media efectiva en suficiente número de puntos, como para definir las curvas de respuestas del combustible y de las mezclas de referencia. Cuando la potencia en el límite de detonancia incipiente para la muestra se encuentra entre los valores de dos combustibles de referencia elegidos adecuadamente, el resultado se calcula por interpolación a la relación combustible aire de máxima potencia para el combustible de referencia más detonante. En este caso la detonancia no se mide por medio de instrumentos sino que se hace auditivamente aunque se permite el uso de instrumentos como una ayuda para determinar la detonancia incipiente.

OTROS PROCEDIMIENTOS DE DETERMINACION DE DETONANCIA.

Hemos hablado con cierto detalle de los métodos ASTM pues ellos son los casi universalmente adoptados como oficiales. En la práctica se efectúan muchos ensayos de interés para determinadas compañías o instituciones de investigación técnica en motores mono o multicilíndricos.

Además de los EE. UU., en muchos otros países se realizaron trabajos relacionados con el desarrollo de métodos para la medición de la detonancia. De ellos debe mencionarse a Inglaterra sobretodo en lo referente a aeronaftas, debido a las necesidades que le fueron creadas por la segunda guerra mundial. Los primeros ensayos de aeronaftas se efectuaron en motores CFR, F-1 o F-2 modificados pero debido a que tales modelos no daban resultados concordantes con los resultados obtenidos en los motores ingleses de aviación de enfriamiento por aire, debieron ser abandonados. Surgieron así dos modelos de motores monocilíndricos de ensayo que fueron llamados Bristol Pegasus y Bristol Hércules los que se usaron con gran éxito en los laboratorios ingleses. En ellos se utilizaban relaciones de compresión de 8:1, velocidad de 2400 RPM, inyección directa y sobrealimentación. Los resultados se expresaban al principio por el punto más alto (peak performance) de la curva potencia consumo de combustible, posteriormente se hizo por comparación con combustibles de referencia como en los métodos ASTM.

Mucho antes de la terminación de la segunda guerra mundial y por razones de coordinación entre los Aliados, estos métodos fueron abandonados adoptándose oficialmente los métodos F-3 y F-4, aún cuando éstos no se adaptaban mejor a las necesidades de los motores ingleses que los métodos Bristol. Desde ese entonces los métodos ASTM han tenido una aceptación prácticamente universal.

También existen otros instrumentos de medida de golpeteo. No debe olvidarse el uso de la aguja de rebote (bouncing pin) que fuera usado hasta 1955 en los métodos ASTM. En este caso una lámina de acero colocada en la cabeza del cilindro se flexiona por efecto de las sobrepresiones del golpeteo. Este movimiento se trasmite a una varilla vertical la que a su vez cierra un circuito eléctrico al poner en contacto dos láminas conectadas a una fuente eléctrica. La cantidad de corriente que pasa por el circuito es proporcional a la intensidad del golpe, (ya que la velocidad del motor es constante), y se utiliza la misma para generar calor en un elemento calefactor cuya temperatura es a su vez medida por una termocupla. Otro pick-up utiliza las propiedades piezo-eléctricas de los cristales y aún los hay que son verdaderos condensadores cuya capacitancia varía por la presión ejercida sobre sus láminas. Como auxiliares en la determinación de detonancia incipiente en el método supercharge se usan los medidores de detonancia Sperry KM — 1 y ELI Phillips 102 A.

Nos referiremos ahora a la determinación de número de octano en carretera y de las necesidades de octano de un motor.

NUMERO DE OCTANO EN CARRETERA.

Como en último término es el uso de un combustible en un motor determinado, quien va a dictaminar la calidad antidetonante de aquél; se decidió efectuar ensayos de detonancia directamente en automóviles. De ese modo y en base a los resultados obtenidos se podrían efectuar modificaciones en los motores de laboratorio de manera de obtener una correlación satisfactoria entre los dos tipos de ensayo.

Los primeros ensayos serios se efectuaron bajo los auspicios del C. F. R. (Coordinating Fuel Research de los EE. UU.) en 1932 en Uniontown hill, Pennsylvania. El laboratorio se transformaba en un tramo de carretera hormigonada de cuatro kilómetros de largo cuyos primeros 300 mts. tenían una pendiente de 9%, los 300 mts. siguientes una pendiente de 4%, luego 200 mts. con 0,5%, y los 3200 mts. restantes nuevamente con pendiente de 9%. Los resultados de los ensayos con diferentes automóviles efectuados sobre 15 combustibles representativos de las naftas existentes por entonces en el mercado, , dieron como resultado el procedimiento de ensayo que se conoció como "Método C. F. R. para ensayos de detonancia de motonaftas en carretera".

Específicamente se establecía que para ensayar una nafta de acuerdo con este método se debía determinar:

1º La intensidad del golpeteo de la muestra en ensayo a diferentes velocidades usándose el cambio de mayor velocidad (directa) y efectuando la determinación durante lentas aceleraciones o desaceleraciones, siendo la carga del vehículo prácticamente igual en todos los casos.

2º Las intensidades relativas del golpeteo producida por combustibles de referencia bajo las mismas condiciones y durante períodos iguales de aceleraciones o desaceleraciones. Se debía determinar las velocidades a las cuales el golpeteo era máximo debiendo ello hacerse con los combustibles de referencia y con la muestra en ensayo.

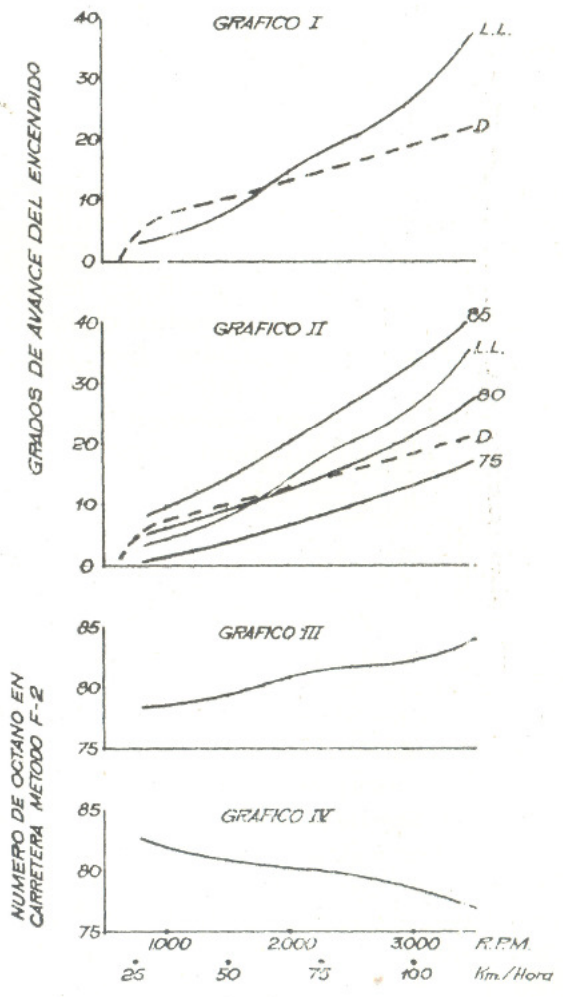
2º Finalmente se comparaba la intensidad de golpeteo de la muestra con la de dos combustibles de referencia estando todos ellos en condiciones de velocidad de máximo golpeteo.

Los resultados se expresaban en términos de combustible de referencia cuya máxima detonancia era igual al de la muestra en ensayo.

En estos procedimientos se establecía además que los mismos debían ser efectuados con toda la mariposa del acelerador abierta y con velocidad dentro de los límites de 35 a 80 kmts. por hora.

Posteriormente se siguió trabajando sobre los métodos de ensayo en carretera y se desarrolló un nuevo procedimiento que fué denominado F-8 Borderline (línea límite) por el C. R. C. (Coordinating Research Council), nacido durante la última guerra del C. F. R. Este método ha sido de extraordinaria utilidad para fabricantes de motores y productores de combustibles. (5)

Para efectuar el método de línea límite con un motor cualquiera se sustituye el avance automático de la chispa por un dispositivo manual. Se fija entonces el avance en un valor determinado, por ejemplo 7º (Ver Gráf. 1), y al motor que



está funcionando en el mínimo posible de velocidad, se le abre bruscamente la admisión. Sucede entonces que el mo-

tor golpea fuertemente al principio, decreciendo la detonancia a medida que el motor se acelera. Se determina la velocidad de giro del motor en el momento preciso en que el golpeteo deja de ser perceptible auditivamente, supongamos que ello suceda a 1400 R. P. M. para el avance de 7º. Tenemos así determinado el primer punto de la gráfica. Se repite la operación hasta tener suficiente número de puntos como para trazar la línea límite L. L. La razón del nombre de esta línea es evidente ya que cualquier punto por encima de ella corresponderá a un funcionamiento con detonancia, por debajo en cambio será normal. Si sobre el mismo gráfico se traza ahora la línea correspondiente a los avances de chispa dados automáticamente por el distribuidor del motor en cuestión, tendremos una nueva línea que llamaremos D. Observando en el gráfico I las dos curvas trazadas vemos que con el combustible en ensayo el motor tendrá un funcionamiento normal por encima de 1800 R. P. M. pero será con detonancia por debajo de ese valor.

Veamos ahora como expresamos los valores hallados por este método en términos de número de octano F-2 por ejemplo. Sobre el gráf. I se trazan las líneas-límite determinadas con combustible de referencia de número de octano F-2 conocidos, se tiene el gráfico II. Se toma un punto de la línea LL correspondiente a una velocidad cualquiera, (por ejemplo 1750 RPM), y se observa cuál es la línea de combustible de referencia que pasa por el mencionado punto (1750 RPM corresponde número de octano 80 F-2). Se tiene así determinado el "número de octano en carretera equivalente F-2" para la velocidad elegida. Repitiendo la observación para cada uno de los puntos de LL se tendrá el número de octano equivalente para todas las velocidades. Esto es precisamente lo que se muestra en el gráfico III.

De la observación del gráfico II puede sacarse también la curva que represente las necesidades de octano del motor a las diferentes velocidades. Para ello bastará observar para cada punto de la línea de avance del distribuidor D. cual es la curva de combustible de referencia de número de octano F-2 conocido que la intercepta.

Transportados esos valores como en el caso anterior a un gráfico se tendrá la curva que representa las necesidades del motor en calidad antidetonante del combustible a todas las velocidades del mismo, gráfico IV. De la observación de los gráficos anteriores pueden sacarse conclusiones interesantes. En primer lugar porque ellas relacionan el comportamiento en carretera de los combustibles ,con el comportamiento de los mismos en los motores de laboratorio. También permiten determinar las especificaciones de un combustible para satisfacer las necesidades de un cierto motor. Finalmente muestran claramente que las necesidades de número de octano F-2 de los motores de automóviles decrecen con la velocidad y que entre velocidades de 30 y 100 kmts. por hora, el decrecimiento de número de octano necesario es del orden de diez unidades. Ello justifica el que actualmente se utilice más el número de otano F-1 que el F-2 para expresar el valor antidetonante de los combustibles para automóviles, ya que las condiciones de baja velocidad son las que requieren mayor número de octano.

RELACION ENTRE ESTRUCTURA QUIMICA Y DETONANCIA

De los ensayos efectuados según los procedimientos indicados se ha deducido que la tendencia a detonar de los hidrocarburos varía dentro de límites muy amplios. Igualmente pudo demostrarse que cuando muchos de ellos, se reúnen para formar una mezcla, el valor detonante de la misma puede seguir aproximadamente la regla de las mezclas o apartarse mucho de ella según la proporción y estructura química de sus diversos componentes.

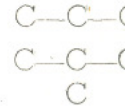
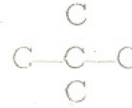
Veamos ahora cual es el comportamiento de los hidrocarburos de las distintas series desde el punto de vista de su detonancia. (6)

PARAFINAS. — Considerando el grupo de parafinas normales solamente, puede decires que el número de octano disminuye al aumentar el número de átomos de carbono de su molécula.

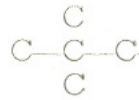
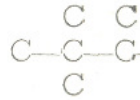
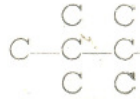
	No octano F-2
Metano	110
Etano	104
Propano	100
Butano	92
Pentano	61
Hexano	25

Heptano	0
Octano	—17
Nonano	—45

Si se consideran las isoparafinas puede decirse que a igual número de ramificaciones, la detonancia aumenta al aumentar el número de carbonos de la cadena lineal.

		No octano F - 2
ISOBUTANO (2 metil propano)	.....	99
ISOPENTANO (2 metil butano)		89
ISOHEXANO (2 metil pentano)		73

Las diolefinas tienen muy buen valor antidetonante, especialmente si los enlaces están conjugados. Desgraciadamente la tendencia a la oxidación y a la formación de gomas de estos compuestos los hace indeseables como componentes de las naftas.

		No octano F - 2
ISO - OCTANO (2,2,4 trimetilpentano)		100
(2,2,3 trimetilpentano)		102
TETRANO (2,2,3,3 tetrametilbutano)		103

También se ha demostrado que la antidetonancia aumenta con el número de ramificaciones de la cadena, y que además a igual número de ramificaciones la antidetonancia aumenta a medida que los grupos sustituídos forman grupos más compactos.

OLEFINAS. — Si se considera a las monoolefinas, puede decirse que su número de octano es superior a las parafinas de igual número de carbonos.

Para una olefina determinada el número de octano aumenta al desplazarse el doble enlace hacia el centro de la cadena o sea al aumentar la simetría molecular, cosa que ya hemos visto. Si se consideran monoolefinas con cadenas laterales se deben hacer las mismas consideraciones que se hicieran con respecto a las parafinas. Si se compara la tendencia a detonar de las olefinas sustituídas con las parafinas correspondientes se encuentra que las primeras tienen igual o mayor número de octano que las segundas por el método F-1 aunque el fenómeno inverso ocurre si se utiliza el método F-2. Como éste ya vimos que era un método de condiciones más severas se deduce que las definas sustituídas son sensitivas, ya que disminuyen su número de octano cuando aumenta la severidad del método en ensayo.

NAFTENOS. — Los naftenos presentan valores de números de octano intermedios entre los valores de las otras series. El número de octano decrece al aumentar el número de átomos de carbono del ciclo y disminuye también al aumeatar el número de átomos de carbono en las cadenas laterales.

AROMATICOS. — Los hidrocarburos aromáticos presentan características muy particulares desde el punto de vista de su detonancia. Algunas propiedades que ya hemos señalado al hablar de las olefinas, aparecen aquí de manera mucho más pronunciadas. Tales propiedades parecen ser debidas a la presencia de dobles enlaces.

Observando el cuadro de valores de algunos de los hidrocarburos aromáticos más comunes, es fácil advertir que una característica de los mismos es su gran sensitividad. En efecto, estos compuestos varían notablemente su detonancia con la severidad del método en ensayo,

lo cual, lejos de significar que es inconveniente su uso en motonaftas; ha hecho que éstos tengan a los hidrocarburos aromáticos como a componentes de primerísima importancia. Sus notables valores antidetonantes serán de incalculable valor en condiciones poco severas (baja temperatura, baja velocidad, etc.) y es hoy aconsejable que una buena motonafta tenga suficiente cantidad de aromáticos como para asegurar una sensitividad de 6 u 8 unidades, mínimo exigible para el buen funcionamiento de los motores modernos.

Dijimos anteriormente al hablar del método F-4 o Supercharge que en los motores de aviación debía recurrirse al uso de sobrealimentadores no sólo como medio de compensación por el enrarecimiento del aire, sino también en circunstancias especiales como las exigencias de máxima potencia para decolar. Dijimos también que cuando una mezcla combustible/aire pasaba a ser rica se producía un descenso de temperatura en el motor. Estas circunstancias son particularmente favorables para los hidrocarburos aromáticos ya que los mismos son muy sensibles a los aumentos de temperatura. De la observación del cuadro II se desprende que los hidrocarburos aromáticos son altamente sensitivos y de elevado valor antidetonante en mezcla rica.

Las razones expuestas hacen también a los hidrocarburos aromáticos componentes esenciales de las aeronaftas y las exigencias de nafta de elevado número de octano y alta sensitividad, son la causa del auge extraordinario de los procesos de cracking y reforming especialmente de los catalíticos.

También es observable en el cuadro II que la incorporación de cadenas laterales aumenta aún más la antidetonancia y la sensitividad. Se comprueba también que las posiciones en que los grupos sustituídos presenten mayor simetría molecular serán las mejores. Como caso único puede apreciarse que en esta serie de hidrocarburos el número de octano aumenta al aumentar el tamaño molecular o los puntos de ebullición.

COMBUSTIBLES NO HIDROCARBONADOS.

Hay compuestos como alcoholes, cetonas, aminas (en especial aromáticos) que se han utilizado por su buen valor antidetonante, pero su importancia es despreciable en la actualidad.

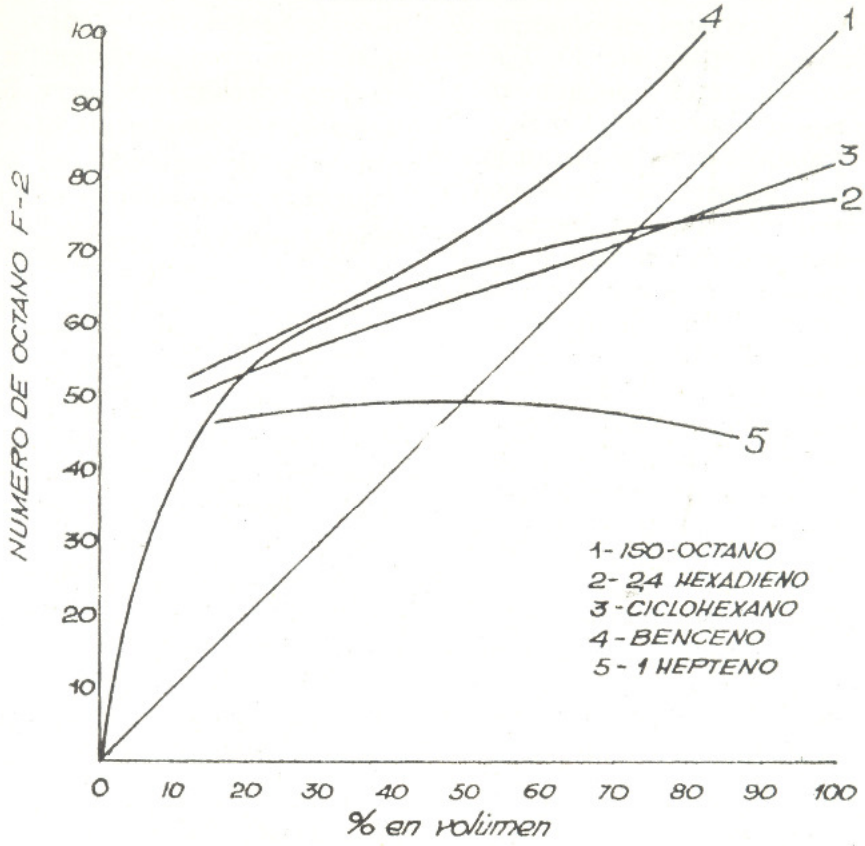
NUMERO DE OCTANO DE MEZCLA.

Cuando se mezclan dos hidrocarburos de cierto número de octano y luego se determina la detonancia de la mezcla, puede suceder que el valor hallado sea el que se calculó por la regla de las mezclas, pero también puede ocurrir que el referido valor sea mayor o menor sue el calculado. Cuando se mezclan hidrocarburos de la misma serie las variaciones son generalmente pequeñas. En cambio cuando se agregan ciertas olefinas o aromáticos a hidrocarburos parafínicos, el aumento del número de octano que provocan es mucho mayor que el esperado de acuerdo a los porcentajes en que se efectuó la mezcla, otras veces sucede lo contrario. Como ejemplo digamos que mientras el hexadieno 1, 5, aparece en las mezclas con un número de octano inferior a su valor real, el hexadieno 2, 4, puede provocar un aumento en la antidetonancia de sus mezclas igual a la que provocaría un hidrocarburo con número de octano doble del que posee aquella olefina.

CUADRO II

	Nº de octano F-1	F-2	Sensitividad	Nº de octano F-4
Benceno	108	87	21	123
Tolueno	120	90	30	149
Etilbenceno	128	97	31	—
Ortoxileno	121	97	24	99
Metaxileno	144	104	40	—
Paraxileno	154	104	50	164
Cumeno	128	87	41	148
Mesitileno	161	109	52	172

GRAFICO V



El número de octano de mezcla se determina corrientemente haciendo precisamente mezclas con los combustibles patrones de la escala de número de octano, o sea iso-octano y heptano normal. En general se ha visto que cuando se adicionan olefinas, las primeras adiciones provocan un alto número de octano de mezcla, pero que las adiciones posteriores tienen una influencia cada vez menor. En cambio los hidroarburos aromáticos aumentan el número de octano de mezcla al aumentar la proporción en que los mismos son mezclados. Ello seguramente se debe a que al determinar el número de octano de la mezcla, se hace a una compresión menor que para el hidrocarburo puro o sea en condiciones menos severas.

Los hidrocarburos parafínicos y nafténicos dan números de octano de mezcla más o menos proporcionales a los porcentajes mezclados. La causa de ello radica en que la escala básica para detonancia está hecha con hidrocarburos parafínicos.

En el gráfico V se observan los números de octano de mezcla de algunos hidrocarburos típicos.

EXPRESION DE RESULTADOS EN ENSAYOS DE DETONANCIA

Ya hemos dicho al describir los métodos ASTM que el valor antidetonante de un combustible se expresa por su número de octano, entendiéndose por tal el porcentaje de iso-octano que en mezcla con heptano normal iguala las características de detonancia del combustible en ensayo, cuando se les compara de acuerdo al método especificado.

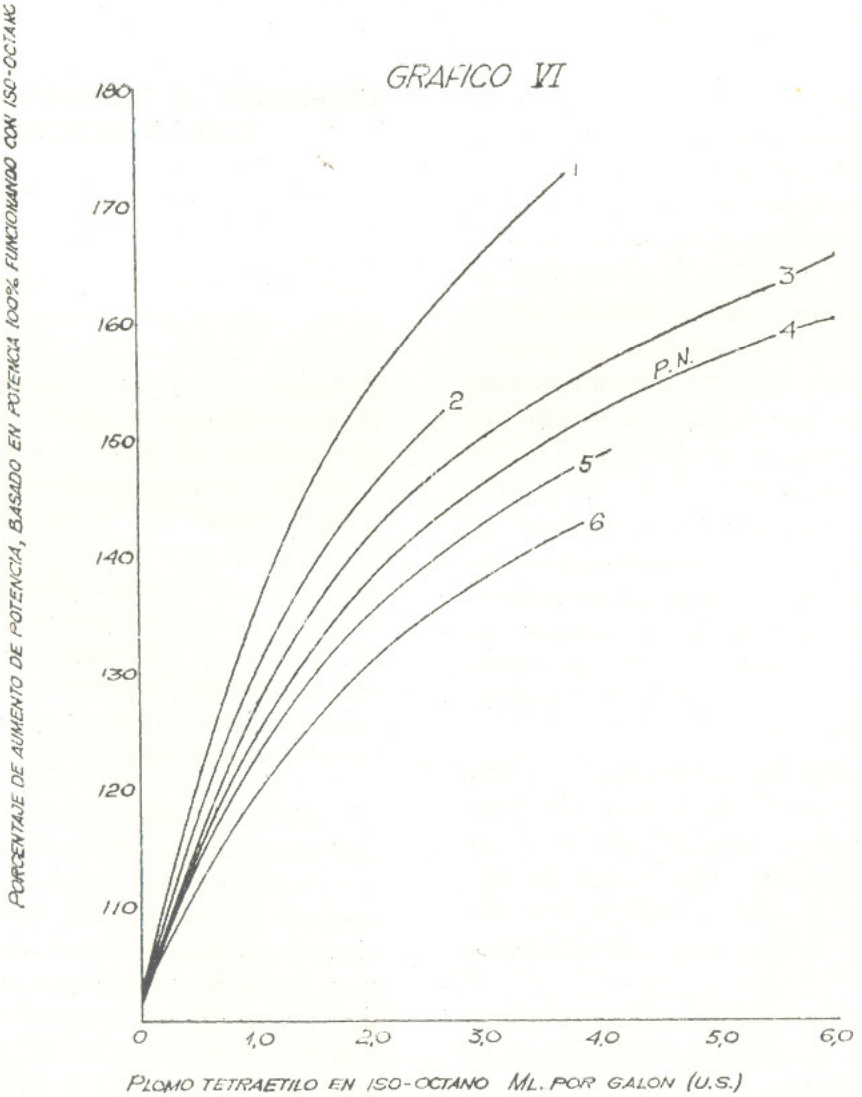
Se ha tomado arbitrariamente al iso-octano como 100 y al heptano normal como 0, de la escala. De acuerdo con esto no hay ningún problema de expresión de resultados por debajo de número de octano 100, pero ¿qué sucede por encima de ese número? Para mayor claridad estudiaremos separadamente el caso de las aeronaftas y de las motonaftas.

AERONAFTAS. — En 1938 se planteó por primera vez la necesidad de exten der la escala de números de octano por encima del tope 100. Se hicieron muchas sugerencias entre las cuales debemos señalar: el uso de un combustibl de referencia de mayor antidetonancia que el iso-octano, la adición de plomotetraetilo al iso-octano, extrapolación de

la curva de relaciones de compresión con relación al número de octano, el uso del llamado índice de funcionamiento o "performance number", etc. En 1941 el C. R. C. luego del estudio de numerosos trabajos desarrolló el ensayo que se conoció como método F-4 o Supercharge. De acuerdo a este método los resultados se expresarían como antes en términos de número de octano hasta el valor 100, y de ahí en adelante se expresarían en términos de iso-octano más plomo tetraetilo. Bien pronto se advirtió que esta era una forma un tanto complicada de expresar resultados y que además presentaba serios inconvenientes para el cálculo de las mezclas. Como eran por entonces las fuerzas armadas las únicas que usaban combustibles de alto valor antidetonante, fueron ellas las que decidieron transformar los resultados obtenidos en los motores de ensayo CFR, en números de una escala especial que se llamó índice de funcionamiento (Army-Navy Performance Number), que representaremos por P. N. (7)

Los ensayos que precedieron a la definición del P. N., consistieron en efectuar medidas de potencia de varios tipos de motores de aviación en condiciones de sobrealimentación. Se tomó como base para determinar el porcentaje de aumento de potencia, el valor de ésta cuando el combustible era iso-octano puro. Tomando a ese valor como 100 se midieron los porcentajes de aumento de potencia de los diversos motores hasta el límite de una detonancia incipiente, usándose como combustible iso-octano adicionado de cantidades crecientes de plomo tetraetilo. Algunas de las curvas obtenidas se muestran en el gráfico VI, y de ellas se eligió una que sólo relativamente representaba valores medios con respecto a las demás. La curva elegida (número 4 del gráfico VI) no era suficientemente suave en todas sus partes como para adoptarla oficialmente como base de expresión del valor antidetonante del combustible en función de su rendimiento (P. N.).

GRAFICO VI



Los más interesados en la solución del problema, que lo eran entonces las fuerzas armadas de los EE. UU. (Bureau of Aeronautics y U. S. A. F.), resolvieron encomendar a la Ethyl Corporation la preparación de una curva suficientemente suave como para adoptarla como patrón. Tal cosa fué hecha en junio de 1944 y desde entonces esos valores son los oficialmente aceptados en prácticamente todo el mundo.

Los valores de P. N. fueron aceptados y tabulados por la ASTM aunque ésta mantuvo como oficial la expresión en términos de iso-octano más plomo tetraetilo. El índice de rendimiento (P. N.) ha sido muy útil en el pasado, y lo sigue siendo, aún cuando presenta inconvenientes serios. El mayor inconveniente de la curva P. N. es la discontinuidad con respecto a la curva de números de octano (Ver más adelante gráfico VII). Para obviar este inconveniente se sugirió el continuar la curva P. N. por debajo de número de octano 100. También se sugirió hacer una nueva escala usando triptano (2, 2, 3 trimetilbutano) en lugar de iso-octano, etc. Finalmente el temperamento adoptado y que se mantiene hasta el día de hoy, es el uso de la antigua escala de números de octano hasta el valor 100, y solamente se emplea el valor del P. N. por encima de 100. Digamos finalmente que el empleo en gran escala de la turbina de gas como medio propulsor en aviación, ha colaborado a evitar el replanteo de este viejo problema.

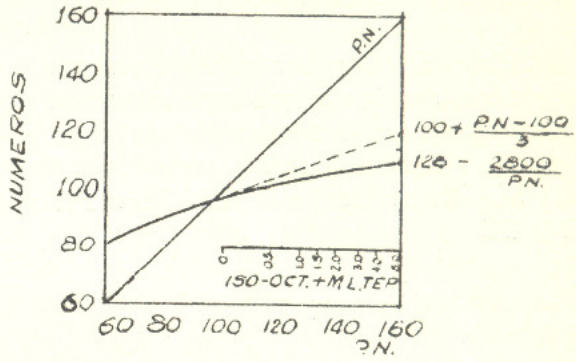
MOTONAFTAS. — Después de 1945 y como resultado de la competencia y de la demanda de la industria automotriz, el número de octano de las motonaftas subió de 75 F-1 a aproximadamente 100 (y aún más) en la actualidad. Por supuesto estas cifras se aplican al mercado estadounidense, siendo en general inferior en el resto del mundo. (8), (9) y (10)

Por primera vez en 1952 el CFR (Motor Fuels División) advirtió la necesidad de extender la escala de números de octano por encima de 100. De los estudios realizados entonces se sacó en conclusión que era necesaria una mayor experimentación antes de tomar decisiones y que era recomendable tomar como base de estudios posteriores sobre la extensión de la escala de números de octano, la ya existente del P. N., usada en aeronaftas, o bien según una nueva ecuación:

$$\text{Número de octano} = 128 - \frac{2800}{PN.}$$

Ambas curvas pueden observarse en el gráfico VII.

GRAFICO VII



Pero fué recién en 1955 que surgió la necesidad imperiosa de extender la escala de medición de detonancia. Desde entonces el CFR (Motor Fuels División) y la ASTM (Research División) trabajaron en común a fin de solucionar el problema lo más rápidamente posible.

Las discusiones de los dos grupos dieron como resultado establecer las siguientes premisas con respecto a la escala a adoptar.

1) La actual escala sería mantenida por debajo de 100.
2) La escala por debajo de 100 sería contínua y se expresaría en términos de heptano normal e iso-octano.
   Por encima de 100 se expresaría en términos de iso-octano y plomo tetraetilo.
3) La extensión de la escala de números de octano debería ser contínua con la escala actual en la región de 100 octanos.
4) La extensión de la escala de número de octano debería tener una relación definida con el rendimiento en el motor en la región superior a 100. Dicho de otra manera esto significaría que la extensión debería ser lineal con respecto a alguna medida del rendimiento del motor hasta el límite de la detonancia incipiente, o lo que es lo mismo la extensión debería dar números de igual magnitud a través de toda su longitud.

Es probable que nunca se encuentre una solución ideal para el problema pe-

ro es firme propósito del CFR y de la ASTM decidir este mismo año el camino a seguir. Recientemente la General Motors ha hecho una propuesta que parece ser la solución más conveniente para el problema de la extensión de la escala de números de octano. Esta se haría en base a la siguiente fórmula:

$$\text{Número de octano} = 100 + \frac{PN - 100}{3}$$

(gráfico VII). Por ser probablemente la solución a adoptar nos extenderemos un poco acerca del desarrollo de esta expresión, que se debe principalmente a W. M. Wiese de la G. M. Corporation. (11) (12)

encima de ese valor. El resultado se observa en el gráfico IX.

La discontinuidad que se aprecia en el punto 100 hace que la adopción del P. N. no esté de acuerdo con la premisa 3. No por eso se abandonó el uso del P. N. pues era por demás auspicioso el hecho de que cumpliera perfectamente con la premisa 4. Se advirtió que una solución indicada sería el trazar una curva de una pendiente tal que la discontinuidad en 100 fuera eliminada.

La pendiente elegida fué la resultante de unir los puntos 95 y 100 de la escala de número de octano, y la ecuación que representaba a la nueva curva es la (2) ya indicada.

GRAFICO VIII

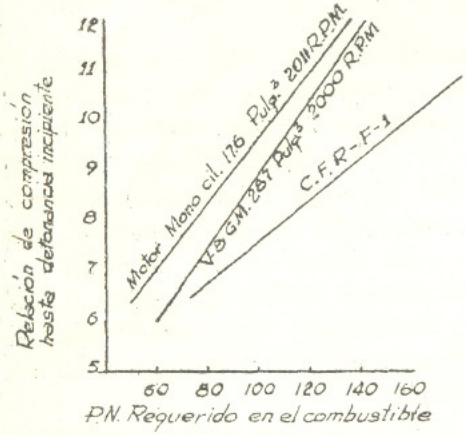


GRAFICO IX

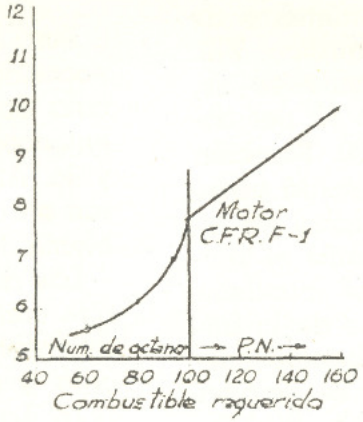
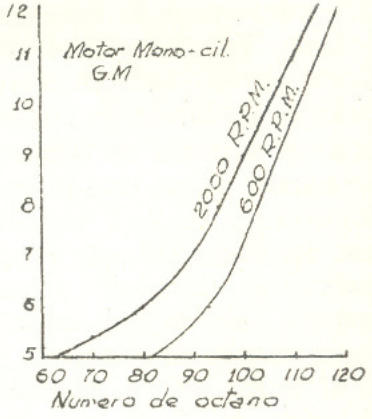


GRAFICO X



Se efectuaron primero ensayos con diversos motores (gráfico VIII) y se observó que la relación de compresión admitida por los diversos motores hasta el límite de una detonancia incipiente era una función lineal de la calidad antidetonante del combustible expresada en valores P. N. El uso del P. N. sería pues satisfactorio con respecto a la premisa 4 indicada. Se repitió luego el ensayo anterior expresando en términos de número de octano la antidetonancia hasta el valor 100, y en términos de P. N. por

Como puede apreciarse en el gráfico X, mediante el uso de la nueva escala de número de octano las premisas 4, 3 y 1 se cumplen.

Faltaba solamente conciliar la expresión de número de octano con lo requerido en la premisa 2. Se desarrolló entonces una expresión que convierte en valores de número de octano los resultados de valor antidetonante expresados en términos de iso-octano y plomo tetraetilo:

$$N.O. = 100 + \frac{1{,}0 + 0{,}736\ PTE - \sqrt{1{,}0 + 1{,}472\ PTE - 0{,}035216\ (PTE)^2}}{0.0204\ P.\ T.\ E.}$$

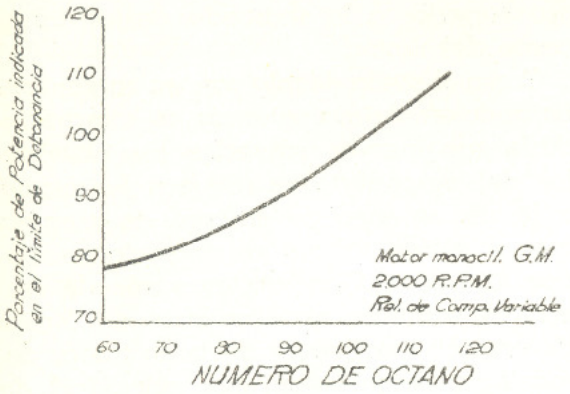
siendo P. T. E. el contenido en plomo tetraetilo expresado en Ml. por Gl. (U. S.) de iso-octano.

De acuerdo con la fórmula (2) y como puede verse en la gráfica VII la nueva escala tiene una pendiente de 1/3 con respecto a la curva P. N. Ello por otra parte concuerda perfectamente con el comportamiento de los combustibles de número de octano superior a 100 en motores de aspiración normal (no sobrealimentados).

Dicho en otros términos el porcentaje de aumento de potencia de un motor de aviación sobrealimentado cuando usa como combustible iso-octano más plomo

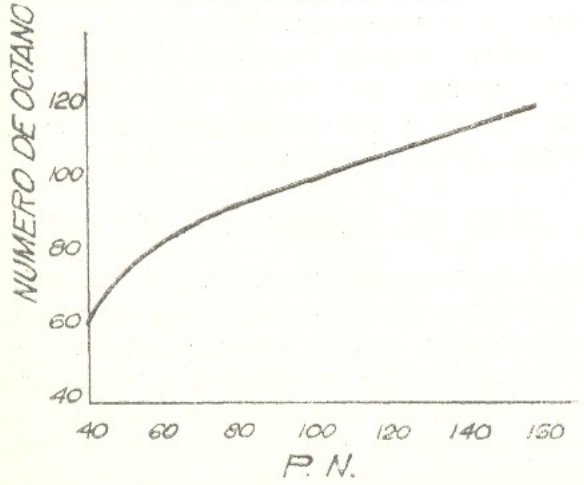
tetraetilo con respecto a la potencia cuando usa iso-octano puro, es aproximadamente tres veces mayor que el obtenido en un ensayo análogo realizado con un motor de automóvil de aspiración normal.

GRAFICO XI



Es así que un combustible constituído por iso-octano más 6 Ml por Gl de plomo tetraetilo que en la escala P. N. tiene un valor 160, lo que significa un aumento de potencia de 60% con respecto a iso-octano puro; tiene solamente un valor de 120 octanos de acuerdo a la expresión (2). La justicia en asignar 120 octanos a ese combustible cuando se le usa en motores del tipo empleado en automóviles, en lugar de asignarle un valor P. N. 160 resulta evidente de la simple observación del gráfico XI. La relación entre el número de octano según la nueva escala y el P. N. se muestra en el gráfico XII.

GRAFICO XII

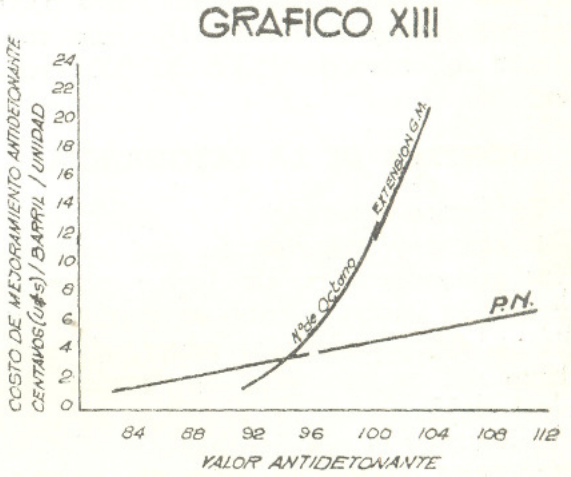


IMPORTANCIA DE LA PRECISION EN LA DETERMINACION DE NUMERO DE OCTANO.

La ASTM establece para los métodos F-1, F-2 y F-3 una reproducibilidad de 2 unidades. Para el método F-4 la misma es de 25 unidades al nivel de 90 octanos, 1, 5 unidades al nivel de 100 y 0,25 ml. de plomo tetraetilo por galón (U. S.) (aprox. 3 P. N.) en el nivel de 1,25 ml. de plomo tetraetilo por galón (U. S.) de iso-octano (130 P. N.).

El grave inconveniente de esta baja reproducibilidad, es el mayor costo por unidad de octano a medida que el nivel de octano se hace más alto. (13) (14)

GRAFICO XIII



El gráfico XIII muestra los costos de mejoramiento del número de octano de una moderna refinería de los EE. UU. de 50.000 barriles por día que elabora motonaftas. Sus procesos incluyen unidades de topping, cracking, alkilación y polimerizado. Como procesos de mejoramiento del número de octano se utiliza una unidad de reforming catalítico y otra de extracción por solventes con reforming térmico del refinado. En el gráfico es posible observar que desde el punto de vista económico y a los efectos del cálculo de mezclas, la escala más conveniente es la de los valores P. N. pues ofrece un costo más uniforme a los diversos niveles de detonancia. Pero en la práctica la escala de uso común para motonaftas es la de números de octano, y en lo que se refiere a la extensión de la misma por encima de 100 es casi seguro que se hará en base a la propuesta por Wiese de la G. M. En cualquiera de estos dos casos vemos que en la proximidad del valor 100 y por encima de

él, los costos de mejoramiento de la calidad antidetonante suben rápidamente. Se hace entonces necesario efectuar la determinación de número de octano con mayor precisión de manera de no tener que vender naftas de un número de octano más elevado que el convenido, a efectos de evitar reclamos por parte del comprador. Algo se mejora efectuando varias determinaciones en lugar de una, pero ello significa directa e indirectamente nuevos gastos. La solución deseada es la obtención de un método de determinación mejorado que permita una reproducibilidad mucho mayor.

Un método de esa naturaleza se encuentra a estudio del comité respectivo de la ASTM y se estima que la puesta en servicio del mismo, significaría para los refinadores de los EE. UU. una economía del orden de U$S 20.000.000 anuales.

CONTROL DE LA DETONANCIA

Ya hemos descripto el fenómeno de la detonancia y mencionado sus lamentables consecuencias. La lucha para su control la llevan a cabo en distintos terrenos el operador del motor, el fabricante del mismo y el elaborador del combustible.

CONTROL EJERCIDO POR EL OPERADOR DEL MOTOR.

CASO DEL MOTOR DE AVIACION.— El piloto de un avión tiene en sus manos algunas armas para evitar la detonancia. (15)

El fenómeno en este caso no es muy perceptible auditivamente y no resulta fácil diferenciarlo de los ruidos normales del motor y de la hélice. En general se nota el funcionamiento con detonancia por indicaciones anormales de los instrumentos, tales como disminución de la presión efectiva acopañada por una elevación anormal de la temperatura de la cabeza del cilindro. Como en último término es precisamente la temperatura en la cabeza del cilindro el factor determinante del golpeteo, el piloto debe hacer todo lo que está a su alcance para evitar que la misma llegue a valores anormalmente elevados. Es con esa finalidad que se evitan los calentamientos excesivamente prolongados, especialmente cuando el avión no está contra el viento para aprovechar al máximo la corriente de aire de enfriamiento.

También se evitan largos recorridos en el suelo a favor del viento antes de decolar por la razón ya enunciada. Al efectuar el decolaje se hace con la mezcla plenamente rica de manera de usar el exceso de combustible como medio de enfriamiento. Esto como ya hemos visto significa un aumento de la potencia disponible. Tampoco se hace el decolaje con temperatura en la cabeza del cilindro superior a la indicada por el fabricante del motor.

Como el avión decola con su motor trabajando a máxima potencia, es imprescindible que una vez salvados los obstáculos del aeropuerto se reduzca la misma a la de ascenso de crucero de manera que el motor trabaje en condiciones menos rigurosas. Una vez en vuelo de crucero se controla no excederse del límite de presión efectiva es decir de tomar demasiada potencia a una velocidad de motor insuficiente. Si en crucero fuera necesario tomar altura deberá compensarse la disminución del enfriamiento mediante el uso de una mezcla más rica.

Otro elemento que debe ser controlado es la temperatura del carburador pues la calefacción tan necesaria cuando hay posibilidades de formación de hielo, puede llegar a ser un factor pro-detonante cuando el funcionamiento normal del motor mantiene una temperatura adecuada en la admisión.

Cuando en un motor de avión se nota una detonancia intensa, en general puede hacerse un control rápido de la misma cerrando el acelerador lo que provoca una disminución de presión dentro de la cámara de combustión.

Otro medio efectivo de disminuir esa presión es disminuyendo la presión media efectiva al freno a una determinada potencia, aumentando la velocidad de giro. Esto trae aparejado otro efecto beneficioso pues un alto régimen en el motor significa una mayor turbulencia en la mezcla y por consiguiente una combustión más rápida y homogénea.

CASO DEL MOTOR DE AUTOMOVIL.

Los motores de automóvil son construídos como para dar un funcionamiento satisfactorio con un especificado tipo de combustible. En lo referente al valor antidetonante de éste debemos recordar lo que ya hemos dicho al hablar de "necesidades de octano de un motor". Pero

puede suceder que el operador del motor no tenga la posibilidad de proveerse del combustible que satisfaga esas "necesidades"; en ese caso puede recurrir como paliativo al atraso de algunos grados en el avance del encendido o bien al uso de una junta de tapas de cilindros de mayor espesor. Esto último lo hacen con frecuencia los propios fabricantes de automóviles que deben enviar sus máquinas a países donde no hay suministro de combustible de adecuado número de octano.

Ambas modificaciones tienen como consecuencia una disminución de la potencia del motor pero aún así pueden en ciertos casos ser soluciones adecuadas para evitar la detonancia.

En cuanto a los factores de funcionamiento que favorecen la detonancia, debemos mencionar una prolongada marcha a alta velocidad o bien en condiciones de gran exigencia para el motor, como subir cuestas empinadas o con excesiva carga.

Igualmente serán factores pro-detonantes todos los que tengan como consecuencia un aumento de temperatura de la cabeza del cilindro. Entre otros mencionaremos a un avance excesivo del encendido, un funcionamiento defectuoso del termostato del sistema de refrigeración, acumulación de depósitos en el mismo, mal funcionamiento del ventilador o una acumulación excesiva de depósitos carbonosos dentro de la cámara de combustión. La formación de depósitos influye en primer lugar porque hace más pequeña a la cámara de combustión y en segundo lugar porque puede producirse otro fenómeno completamente distinto pero a menudo asociado con la detonancia, es lo que se conoce como pre-encendido. Este como su nombre lo indica, consiste en el encendido de la mezcla carburada antes del momento indicado por el salto de la chispa. En cierta manera obra como si se tratara del funcionamiento del motor con un excesivo avance del encendido.

El pre-encendido es provocado por un punto incandescente o excesivamente caliente dentro de la cámara de combustión. El mismo puede ser un punto del resíduo carbonoso formado por la combustión incompleta del combustible (o del lubricante como veremos más adelante), algún punto de una válvula o aún por los electrodos de la bujía a una temperatura muy alta por no ser del tipo adecuado al motor.

Trataremos ahora con algún detalle la relación que existe entre lubricación y detonancia en los motores de automóviles.

INFLUENCIA DEL LUBRICANTE SOBRE LA DETONANCIA. — La influencia del aceite lubricante sobre las necesidades de número de octano del motor son puestas de manifiesto luego que el automóvil ha recorrido algunos miles de kilómetros. Ello se debe a los depósitos que se producen en la cámara de combustión por combustión incompleta del aceite y del combustible.

En los últimos años se ha conseguido reducir notablemente los depósitos provocados por el lubricante usando el tipo de lubricante multigrado.

Estos se elaboran con estrechos cortes de destilación, prescindiendo de mezclas con aceites pesados (bright stock), y con el agregado de aditivos mejoradores de índice de viscosidad, detergentes e inhibidores de corrosión. Para mostrar la influencia del aceite lubricante, entre otras se realizó una experiencia (16) muy interesante por Esso Research Laboratories N. Y. EE. UU., en la cual se ensayaron ocho automóviles americanos modelos 1953-54 correspondientes a cuatro marcas diferentes. Todos los automóviles tenían trasmisiones automáticas y válvulas a la cabeza. Los motores eran de 6 cilindros en línea y V-8 y las relaciones de compresión variaban entre 7,5 y 8,25. Todos los automóviles recorrieron en caravana 10.000 kilómetros (50% en ciudad, 50% suburbano) con velocidad máxima de 60 kilómetros por hora.

Cada 1300 kilómetros aprox., se determinaba el "requirimiento de número de octano del motor" por el método Uniontown que hemos descripto.

En todos los casos se comprobó que el número de octano requerido va aumentando a medida que se van formando depósitos en el motor, y que al cabo de unos 4000 kilómetros se llega a un equilibrio. Al número de octano determinado en ese punto se le llama "número de octano requerido en equilibrio". El combustible usado fué el mismo en todos los casos y el lubricante fué en la mitad de los automóviles del tipo multigrado SAE 20W - 20 y en la otra mitad de los automóviles fué SAE 20 del tipo "pre-

mium". Los dos aceites eran del tipo tratado por solventes y con los mismos aditivos excepto que solamente el SAE 20-W 20 contenía mejoradores de índice de viscosidad. Los ensayos arrojaron como promedio los siguientes resultados:

Lubricante	Nº requerido en equilibrio
SAE 20W-20	84.0
SAE 20	86.9

También se repitió la experiencia (17) anterior usando motores experimentales de alta compresión. En realidad eran los mismos motores de la experiencia anterior a los cuales se modificó hasta llevar sus relaciones de compresión a valores comprendidos entre 9.5:1 y 10:1. El ensayo se efectuó en igual forma al que hemos descripto y los resultados pueden observarse en el siguiente cuadro:

Lubricante	Kilómetros recorridos	Nº requerido en equilibrio
Multigrado SAE 10W-30	9000	99.5
Común HD. SAE 30	2500	102.5
Multigrado SAE 10W-30	4000	99.5

De lo que antecede se deduce que el simple empleo de un lubricante multigrado en lugar del tipo convencional significó en este caso reducir en aproximadamente tres unidades el número de octano requerido en equilibrio, lo cual es de mucha importancia cuando se trata del uso de combustibles de elevado número de octano.

CONTROL EJERCIDO POR EL PRODUCTOR DEL COMBUSTIBLE.

Las compañías petroleras se hallan constantemente abocadas al estudio de nuevos procesos de destilación, o al ensayo de nuevos aditivos, que permitan elevar el número de octano de los combustibles.

Esa es la participación que les toca en la lucha por el control de la detonancia, tarea cada día más difícil porque el uso continuamente creciente de motores de alta compresión por parte de la industria automotriz, ha llevado a las exigencias de valor antidetonante del combustible a un nivel tal, que pequeños incrementos del mismo significan complicadísimos problemas desde el punto de vista técnico, y fuertes erogaciones desde el punto de vista económico.

PROCESOS PARA AUMENTAR EL NUMERO DE OCTANO. — Veamos primero cómo se produce y cómo se ha previsto producir en el futuro, (18) la nafta que se consume o consumirá en los EE. UU., país que sin lugar a dudas ostenta una posición de avanzada dentro de la industria petrolera.

Para ello ofreceremos en un cuadro los porcentajes de motonaftas que se han obtenido en 1955 por los procesos que se indican, y la forma en que se esperan producir en 1965. Se puede advertir que para 1965 se estima que la nafta obtenida por destilación directa habrá desaparecido del mercado norteamericano, y que la producción por procesos térmicos (cracking y reforming) seguirá cediendo terreno a los procesos catalíticos.

Es sin lugar a dudas un esfuerzo de gran magnitud el que se realiza para controlar la detonancia mediante procesos especiales de refinería.

Es el reforming, el más típico de esos procesos y su incuestionable importancia resulta del hecho de que se haya previsto que para el año 1965 el 50% de la producción total de motonaftas será obtenida por ese proceso.

REFORMING. — Puede aplicarse a cualquier tipo de nafta aunque los mejores resultados se obtienen cuando la carga la constituye una nafta de destilación directa. Las naftas de cracking deben ser mezcladas con naftas de topping pues se necesita para el proceso el hidrógeno que estas últimas pueden proporcionar. Las cargas de alimentación de unidades de reforming deben ser fraccionadas adecuadamente para evitar la presencia de hidrocarburos muy pesados capaces de dar depósitos de carbón sobre el catalizador. Si se usara catalizador de platino es necesario además que las olefinas que pudiera contener la carga sean saturadas previamente.

Finalmente las cargas deben contener una reducidísima cantidad de elementos

	Porcentaje del total producido	
	1955	1965 (estimado)
Destilación primaria	29	—
Cracking térmico	19	11
Reforming térmico	11	4
Cracking catalítico	28	35
Reforming catalítico	13	50

como As, Pb, N y S, etc., a fin de evitar el envenenamiento del catalizador. El reforming catalítico se realiza en las más variadas formas ya que puede efectuarse en lecho fijo, móvil o fluído.

Los catalizadores usados pueden ser del tipo alúmina-óxido de molibdeno, cobalto-molibdato, platino-halógeno - alúmina, platino-alúmina, alúmina-óxido de cromo, bauxita, arcillas, etc.

Las condiciones operatorias varían dentro de límites muy amplios. Las temperaturas de trabajo oscilan entre 850 y 1000° F y las presiones van de 10 o 20 lbs./pulg² para el Isoforming (catalizador: arcillas), hasta 700 lbs./pulg² para el Platforming (catalizador: platino). Sin embargo puede decirse que las presiones de trabajo más comunes oscilan entre 200 y 400 libs./pulg².

Son muy variadas pues las formas y condiciones operatorias pero las reacciones que tienen lugar y el producto obtenido no difieren sensiblemente.

Las reacciones fundamentales que tienen lugar son las siguientes:

1) Dehidrogenación de naftenos transtransformándolos en aromáticos y liberando H^2.
2) Dehidrogenación de parafinas y olefinas con productos de reacción análogas a los de la reacción anterior.
3) Hidrocracking (cracking consumiendo H_2) de moléculas pesadas transformándolas en hidrocarburos saturados.
4) Isomerización de parafinas con obtención de moléculas ramificadas.
5) Desulfuración de las moléculas conteniendo azufre consumiendo H_2 y eliminación final del azufre bajo forma de H_2S.

En instalaciones modernas a veces se ha complementado el reforming catalítico con extracción por solventes con lo cual se pueden obtener efluentes con número de octano F-1 superiores a 100, aún sin el agregado de plomo tetraetilo.

El reforming térmico de las naftas consiste en un cracking moderado de las mismas (promedialmente la temperatura es 1000°F y el tiempo de reacción de 10 a 20 segundos), y la reacción principal da como resultado la obtención de olefinas de bajo peso molecular. Como se produce una gran cantidad de olefinas livianas, C^3 y C^4, a menudo estas plantas se complementan con unidades de polimerización.

Existe también un proceso (Polyforming) en el cual el reformino térmico se realiza en presencia de gases olefínicos con lo cual se consigue simultáneamente reforming y polimerización.

ISOMERIZACION. — Este proceso es en realidad el más típico de los casos de reforming, pues simplemente transforma las parafinas normales en las correspondientes isoparafinas.

Las plantas industriales trabajan fundamentalmente con fracciones C^5 y C^6 ya que los que lo hacen con C_4 en realidad la finalidad es preparar cargas para unidades de alkilación. La operación se efectúa a temperaturas moderadas del orden de 250°F y presiones de 800 - 900 lbs/pulg.²

Como catalizadores se usan principalmente $AlCl_3$ y Pt. La isomerización es, y seguramente lo será más aún en el futuro, un poderoso medio de control antidetonante del combusitble. Ella no solamente permite elevar el número de octano de la carga (ej.: N.O.F-1 de fracción C_5 normal :62 — N.O.F-1 de fracción C_5 isomerizada :85), sino que permite utilizar la excelente susceptibilidad de las parafinas al plomo tetraetilo, cosa que veremos más adelante con algún detalle.

OTROS PROCESOS. — Los procesos de cracking, alkilación y polimerización no son en realidad procesos destinados a mejorar el valor antidetonante de la nafta sino procesos destinados a producir motonaftas o aeronaftas a partir de hidrocarburos excesivamente pesados o

demasiado volátiles como para ser usados directamente.

Los procesos de cracking, y muy especialmente los catalíticos, se han difundido rápidamente. Proporcionan buenos rendimientos en naftas y de buen número de octano, siendo excelentes componentes para mezclas.

Los procesos de alkilación en base a H_2SO_4 o HF se desarrollaron durante la segunda guerra mundial, pues fueron importantísima fuente de suministro de aeronaftas. La tendencia de la aviación hacia los motores a reacción hizo decrecer el interés por los alkilatos. El uso de estos en las motonaftas está limitado por un costo de producción más elevado que el del reforming y polimerización.

En aquellos casos en que el butano e isobutano se obtienen abundantemente y a precio bajo, la alkilación puede emplearse para producir componentes de mezclas para motonaftas.

La polimerización térmica o catalítica con ácidos sulfúrico o fosfórico de las olefinas livianas, es una fuente económica de obtención de naftas de elevado número de octano y excelente componente de mezclas.

De todo lo que antecede se deduce que el reforming y la isomerización son los más eficaces medios para el mejoramiento del valor antidetonante del combustible.

La mezcla de los productos obtenidos por estos procedimientos con los que producen la destilación primaria, el cracking térmico o catalítico, la polimerización y la alkilación permite al refinador preparar toda la gama de valores antidetonantes exigida por los fabricantes de motores.

USO DE ADITIVOS ANTIDETONANTES. — El más generalizado de los aditivos antidetonantes es el plomo tetraetilo, es técnicamente el más conveniente y económicamente el más barato. También se usaron compuestos, como hierro penta carbonilo o un compuesto similar de niquel, los que aunque igualmente efectivos y en ciertos casos mejores aún que el plomo tetraetilo, no tuvieron aceptación por los serios inconvenientes creados por los óxidos abrasivos que se formaban durante la combustión y no eliminados convenientemente.

El aumento del valor antidetonante de los hidrocarburos provocado por una cierta adición de plomo tetraetilo se denomina "susceptibilidad al plomo tetraetilo". Esta es variable con la serie de hidrocarburos.

La serie parafínica es la más susceptible y en menor grado lo son los naftenos. Las olefinas de elevado número de octano son mucho menos susceptibles que las parafinas de igual número de octano. En cambio la diferencia es pequeña con las olefinas de bajo valor antidetonante. Los aromáticos son en general muy poco susceptibles. La sustitución en posición orto o la incorporación de cadenas laterales ramificadas, dan compuestos poco susceptibles. La sustitución en posición para o la incorporación de cadenas laterales lineales da compuestos de buena susceptibilidad.

ACCION DEL AZUFRE. — Muchos estudios se han realizado del efecto del azufre sobre el valor antidetonante de un combustible. Aún cuando no existe una concordancia perfecta entre los numerosos ensayos realizados, en general se estima (19) que la disminución del valor antidetonante del combustible provocada por el azufre es función no sólo del tipo de compuesto de azufre presente, sino también del tipo de hidrocarburo de que está constituído el combustible.

Según Ryan (20) el efecto perjudicial del azufre aumenta con el peso molecular del compuesto del que aquél forma parte. El efecto del azufre es aún más importante cuando se considera la acción sobre el plomo tetraetilo. Según Sachanen (21) al quemar la mezcla en el cilindro se formaría sulfuro de plomo compuesto que no tiene acción antidetonante. Los modernos procesos de reforming catalítico a menudo eliminan el azufre de las cargas por desulfuración catalítica sobre cobalto-molibdeno. Ello no solamente beneficia al proceso evitando envenenamiento del catalizador, sino también beneficia en último término a la nafta suprimiéndole un agente depresor del número de octano e inhibidor de la acción del plomo tetraetilo.

El cuadro adjunto (22) muestra la influencia del azufre y del tipo de hidrocarburos sobre la susceptibilidad al plomo tetraetilo.

Como ilustración de la influencia del tipo de hidrocarburos sobre la susceptibilidad al plomo tetraetilo ofrecemos la composición porcentual de las dos naftas que figuran en último término del cuadro precedente.

SUSCEPTIBILIDADES APROXIMADAS AL PLOMO TETRAETILO DE NAFTAS.

	Nº de octano	Aumento de N. de O. por adición de E. E. P. Ml.					Nº de ensayo
Tipo de nafta		1cc.	2cc.	3cc.	4cc.	6cc.	
Topping. Desulfuración catalítica	54.5	14.9	21.3	25.2	27.9	31.8	20
Natural. Desulfuración catalítica	61.6	13.6	19.6	23.1	25.5	28.9	6
Topping. Bajo azufre Bajo Nº octano	43.4	10.7	16.9	21.1	24.0	28.2	12
Toppin. Bajo azufre Regular Nº octano	55.9	9.7	14.6	17.7	19.8	22.9	26
Toppin. Bajo azufre Alto Nº octano	64.0	9.4	13.9	16.6	18.5	21.1	28
Toppin. Bajo azufre	71.6	8.0	11.8	13.8	15.3	17.4	12
Gasolina natural	65.7	8.4	12.4	14.8	16.8	18.8	38
Topping. Alto azufre	55.9	7.5	11.3	13.7	15.3	17.7	23
Cracking. Desulfuración catalítica	69.9	8.3	10.4	11.7	12.6	13.7	6
Mezclas de isooctanos	83.0	8.1	11.6	14.1	16.2	18.4	8
Cracking. Bajo Nº de octano ..	57.5	8.1	12.2	14.7	16.5	18.9	4
Cracking. Regular Nº de octano.	64.5	6.5	9.5	11.3	12.6	14.4	38
Cracking. Alto Nº de octano	71.6	4.0	5.8	6.9	7.6	8.6	16
Gasolinas aromáticas	72.6	6.2	9.0	10.6	11.6	13.2	13
Cracking catalítico Houdry	75.8	5.9	8.5	9.9	10.9	12.4	30
							280
(*) Cracking. Catalítico Fluído	81.2	6.3	7.3	7.8	——	——	
(**) Destilación Directa	60.5	11.5	15.9	18.5	——	——	

(*) (**) Determinaciones efectuadas en el laboratorio del Departamento de Combustibles de ANCAP.

Los valores hallados son el resultado de ensayos individuales y no valores promedios, como los demás ofrecidos en el cuadro.

	Cracking Cat. F	Dest. Directa
Parafinas	40	57
Olefinas	26	—
Naftenos	—	25
Aromáticos	34	18

Aparte del plomo tetraetilo (23) se han ensayado muchos otros aditivos antidetonantes en sí mismos o bien que por influencia sobre la combustión o los productos resultantes de la misma, reducen los requerimientos de número de octano del combustible. En realidad junto con el plomo tetraetilo se agregan diclo ro o dibromo etileno como elementos de barrido de los resíduos de compuestos de plomo. Como complemento de estos agentes se están ya usando nuevos compuestos de fósforo y boro los que vendrían a actuar como "modificadores" de los depósitos carbonosos de la cámara de combustión. Se dice (24) que resultan muy efectivos como elementos para evitar el pre-encendido, pues aunque no reducirían los depósitos dentro del cilindro, cambiarían su constitución física evitando no sólo el pre-encendido sino también las fugas eléctricas de las bujías provocadas por la conductividad de los depósitos carbonosos, evitando así la posibilidad de "chispas pobres".

CONTROL DE LA VOLATILIDAD DEL COMBUSTIBLE.—Entre las medidas que se han sugerido para control de la detonancia a través del combustible debemos referirnos al control de la volatilidad. En efecto se ha podido demostrar (16) (17) que si se hacen funcionar dos motoresde automóvil iguales con combustibles de igual número de octano pero de distinta volatilidad, y se determina

luego el requerimiento de número de octano en equilibrio, el motor que funciona con el combustible más volátil requiere un combustible de menor antidetonancia. Esto induciría a pensar de que en el futuro y dadas las cada vez mayoyes exigencias de valor antidetonante, los combustibles serían de mayor volatilidad; sin embargo ello no parece constituir la verdadera tendencia ya que la obtención de hidrocarburos pesados por reforming de elevado valor antidetonante, ha influído en el sentido de usar combustibles de baja volatilidad.

De cualquier manera es difícil predecir lo que se hará en este campo como contribución al control de la detonancia.

CONTRIBUCION DEL FABRICANTE DE MOTORES AL CONTROL DE LA DETONANCIA.

El fabricante de motores de encendido a chispa contribuye al control de la detonancia con el diseño cuidadoso de las cámaras de combustión, cabezas de pistones, sistemas de enfriamiento del motor, etc.

En el caso de motores de aviación la atención dispensada a esos detalles constructivos es mayor aún, siendo precisamente en ese tipo de motores que se utilizan el encendido doble, las válvulas de escape enfriadas al sodio, etc.

Siendo de capital importancia desde el punto de vista de la detonancia, la temperatura de la cabeza del cilindro surgió la idea de proporcionar al motor un enfriamiento adicional, mediante la adición de pequeñas cantidades de agua a la mezcla explosiva dentro del cilindro (25). El procedimiento no es nuevo pues ya en 1913 Hopkinson había comprobado que la inyección de agua dentro del cilindro hacía que las explosiones dentro del mismo fueran casi inaunibles. En 1920 fué bastante común el uso del tractor Rumley que funcionaba a kerosene y tenía inyección de agua como supresor de detonancia.

En 1945 Colwell realizó una interesante experiencia con la cual demostró que un automóvil con motor de relación de compresión 7.25:1 que funcionaba con un combustible de 80 octanos, podía funcionar perfectamente bien con un combustible de 70 octanos y una inyección adecuada de mezcla alcohol-agua 1:1.

La inyección de agua se ha ensayado de diversas maneras y se han construído una serie de dispositivos con esa finalidad. Sin embargo no es menos cierto que no ha llegado a ser un medio corriente de supresión de detonancia aún cuando no se cuestiona su eficacia.

En la actualidad, desde el punto de vista mecánico, son dos los problemas cuya solución buscan los especialistas como método de contención de la carrera para la obtención de combustibles de cada vez mayor antidetonancia, ellos son, la carburación por inyección directa y la turbina de gas.

El uso de inyectores en motores de encendido a chispa se ha venido ensayando en Europa y los EE. UU. desde tiempo atrás y actualmente ya existen en el mercado, automóviles con ese sistema de combustible. Parece ser, de acuerdo a la experiencia, no muy grande aún, que la inyección hace que el motor sea menos sensible al valor antidetonante del combustible (26) y además permite con respecto a la carburación normal una mayor eficacia volumétrica del motor a la msima relación de compresión. Esto último se ve parcialmente anulado porque al obtenerse una mezcla carburada de mayor densidad existiría mayor probabilidad de detonancia. También parece ser que el uso de inyección directa significaría una pequeña economía de combustible y permitiría el uso de combustibles algo más pesados.

La parte negativa de este sistema estaría en primer lugar en el elevado costo del equipo (actualmente es de cinco a diez veces más caro que el de carburador común), y que va a requerir un control mucho más riguroso sobre la tensión de vapor del combustible. Aún cuando es temprano para hablar del éxito que alcanzarán los sistemas de inyección directa, lo cierto es que mucho se ha trabajado sobre los mismos y diversos sistemas (27) de accionamiento mecánicos o eléctricos se encuentran ya en el mercado.

El uso de la turbina de gas en automóviles significaría la eliminación del problema de la detonancia en los mismos. Es muy probable que en los próximos diez años este nuevo sistema de propulsión haya recorrido la mayor parte de su camino experimental, y comience a desplazar al motor de explosión de uso terrestre como ya lo ha hecho en el aeronáutico. La turbina de gas de doble eje y del tipo regenerativo es la de ma-

yores posibilidades en la industria automotriz (28)

El nombre de los grandes fabricantes de automóviles como Ford, General Motors, Chrysler, Rover, Austin, Fiat, etc., se encuentra ya asociado a la experimentación en este campo de la técnica, y se espera que para 1957-58 en Europa y para 1960 en los EE. UU., los primeros automóviles equipados con turbopropulsión llegarán al mercado.

Frente a los reparos de unos, se encuentra el optimismo de otros que no vacilan en afirmar que ello significará el fin de la lucha por el control de la detonancia.

BIBLIOGRAFIA

(1) A. H. SAURAT. — Tech. et Appl. du Pétrole 3, 25, 492 (1948).
(2) W. LEVEDAHL y F. HOWARD. — Ind. and Eng. Chem 43, 12, 2805 (1951).
(3) ASTM Manual of Engine Test Methods for Rating Fuels (1955).
(4) C. VEAL, H. BEST, J. CAMPBELL y W. HOLADAY. — SAE Journal Marzo-Mayo 1933.
(5) A. H. SAURAT. — Tech et Appl du Pétrole 3, 27, 529 (1948).
(6) A. H. SAURAT. — Tech et Appl du Pétrole 3, 28, 549 (1948).
(7) T. B. RENDEL. — Pet. Ref. 35, 7, 170 (1956).
(8) L'Industre du Pétrole — 24, 7, 49 (1956).
(9) SAE Journal — 64, 12, 42 (1956).
(10) V. B. GUTHRIE — Pet. Proc. 11, 5, 90 (1956).
(11) W. M. WIESE. — Pet. Ref. 35, 7, 166 (1956).
(12) W. M. WIESE. — Pet. Proc. 11, 6, 58 (1956).
(13) L. W. MOORE. — Pet. Ref. 35, 7, 162 (1956).
(14) The Editors. — Pet. Proc. 10, 6, 837 (1955).
(15) Combustión Cyclone. — Publicatción Wright Aeronautical Corp.
(16) C. FLEMING, N. HAKALA, L. MOODY, R. SCOTT, C. TONGBERG. — Petroleum 19, 1, 18 (1956).
(17) C. FLEMING, N. HAKALA, L. MOODY, R. SCOTT, C. TONGBERG. — Petroleum 19, 2, 63 (1956).
(18) M. SITTIG y W. WARREN. — Pet. Ref. 34, 9, 230 (1955).
(19) A. FOOKSON y A. D. BELL. — Pet. Ref. 27, 9-1, 162 (1948).
(20) J. G. RYAN. — Ind. and Eng. Chem. 34, 7, 824 (1942).
(21) A. N. SACHANEN. — Conversión of Petroleum — Reinhold Publ. Corp. (1948).
(22) W. L. NELSON. — Petroleum Refinery Engineering. — Mc Graw Hill Inc. (1949).
(23) J. G. MAXEY. — Pet. Ref. 35, 5, 230 (1956).
(24) Publicación de "Ethyl Corporation N. Y.
(25) R. I. POTTER. — Pet. Ref. 27, 9-1, 140 (1948).
(26) A. E. CLEVELAND. — Pet. Ref. 35, 7, 145 (1956).
(27) V. B. GUTHRIE. — Pet. Proc. 12, 3, 59 (1957).
(28) L. ELTINGE. — Pet. Ref. 35, 7, 138 (1956).