

## La detonación en los motores de explosión

Por M. AVELLO UGALDE

Ingeniero Industrial y Aeronáutico, Profesor de Teoría de Motores en la Escuela Superior Aerotécnica

DESDE hace algún tiempo tenía la idea de mandar a la REVISTA DE AERONÁUTICA algún trabajo sobre el fenómeno de la detonación en los motores y los problemas que plantea, con objeto de contribuir desde mi esfera de acción a despertar la atención que por parte de los elementos interesados debiera dedicarse a estas cuestiones, que ocupan un primerísimo plano en la actualidad técnica de todos los países, y esta idea, este deseo, se hizo más ferviente hasta convertirse en realidad, después de leer el interesante artículo que con el título «La influencia del valor antidetonante de los combustibles en las características de los motores de Aviación» y debido a la pluma del competente ingeniero de los servicios técnicos de Elizalde D. Manuel Torrado Varela, publicó la REVISTA DE AERONÁUTICA en su número de abril próximo pasado, y al que remito al lector con objeto de evitar repeticiones, al mismo tiempo que cambio en parte el tema del presente trabajo.

*Generalidades.* — Se sabe que el rendimiento térmico de los motores crece con la relación de compresión, a causa de, la elevación de temperatura al final de la compresión, al aumento de las presiones de explosión y media del ciclo, al alargamiento de la expansión, a la disminución de las superficies interiores de enfriamiento, a que se atenúa el efecto perjudicial de los gases residuales sobre la carga, etc., etc.

Sin embargo, al dar valores cada vez mayores a la relación de compresión se llega a un límite, más allá del cual, puede ocurrir que en el motor empiecen a producirse una serie de vibraciones irregulares, bruscas y muy rápidas (autoencendido, encendido prematuro o inflamación por compresión adiabática), o bien se perciban una serie de golpes o choques más o menos fuertes, indicadores de la existencia de una onda explosiva (detonación). Este fenómeno se observa claramente en el motor de un automóvil que marcha a escasa velocidad angular, por ejemplo al subir una cuesta muy apurado, y se le trata de *reprisar* acelerando más, y se puede atenuar hasta hacerlo desaparecer reduciendo el avance al encendido, o mejor aún si se cambia de velocidad. También es conocido en el argot automovilístico con la expresión de *picar biela*.

Estos fenómenos de autoencendido y detonación son completamente diferentes. Si en el motor se presenta aquél y cortamos el encendido, continúa girando. Si lo que aparece es la detonación y hacemos lo mismo, el motor deja de funcionar. En general, al tener ésta lugar y a causa de los calentamientos anormales en determinados puntos de la cámara de explosión, al cabo de unos minutos de funcionamiento anormal se presenta el encendido prematuro de la mezcla. En cualquiera de los dos casos la potencia disminuye considerablemente (fig. 1), y no sólo se deteriora el material por el trabajo anormal a que está sometido, sino que se corre el riesgo de sufrir averías

graves, como es la de romperse un émbolo, u otra semejante. Si se desmontan los cilindros después de un cierto tiempo de funcionamiento en un régimen detonante, se hallan los órganos en un estado lastimoso, en particular

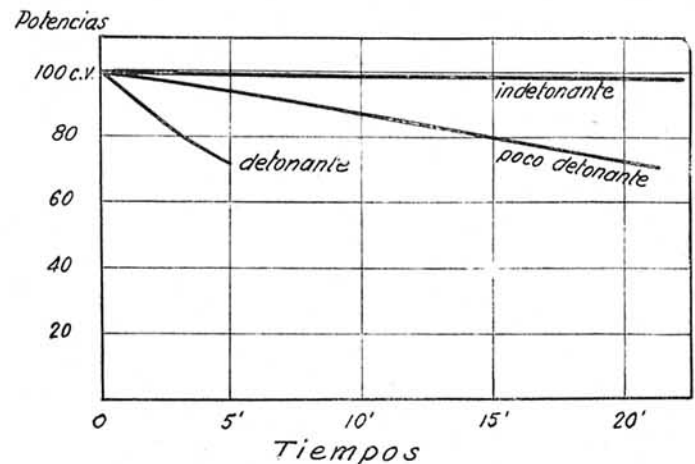


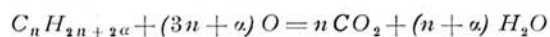
Fig. 1. — Variación de la potencia con el tiempo de funcionamiento del motor, para tres clases de gasolinas.

el émbolo se encuentra picado en una zona parcial del fondo y con los bordes desgranados y mordidos, los segmentos aparecen rotos y engomados y las bujías estropeadas.

*Teoría de los peróxidos.* — Entre las varias teorías que se han ideado para explicar la detonación, es una de las más interesantes, y de la que vamos hacer una exposición sintética, después de decir previamente unas generalidades sobre el desarrollo y propagación de la combustión.

Dentro de la llamada cámara de explosión del motor, la combustión de la mezcla gaseosa puede realizarse regularmente, y en este caso, inflamado un cierto número de moléculas en un punto, esta parte que se quema, propaga concéntricamente por conductibilidad su calor a las regiones próximas que elevan su temperatura hasta alcanzar la de inflamación, y así se continúa. La velocidad de propagación de la llama dependerá de las propiedades físicas de la mezcla, conductibilidad térmica, calor específico, velocidad de las partículas gaseosas, etc., etc. Otras veces la combustión se propaga por medio de una onda explosiva (detonación). Las porciones gaseosas son llevadas a su temperatura de inflamación, por la compresión adiabática que ejercen sobre ellas otras inflamadas rápidamente con anterioridad y que se encuentran a muy elevada presión por no haber podido tener lugar por la celeridad del fenómeno el equilibrio de presiones. La velocidad de propagación se eleva enormemente, pasando desde 8 a 12 metros por segundo, que es entre lo que oscila en la combustión regular, a alcanzar valores hasta de 1.000 metros por segundo. Esta propagación no depende sólo de las propiedades físicas de la mezcla, sino también de las químicas,

teniendo el mayor poder indetonante los hidrocarburos aromáticos, seguidos de los napténicos, olefinicos y parafinicos. Veamos entonces cómo pueden influir las condiciones químicas del combustible. Una gasolina, o más generalmente, un petróleo, no es más que una mezcla, más o menos extensa, de hidrocarburos que se combinan, al arder, con el oxígeno del aire, dando lugar a anhídrido carbónico y vapor de agua; según la reacción siguiente, que formulamos para un hidrocarburo tipo, del que pueden deducirse los demás dando valores a  $n$  y a  $z$ .



en la práctica tendremos, casi siempre, óxido de carbono, porque la combustión no es completa.

De lo que antecede se deduce que estamos ante un caso de oxidación rápida, del que haremos un estudio más detenido para poder investigar las causas de la detonación.

La oxidación de un cuerpo, lenta o rápida, no se verifica de un modo tan sencillo como hemos expresado al referirnos a la esencia. Aunque los estados inicial y final sean los de la ecuación, hay siempre una serie de productos intermedios, los peróxidos, difíciles de descubrir por su inestabilidad, y más aún si la combustión es tan viva como la de los motores de explosión. En éstos se ha podido, cortando bruscamente el encendido, comprobar su existencia en los vapores de escape.

La temperatura influye grandemente en la formación de los peróxidos y en el curso de la oxidación, de tal modo, que desde la que sufren los cuerpos a la temperatura ordinaria, oxidación en frío o auto-oxidación, hasta la explosión de los motores, pasando por las llamas frías de Perkins (que son oxidaciones espontáneas con luminiscencia que se producen en ciertos cuerpos a temperaturas inferiores a la de inflamación), el problema presenta aspectos muy variados, aunque el proceso químico sea el mismo. Experimentalmente se ha podido comprobar en aparatos donde se reproducen artificialmente las circunstancias de funcionamiento de los motores, y posteriormente en estos mismos, la existencia entre el paso de la chispa y la inflamación, de un período primario de tiempo, en que el oxígeno se absorbe lentamente y caracterizado por la aparición de los peróxidos, y otro secundario en el que la combinación se hace rápidamente con formación de productos finales.

Al final de la compresión todas las circunstancias son favorables para la producción de los peróxidos: tenemos la mezcla carburada finamente dividida, la temperatura es elevada, como consecuencia la auto-oxidación tiene lugar y continúa después de saltar la chispa, durante el período primario de preignición antes citado, hasta que comienza la inflamación en el seno de los peróxidos formados, que, como es sabido, tienen un carácter explosivo muy pronunciado, por lo que la onda detonante se produce y se propaga después, con movimiento vibratorio, como se ha observado fotográficamente.

Pero aun hay más todavía: los peróxidos, por sus condiciones catalítica y polimerizante, producen la transformación de los hidrocarburos de la gasolina, especialmente

los diolefinicos, en cuerpos de mayor peso molecular, gomas y resinas, y materias carbonosas que son difíciles de quemar, y obstruyen las tuberías dificultando la marcha del motor.

Por otra parte, las presiones y temperaturas tan elevadas que se producen durante la detonación, pueden dar lugar al *cracking* de las gotas de combustible no quemadas, o que lo han sido incompletamente, es decir, a la descomposición en productos más ligeros que detonan y carbono que ensucia el motor, y esta acción se encuentra favorecida por el ya citado carácter catalítico y polimerizante de los peróxidos.

La simultaneidad de las acciones oxidante y detonadora se ha estudiado independientemente por Dufraisse, Dumanois, Bone y Callendar, entre otros, que coinciden en asimilarlas y ordenarlas, en el sentido de, considerar a los hidrocarburos tanto más detonantes cuanto más oxidables son. En los aromáticos, que son los más indetonantes, no se ha podido, ni siquiera, descubrir trazas de peróxidos.

*Procedimientos para evitar la detonación.* — La detonación puede evitarse con el empleo de combustibles antidetonantes, como gasolinas con gran cantidad de hidrocarburos aromáticos, o mezclas con benzol, pero también puede hacerse, añadiendo a las esencias ordinarias, ciertos cuerpos como la anilina, telurio dietilo y los compuestos metílico y etílico de plomo y estaño, entre otros. Uno de los más eficaces es el plomo tetraetilo  $(C_2 H_5)_4 Pb$ , que añadido a la gasolina en proporción de 1 a 1.000 permite que pueda elevarse notablemente la compresión. Como todos los compuestos de plomo, este cuerpo es extremadamente venenoso, por lo que exige algún cuidado en sus manipulaciones, sin que sus efectos se extiendan apenas a la gasolina preparada, por la escasa proporción en que se encuentra. Para evitar la toxicidad de sus vapores en el escape, algunos experimentadores han tratado de fijar el plomo en el momento de su liberación en la cámara de explosión, por la adición a la esencia de un cloruro o bromuro que dé lugar a una sal volátil, pero hasta el momento no se ha conseguido de una manera satisfactoria, lo que no ha restringido su empleo en gran cantidad en el extranjero, pues con él o sin él los gases de la combustión son igualmente peligrosos de respirar por la presencia del óxido de carbono y del anhídrido carbónico.

El modo de obrar de los antidetonantes se debe a que son cuerpos antioxisgenos, llamados así, porque al ser ellos mismos oxidables en las condiciones en que se opere, añadidos en pequeña cantidad a otras sustancias auto-oxidables, obstaculizan la absorción del oxígeno libre y evitan de esta forma el que puedan producirse los peróxidos.

El aporte de antioxisgenos o estabilizadores, nombre con el que también se les conoce, se extiende a las gasolinas durante su almacenamiento, para que no den lugar a la formación de gomas y resinas, por el largo contacto con el oxígeno atmosférico, los hidrocarburos diolefinicos. Así se consigue, no tener que darlas tratamientos posteriores al almacenado, para separar las impurezas formadas, como es el del ácido sulfúrico (método Mahihle), el

de aire ozonizado (Bruzac) o el del agua oxigenada (procedimiento Semet-Solway).

Los antioxígenos se añaden hoy día también a los aceites de engrase, que son, en general, oxidables, unos en frío, como las materias grasas, y otros en caliente, aceites pesados procedentes de la destilación de los petróleos, dando productos que suelen tener carácter ácido, por lo que dan lugar a fenómenos de corrosión, y que no tienen cualidades lubricantes.

Hasta aquí queda expuesta a grandes rasgos la teoría de los peróxidos, que goza actualmente de mucho favor y está sustentada principalmente por Auber, Dufraise y Dumanois, en Francia; Berl, en Alemania; Mardles y Callendar, en Inglaterra; pero que hasta el momento presente dista mucho de poder explicarnos muchos aspectos físicos del problema de la detonación, comprobados experimentalmente, como son los de corresponder a la combustión de una pequeña porción de la masa gaseosa, el de producirse generalmente cuando la mezcla carburada va a terminarse de quemar, y el de estar siempre localizada en el mismo lugar de la cámara de explosión, etc., etc.

También sería menester relacionarla con la hipótesis de la conductibilidad eléctrica, estudiada en España por Mora Agües. Se ha observado que los cuerpos muy detonantes están ionizados en gran cantidad, en el estado de vapor, y que cuanto mayor es la ionización mayor es la detonación. Si se añade plomo etilo, la conductibilidad eléctrica disminuye proporcionalmente al aumento del citado cuerpo. Esto nos autoriza a pensar que la gasolina, que es mala conductora de la electricidad, se electriza, al pasar del depósito a la cámara de combustión, por los rozamientos innumerables que tiene, especialmente en su paso por los surtidores, donde la velocidad es grande y la sección pequeña, y que la acción de la antidetonante es mejorar su conductibilidad (fig. 2) de modo que se descargue fácilmente de la electricidad adquirida en los frotamientos que se originan en su movimiento.

Por todo lo escrito, se ve que aun queda mucho camino por recorrer hasta que se llegue al conocimiento integral de la detonación. Es en la parte práctica de la cuestión donde más se ha progresado. Hoy día, ciertos puntos físicos están tan claramente definidos que permiten al constructor actuar eficazmente sobre la forma de la culata, turbulencia más conveniente (Ricardo), posición de las

bujías, avance al encendido, régimen de los motores, temperatura de los gases admitidos, enfriamiento, ajuste conveniente de los segmentos para que no pase el aceite de engrase a la cámara de combustión.

Para esto ha sido preciso construir aparatos especiales

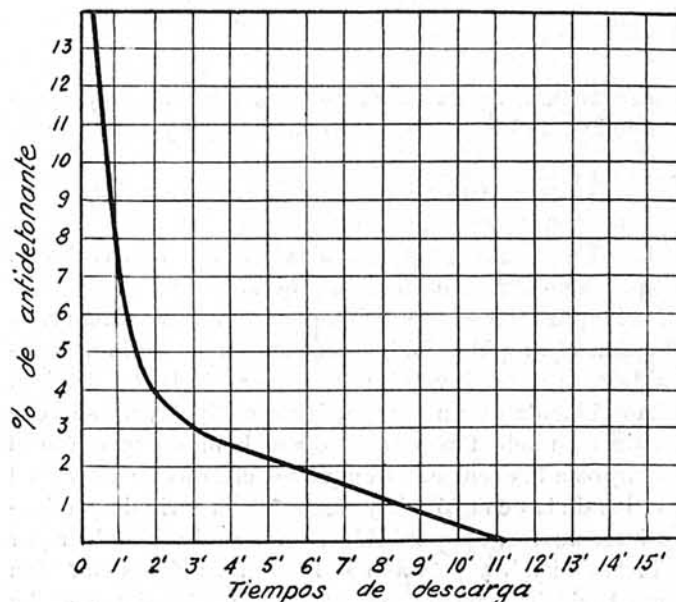


Fig. 2. — Variación de la conductibilidad eléctrica de una gasolina por la adición de cantidades crecientes de antidetonante. Determinada observando los tiempos de descarga sobre el líquido de un electrómetro cargado a un potencial determinado.

muy delicados, como manógrafos ópticos de poca inercia, indicador Farnboro, que nos permiten sacar diagramas de presiones; Boucing-pin, Strob fonómetro, para medir la detonación, sobre motores especiales normalizados aquél, y sobre motores corrientes en marcha ordinaria, éste; pares termoelectricos muy sensibles, etc., etc.

Son tantos los investigadores y tanta la atención que se está concediendo actualmente en todas partes a estos ensayos, y tan grandes progresos realizados, que dan derecho a pensar si canalizada y dirigida la detonación, protegiendo al motor contra los fenómenos accesorios perjudiciales que le acompañan, no podremos llegar a tener, en un porvenir cercano, motores que, al funcionar en régimen detonante, reemplacen ventajosamente a los actuales y los releguen a un segundo término, si es que no llegan a desaparecer.



Transformación en bimotor del Airspeed «Courier». El avión de transporte Airspeed «Envoy», con capacidad para seis pasajeros y velocidad de crucero de unos 250 kilómetros por hora, que ha sido presentado en el «R. A. F. Display» de Hendon.