

Aerotecnica

La refrigeración en los motores de Aviación por líquidos o por vapor de agua

Por GEORGE IVANOW

Ingeniero-asesor, director de estudios e investigaciones en las Fábricas Stampe et Vertongen, de Amberes

EN nuestro primer estudio sobre la cuestión de la refrigeración de los motores de Aviación, publicado en estas mismas columnas, hemos examinado las bases de la técnica de la refrigeración por aire.

Examinaremos hoy las bases de la técnica de la refrigeración por líquidos o por vapor de agua. Este último procedimiento es de palpante actualidad y encierra un interés práctico indiscutible, por lo que esperamos sepan disculpar nuestros lectores la relativa falta de datos exactos y completos que en este trabajo observarán. Ello es debido a su carácter de inmediata actualidad, por lo que no existe todavía una información suficientemente completa de tan interesante procedimiento. No obstante, lo que expondremos a continuación permite darse cuenta de las particularidades de este medio de refrigeración y de las ventajas que ofrece.

El procedimiento más antiguo, y que con el de enfriamiento por aire es el más generalmente empleado en la práctica, es el enfriamiento por circulación de agua. La técnica de este procedimiento es bien conocida por todos, lo que nos dispensa de insistir sobre ella, a pesar de que dicho procedimiento es, con mucho, el más extendido entre los diferentes sistemas de refrigeración por líquidos.

Aprovecharemos, no obstante, la ocasión para citar un

caso especialmente interesante: el del sistema de refrigeración del motor *Rolls-Royce* que equipa al avión *Supermarine «S. 6. B.»*, vencedor de la última Copa Schneider.

En este caso, el problema de la refrigeración era difícil de resolver, porque, por una parte, el número de calorías a evacuar de una unidad motriz con una potencia del orden de 2.350 cv., era muy grande, y, por otra parte, porque el menor fallo del sistema de refrigeración — una bolsa de aire, por ejemplo — dejaría fuera de servicio un motor de gran valor, comprometiendo el resultado de un esfuerzo humano verdaderamente formidable.

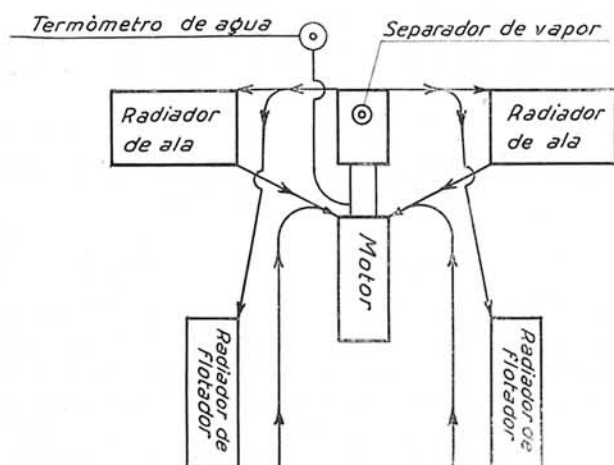
El sistema empleado en este caso es muy clásico en su concepción; puede verse en esquema en la figura 1.

Tratábase de evacuar alrededor de 40.000 BTU (British Thermal Units) por minuto, y en este caso, la superficie radiante de las alas resultaba insuficiente.

Fué, pues, necesario utilizar los flotadores, guarneciéndoles de un sistema radiante. Aparte de esto, el esquema de circulación de agua es completamente normal. Especialmente el empleo de separadores de vapor en el circuito, señalado por algunos comentaristas como una novedad, es hoy un detalle corriente en todos los aviones ingleses provistos de motores de gran potencia con refrigeración por agua.

Lo que caracteriza los sistemas de refrigeración por agua en los casos clásicos de su empleo en motores potentes y forzados, es su gran sensibilidad a los cambios de régimen. Hemos podido observar el funcionamiento de ciertos motores ingleses de gran potencia, y quedamos, hasta cierto punto, sorprendidos, por la necesidad *tan real* de una estrecha vigilancia del sistema de refrigeración, especialmente en lo relativo al reglaje del funcionamiento del radiador de agua. A cada régimen de motor y a cada régimen de vuelo (es decir, a cada velocidad relativa del aire respecto al radiador de agua) corresponde un reglaje bien determinado del radiador (ocultándole más o menos, cerrando más o menos las hojas o persianas protectoras), y todo ello depende, evidentemente, de varios factores, y, en primer lugar, de las condiciones atmosféricas del vuelo.

De faltar esta perfecta adaptación, el funcionamiento del motor se altera y se corre incluso el peligro de su completa inutilización.



ESQUEMA DE CIRCULACION DE AGUA EN EL AVION S. 6. B.

Fig. 1.

Esto sucede, por ejemplo, cuando se olvida abrir del todo las persianas de los radiadores en las subidas, caso que se ha dado varias veces en algunos aviones y motores ingleses y franceses de la mejor reputación, confirmada también por la experiencia.

Antes de pasar al examen de la refrigeración por otros líquidos distintos del agua, citaremos los reparos que más a menudo se formulan a este procedimiento de refrigeración:

1.º Un peso relativamente elevado, tanto de la instalación en sí misma (consecuencia de la necesidad de un depósito de agua, de una nodriza, de un separador de vapor, de las bombas, de un gran radiador con su sistema de reglaje, etc.), como del líquido utilizado, cuyo volumen y peso son necesariamente grandes.

2.º La dificultad de un control suficientemente eficaz de refrigeración; este control necesita una continua atención del piloto, y de modo tanto más imperioso cuanto mayores sean la potencia y la cilindrada unitaria del motor. Con ciertos motores «forzados», esta necesidad de control incesante por parte del piloto, llega a ser verdaderamente tiránica y le distrae de sus ocupaciones principales.

3.º La irregularidad de la misma refrigeración. La parte más caliente del agua, cuya densidad es menor, asciende y se pone en contacto con las partes superiores, las más calientes, de los cilindros de un motor normal. Esto llega a ser evidentemente perjudicial desde el punto de vista de la eficacia de la refrigeración.

Hay que señalar, sin embargo, que en los motores de tipo invertido, las culatas de los cilindros, partes las más necesitadas de intensa refrigeración, son bañadas por el agua más fría de la envoltura. En este caso, el defecto citado no puede imputarse con fundamento. Pero se puede todavía decir, en este mismo caso, que la refrigeración permanece bastante desigual, porque el agua, como elemento mal conductor del calor, conserva temperaturas muy diferentes en las diversas zonas de la camisa.

Ahora bien: la refrigeración irregular del motor no es solamente perjudicial al buen funcionamiento de este último, sino que además aumenta su desgaste en el trabajo.

4.º La resistencia al avance que ofrecen los radiadores de grandes dimensiones, necesarios a este sistema de refrigeración, es muy elevada. Esto es particularmente importante para los aviones rápidos, que precisamente utilizan a menudo unidades motrices de gran potencia, las cuales exigen radiadores de gran superficie.

Para obviar estos inconvenientes, y más especialmente los del peso y resistencia al avance, se ha tratado de utilizar otros líquidos distintos del agua, y — muy recientemente, con éxito — se ha llegado a ensayar el vapor de agua.

El camino a seguir es el del empleo de líquidos que puedan ser utilizados a una temperatura más elevada

que la admitida por el agua. Estos agentes podrían entonces ser empleados en cantidad más reducida y con radiadores de menor extensión, porque la diferencia de temperatura entre el agente transportador de calorías y el aire ambiente sería mayor.

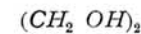
Por lo que se refiere a los líquidos de refrigeración, el plan de labores establecido en Alemania es muy característico, y no imaginamos nada mejor que reproducirlo aquí. Las condiciones perseguidas en la elección de líquidos son las siguientes:

a) Punto de ebullición superior a 180 grados centígrados.

b) Líquido no corrosivo, no atacando el caucho.

c) Ininflamable y de cualidades físicas similares a las del agua.

En América se ha reemplazado el agua por el *Glicol etilénico*, el primero y el más sencillo de la serie de alcoholes polihídricos. Es un líquido transparente, incoloro e inodoro, que hierve a + 197 grados centígrados y se congela a — 17 grados centígrados, cuya fórmula química es:



Conocido bajo el nombre comercial de *Prestone*, el *Glicol etilénico* ha sido empleado antes de ahora como producto anticongelable para la industria de autotracción. Esto ha facilitado en una cierta medida su introducción como líquido de refrigeración, puesto que se trata en este caso, no de la creación de un producto nuevo, pero sí de una aplicación nueva de un producto ya existente, fácil de encontrar en el comercio, y cuyas características y particularidades son perfectamente conocidas.

Una objeción hecha a propósito del *Glicol etilénico*, es su notable higroscopicidad. Ahora bien: una vez que está mezclado con un 10 por 100 de agua, el punto de ebullición baja a 140 grados centígrados. Sin embargo, según ensayos efectuados en Alemania; después de once semanas de uso y cuarenta y dos horas de vuelo, la cantidad de agua absorbida no ha rebasado el 4 por 100. Esta objeción no es, por consiguiente, prácticamente muy grave, pero se la debe tener en cuenta.

La ventaja del *Prestone* consiste en el hecho que es posible utilizarlo a una temperatura sensiblemente más elevada que la permitida por el agua. En el sistema de refrigeración por agua, la temperatura de 85 grados centígrados puede ser considerada como el límite superior prácticamente utilizable. Admitiendo que el aire atmosférico presenta una temperatura de 15 grados centígrados, el margen de diferencia de temperaturas sería de 70 grados centígrados. Utilizando el *Prestone* se puede admitir como límite superior el de 150 grados centígrados, puesto que el punto de evaporación de este líquido se encuentra sensiblemente más alto que el del agua. En este caso, la diferencia de temperatura con el aire circundante sería, pues, de 135 grados centígrados, y, por lo tanto, la su-

perficie radiante necesaria para evacuar un número dado de calorías, sería notablemente menor que la exigida por el agua. Por otra parte, manteniéndose los cilindros a una temperatura más elevada que en el caso de refrigeración por agua, el consumo del motor disminuye sensiblemente.

El sistema de refrigeración por el *Prestone* fué puesto a punto por la Engineering Section of the U. S. Army Air Corps (en el campo de Wright Field, en Daytona, Ohio), y aplicado industrialmente, a título de experiencia en gran escala, a los motores *Curtiss «Conqueror»*. Esta aplicación suministró inapreciables indicaciones sobre el valor práctico de este procedimiento.

La *Curtiss Aeroplane & Motor Company*, ha comenzado por aplicar este procedimiento a un *Curtiss Mail «Falcon»*, equipado con motor *Curtiss «Conqueror»*, de 625 cv. Al pasar del empleo del agua al del *Glicol etilénico* se ha podido reducir la cantidad de líquido, de 68,9 a 17,2 litros. La superficie del radiador ha sido sensiblemente reducida y las *performances* han mejorado, gracias al afinamiento del aparato. La economía de peso realizada ha sido del orden de 60 kilos (1).

La aplicación del *Prestone* en aviones militares ha tenido análogo éxito (2). La Sociedad *Curtiss* ha creado un avión de caza — el *Curtiss P-6 «Hawk»* — que, derivando de modo directo del antiguo avión del mismo tipo de esta firma, se ha mostrado francamente superior a su predecesor, gracias al empleo del nuevo sistema de refrigeración. Su superficie frontal y peso son más reducidos, y las *performances* fueron sensiblemente mejoradas. La velocidad máxima ha aumentado en unos 40 kilómetros hora; este incremento de velocidad, debido en parte al aumento de potencia del motor y al afinamiento del diseño general de las líneas exteriores del avión, se debe igualmente a la notable disminución del radiador, que era excesivamente grande en el primer modelo.

La economía de peso debida al empleo del *Prestone* ha sido de 56,75 kilos.

En Alemania se han hecho igualmente ensayos sistemáticos de utilización del *Glicol etilénico* para la refrigeración de los motores de aviación (3). Estos ensayos se hacían, tanto en el banco de pruebas como en el avión *Arado*, equipado con motor *B. M. W. IV*, de seis cilindros en línea y 230 cv. de potencia.

Estos ensayos han permitido comprobar que, sustituyendo el agua por el *Glicol etilénico*, era posible elevar la temperatura media, de 70 a 145 grados centígrados, suprimiendo un 73,7 por 100 de la superficie del radiador y realizando una economía de peso de 32 kilos. Observemos que la economía del combustible no fué comprobada en este caso.

El paso del agua al *Prestone* no presenta dificultades especiales desde el punto de vista del motor. Sin embargo, los ensayos alemanes han mostrado la necesidad de aumentar el juego de los pistones de 0,4 - 0,6 milímetros a 0,6 - 1,2 milímetros, y de utilizar segmentos especiales. Las informaciones de origen americano concuerdan además perfectamente, en este aspecto, con las de origen alemán.

Los ensayos efectuados en Alemania para reemplazar el *Glicol etilénico* por aceite de transformador, no han dado resultados estimulantes; este aceite hierve a unos 200 grados centígrados, pero se ha mostrado irregular, hirviendo ciertas porciones a 140 grados centígrados.

A título indicativo reproduce la figura 2 un diagrama extraído de *Z. F. M.*, dando la comparación de los calores

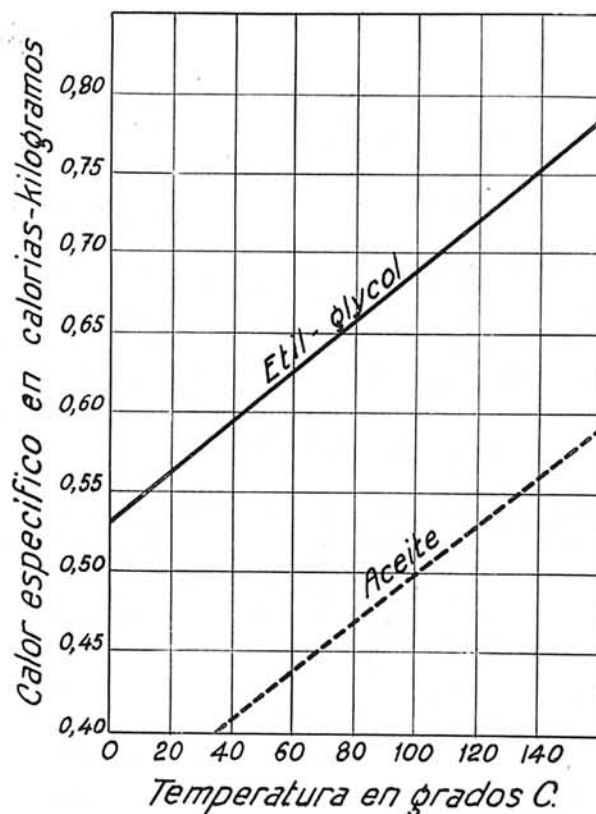


Fig. 2.

res específicos del *Glicol etilénico* y del aceite, expresados en calorías grandes.

La conocida firma aeronáutica *Fairey Aviation Company Ltd.* ha propuesto otro sistema de refrigeración destinado a reemplazar el de agua y suprimir sus principales inconvenientes.

En este procedimiento, la refrigeración se obtiene por medio del vapor de agua. La excelente revista francesa *L'Aéronautique*, ha dado recientemente (1) algunas indicaciones sobre este nuevo procedimiento, según los datos comunicados por las fábricas *Fairey*.

(1) *Aero-Digest*, junio 1929, página 114.

(2) *Aero-Digest*, diciembre 1929, página 148.

(3) *Z. F. M.*, 28 septiembre 1931.

(1) *L'Aéronautique*, julio 1932.

La refrigeración por evaporación presenta numerosas ventajas. Permitiendo trabajar a una temperatura más elevada, lo mismo que la refrigeración por el *Glicol etilénico*, ofrece el medio, si bien en menores proporciones, de reducir la superficie del radiador y la cantidad de agua utilizada, obteniéndose así un doble beneficio.

Una propiedad notable de este medio de refrigeración consiste en su principio de auto-regulación, que no exige, por tanto, ninguna vigilancia del piloto y simplifica sensiblemente el manejo de unidades motrices de gran potencia a diferentes regímenes de vuelo. Pasado el punto de ebullición, la temperatura del agua en las camisas se mantiene muy constante, independientemente de las condiciones de funcionamiento. La constancia asegurada por la refrigeración evaporatoria es superior al punto de ebullición, el cual, como se sabe, decrece con la altura en un grado por cada 300 metros próximamente.

Efectuando una subida a 5.500 metros y un descenso con motor al máximo *ralenti*, la temperatura se mantiene entre los 105 y los 90 grados centígrados; su variación es independiente de la potencia efectiva del motor.

El único punto a vigilar es la existencia de suficiente cantidad de agua en la canalización.

Los experimentos realizados por las fábricas *Fairey*, han permitido comprobar que un motor normal enfriado por agua se adapta perfectamente al sistema de refrigeración por vapor. Sin embargo, es preciso tomar algunas precauciones. Hay que asegurarse, principalmente, de que el trazado de las camisas de agua permite una circulación fácil y evita la creación de remolinos o torbellinos de vapor perjudiciales. Por otra parte, las canalizaciones de circulación, cuyo diámetro puede ser menor que las utilizadas para el agua, deben resistir bien la acción corrosiva del vapor. Este es un extremo de gran importancia en la práctica.

A propósito de la disminución de la resistencia al avance, la firma *Fairey* hace observar lo siguiente:

El incremento de potencia por unidad motriz conduce al aumento de superficie — y, por tanto, de la resistencia al avance — de los radiadores. En el caso de aviones *de record* o aparatos especiales que deban funcionar sometidos a rígidas condiciones de utilización, cabe emplear las superficies del avión como superficies radiantes para el agua, pero esta solución es inadecuada para el caso de aviones de combate, en los que hay que prever el peligro de un excesivo enfriamiento, incluso la congelación, a que pudieran dar lugar los largos vuelos con admisión reducida y a considerables alturas. La refrigeración por evaporación elimina estos riesgos, no exige ningún sistema de reglaje y puede utilizar radiadores de ala que no aumenten nada — o casi nada — la resistencia, incluso en los aviones más finos. En todo caso, es evidentemente indispensable prever la evacuación completa del agua a todas las inclinaciones posibles en vuelo normal.

Una ventaja suplementaria de este sistema de enfriamiento es la gran rapidez con que permite calentar los motores. Todos los aviadores apreciarán en todo su valor esta particularidad de la refrigeración por vapor.

Por otra parte, el sistema parece menos vulnerable a los impactos enemigos. En la práctica habría que examinar atentamente este extremo, cuya importancia es grande en los aviones militares.

Como una pequeña ventaja adicional cabe citar la facilidad de instalar la calefacción de las carlingas por el vapor, en los casos de vuelo en invierno o a grandes alturas.

La refrigeración por vapor, cuyas bases acabamos de analizar, parece ser un procedimiento de sumo interés, y no dejaremos de seguir atentamente el desarrollo práctico de esta nueva técnica que tan prometedora aparece en la actualidad.

Pruebas comparativas de rotura en los nudos de acero

Por el Dr. WALTER SALSÍ

Ingeniero del Laboratorio de Experimentación y Prueba de la Casa «Aeroplani Caproni»

Objeto del presente estudio

Las piezas complejas que constituyen los nudos, tanto del fuselaje como de la estructura de las alas, están obtenidas por soldadura de elementos de acero al carbono. Se trata de sustituir este acero primario por un acero ternario al cromo-molibdeno.

El objeto del presente estudio es poner de relieve las ventajas de la sustitución y ver la dependencia entre las características mecánicas de los productos semielaborados y la resistencia global de las piezas complejas resultantes.

Aceros al carbono

Los nudos actuales están compuestos de los siguientes materiales:

a) tubos de acero al carbono con un contenido en C de un 0,20 por 100.

Las características mecánicas son en promedio las siguientes:

$R = 50$ a 60 kilogramos por milímetro cuadrado.

$A = 14$ a 12 por 100.

$E = 35$ a 40 kilogramos por milímetro cuadrado.