

AEROTECNIA

El problema de la refrigeración de los motores de Aviación de enfriamiento por aire

Por GEORGE IVANOW

Ingeniero-Director de Estudios e Investigaciones de las fábricas Stampe y Vertongen

EL sistema de refrigeración desempeña un papel importante en todo motor de explosión. Su importancia aumenta particularmente en el caso de los motores de Aviación, pues aquí el problema se complica por la intervención de factores suplementarios, tales como la necesidad de reducir al mínimo el espacio ocupado y limitar cuanto sea posible el peso del grupo motor. Estos factores se imponen de tal manera en este caso particular, que dan un aspecto muy especial al asunto, haciéndolo salir de los cuadros habituales del problema, simple y fácil de resolver, en los otros géneros de motores de explosión.

La refrigeración por aire constituye la solución más sencilla, desde el punto de vista de los dispositivos necesarios, a la vez que la más económica en cuanto al peso.

La aplicación de este sistema de refrigeración a los motores de Aviación es aún más favorable por el hecho de que, de una parte, el avión es una máquina animada de una velocidad, generalmente, bastante elevada con relación al aire, y de otra, que el motor del avión va situado casi siempre detrás de una hélice, cuya influencia sobre el motor consiste precisamente en el aumento local de esta velocidad relativa. La intensidad deseada de refrigeración parece, pues, realizable sin muchas dificultades.

Por el contrario, la refrigeración por aire presenta en el caso de los motores de Aviación dos inconvenientes principales, que son:

1.º La gran resistencia al avance, generalmente ofrecida por los motores de refrigeración por aire, en virtud de la disposición de los cilindros y la necesidad de exponerlos al contacto del aire en movimiento.

2.º Las potencias unitarias (es decir, por cilindro), generalmente muy fuertes en los motores de Aviación, hacen delicado el enfriamiento a regímenes elevados. La dificultad de eliminación de las calorías de las grandes cilindradas unitarias pone límites superiores al empleo de este sistema de refrigeración. Este límite parece encontrarse actualmente hacia 700 cv. de potencia total y 100 cv. por cilindro en los motores en estrella.

En suma, los problemas a resolver en el caso de los motores de Aviación, en lo que concierne a la refrigeración por aire, son: de una parte, *reducir la resistencia frontal del motor* y de otra, *intensificar la refrigera-*

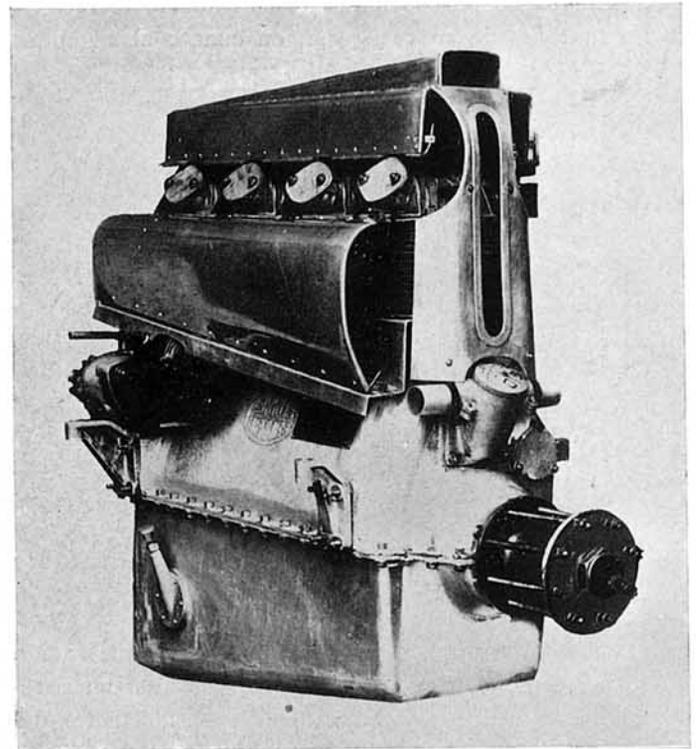


Fig. 1.—Capotaje especial adaptado al motor Cirrus-Hermes 110/115 cv., de 4 cilindros en línea, refrigerados por aire.

ción por él mismo. Hay que advertir que estos problemas están íntimamente ligados entre sí.

Para reducir la resistencia al avance de los motores hay dos caminos a seguir:

1.º Disponer los cilindros de manera que se reduzca la superficie frontal del motor.

2.º Establecer un sistema de capotaje que reduzca el

remolino creado en el aire por el avance del motor; todo esto, realizando una refrigeración eficaz.

La disposición en estrella constituye una solución clásica en los motores de refrigeración por aire. Esta solución es igualmente ventajosa desde el punto de vista del peso propio del motor. Desgraciadamente, la superficie frontal de dichos motores es muy grande.

La disposición de los cilindros en línea, solución muy en boga en estos momentos, para los motores cuya potencia sea del orden de 100 a 150 cv., es notablemente más ventajosa si se compara la *resistencia al avance de los motores sin capotaje*. Esta fórmula no se aplica actualmente con pleno éxito más que para potencias unitarias que no sobrepasan de 35 ó 40 cv. y en los cuales el número de cilindros en una sola línea es, generalmente, de cuatro (ver figura 1).

De entre los que conocemos, no nos acordamos más que de tres motores de refrigeración por aire, de seis cilindros en línea. Estos son: Issotta-Fraschini «Asso-80» de 100 cv., el Napier «E-97» de 150 cv., y el recientísimo Colombo «S-63».

El primero no parece haber revolucionado la técnica de los motores de su categoría; en cuanto al segundo,

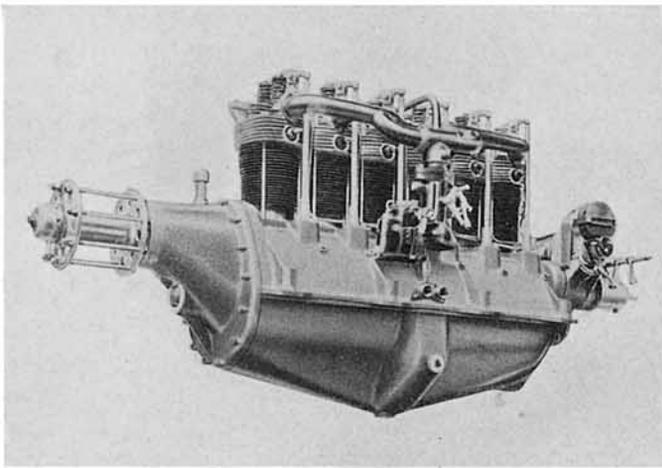


Fig. 2. — Motor Asso 80, con reductor.

esperamos, para juzgarle, los resultados de su utilización práctica. Sin embargo, parece que empleando un sistema bien estudiado de circulación de aire alrededor del cilindro, será muy posible utilizar los bloques de seis cilindros en línea, sin rebasar los límites de cilindrada unitaria impuestos por la experiencia. Además, hasta para los de cuatro cilindros en línea debe estar provista la circulación racional del aire alrededor de los cilindros.

En este caso, un capotaje, a veces hasta de cierta complejidad, es, no solamente una cuestión de reducción de resistencia pasiva, sino también, y sobre todo, una necesidad para lograr la refrigeración necesaria.

Dejando en este caso el motor sin capotaje, se consigue, de una manera cierta, la refrigeración del primer cilindro

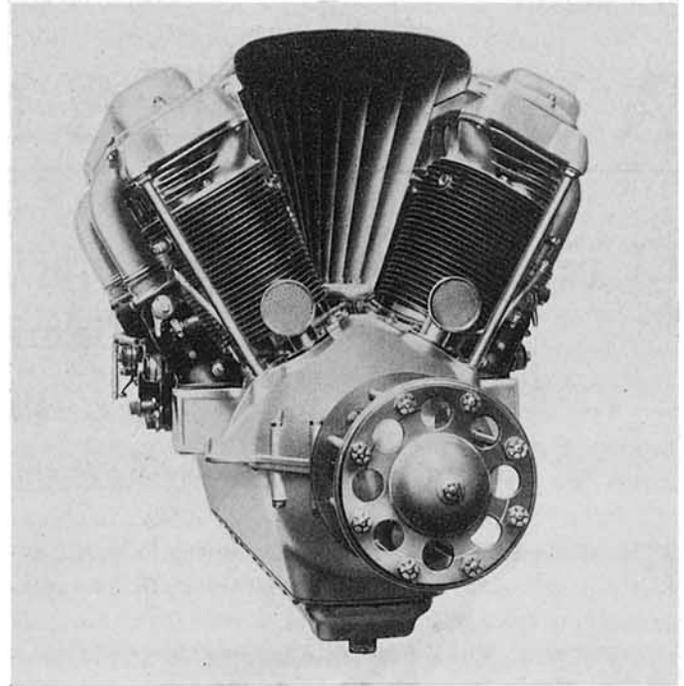


Fig. 3. — Motor Asso-Caccia, construido por Isotta-Fraschini.

de la línea. Entonces, el problema no se limita a eso...; es indispensable poner un volumen de aire suficientemente grande en contacto con todos los cilindros, del modo más regular posible, estableciendo un sistema de circulación forzada que hace pasar el aire fresco entre los cilindros, envolviéndolos por completo. No es solamente importante poner un cierto volumen de aire en contacto con los cilindros, sino, sobre todo, establecer una circulación para evacuar el aire caliente. La evacuación insuficiente del aire caliente es el defecto más frecuente de los capotajes mal contruidos. Las figuras 1 y 3 representan capotajes especiales que tienden a cumplir la necesidad citada. El establecimiento de las formas y dimensiones exactas de los capotajes exige mucha experiencia, y actualmente los constructores de motores se ocupan de ello, por la misma razón que los de aviones.

Como los capotajes de este género presentan formas



Fig. 4. — Avión Stampe y Vertongen III, motor D. H. Gipsy III invertido, con el clásico capotaje de este motor.

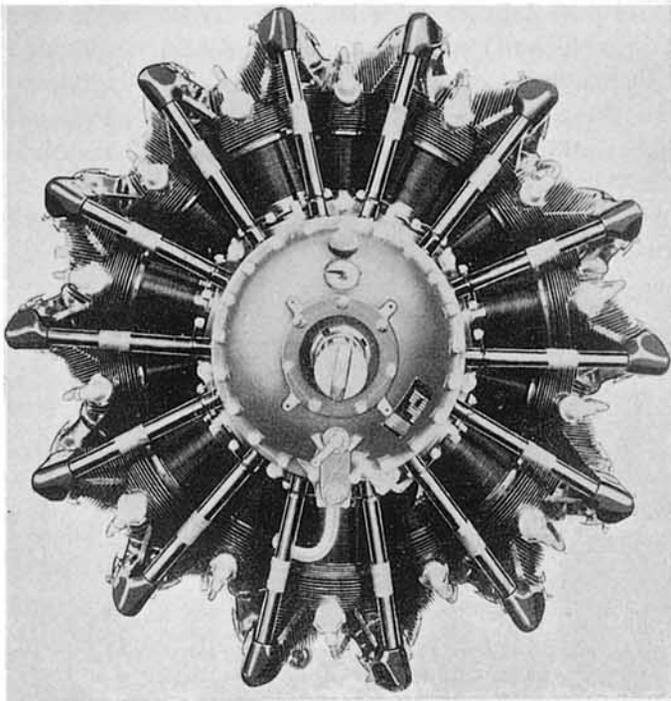


Fig. 5. — Vista de frente del motor Twin Wasp Junior.

aerodinámicas muy imperfectas, los constructores de aviones colocan, generalmente, alrededor de estos capotajes interiores, otros exteriores, que concuerdan con la línea general del aparato.

En este caso, la proa del avión toma la forma que muestra la figura 4. Es de notar, que aun con sistemas de circulación racional, la refrigeración por aire de los motores en línea, no es prácticamente realizable más que para potencias unitarias relativamente débiles. Por encima de los 40 cv. por cilindro, la refrigeración se hace muy difícil.

El caso del motor Issotta-Fraschini «Issota - Caccia», constituye un hecho aislado y poco significativo. Además, parece que este motor no ha podido ser empleado más que sobre aviones muy rápidos, y, aun en estas condiciones, su empleo no ha podido ser generalizado.

En lo que concierne a los motores en estrella, las posibili-

dades de disminución de la superficie frontal son restringidas. El desdoblamiento en dos estrellas de cilindros dispuestos a tresbolillo, es el sistema más frecuentemente utilizado para conseguir motores en estrella de gran potencia y de diámetro relativamente pequeño. Esta fórmula tiene muchos adversarios que pretenden que tales motores presentan, por regla general, una refrigeración insuficiente, no autorizando la utilización práctica de la parte superior de la curva de potencia. A nuestro parecer, esta crítica es bastante superficial: si se abandona la idea cándida de asegurar la refrigeración, exponiéndolos simplemente al extremo de un fuselaje, creando una circulación de aire alrededor de los cilindros, la objetivación cae, la refrigeración puede ser suficientemente eficaz para permitir la utilización del motor en las cercanías de su máximo de potencia.

Es un hecho bien significativo que una firma de tan gran experiencia como Pratt y Whitney, haya lanzado recientemente su nuevo motor «Twin Wasp Junior», construido precisamente en doble estrella, con el fin de reducir el volumen, y, sobre todo, el diámetro máximo del motor; un hecho tanto más característico, cuando este nuevo motor, por su potencia, queda comprendido en la gama de los construídos precedentemente.

La figura 5 muestra una vista frontal de este motor, que desarrolla una potencia de utilización del orden de 600 cv., teniendo 14 cilindros, dispuestos en dos estrellas de siete.

Este motor ha sido especialmente construído para las Aeronáuticas militar y naval americanas, lo que no es ciertamente una mala referencia. Montado sobre «Navy Vought Corsair O3 U4» (ver figura 6), puede ser citado



Fig. 6.— La primera adaptación del Twin Wasp Junior, de 625 cv. en doble estrella, sobre avión Vought Corsair O3 U4. La hélice es Hamilton Standard, de paso variable.

como un ejemplo brillante de las grandes posibilidades prácticas que ofrece la fórmula de los motores en estrella con una refrigeración por aire, racionalmente establecida; buena visibilidad para el piloto, ligereza, débil resistencia al avance. En este caso el capotaje, que tiene una forma poco habitual, sirve, no solamente para reducir la resistencia frontal, sino también para asegurar un refrigeramiento eficaz. Este capotaje puede ser citado como ejemplo típico del estado actual de la técnica de adaptación de los motores en estrella sobre los aviones.

Aun con peligro de caer en la exageración, se puede decir que el problema de la refrigeración por aire y de reducción de resistencia al avance, depende mucho menos del motor mismo que de su adaptación al avión y establecimiento del sistema de capotaje.

En los Estados Unidos, la National Advisory Committee for Aeronautics (N. A. C. A.), ha hecho investigaciones sistemáticas a fin de establecer los mejores sistemas de capotar los motores con refrigeración por aire. El motor utilizado para estas investigaciones era un «Whigt-Wirlwind JS» de 200 cv. a 1.800 revoluciones por minuto.

Para juzgar la eficacia de la refrigeración se midió la temperatura de los cilindros en 69 puntos diferentes.

Han sido ensayadas las ocho formas diferentes de capotaje, indicadas en figura 7.

Forma A: motor no capotado (con o sin alas).

Forma B: capotaje aproximadamente hasta la mitad de la altura de los cilindros (con o sin célula).

Forma C: la misma forma que la B, pero con carenado del núcleo de la hélice.

Forma D: capotaje que no comprende la culata de los cilindros.

Forma E: la misma forma que la D, pero con carenado del núcleo de la hélice.

Forma F: carenado de todo el núcleo de la hélice, salvo la nariz.

Forma G: la misma forma que la E, pero el capotaje de los cilindros ha sido realizado como en la forma B.

Los ensayos comprendían la resistencia al aire y la refrigeración en cada caso, y se comparaban los resultados obtenidos con los de la forma A (motor sin capotaje), la cual servía de base para la comparación.

Cuando un capotaje cualquiera daba, desde el punto de vista de la refrigeración, resultados sensiblemente menores que los obtenidos con el motor sin capotaje, se modificaba la forma hasta obtener resultados superiores al tipo de comparación. La resistencia al aire se medía antes y después de toda modificación. Los ensayos relativos al estudio de la refrigeración han sido hechos con una velocidad de viento de 35,8 metros por segundo; la marcha ha tenido lugar con la admisión al máximo por haberse comprobado en estas condiciones las mayores temperaturas en los cilindros.

Después del estudio de las diferentes formas de capotaje, se hicieron igualmente medidas de interacción de la hélice, a fin de averiguar la influencia de las diversas formas de capotaje sobre el rendimiento de la hélice. La hélice utilizada tenía 2,7 metros de diámetro y era de paso variable.

Los resultados de estos ensayos están resumidos en el cuadro número 1.

CUADRO 1

CARENAJES	Temperatura media de las 5 culatas más calientes	Temperatura de la pared del cilindro superior	Temperatura del aceite	Temperatura del aire
Forma A.....	356	178	60	28,9
» B, primer modelo...	318	193	58,8	30
» D, » »	330	292	75	31,1
» » después de modificada.....	351	222	63,3	27,8
» F.....	389	226	52,8	33,9
» G, 1. ^a ejecución...	402	221	56,1	36,1
» G, con ranura de salida muy hacia atrás... ..	372	220	62,8	30
» G, con ranura de salida muy hacia atrás y tabique de guía sencillo.	362	222	65	30

Se imponen algunas observaciones a propósito de esos ensayos. La forma B da mejores resultados que la forma A, en la cual no existe capotaje.

La temperatura media de los cinco cilindros más calientes es unos 40 grados centígrados inferior a la registrada para la forma A, resultado que se explica muy fácilmente por el hecho de que el capotaje del cárter y de la parte inferior de los cilindros conduce la corriente de aire con una mayor velocidad a las cabezas de los cilindros. No se han hecho ensayos especiales de la forma C, porque era evidente que los resultados no diferirían mucho de los obtenidos en la forma B, de la cual no se diferencia más que por el carenado del núcleo de la hélice.

Como era de esperar, con la forma D se obtuvieron malos resultados (fig. 7); esta forma no deja libre más que las culatas y envuelve hasta las bujías traseras. Sin embargo, en este lugar las temperaturas fueron más bajas que en el caso de la forma A, como consecuencia de la velocidad más elevada de la corriente de aire, mientras que las temperaturas de las paredes del cilindro y del aceite alcanzaron valores muy elevados.

Las formas F y G, que se distinguen principalmente de las formas precedentes por el hecho de que todo el motor está encerrado en un capotaje y de que la corriente refrigerante debe llegar a los cilindros por el interior, habían sido concebidas principalmente para disminuir la resistencia al avance.

La forma F dió una refrigeración tan defectuosa, que

los ensayos debieron ser interrumpidos antes de haber alcanzado la temperatura de equilibrio. Poco mejores fueron los resultados de los ensayos de la forma G, la cual, además del capotaje exterior, va provista de una especie de capotaje interior del cárter que corresponde a la forma B.

Se obtiene una mejora de la forma primitiva G, aumen-

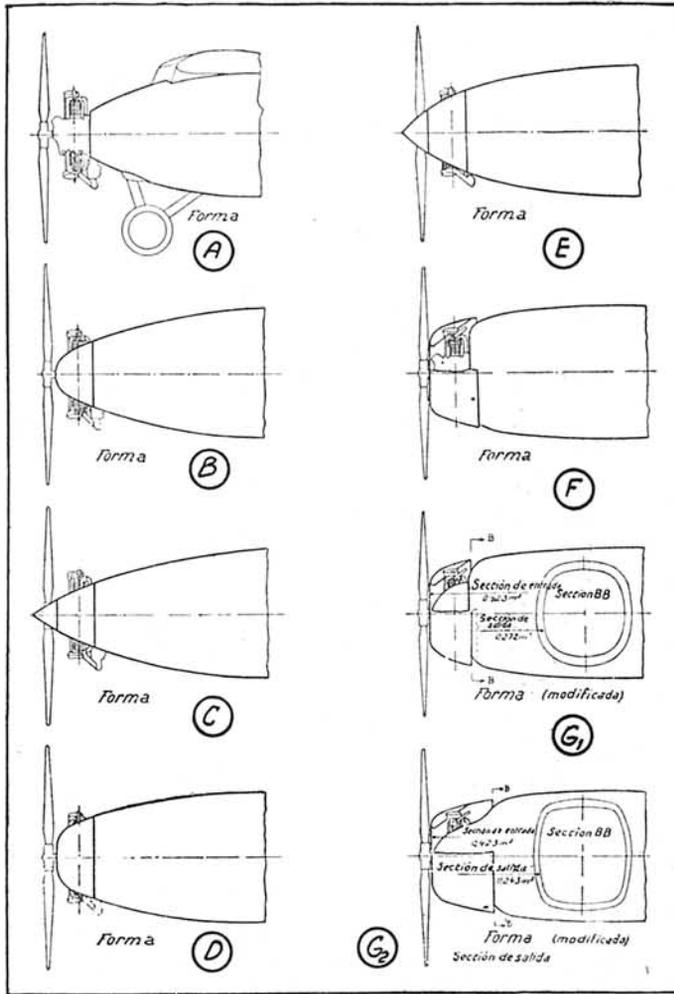


Fig. 7.

tando la abertura de la pared frontal por una ranura efectuada en el borde.

Esta modificación consiste en aumentar la superficie de entrada de aire a través de la pared frontal, llevándola de 29 decímetros cuadrados a 42.

La forma G primitiva llevaba una abertura circular de salida, muy decalada hacia adelante. La bolsa constituida de esta manera se hizo sentir sobre la trayectoria de salida, y la refrigeración empeoró, por lo que hubo que modificar este capotaje. En esta nueva forma, el carenaje G tenía una acción refrigerante sensiblemente igual a la de la forma A, de tal manera, que por primera vez los ensayos pudieron ser prolongados hasta alcanzar la temperatura de equilibrio.

Desde el punto de vista de la resistencia al avance, los resultados obtenidos están resumidos en el cuadro número 2. Estos resultados, suficientemente indicativos, no

CUADRO 2

FORMAS DE CARENAJES	Resistencia del motor y del fuselaje a 44,7 ms/seg.	Disminución de resistencia por relación a la forma 4. ^a	Resistencia proporcional comparada con la forma 4. ^a
Forma A, motor sin capotaje..	56,8	0	100
> B, primer tipo.....	54,1	2,7	95,2
> C, > >	52,7	4,1	92,8
> D, > >	46,8	10	82,3
> D, modificada..	50,4	6,4	88,7
> E, primer tipo.....	45,4	11,4	79,9
> E, modificada.....	48,2	8,6	81,8
> G, primer tipo.....	29,1	27,7	51,2
> G, modificada.....	34,1	22,7	60
> A, sin motor..	18,2	38,6	52

necesitan comentarios. En lo que respecta al rendimiento de la hélice, los mejores resultados se obtuvieron con la forma G. Sin embargo, las diferencias entre los diversos sistemas de capotaje fueron muy pequeñas.

Es de notar que los resultados del laboratorio son en seguida comprobados en vuelo.

Actualmente se utiliza para los motores en estrella dos clases de capotajes racionales, que envuelven al motor:

- 1.º Capotaje anular «Townend».
- 2.º Capotaje de circulación forzada, llamado corriente-mente capotaje «Venturi».

El anillo «Townend» no sirve, en realidad, más que para reducir la resistencia al avance; la cuestión de la refrigeración tiene en este caso un papel secundario. Por esta razón creemos innecesario el estudio de su adaptación al motor.

En cuanto al capotaje del tipo «Venturi», se designa con esta denominación todo capotaje que encierra al motor y presenta la forma de una concha exterior de aspecto circular, como la que se muestra en la figura 8. El capotaje exterior se prolonga por detrás de la línea de cilindros; además, un capotaje interior protege generalmente

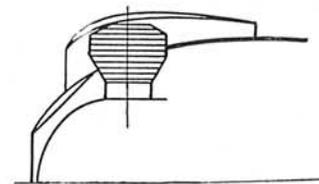


Fig. 8.

la parte central del motor, cubriendo el cárter y la parte inferior de los cilindros.

El capotaje se cierra hacia la proa del motor, de tal manera, que el diámetro de la abertura de la entrada de aire es sensiblemente menor que la suma de las aberturas

de salida de los cilindros. Esta clase de capotaje, conocido igualmente con el nombre de capotaje «N. A. C. A.», es muy empleado en América y parece ser de interés indiscutible para los motores forzados, que equipan los aviones a los cuales se exigen grandes performances. Este capotaje merece, pues, un examen particular.

En los capotajes de este género, es de gran importancia no exagerar la velocidad del aire alrededor de los cilindros. Según Schwager, que se inspira en la experiencia de la firma Pratt & Whitney, una velocidad del aire del orden de 120 kilómetros por hora alrededor de los cilindros, es suficiente para un motor normal, a condición de que la circulación esté bien establecida. Si el motor está montado en un avión que hace 180 kilómetros por hora, el capotaje según el principio mostrado en la figura 8, debe permitir una expansión del aire de enfriamiento que disminuya la velocidad hasta el mínimo necesario, como se indica en la figura 9.

En el caso elegido como ejemplo, que cumple esta con-

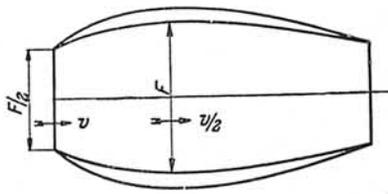


Fig. 9.

dición, se reduce la resistencia al avance del grupo motor, que no será más que de:

$$6 \frac{33,3^2}{50^2} = 6 \cdot 0,443 = 44,3 \text{ por } 100 \text{ de la resistencia pri-}$$

mitiva.

Aunque ésta no es más que una consideración teórica y abstracta, puede muy bien servir de punto de partida.

Un factor decisivo consiste en una buena determinación de las secciones de entrada y salida del capotaje tipo «Venturi».

Fred. E. Weick ha determinado experimentalmente que esas superficies deben ser respectivamente de 346 y de 377 pulgadas cuadradas para el motor «Wright J. 5» de 200 cv. Basándose en estas indicaciones, así como en algunas otras de procedencia americana, se puede utilizar, como método aproximado que sirva de punto de partida, la fórmula siguiente para la determinación de las mismas secciones de paso de otros motores en estrella:

$$\text{Para la entrada: } R_e = \alpha \frac{P}{22,2 N}$$

$$\text{Para la salida: } R_s = \beta \frac{P}{22,2 N}$$

R_e es la relación de las superficies de las secciones de paso de entrada del aire entre el motor cuya adapta-

ción se estudia y la mismas superficies, determinado por F. E. Weick para el Wright «Whirlwind J. 5».

R_s es la misma relación a la salida del capotaje.

P , la potencia del motor.

N , el número de cilindros.

α y β son los coeficientes de corrección, cuyo valor exacto no puede ser determinado para cada motor más que por una experimentación metódica.

Sin embargo, es posible indicar los valores de los coeficientes a emplear sobre buenos motores protegidos por capotajes del tipo «Venturi» racionalmente establecidos.

A α puede asignársele el valor 0,75 para motores de nueve cilindros en estrella, de potencia comprendida entre 300 y 400 cv. Para la misma categoría de motores, β puede ser igual a 0,85.

Para los aviones cuya velocidad de crucero sobrepasa de 200-220 kilómetros-hora, puede tomarse sin peligro $\alpha = 0,7$ y $\beta = 0,75$.

Insistimos, una vez más, que estas cifras no pueden ser dadas más que a título de indicación y sin ninguna garantía; las condiciones reales varían con el motor, el capotaje y el avión.

El capotaje exterior debe construirse de manera que los filetes de aire sean tangentes a los flancos del fuselaje, a lo largo del cual deben deslizarse.

Para asegurar una refrigeración igual de los cilindros en todas sus partes, es conveniente prever en el interior del capotaje deflectores colocados como el que se muestra en la figura 10.

El presente artículo, evidentemente, no desarrolla por completo la cuestión bastante compleja de la refrigera-

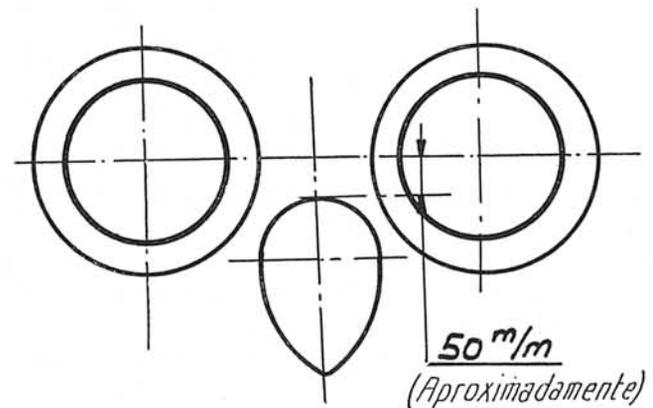


Fig. 10.

ción de los motores de Aviación de enfriamiento por aire. No constituye más que un ensayo de sucinta documentación sobre el estado actual del asunto y no debe ser considerado más que como tal.

Nos proponemos volver próximamente sobre la cuestión de la refrigeración de los motores de Aviación, examinando los problemas actuales de refrigeración por líquidos y por vapor.