



M o t o r e s d e r e a c c i ó n

La alimentación de combustible

Por JOSE PELLEGERO BEL
Teniente Cadete de 5.º curso
de Ingenieros Aeronáuticos.

Continuando los artículos que esta Revista viene publicando acerca de estos motores, y limitándonos en particular al tipo denominado turborreactor, o sea al dotado del grupo compresor-turbina, vamos a referirnos al problema que encabeza estas notas, que no representan otra cosa que el estudio y la recopilación de los datos que las revistas extranjeras han puesto en nuestras manos.

La continuidad de la combustión y la gran influencia que la velocidad y la altura de vuelo tienen sobre el funcionamiento del turborreactor, han obligado a crear un nuevo equipo de alimentación, que aunque basado en los mismos principios que los existentes hasta ahora para otros tipos de grupos motopropulsores, presenta modalidades nuevas de un gran interés. Estos equipos, iniciados en unos montajes elementales que se prepararon para las primeras experiencias, han llegado rápidamente a alcanzar su actual contextura, en la que el control de la masa de combustible suministrada por unidad de tiempo a los inyectores o atomizadores se efectúa muy rigurosamente en función de las diversas condiciones de vuelo. La característica de continuidad en la combustión que la turbina de gas posee, exige que el suministro de com-

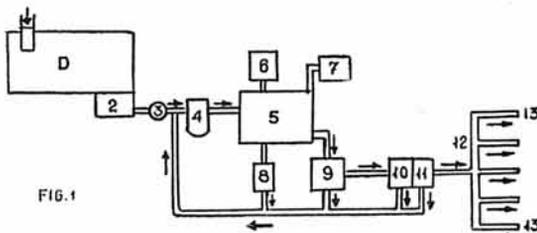
bustible presente asimismo esta continuidad, lo cual ha llevado a los ingleses a la adopción de una bomba de émbolos múltiples, y aún mejor, al acoplamiento en paralelo de varias de ellas, de forma que el gasto de la vena de alimentación sea lo más uniforme posible. Pero esta característica no elimina los tipos de bombas de alimentación ya conocidos, sino que algunos de ellos siguen aplicándose con buen resultado, como ocurre en el turborreactor alemán "Jumo 004", que utiliza un tipo de bomba de engranajes de perfil especial. Por otra parte, la bomba ha de ser capaz de proporcionar un amplio margen de variación del gasto, pues, como ya quedó de manifiesto en las anteriores exposiciones sobre esta materia, el gasto de combustible que requiere el motor para las distintas condiciones de funcionamiento es muy variable. Esta característica del sistema obliga a que el gasto pueda ser regulado por la acción de diversos controles, de acuerdo con la velocidad de rotación, la altura de funcionamiento y la presión de alimentación. El arranque es otra condición a la que es preciso atender, y más adelante se verá cómo lo resuelve cada tipo de instalación.

El combustible que circula a través de los di-

versos componentes del equipo ha de estar muy limpio, porque en caso contrario provocaría obstrucciones de las boquillas de los atomizadores, cuyo diámetro es pequeñísimo a fin de lograr una pulverización del combustible que nos asegure una combustión uniforme y lo más completa posible. Además, la precisión de los ajustes que estos elementos necesitan se perdería rápidamente en caso contrario. Ello obliga a que el combustible se filtre en diversos puntos del sistema, de forma que al llegar a la bomba de presión esté totalmente limpio. El esquema de conjunto del sistema corresponde a la figura 1, aunque en realidad haya órganos que se agrupan en un solo elemento, como ocurre con la bomba de presión y sus controles, barométrico, de velocidad de rotación máxima y de presión, o bien con el acumulador y la llave de alta presión, que se presentan agrupadas siempre.

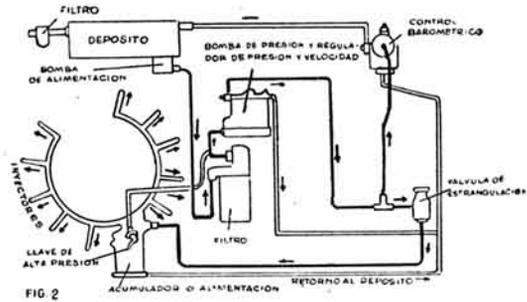
Sobre este esquema, o bien sobre la figura 2, tomada de la revista *Aircraft Engineering*, puede seguirse la siguiente marcha del combustible.

El depósito D se llena a través del filtro 1, en la operación de carga del avión. En marcha, la bomba de alimentación 2, que generalmente es de tipo centrífugo, a través de una llave de paso o llave de baja presión 3, y del filtro 4, envía el combustible al lado de aspiración de la bomba de presión 5, cuya regulación se efectúa por los controles; de velocidad máxima 6, barométrico 7 y de presión 8. A la salida de la bomba de presión pasa a la válvula de estrangulación 9, que es el órgano principal de mando en manos del piloto, y a continuación al acumulador 10 y llave de alta presión 11, llegando finalmente al anillo distribuidor 12 y a los atomizadores 13, derivados sobre éste. Existe, además, el conducto de retorno 14, puesto en comunicación con el lado de aspiración de la bomba, al cual descargan en determinadas ocasiones el acumulador, la llave de alta presión, la válvula de estrangulación y el control de presión. En esta instalación aparecen elementos nuevos



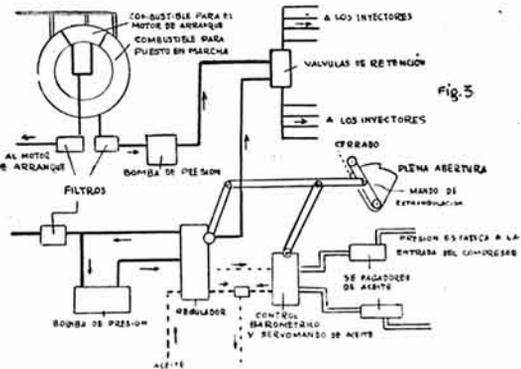
Esquema de alimentación de combustible de un turborreactor.

como el acumulador, cuya misión es la preparación de la puesta en marcha, ya que entonces el eje del grupo compresor-turbina gira arrastrado por un motor eléctrico o de explosión, como ocurre en el *Jumo 004*, a un régimen muy bajo frente al normal, y la bomba de presión, accionada a través del correspondiente engranaje reductor, no es capaz de suministrar el gasto ni la presión necesarios para la puesta en marcha. En los sistemas alemanes, como se ve



Dibujo tomado de la revista "Aircraft Engineering", en el que se ve la marcha del combustible desde el depósito a los atomizadores.

en la figura 3, la instalación de arranque es independiente y no contiene este elemento, que es característico de los sistemas ingleses.

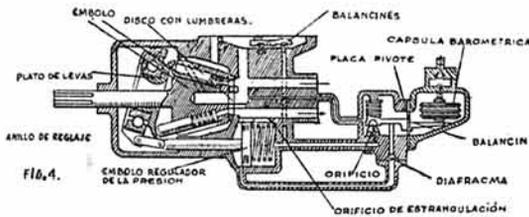


Ejemplo de instalación de puesta en marcha de los turbomotores alemanes.

Sobre este esquema se ve claramente que el sistema de alimentación durante el arranque es un conjunto auxiliar completamente independiente, el cual, una vez cumplida su misión, queda fuera de servicio. En cambio, con el acumulador consiguen los sistemas ingleses la descarga a presión de una cierta cantidad de combustible, almacenada en dicho elemento, que cu-

bre las necesidades de alimentación durante la puesta en marcha.

Bomba de presión.—Por ser el caso de verdadero interés, y lo que constituye una novedad, describiremos la bomba que llevan actualmente los tipos ingleses. Se trata, como ya se ha indicado, de una bomba de émbolos múltiples (normalmente 7), cuya carrera es variable y en cuyo conjunto se alojan los elementos para su regulación. En esquema está representada en la figura 4, y



Esquema de una bomba de presión, de émbolos múltiples, modelo inglés.

sobre ella se puede seguir la explicación, y la figura 5 la representa seccionada.

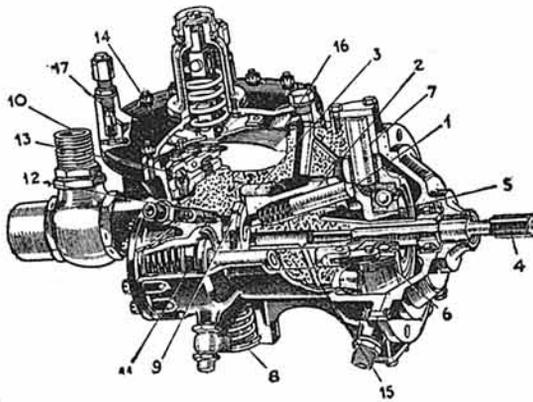
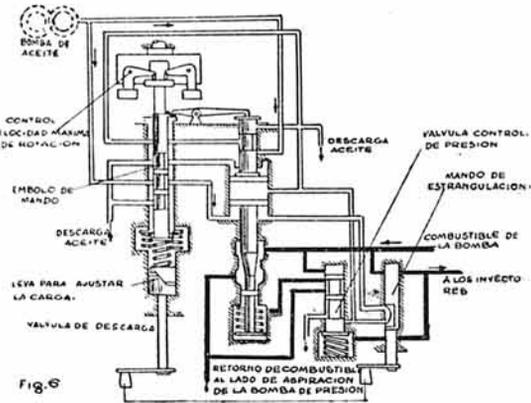


FIGURA 5

1. Embolo.—2. Rotor.—3. Casquillo de carbón.—4. Arbol de accionamiento.—5. Plato de levas.—6. Anillo de reglaje.—7. Pivote.—8. Filtro de entrada.—9. Disco portahembras.—10. Racor de llegada.—11. Embolo regulador.—12. Orificio de estrangulación.—13. Válvula hemisférica.—14. Balancín.—15. Taladros radiales en el rotor.—16. Diafragma.—17. Descarga al conducto de retorno.

Un rotor que contiene los émbolos gira accionado por el turborreactor dentro de un casquillo de carbón, y un plato de levas empuja a los émbolos, los cuales se mantienen en contacto constante con dicho plato por medio de unos muelles.

En una rotación, cada émbolo verifica una aspiración y una impulsión, no quedando, por tanto, más que provocar que cada una de estas fases se efectúe al pasar el émbolo frente a la lunbrera correspondiente, lo cual se consigue por medio de un disco fijo que tiene la forma de la figura 7.



Regulación de la velocidad de rotación del turbomotor.

La variación de la embolada se logra al variar la carrera por medio de la modificación del ángulo de calaje del plato de levas con respecto a su eje. Esta variación se consigue por la acción del émbolo regulador, el cual funciona de acuerdo con todos los controles, de modo que al desplazarse hacia la derecha de la figura 4, el plato de levas que apoya por intermedio de un cojinete de bolas en el anillo de reglaje, articulado al eje de dicho émbolo, aumenta su ángulo de posición respecto al eje de giro, reduciéndose la carrera de los émbolos. El desplazamiento del émbolo regulador se provoca de la siguiente forma: la salida de combustible está comunicada directamente con la cara izquierda del émbolo regulador y con la derecha a través del estrecho orificio de estrangulación. El combustible que ocupa el lado derecho de este émbolo aboca a unas válvulas de asiento hemisférico, normalmente apoyadas contra su asiento por medio de un balancín lastrado con un muelle. Se obtiene así el equilibrio de fuerzas sobre el émbolo y la inmovilidad de éste, pero cuando uno cualquiera de los controles levanta su correspondiente válvula, quedando en comunicación con el lado de aspiración de la bomba, se provoca sobre la cara derecha del émbolo regulador una caída de presión que se mantiene gracias al orificio de estrangulación, y desaparece

ciendo el equilibrio el émbolo se desplaza hacia la derecha, reduciéndose la carrera y el gasto, hasta que una vez restablecido el equilibrio, el control que entró en acción cierra de nuevo la válvula. Veamos ahora cómo actúa sobre el émbolo regulador cada uno de los controles.

Control de velocidad máxima de rotación.— Tanto el sistema alemán como el inglés tiene un elemento regulador que limita las revoluciones por minuto máximas que se consienten al turboreactor. El sistema alemán—seguiremos refiriéndonos al del *Jumo 004*—verifica este control por medio de un sistema de masa giroatoria, cuya actuación se deduce del examen del esquema de la figura 6, en el cual la

LUMBRERA DE ADMISION



LUMBRERA DE IMPULSION

FIG 7

Disco de regulación de la admisión e impulsión de la bomba.

fuerza centrífuga provoca la separación de las masas de su eje de rotación y la entrada en servicio de un servomando de aceite, que verifica la regulación por medio del émbolo de mando, el cual controla el gasto de aceite que pasa a accionar los émbolos de la válvula de descarga. A su vez, la carga que tiene que vencer la fuerza centrífuga es función de la posición de la válvula de estrangulación, ya que estos elementos están interconectados de forma que el número de r. p. m. a que se verifica la regulación depende de la posición de ésta, para lo cual hay una leva que varía la carga del muelle del émbolo de mando, la cual entra en acción por estar ligada mecánicamente a la manilla del mando de estrangulación.

El sistema inglés lleva una serie de taladros radiales en el rotor, los cuales comunican la cámara axial que existe en el lado de aspiración de la bomba con el espacio anular que queda entre el rotor y la carcasa de la bomba, que-

dando este espacio comunicado con la parte superior del diafragma. En funcionamiento, la fuerza centrífuga crea una diferencia de presión, de tal modo que en este espacio anular es mayor que en la cámara axial. Esta presión vence la contracción del muelle en tensión al aumentar las r. p. m. y hace descender al diafragma, el cual, apoyado por un tope sobre el extremo del balancín, levanta la válvula hemisférica.

Con ello, como se ha explicado, la presión en la cara derecha del émbolo regulador descende, y la que actúa sobre la cara izquierda vence entonces al muelle, desplazándose hacia la derecha, reduciéndose el suministro de combustible, con lo cual la velocidad de rotación descende. Esta regulación se gradúa de antemano, para un determinado número de r. p. m., por ajuste del muelle del diafragma.

Control de presión.—Este control en la bomba del sistema inglés, está íntimamente ligado al de altura de vuelo o control barométrico, ya que ambos se realizan por medio de balancín de la parte derecha de la figura 4. Un tabique, constituido por un diafragma elástico, separa la cámara barométrica de otra contigua, y sirve de pivote a un balancín, en uno de cuyos extremos apoya la cápsula aneroide de la regulación barométrica, y el otro lleva un asiento hemisférico que obtura la llegada de combustible desde la carga derecha del émbolo regulador. Sobre este mismo extremo apoya un resorte que lastra el balancín. Esta cámara queda, además, en comunicación con el lado de aspiración de la bomba. Por otra parte, la presión de alimentación, que actúa por la cara izquierda del émbolo regulador, se transmite por el conducto C de la figura 4 hasta un pequeño diafragma, que transmite la presión a un émbolo, el cual, al aumentar la presión levanta de su asiento la válvula, provocando la caída de presión en la cara derecha del émbolo regulador, reduciéndose, por tanto, la presión de alimentación al decrecer la carrera, hasta que de nuevo se restablece el equilibrio, en cuyo momento la válvula vuelve a apoyar contra su asiento. Este émbolo que acciona el balancín está montado sobre un manguito excéntrico, mediante el cual puede verificarse el reglaje del balancín por variación de la relación de brazos, ya que al hacer girar el manguito el punto de apoyo del émbolo se acerca o aleja de la membrana elástica. En el es-

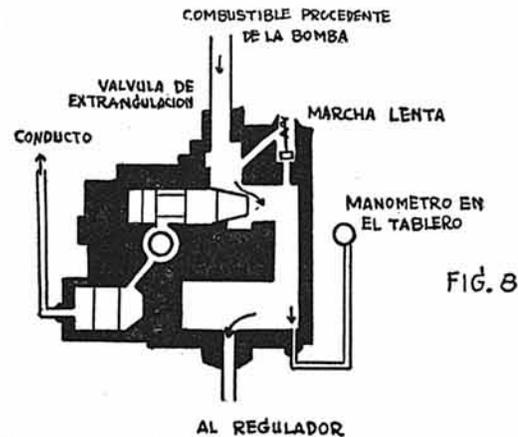
quema alemán este control de gasto y de la presión lo realiza la válvula de descarga, la cual está accionada por un servo de aceite, cuyo funcionamiento está controlado por el regulador centrífugo, como hemos dicho antes. Existe, además, la válvula de control de presión, cuya misión en este esquema es más bien garantizar que la caída de presión, al atravesar el mando de estrangulación, no pase de un valor prefijado. En condiciones de marcha lenta, la válvula de estrangulación iguala la presión a ambos lados del émbolo de la válvula de descarga, de modo que el regulador centrífugo queda inoperante.

Control barométrico.—En el sistema inglés la cápsula barométrica actúa en forma análoga al control de presión, ya que al volar, por ejemplo, en cota más alta y reducirse la presión atmosférica, la cápsula aneróide se dilata y hace bascular al balancín levantando la válvula de su asiento, reduciéndose el gasto en la proporción necesaria al equilibrio en estas condiciones. En el sistema alemán se actúa mecánicamente sobre las posiciones de la válvula de estrangulación, como ve en la figura 3, reduciéndolas con respecto a las posiciones en tierra para una misma posición de la manilla de mando. A su vez, los émbolos de la válvula de descarga se aproximan entre sí al elevarlos, disminuyendo así el gasto.

Válvula de estrangulación.—Este elemento viene a ser el equivalente a la mariposa del carburador o a la cremallera de control de las bombas de inyección, y es el órgano principal de mando del piloto. Situado, como se ha visto, entre la bomba de presión y el conjunto acumulador-llave de alta presión, consiste en una válvula con asiento cónico muy alargado, mediante cuyo desplazamiento axial puede ser variada entre ciertos límites la sección de paso del combustible.

Al apoyar la válvula sobre su asiento y quedar cerrada, se interrumpe el suministro principal a los atomizadores, en cuyo momento la consiguiente elevación de presión levanta una pequeña válvula, que da paso a un gasto muy reducido, correspondiente a sostener al turbo-reactor en un régimen de ralentí. El corte total de la alimentación se hará por medio de la llave de alta presión, cuyo cierre corta todo suministro de combustible a los atomizadores y pone simultáneamente el sistema en comunicación con un conducto de retorno del combustible al lado de aspiración de la bomba de presión. En los

esquemas alemanes este elemento viene a adoptar la forma normal de una llave de paso en la forma que se ve en la figura 8.



Esquema del funcionamiento de la válvula de estrangulación en un motor alemán.

Acumulador o alimentador de puesta en marcha.—Durante la puesta en marcha, como ya se ha explicado, la bomba de presión da un gasto insuficiente para la debida pulverización del combustible en los mecheros, por lo cual es preciso introducir en el sistema un elemento capaz de resolver esta dificultad.

En los aparatos alemanes hay una instalación independiente de alimentación para el arranque, consistente en otra bomba que sólo se utiliza en este período, y que gira arrastrada a través de una multiplicación, quedando luego desconectada. En los ingleses aparece este elemento que vamos a describir, y que resuelve el problema de una forma sencilla. El gasto, relativamente pequeño, que da la bomba, se va macenando en un elemento cilíndrico, cuya pared inferior o émbolo va descendiendo, venciendo al muelle a medida que la bomba envía combustible. Una vez lleno, la presión levanta una válvula diferencial, que viene a hacer el papel de disparador del acumulador, lo cual, una vez vencida de su asiento, al ofrecer una superficie mayor a la acción de la presión, se mantiene abierta hasta que ésta se haya reducido mucho.

El combustible macenado primariamente ha sido bombeado por la acción del muelle principal a la conducción de los inyectores, proporcionando el gasto y la presión necesarios al arranque. La llave de alta presión, cuya misión ha-

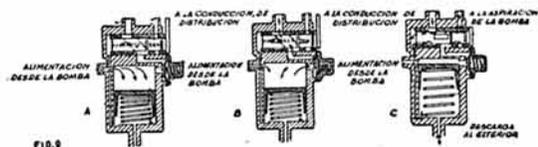


FIG. 9
Tres fases de funcionamiento del alimentador de puesta en marcha de un turbomotor.

A. Llave abierta. Válvula cerrada. Carga del acumulador.—B. Llave abierta. Válvula abierta. Descarga a la canalización distribuidora.—C. Llave cerrada. Válvula de paso a la comunicación de retorno abierta. Evacuación del combustible que queda en el sistema.

mos dicho que consiste en interrumpir completamente el suministro a los atomizadores, y que forma cuerpo con este elemento, lleva asimismo una canalización, que sirve para la descarga del combustible, que ocupa la porción del sistema comprendida entre este elemento y los inyectores o atomizadores, evacuación que se efectúa en combinación con el acumulador, pasando el

combustible que es preciso evacuar a la otra cara del émbolo de dicho elemento y siendo impulsado en la siguiente actuación del acumulador hacia la aspiración de la bomba por el émbolo en la operación de carga del mismo. Todo ello puede verse con claridad en la figura 9, que representa tres fases del funcionamiento de este dispositivo.

El circuito queda completo con la instalación de los atomizadores, derivados sobre el anillo distribuidor y colocados en el interior de las cámaras de combustión; pero afectando su forma y tipo más bien a las condiciones y realización de la combustión, quedan ya un poco fuera de nuestro objeto de hoy. Por otra parte, esta instalación se ve completada por una serie de disposiciones encaminadas a lograr una puesta en marcha lo más automática posible, lo cual se consigue por medio de sistemas de relés que hagan entrar cada elemento en funciones en el momento oportuno, con lo cual la puesta en marcha es, a la vez que rápida, muy sencilla en su manejo.

