

SISTEMAS DE AUMENTO DE POTENCIA

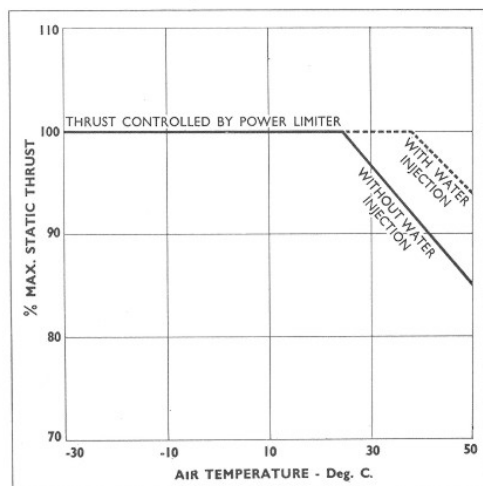
Funcionamiento y Aplicaciones

En algunas ocasiones es necesario incrementar el empuje por encima del nivel de empuje normal del motor, por ejemplo, cuando se despegue desde una pista de longitud reducida, o en un día cálido, la velocidad de despegue debe ser segura. Para los aviones de combate, debe proporcionarse un empuje adicional para ciertas maniobras de vuelo, y en los aviones comerciales supersónicos para permitirles alcanzar una altitud de crucero en mucho menos tiempo donde el consumo de combustible es menor.

Se puede disponer de un empuje mayor con motores más potentes. Sin embargo, para los aviones de combate en particular, el aumento de peso para un período corto de operación excluye la utilización de tales motores. En la práctica, la cantidad de empuje que un motor de reacción puede producir puede aumentarse de dos formas: por medio del uso del posquemador y por la inyección de agua – metanol. Si bien el uso de la inyección de agua – metanol disminuyó a partir de los años setenta con la llegada de los turbofanos de gran relación de paso, quedando su utilización limitada a ciertos turbohélices.

Inyección de Agua, Agua – metanol

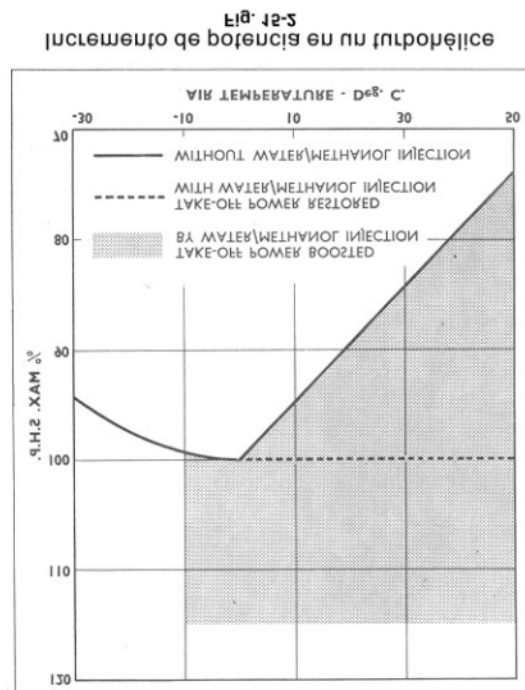
La potencia máxima de un motor de turbina de gas depende en gran manera de la densidad o peso del flujo de aire que pasa a través del motor. Por lo tanto, una reducción en el empuje o potencia al eje se produce a medida que la presión atmosférica disminuye con la altitud y/o el aumento de la temperatura ambiente. Bajo estas condiciones, la potencia de salida puede restaurarse o, en algunos casos, aumentarse para el despegue enfriando el flujo de aire con agua o una mezcla de agua y metanol. Cuando el metanol se añade al agua, este le aporta propiedades anticongelantes al tiempo que proporciona una fuente adicional de combustible. En la figura 15-1 se muestra una curva típica de restauración del empuje en un motor turboreactor, y en la figura 15-2 se muestra una curva de aumento y restauración de la potencia en un motor turbohélice.



Restauración del empuje en un turboreactor

Fig. 15-1

Existen dos métodos básicos de inyección de refrigerante en el flujo de aire. Algunos motores tienen el refrigerante pulverizado directamente dentro de la entrada al compresor, pero la inyección del refrigerante a la entrada de la cámara de combustión normalmente es más apropiado para los motores con compresor de flujo axial. Esto es así,



porque se puede obtener una distribución más uniforme al tiempo que se puede inyectar satisfactoriamente una mayor cantidad de refrigerante.

Cuando la mezcla de agua y metanol se pulveriza dentro de la entrada del compresor, la temperatura del aire que entra al compresor se reduce y consecuentemente la densidad del aire y el empuje aumentan. Si se inyectase solo agua, reduciría la temperatura de entrada en turbina, pero con la adición del metanol la temperatura de entrada en turbina se recupera al quemarse el metanol en la cámara de combustión. De esta manera la potencia se recupera sin tener que ajustar el flujo de combustible.

La inyección de refrigerante en la entrada de la cámara de combustión aumenta la masa del flujo a través de la turbina, relativa a la que pasa a través del compresor. De esta forma la presión y la temperatura caen a través de la turbina, y esto resulta en un aumento de la presión en el conducto de descarga, que como resultado da empuje adicional. La consecuente reducción de la temperatura de entrada en turbina, debida a la inyección de agua, le permite al sistema de combustible programar un incremento del flujo de combustible hasta un valor que da un aumento en la velocidad máxima de rotación del motor, proporcionando de esta manera una adición posterior de empuje. Donde se usa el metanol con el agua, la temperatura de entrada en turbina se recupera, o parcialmente se recupera, al quemarse el metanol en la cámara de combustión.

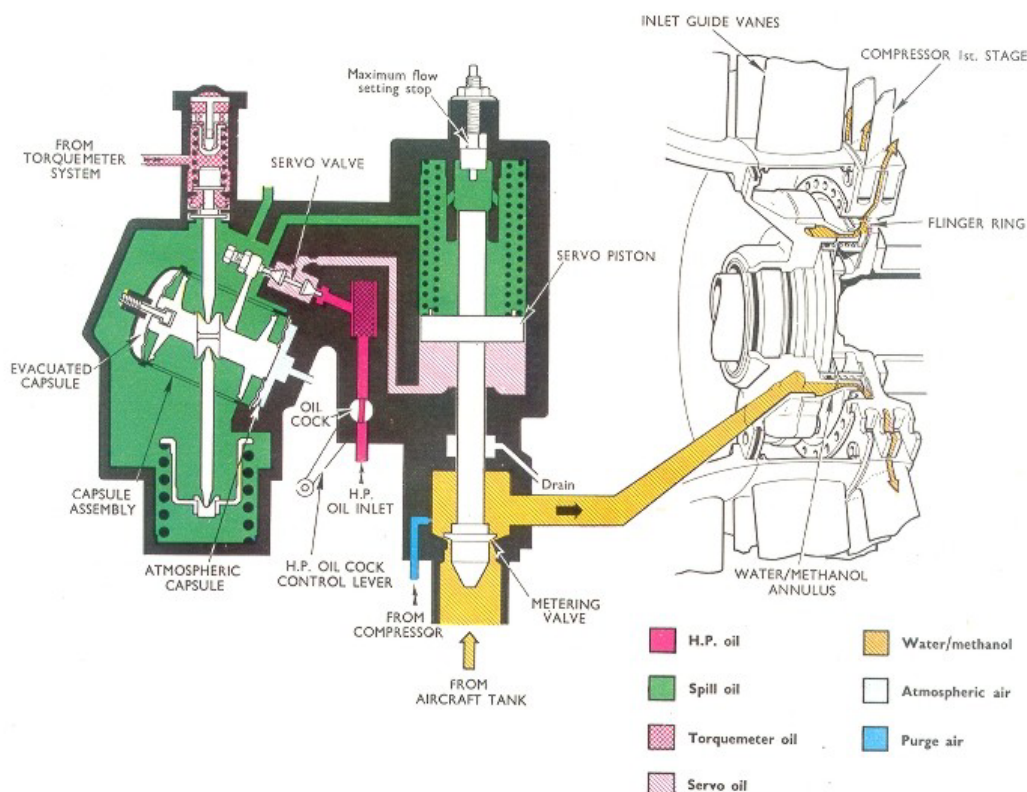
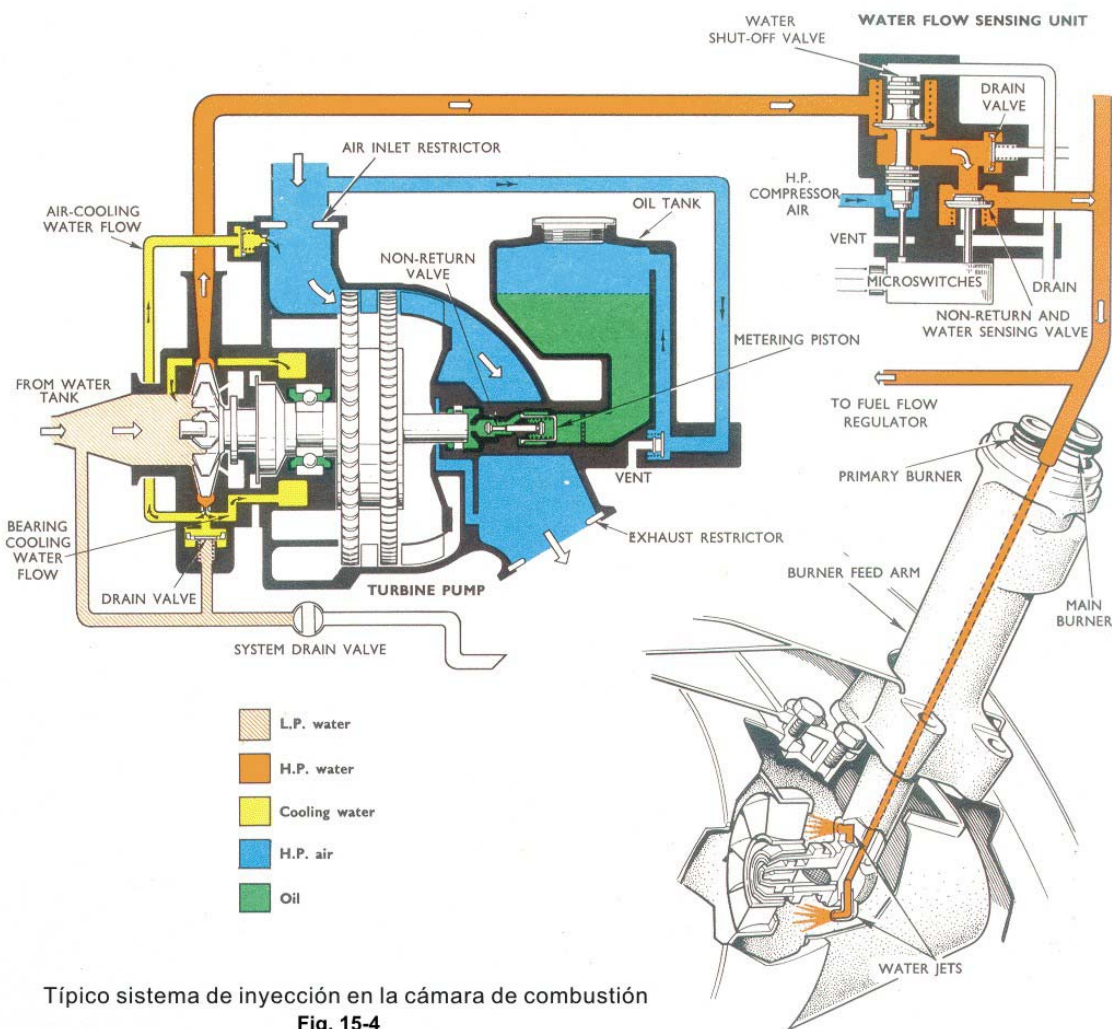


Fig. 15-3 Un sistema típico de inyección a la entrada del compresor

Inyección a la entrada del compresor

El sistema de inyección a la entrada del compresor que se muestra en la figura 15-3 es un sistema típico para un motor turbohélice. Cuando se conecta el sistema de inyección, la mezcla de agua y metanol se bombea desde un depósito montado en el avión hasta una unidad de control. La unidad de control dosifica el flujo de la mezcla hacia la entrada del compresor a través de una válvula medidora operada por un servo-pistón. El sistema de servo usa aceite del motor como medio de operación, y una servo-válvula regula el suministro de aceite. El grado de apertura de la servo-válvula se ajusta por un sistema de control que es sensible a la presión de aceite del torque del eje de la hélice y a la presión del aire atmosférico que actúa sobre un conjunto de cápsulas.

La palanca de mando del paso de aceite de alta presión de la unidad de control está interconectada al sistema de mando de gases de tal manera que hasta que la palanca de gases no se mueve hacia la posición de despegue, el paso de aceite permanece cerrado, y de esta forma la válvula medidora permanece cerrada, evitando que fluya mezcla hacia la entrada del compresor. El movimiento del mando de gases a la posición de despegue abre el paso del aceite, y la presión de aceite pasa a través de la servo-válvula para abrir la válvula medidora por medio del servo-pistón.



Típico sistema de inyección en la cámara de combustión

Fig. 15-4

Inyección en la cámara de combustión

El sistema de inyección en la cámara de combustión mostrado en la figura 15-4 es un sistema típico para un motor turborreactor. El refrigerante fluye desde un depósito montado en el avión hacia una bomba de turbina arrastrada por aire que lo entrega a una unidad sensora del flujo de agua. El agua pasa desde la unidad sensora a la línea de alimentación de cada inyector y es pulverizada desde dos chorros sobre los generadores de torbellinos del tubo de llama, enfriando de esta manera al aire que pasa hacia dentro de la zona de combustión. La presión del agua entre la unidad sensora y los chorros de descarga es sentida por el sistema de control de combustible, que automáticamente reajusta al governor de velocidad del motor para que dé una velocidad máxima de motor más alta.

La unidad sensora del flujo de agua abre solo cuando se obtiene la diferencia de presión correcta entre la presión del aire entregado por el compresor y la presión del agua. El sistema entra en funcionamiento cuando la palanca de gases del motor se mueve a la posición de despegue, haciendo que los microinterruptores operen y seleccionen el suministro de aire para la bomba de turbina.

La unidad sensora también forma una válvula antirretorno para evitar que la presión del aire se vuelva desde los chorros de descarga, y proporciona el funcionamiento de una luz indicadora que muestra cuando el agua está fluyendo.

Sistemas de Poscombustión

Aproximadamente solo el 25% del aire que pasa a través del núcleo motor se usa para la combustión; el aire restante se usa para refrigeración. Este aire sin quemar que sale del motor contiene una gran cantidad de oxígeno.

Un posquemador es esencialmente un estatorreactor adosado a la parte posterior de un turboreactor o motor turbofan. Cuando se requiere empuje adicional, se pulveriza combustible en los gases de escape extremadamente calientes y se prende. El calor adicional posteriormente acelera al aire y produce un aumento del empuje alrededor del 50%. Este empuje adicional se obtiene a costa de triplicar el consumo de combustible.

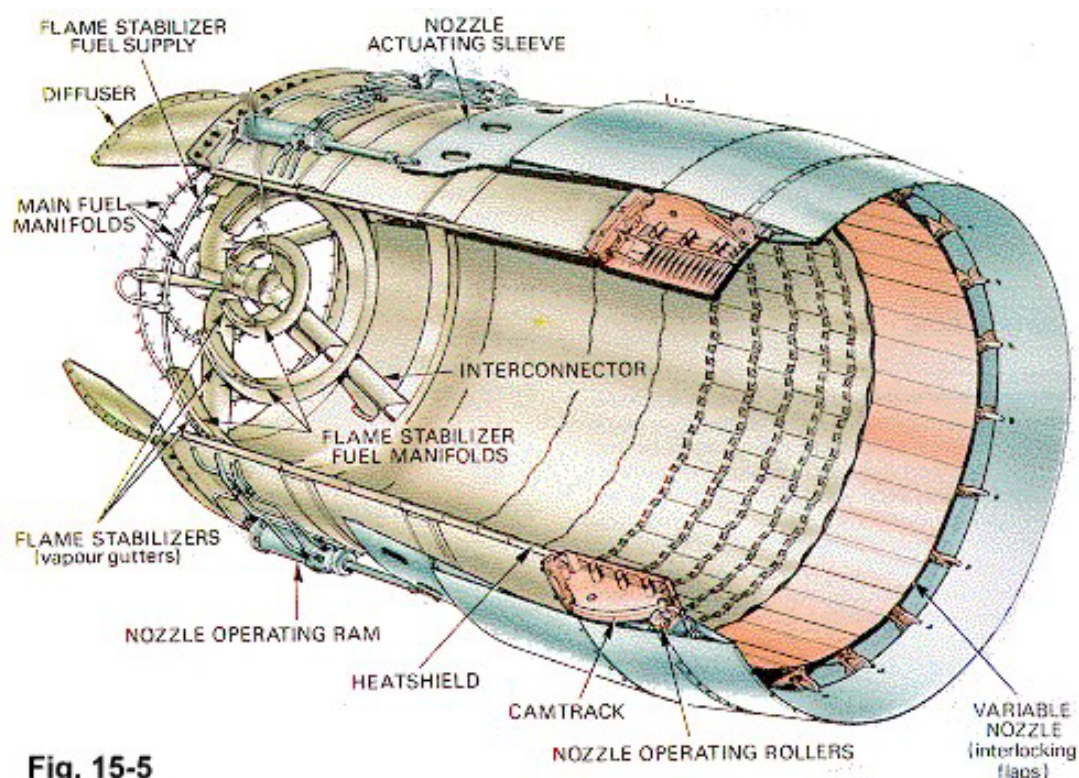


Fig. 15-5

Un posquemador consta de un conducto posquemador, boquillas pulverizadoras de combustible o barras pulverizadoras, y mantenedores de llama. Una tobera de escape variable se abre para aumentar el área de la tobera y así mantener la presión de descarga adecuada cuando se usa el posquemador, y se cierra para disminuir el área cuando no se usa.

Algunos motores turbofan usan un conducto calentador para el aumento de empuje. Un conducto calentador es similar a un posquemador, pero el combustible se añade al aire de descarga del fan y se quema.

El área del tubo de descarga del posquemador es mayor de lo que sería el tubo de descarga normal para el mismo motor, de esta manera, se obtiene una velocidad reducida de la corriente del gas. Para poder operar en todas las condiciones, el tubo de descarga del posquemador está equipado con una tobera que puede ser de dos posiciones o de geometría variable. La tobera estará cerrada durante la operación normal (sin posquemador), pero cuando se selecciona la poscombustión, la temperatura del gas aumenta y la tobera se abre para proporcionar un adecuado área de salida a la corriente de gas con un volumen resultante aumentado. Esto evita que cualquier incremento de presión afecte al funcionamiento del motor,

al tiempo que permite que el posquemador se use en una amplia gama de velocidades del motor.

El empuje que da un motor equipado con posquemador cuando el posquemador no está operando, es ligeramente inferior al que daría un motor similar sin instalación de posquemador; esto se debe a las restricciones añadidas en el tubo de descarga. También está aumentado el peso total del grupo motopropulsor por el equipo posquemador y un tubo de descarga más pesado.

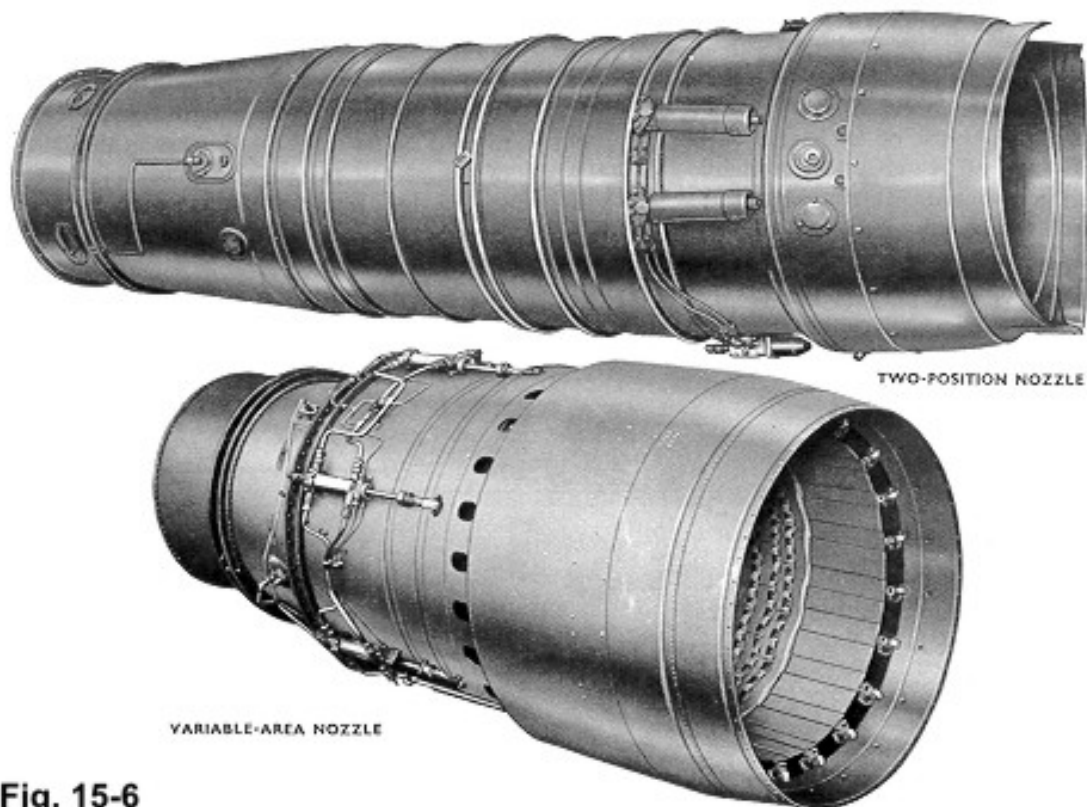


Fig. 15-6

Funcionamiento del posquemador

La corriente de gas procedente de la turbina del motor entra en el tubo de descarga a una velocidad de 750 a 1.200 pies por segundo (de 227 a 363 metros por segundo), pero como esta velocidad es demasiado alta para mantener una llama estable, hay que difundir el flujo antes de que entre en la zona de combustión del posquemador, es decir, hay que reducir la velocidad del flujo y aumentar su presión. No obstante, como la velocidad de combustión del keroseno a relaciones de mezcla normales es solo de unos cuantos pies por segundo, cualquier combustible que se prenda incluso en la corriente de aire difundido se apagaría. Por lo tanto, una forma de estabilizador de llama, está localizado corriente abajo de los quemadores de combustible para proporcionar una región en la cual se formen torbellinos turbulentos que ayuden a la combustión, y donde la velocidad local del gas se reduzca mas hasta un valor al cual se produzca la estabilización de la llama mientras la combustión progresa.

A través de un determinado número de quemadores se inyecta combustible atomizado en el tubo de descarga, estos quemadores están dispuestos de manera tal que el combustible se distribuye uniformemente sobre el área de la llama. Luego se inicia la combustión, bien por medio de un encendedor catalítico que crea una llama como resultado de la reacción química que se produce al atomizar una mezcla combustible/aire sobre un elemento a partir de platino, por un encendedor tipo bujía adyacente al quemador, o por una vena de llama que se origina en la cámara de combustión; este último método se conoce como ignición por dardo caliente. Una vez que comienza la combustión, la temperatura del gas aumenta y los gases en

expansión se aceleran a través del área agrandada de la tobera propulsora para proporcionar el empuje adicional.

Viendo la alta temperatura de los gases que entran en el conducto de descarga desde la turbina, podría suponerse que la mezcla se prende espontáneamente. Esto no es así, pues aunque se forman llamas frías a temperaturas de hasta 700°C , la combustión no tendrá lugar por debajo de 800°C . No obstante, si las condiciones fuesen tales que la combustión espontánea se pudiese producir al nivel del mar, es improbable que ocurra en altitud donde la presión atmosférica es baja. La chispa o la llama que inicia la combustión debe ser de tal intensidad que el encendido pueda obtenerse a altitudes considerables.

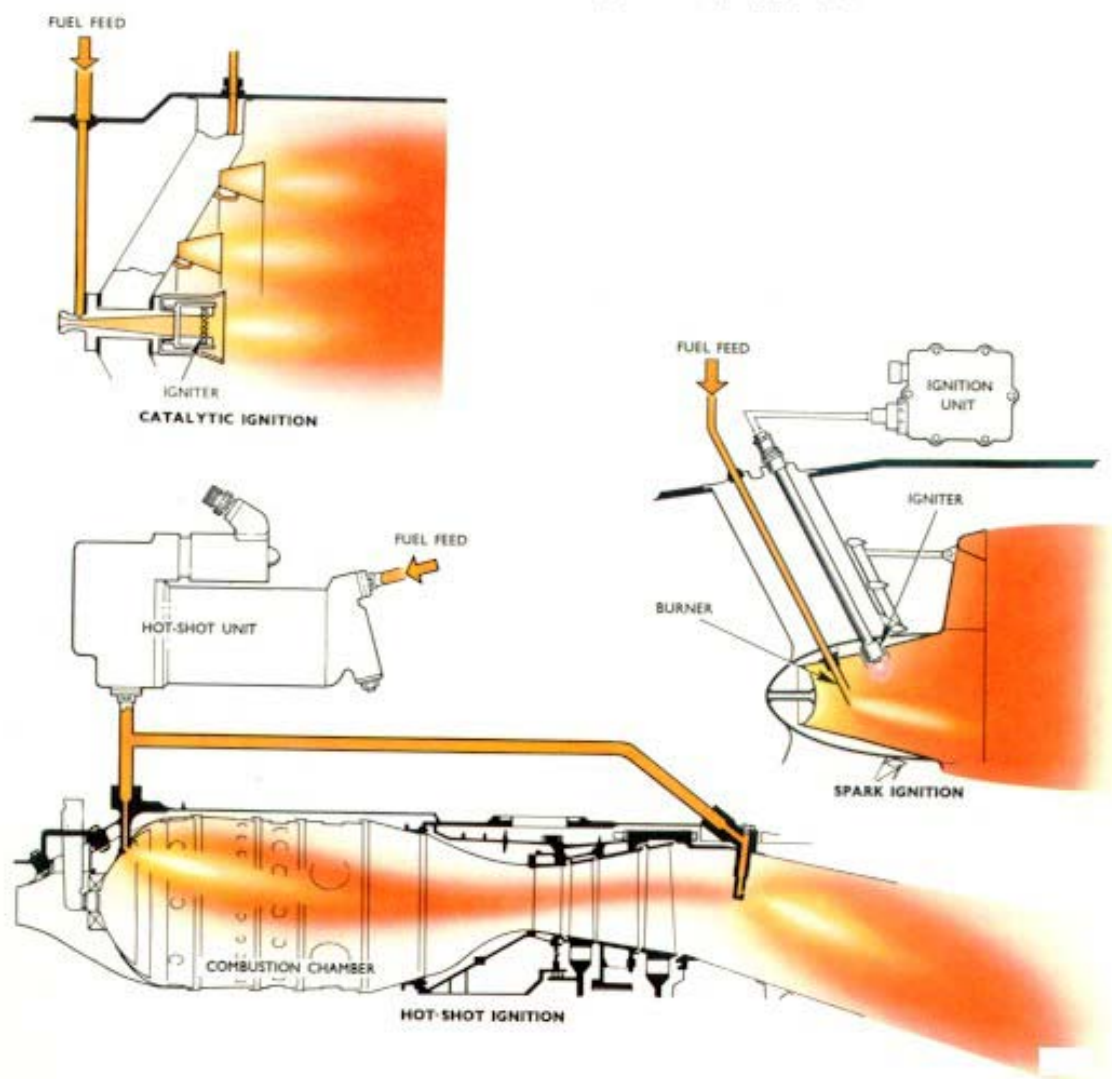


Fig. 15-7

Para conseguir un funcionamiento uniforme del sistema, se requiere una llama estable que arda firmemente en una amplia gama de concentraciones de mezcla y flujos de gas. La mezcla también debe ser fácil de prender bajo todas las condiciones de vuelo, y la combustión debe mantenerse con la mínima pérdida de presión.

Aumento del Empuje

El aumento del empuje debido a la poscombustión depende solamente de la relación de las temperaturas absolutas del conducto de descarga antes y después de que el combustible extra se queme. Por ejemplo, sin tener en cuenta las pequeñas pérdidas debidas al equipo

posquemador y las variaciones de la cantidad de movimiento del flujo de gas, el incremento de empuje puede calcularse como sigue.

Supongamos una temperatura del gas antes de la poscombustión de 640° C (913° K) y con poscombustión de 1.269° C (1.542° K), entonces la relación de temperatura será

$$\frac{1.545}{913} = 1.69$$

La velocidad de la corriente del chorro aumenta según la raíz cuadrada de la relación de temperatura. Por lo tanto, la $\sqrt{1.69} = 1.3$.

velocidad del chorro se incrementa en un 30 por ciento, y el incremento del empuje estático, en este caso, también es de un 30 por ciento.

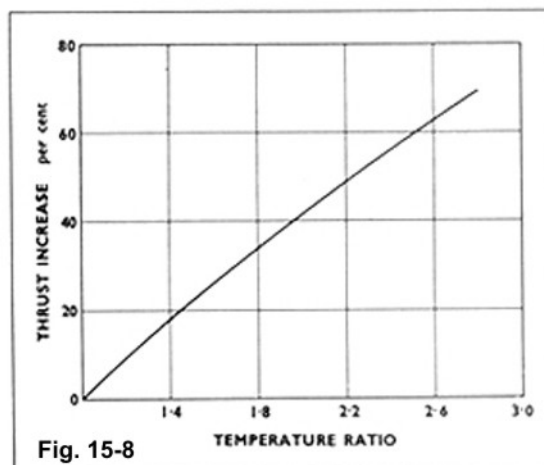


Fig. 15-8

Aumento del empuje y relacion de temperatura

En los motores by-pass equipados con posquemador se obtiene un incremento del empuje estático de hasta el 70 por ciento, y a altas velocidades se puede obtener varias veces esta cantidad. Estas altas subidas de empuje en los motores by-pass se consiguen debido a la gran cantidad de oxígeno en la corriente de gas y la baja temperatura de los gases de escape.

No obstante, no es posible continuar aumentando la cantidad de combustible a quemar en el conducto de descarga hasta usar todo el oxígeno disponible, porque el conducto de descarga no soportaría las altas temperaturas que se desarrollarían.

Sistema de Control

Es evidente que para la operación satisfactoria del sistema posquemador deben coordinarse dos funciones, el flujo de combustible y el área de la tobera propulsora. Normalmente, estas funciones están relacionadas haciendo que el flujo de combustible en los quemadores dependa del área de la tobera, con el piloto controlando el área de la tobera o el flujo de combustible en conjunción con un dispositivo sensor de presión de descarga del compresor/conducto de descarga (una unidad de control de relación de presión). Cuando el área de la tobera se aumenta, el flujo de combustible del posquemador aumenta; cuando el área de la tobera se reduce, el flujo de combustible del posquemador reduce. La unidad de control de relación de presión asegura que la relación de presión a través de la turbina permanezca inalterada y que el motor no se afecta por la operación del posquemador, sin hacer caso del área de la tobera y del flujo de combustible.

Debido al gran flujo de combustible necesario para la poscombustión, se usa una bomba de combustible adicional. Esta bomba normalmente es de flujo centrífugo o de engranajes, y se energiza automáticamente cuando se selecciona el posquemador. El sistema es completamente automático e incorpora características a prueba de fallo en caso de avería del posquemador. En la figura de abajo se muestra un diagrama de la interconexión entre el sistema de control y el conducto de descarga del posquemador.

Cuando se selecciona poscombustión, se hace llegar una señal mecánica a la unidad de control de combustible del posquemador. La unidad determina la entrega total de combustible de la bomba y controla la distribución del flujo de combustible hacia el conjunto del quemador. El suministro de combustible hacia los quemadores se prende, resultando en un aumento en la presión del conducto de descarga (P_6). Esto altera la relación de presión a través de la turbina (P_3 / P_6), y el área de salida de la tobera del conducto de descarga aumenta automáticamente hasta que se restablece la relación correcta P_3 / P_6 . Un posterior aumento en el grado de

poscombustión hace que el área de la tobera aumente progresivamente para mantener una relación satisfactoria P_3 / P_6 .

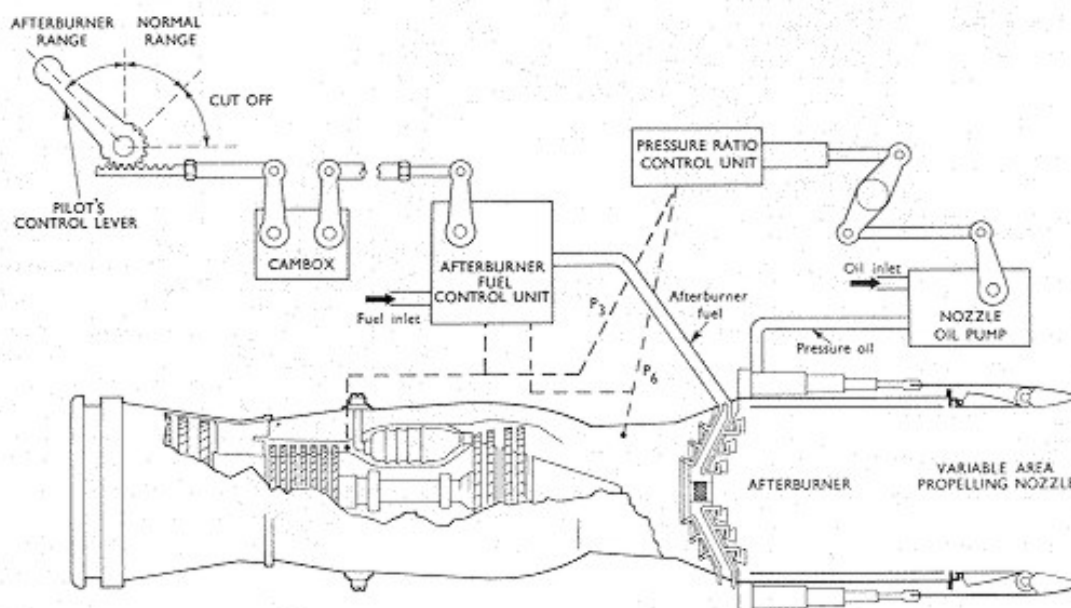


Fig. 15-9 SISTEMA DE CONTROL SIMPLIFICADO

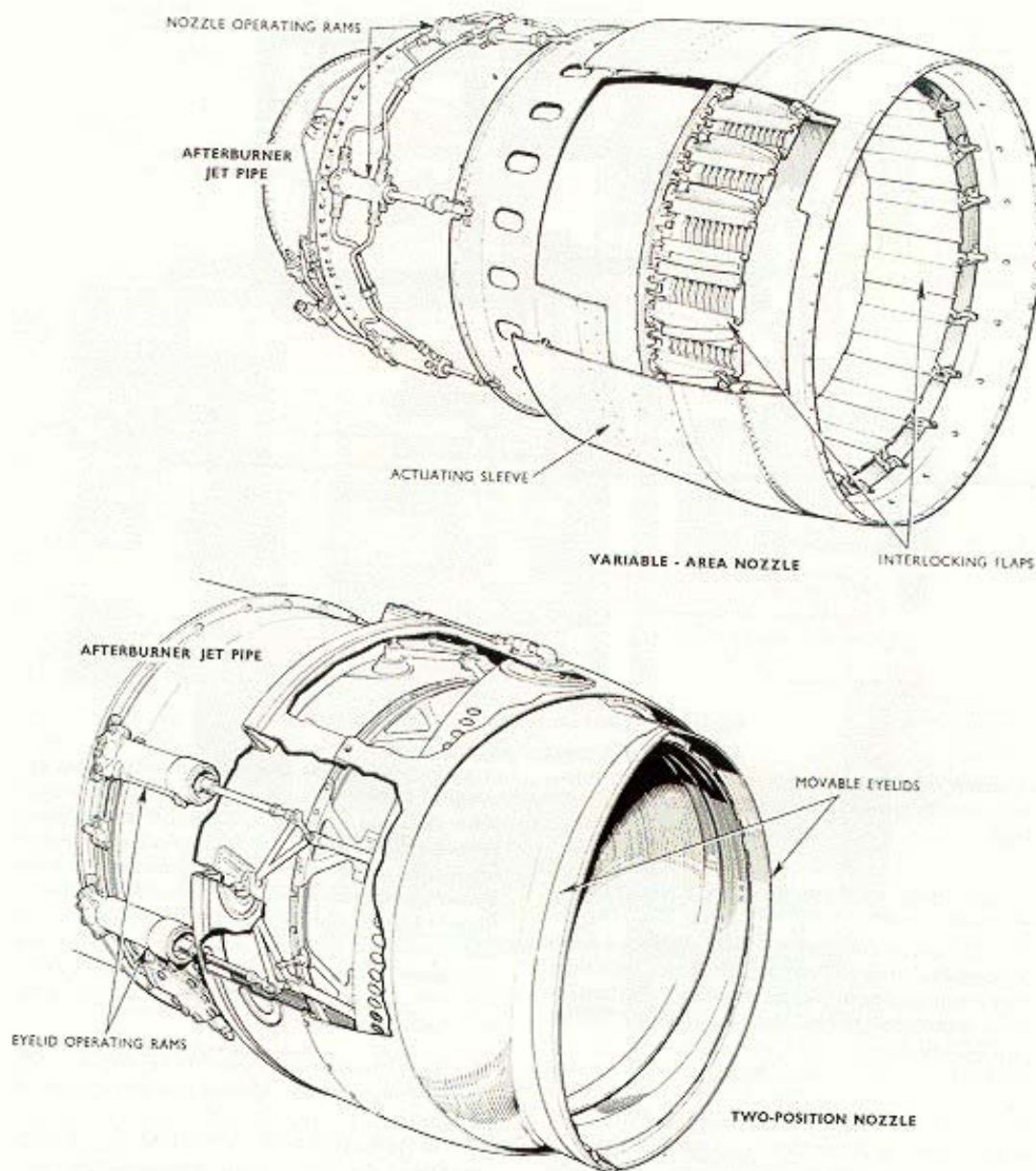
Para operar la tobera propulsora contra las grandes cargas de resistencia impuestas por la corriente de gas, se incorpora en el sistema de control una bomba y unos martinets operados hidráulicamente o bien neumáticamente. Los hidráulicos pueden usar como fluido aceite o combustible. El movimiento de la tobera se consigue por medio de los martinets hidráulicos que se presurizan con una bomba cuya descarga está controlada por medio de un varillaje desde la unidad de control de la relación de presión. Cuando se selecciona un incremento de la poscombustión, la unidad de control de combustible del posquemador programa un aumento en la salida de la bomba de combustible (aumenta el flujo total de combustible). La presión en el conducto de descarga (P_6) aumenta, alterando la relación de presión a través de la turbina (P_3 / P_6). La unidad de control de la relación de presión altera el caudal de la bomba, ocasionando una condición de desequilibrio entre la carga del martenete hidráulico y la carga del gas sobre las trampillas de la tobera. La carga del gas abre la tobera para aumentar su área de salida y, a medida que la tobera abre, el aumento de área en la tobera restaura la relación P_3 / P_6 y la unidad de control de relación de presión altera el caudal de la bomba hasta que el equilibrio se restaura entre los actuadores hidráulicos y las cargas del gas sobre las trampillas de la tobera.

Conducto de descarga y tobera propulsora

El conducto de descarga del posquemador está construido de una aleación de acero resistente al calor y requiere mas aislamiento que un conducto de descarga normal para evitar que el calor de la combustión se transmita a la estructura del avión. El conducto de descarga puede ser de construcción de doble pared, siendo la pared exterior la que soporta las cargas debidas al vuelo y la interior la que soporta los esfuerzos térmicos; luego se induce un flujo de aire de refrigeración entre ellas. También se han tenido en cuenta la expansión y la contracción, así como las pérdidas en las uniones del conducto de descarga.

La tobera propulsora es de construcción y material similar al conducto de descarga, al cual está fijada como un conjunto independiente. Una tobera propulsora de dos posiciones tiene dos párpados móviles que se operan por medio de actuadores, o martinets neumáticos, para dar la posición abierta o cerrada. Una tobera propulsora de área variable tiene un anillo de

trampillas de interbloqueo que están abisagradas al cárter exterior y pueden estar encerradas en una envuelta exterior. Las trampillas se actúan por medio de martinetes a la posición de cerrado, y por las cargas del flujo de gas a las posiciones intermedia o abierta; no obstante, el control de la posición de las trampillas lo realiza una unidad de control de relación de presión y la bomba que proporciona la energía a los martinetes.

**Fig. 15-10**

Toberas propulsoras de posquemador

El sistema quemador consta de uno o más colectores de combustible circulares sujetos por los montantes dentro del conducto de descarga. El combustible se suministra a los colectores por medio de los tubos de alimentación en los montantes y se pulveriza en el área de llama desde orificios en los colectores. El estabilizador de llama es un anillo anular de sección en V localizado por debajo de los quemadores de combustible. Un sistema alternativo de quemador tiene estabilizadores de combustión pilotos, y el combustible principal del quemador se suministra a la corriente de gas que pasa entre estos estabilizadores.

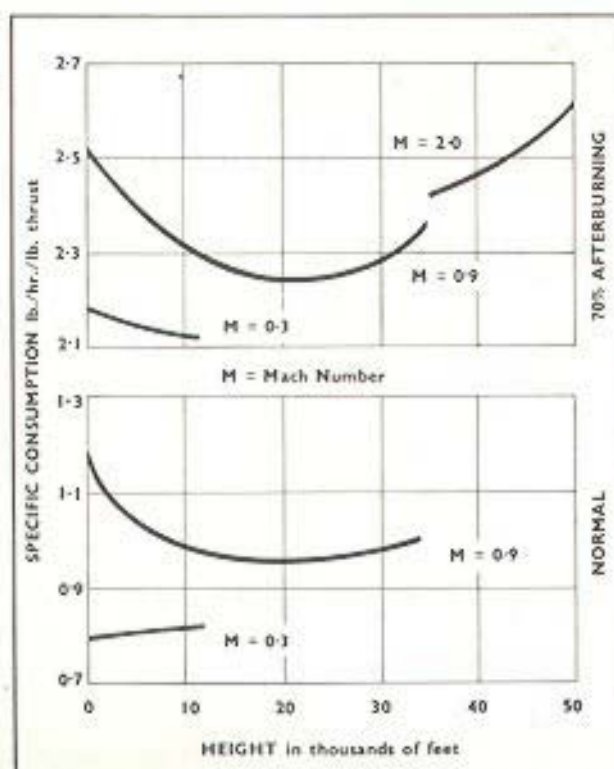
Un escudo de calor circular se monta en la pared interior del conducto de descarga. El escudo, que está arrugado y perforado, también evita que la inestabilidad de la combustión cree vibración y ruido excesivo que como consecuencia resultaría en un rápido deterioro físico del equipo posquemador.



Fig. 15-11

Consumo de combustible

La poscombustión siempre conlleva un aumento en el consumo específico de combustible y, por lo tanto, generalmente está limitada a períodos de corta duración. A la corriente de gas se le debe añadir combustible adicional para obtener la relación de temperatura requerida. Debido a que la elevación de temperatura no ocurre en el pico de compresión, el combustible no se quema tan eficazmente como en la cámara de combustión y debe resultar en un consumo específico de combustible más alto. Por ejemplo, supongamos un consumo específico de combustible sin posquemador de 1,15 lb./hr./lb. de empuje al nivel del mar y una velocidad de 0,9 Mach como se puede ver en la figura de la derecha. Entonces con el 70% de poscombustión bajo las mismas condiciones de vuelo, el consumo se aumentará en aproximadamente 2,53 lb./hr./lb. de empuje. Con un aumento en altitud hasta 35.000 pies esta última cantidad de 2,53 lb./hr./lb. de empuje caerá ligeramente a aproximadamente 2,34 lb./hr./lb. de empuje debido a una



Comparación de los consumos específicos de combustible

Fig. 15-12

temperatura de entrada reducida. Cuando este consumo de combustible adicional se combina con el régimen mejorado de despegue y ascenso, vemos que la cantidad de combustible requerida para reducir el tiempo que lleva en alcanzar la altitud operacional no es excesivo.

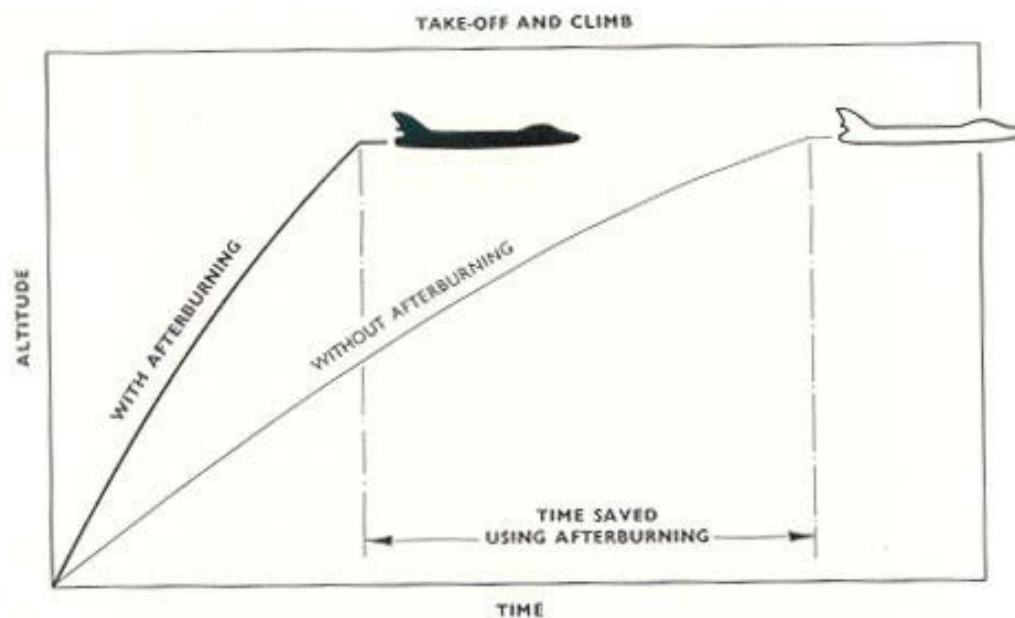


Fig. 15-13 La poscombustion y su efecto sobre el regimen de ascenso