

## ESCAPE

### Características de Fabricación y Principios de Funcionamiento

Los motores de turbina de gas para aviación tienen un sistema de escape que pasa los gases de descarga de la turbina a la atmósfera a una velocidad y dirección adecuadas para proporcionar el empuje resultante. La velocidad y la presión de los gases de escape crean el empuje en el motor turborreactor, pero en el motor turbohélice los gases de escape aportan solo una pequeña cantidad al empuje, porque la mayor parte de la energía ha sido absorbida por la turbina para arrastrar a la hélice. Por lo tanto, el diseño del sistema de escape ejerce una considerable influencia sobre la actuación del motor. Las áreas del conducto de salida y la tobera propulsora o de salida afectan a la temperatura de entrada en la turbina, a la masa del flujo de aire y a la velocidad y presión del chorro de escape.

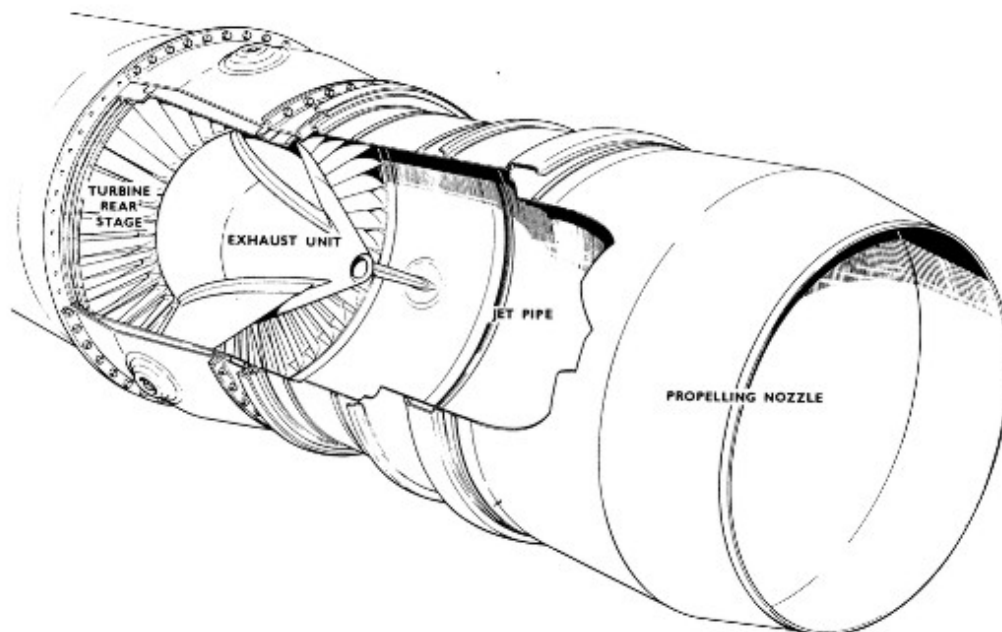


Fig. 7-1 SISTEMA DE ESCAPE BÁSICO

La temperatura del gas que entra en el sistema de escape está entre 550°C y 850°C dependiendo del tipo de motor. Los motores turbohélices y turbofanos son los que tienen el flujo de gas de escape más frío. Con el uso del posquemador, la temperatura en el conducto de escape puede ser de 1.500°C o mayor. Aunque el impacto total de la alta temperatura no es sentido por el conducto de escape, debido a la forma de la llama y al método de refrigeración, es necesario usar materiales y una forma de construcción que resista la deformación y el agrietamiento, y evite la conducción de calor hacia la estructura del avión. El conducto de escape posquemador también requiere una tobera propulsora bien de dos posiciones o de área variable que se adapte a los diferentes volúmenes del flujo de gas que tienen lugar cuando el posquemador está puesto o quitado.

El uso de un inversor de empuje, un supresor de ruido y una tobera propulsora de área variable conlleva un sistema más complicado. El motor turbofan también puede incluir una unidad mezcladora para favorecer una completa mezcla de las corrientes de gas frío y caliente.

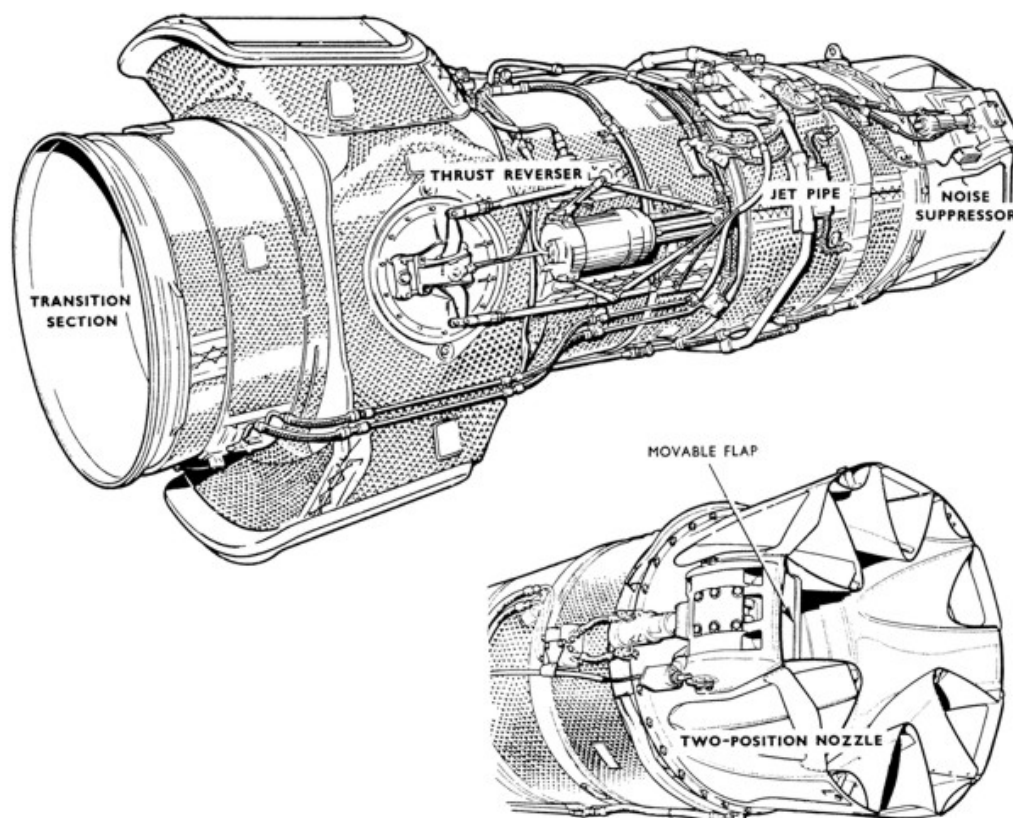
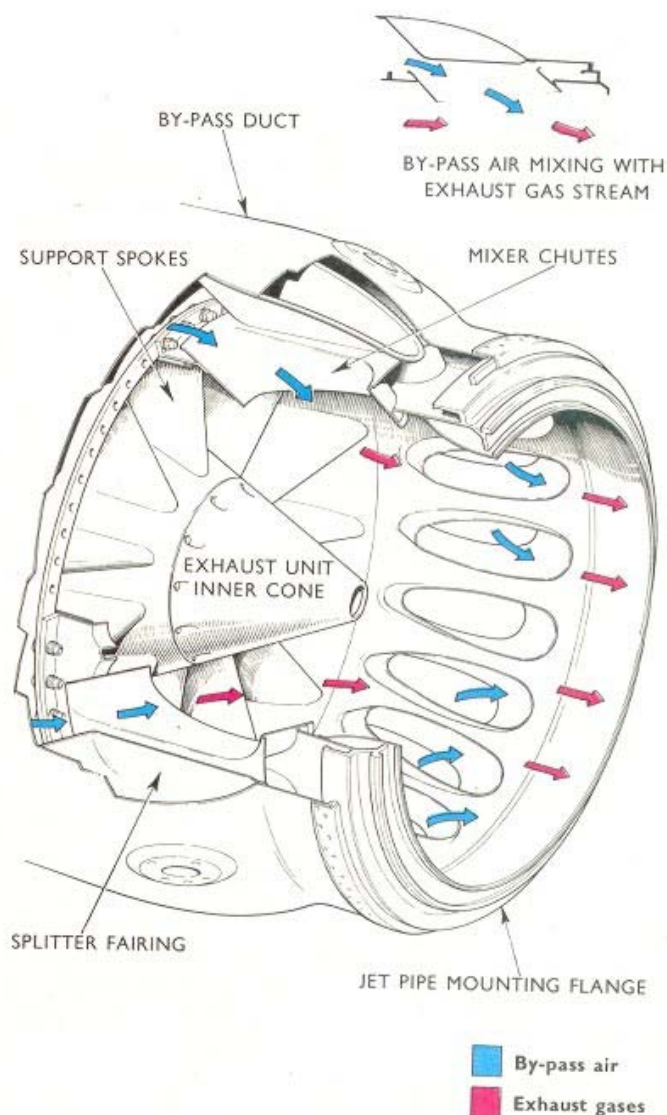


Fig. 7-2 SISTEMA DE ESCAPE CON INVERSOR DE EMPUJE, SUPRESOR DE RUIDOS Y TOBERA PROPULSORA DE ÁREA VARIABLE

El gas procedente de la turbina del motor entra en el sistema de escape a velocidades de 750 a 1.200 pies por segundo, pero, debido a que las velocidades de este orden producen altas pérdidas por fricción, la velocidad del flujo se disminuye por difusión. Esto se logra teniendo un área de paso en aumento entre el cono de escape y la pared exterior. El cono también evita que los gases de escape fluyan a través de la cara posterior del disco de turbina. Es normal mantener la velocidad a la salida del cárter de escape a aproximadamente 0.5 de Mach, es decir unos 950 pies por segundo. Tienen lugar pérdidas adicionales debidas a la velocidad de los torbellinos residuales en la corriente del gas procedente de la turbina. Para reducir estas pérdidas, los montantes en el cárter de escape están diseñados para enderezar el flujo antes de que los gases pasen dentro del conducto de escape.

Los gases de escape pasan a la atmósfera a través de la tobera propulsora, la cual forma un conducto convergente, esto aumenta la velocidad del gas. En un motor turborreactor, la velocidad de salida de los gases de escape es subsónica solamente en condiciones de bajo empuje. Durante la mayoría de las condiciones operacionales, la velocidad de salida alcanza la velocidad del sonido con respecto a la temperatura de los gases de escape, y entonces se dice que la tobera propulsora está "estrangulada"; es decir, no se puede obtener un posterior aumento en velocidad a menos que se aumente la temperatura. A medida que la presión total corriente arriba aumenta por encima del valor al cual la tobera propulsora se estrangula, la presión estática de los gases a la salida aumenta por encima de la presión atmosférica. Esta diferencia de presión a través de la tobera propulsora produce lo que se conoce como empuje de presión y es efectivo sobre el área de descarga de la tobera. Esto es un empuje adicional al obtenido por la variación de la cantidad de movimiento de la corriente de gas.



**Fig. 7-3** Unidad mezcladora de un motor by-pass

El motor turbofan tiene dos corrientes de gas para descargar a la atmósfera, el flujo de aire frío del fan y los gases de descarga de la turbina. Los dos flujos están combinados por una unidad mezcladora que permite al aire secundario fluir dentro del flujo de gas primario procedente del núcleo motor de tal manera que asegura una mezcla total de las dos corrientes. En los motores turbofan de gran relación de paso, la corriente de gas caliente y la corriente de aire frío, normalmente se descargan por separado. Las toberas fría y caliente son coaxiales, y el área de cada tobera está diseñada para obtenerse de ellas el máximo rendimiento.

El sistema de escape debe ser capaz de soportar la alta temperatura del gas, y por lo tanto, está fabricado de aceros especiales resistentes al calor. También es necesario evitar que cualquier calor se transmita a la estructura circundante del avión. Esto se consigue haciendo pasar aire de ventilación alrededor del conducto de escape, o forrando las secciones del sistema de escape con una manta de aislamiento. Cada manta tiene una capa interna de material de aislamiento fibroso envuelto por una fina lámina exterior de acero inoxidable, que está llena de hoyuelos para aumentar su resistencia. Además, algunas veces, al sistema de escape se aplica materiales absorbentes acústicamente para reducir el ruido del motor.

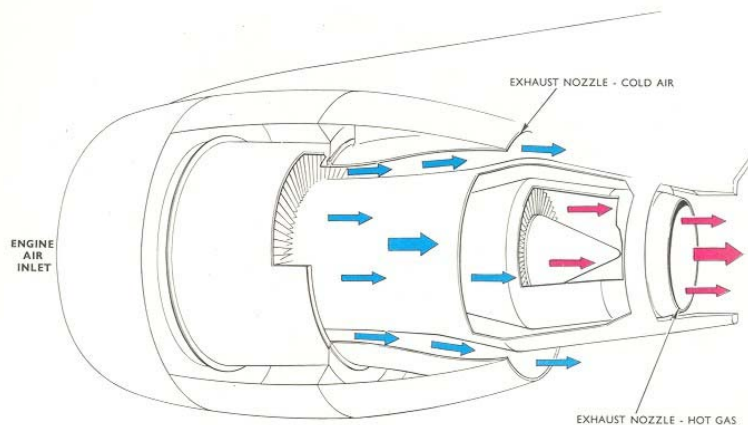


Fig. 7-4 Sistema de escape de corriente fría y corriente caliente

Cuando la temperatura del gas es muy alta (por ejemplo, cuando se emplea posquemador), todo el conducto de escape normalmente es de construcción de doble pared con un espacio anular entre las dos paredes. Los gases calientes que salen de la tobera propulsora inducen por eyección, un flujo de aire a través del espacio anular de la góndola del motor. Este flujo de aire refrigera la pared interna del conducto de escape y actúa como manta de aislamiento reduciendo la transmisión de calor desde la pared interior a la exterior.

El cono y los montantes con forma aerodinámica del cárter de escape están sujetos a la presión de los gases de escape; por lo tanto, para evitar cualquier deformación, se han dispuesto orificios de ventilación para obtener una presión de equilibrio.

La unidad mezcladora de la que se habló anteriormente consta de varias tolvas a través de las cuales el aire secundario fluye dentro de los gases de escape.

Debido a las amplias variaciones de temperatura a las que el sistema de escape está sujeto, debe montarse y tener sus secciones ensambladas de tal forma como para permitir la dilatación y contracción sin deformación o daño.

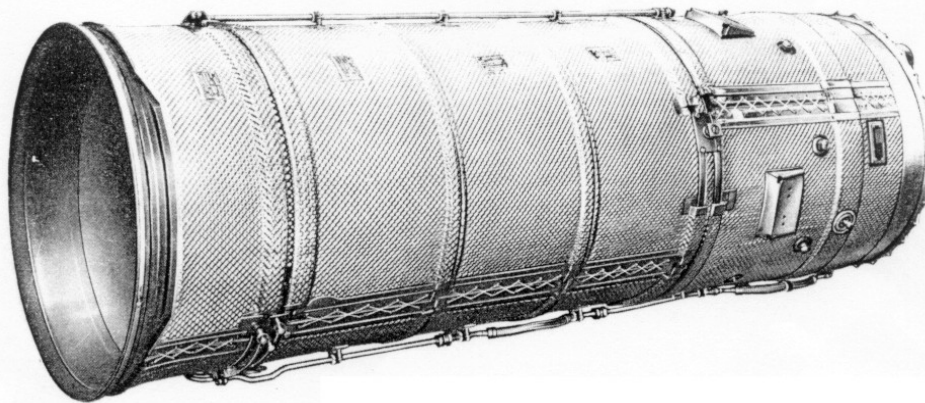
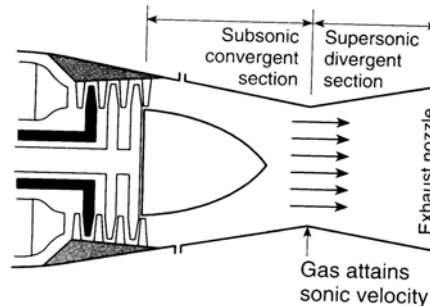


Fig. 7-5 TUBO DE ESCAPE CON AISLAMIENTO TÉRMICO

## Toberas convergente-divergente y de área variable

El empuje producido por los motores de los aviones supersónicos se aumenta por el uso de toberas de escape convergentes – divergentes, o CD, cuya área de sección transversal cambia como se muestra en la figura 7-6.



UNA TOBERA CONVERGENTE - DIVERGENTE  
AUMENTA EL EMPUJE INCREMENTANDO LA  
ACELERACION DE LOS GASES DE ESCAPE.

Fig. 7-6

Los gases salen de la sección de turbina y entran en la porción convergente de la tobera a una velocidad subsónica. Su velocidad aumenta a medida que el conducto se hace más pequeño hasta que alcanza la velocidad del sonido en el punto más estrecho donde se forma una onda de choque y evita que haya mas aceleración. Los gases salen del punto más estrecho a la velocidad del sonido, y a medida que el área del conducto aumenta, se aceleran a una velocidad supersónica mayor. Los beneficios de una tobera CD aumentan a medida que aumenta el número de Mach en vuelo del avión.

Para una operación más rentable, el régimen de cambio de la porción divergente de la tobera no puede ser fijo, sino que debe variar automáticamente en la medida que cambia el flujo de aire a través del motor. Algunos motores de gran actuación tienen una tobera CD cuyo límite está formado por una pared de aire.

Con la tobera convergente se desperdicia energía, puesto que los gases que dejan la salida no se expanden lo suficientemente rápido como para conseguir inmediatamente la presión del aire exterior. Algunos motores de gran relación de paso pueden usar con ventaja una tobera convergente – divergente para recuperar parte de la energía desperdiciada. Estas toberas

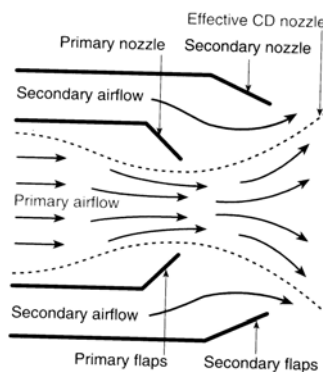


Fig. 7-7

La tobera de escape CD está formada en algunos motores de gran actuación por un posquemador que usa dos juegos de trampillas de salida. Las trampillas del primario forman una tobera convergente, y a medida que los gases salen, su expansión radial está controlada por el flujo de gases secundario, que a su vez, está controlado por la posición de las trampillas del secundario.

utilizan la energía de presión para obtener un posterior aumento en la velocidad del gas y, consecuentemente, un aumento del empuje.

Por la ilustración 7-7 se verá que la sección de salida convergente ahora se convierte en la garganta, estando ahora la salida auténtica en el extremo acampanado de la sección divergente. Cuando el gas entra en la sección convergente de la tobera, la velocidad del gas aumenta con una correspondiente caída en la presión estática. La velocidad del gas en el estrechamiento o garganta corresponde a la velocidad del sonido relacionada con la temperatura del gas. A medida que el gas sale de la restricción de la garganta y fluye dentro de la sección divergente, progresivamente aumenta en velocidad hacia la salida. La reacción a este posterior incremento de la cantidad de movimiento es una fuerza de presión que actúa sobre la pared interna de la tobera. Una componente de esta fuerza que actúa paralela al eje longitudinal de la tobera produce el posterior aumento en el empuje.

El tamaño de la tobera propulsora es extremadamente importante y debe diseñarse para obtener el correcto equilibrio de presión, temperatura y empuje. Con una tobera pequeña estos valores aumentan, pero existe la posibilidad de inestabilidad del motor (*surging*), mientras que con una tobera grande los valores obtenidos son demasiado bajos.

En algunos motores, se usa una tobera propulsora de área variable. El área de la tobera se aumenta o disminuye usando una placa móvil, o alternativamente desplazando un cono hacia dentro o hacia fuera de la apertura de la tobera.

Cuando se usa este tipo de tobera propulsora, un aumento en el área de flujo a través de la tobera permite hacer arranques más fáciles a bajas RPM y temperatura debido a la reducción de la contrapresión en la turbina; con un área reducida, se aumenta el empuje. La variación del área de la tobera también permite obtener bajo consumo específico de combustible durante ciertas partes de la gama operativa del motor.

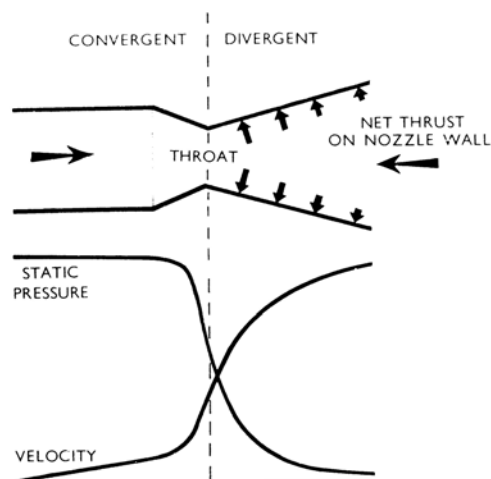


Fig. 7-8 FLUJO DEL GAS A TRAVÉS DE UNA TOBERA CONVERGENTE-DIVERGENTE

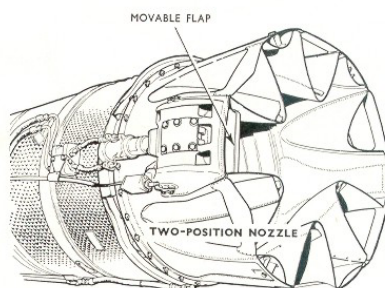


Fig. 7-9 Tobera propulsora de área variable

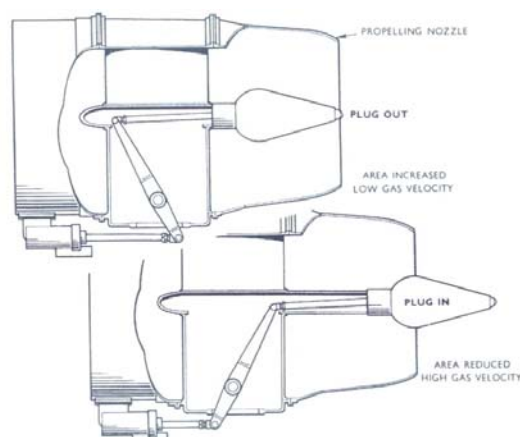


Fig. 7-10 TOBERA DE ÁREA VARIABLE TIPO CONO DESPLAZABLE

## Reducción del ruido de motores

Las regulaciones aeroportuarias que controlan el nivel máximo de ruido de las aeronaves han hecho de la supresión de ruidos del motor de reacción uno de los más importantes campos de investigación. La unidad que normalmente se usa para medir el nivel de ruido molesto es el decibelio de ruido percibido (PNdB). Un PNdB es una medida de ruido molesto que considera

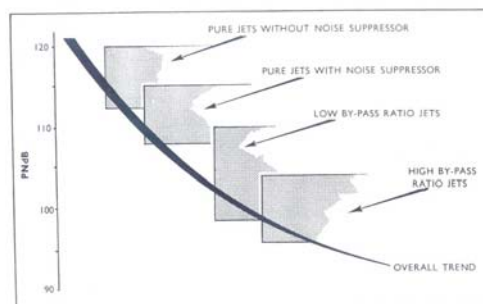


Fig. 7-11 NIVELES COMPARATIVOS DE RUIDOS DE LOS DISTINTOS TIPOS DE MOTOR



el tono así como la presión (decibelio) de un sonido. Como ejemplo, el nivel de ruido en un restaurante ajetreado es entre 75 y 80 PNdB.

Para comprender el problema de la supresión de ruido del motor es necesario tener un elaborado conocimiento de las fuentes de ruido y su importancia relativa. El ruido del motor de reacción resulta principalmente de tres fuentes, el compresor, la turbina y el chorro de escape. Estas fuentes de ruido obedecen diferentes leyes y mecanismos de generación, pero todas varían hasta cierta potencia (en el sentido matemático) de la velocidad relativa del flujo de aire. Para velocidades del chorro experimentadas en un motor reactor puro, el ruido del chorro de escape varía hasta una potencia mayor de la velocidad que el ruido del compresor o la turbina; por lo tanto, una reducción en la velocidad del chorro de escape tiene una influencia mayor que una reducción equivalente en la velocidad del compresor o la turbina.

El ruido del chorro de escape resulta de la turbulencia producida por la mezcla exterior de los gases de escape con la atmósfera y aumenta en proporción a la velocidad del flujo de escape. Una reducción en el nivel de ruido tiene lugar si el régimen de mezcla se acelera o si se reduce la velocidad del chorro de escape relativa a la atmósfera. Esto puede conseguirse cambiando el diseño del chorro de escape.

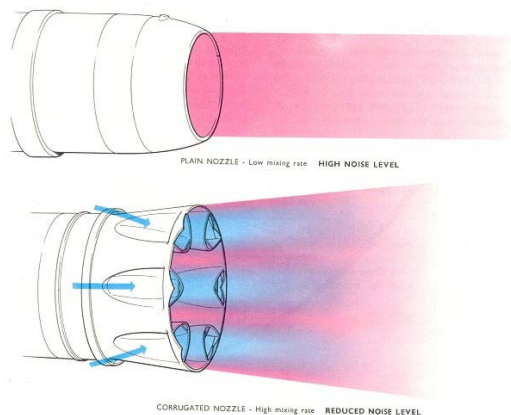


Fig.7-12 CAMBIO DE DISEÑO DE LA TOBERA PARA LA REDUCCIÓN DEL RUIDO

El ruido de la turbina y del compresor resulta de la interacción y reacción de los rastros procedentes de las etapas de álabes giratorios y estacionarios, y puede definirse como dos tipos distintos de ruidos, el de tono discreto y el de fondo. El tono discreto se produce por el paso regular de los álabes giratorios a través de los rastros procedentes de los álabes estacionarios precedentes ocasionando una serie de tonos y armónicos en cada etapa. Con el motor de gran relación de paso, los rastros de los álabes de fan o compresor de baja que pasan corriente abajo a través de los estatores también producen tales tonos pero de una menor intensidad debido a las velocidades más bajas. El ruido de fondo se produce por la reacción de cada álabe al paso del aire sobre su superficie. Incluso con una suave corriente sin rastro. La turbulencia de la corriente del aire al pasar sobre los álabes aumenta la intensidad del ruido de fondo.

Con el motor reactor puro, el ruido del chorro de escape es de tal alto nivel que el ruido de turbina y compresor se hace insignificante en todas las condiciones operativas excepto en los empujes bajos de aproximación. Con los motores de baja relación de paso, el nivel de ruido del chorro de escape cae a medida que la velocidad de los gases de escape se reduce, y el nivel de ruido de turbina cae a medida que la masa de la turbina de baja fluye y las velocidades se reducen relativamente, pero el ruido del compresor de baja presión se hace significativo sobre una gama de empuje más amplia.

A medida que aumenta la relación de paso, los niveles de ruido del chorro de escape y de la turbina continúan cayendo y el nivel de ruido del compresor de baja y fan continúa subiendo. Esta tendencia continúa hasta que el nivel de ruido del chorro de escape es menor que el nivel de ruido de la turbina y el ruido del fan alcanza un nivel comparable con el chorro de escape de un motor reactor puro. No habrá tal incremento en el ruido del fan si está disponible aerodinámicamente un fan de una sola etapa sin álabes guías de entrada; en su lugar, ocurrirá un significativo descenso hasta un nivel comparable al ruido de la turbina. Esto es porque se han eliminado los poderosos mecanismos de ruido de tono discreto y de fondo.

Como se describió anteriormente, la mayor fuente de ruido en el motor reactor puro y motor de baja relación de paso es el chorro de escape, y este puede reducirse aumentando el régimen de mezcla de los gases con la atmósfera. Esto se logra incrementando el área de contacto de la atmósfera con la corriente de gas utilizando una tobera propulsora que incorpore un supresor de ruido tipo lóbulos o arrugado.

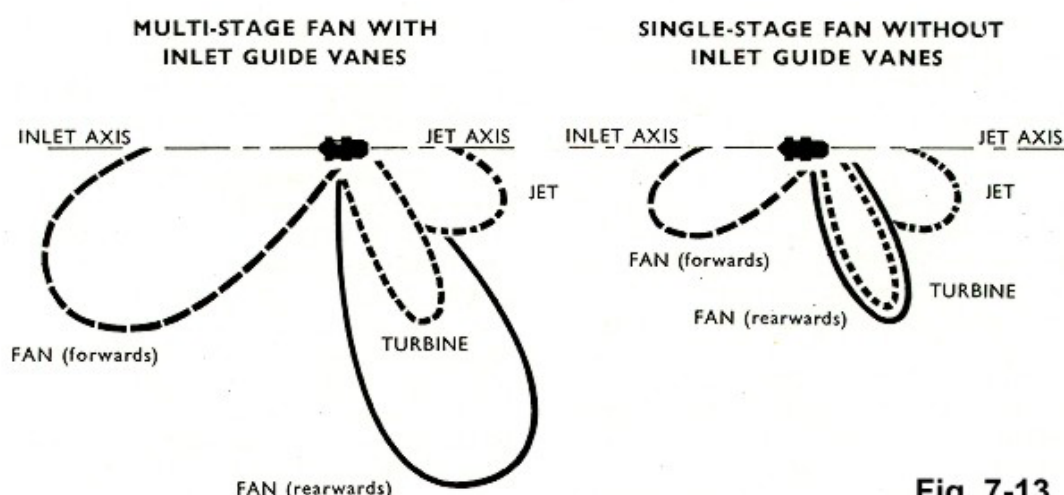


Fig. 7-13

### Comparación de las fuentes de ruidos en motores de gran relación de paso

En la tobera arrugada, el aire atmosférico fluye por debajo de las arrugas exteriores y dentro del chorro de escape para promover una rápida mezcla. En la tobera tipo lóbulos, los gases de escape se dividen para fluir a través de los lóbulos y una pequeña tobera central. Esto forma varios chorros de escape individuales que rápidamente se mezclan con el aire disuelto por los lóbulos supresores.



Fig. 7-14

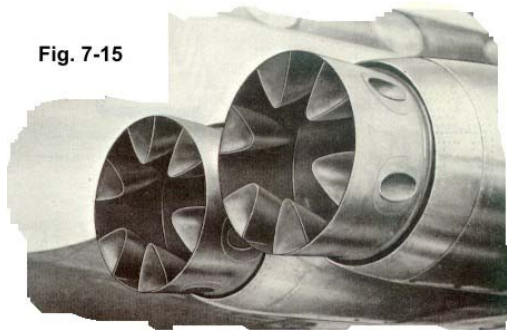
Las arrugas profundas o lóbulos dan una mayor reducción del ruido, pero la profundidad de los lóbulos y el tamaño del supresor está limitado, para conseguir el área de tobera requerida, el diámetro total del supresor tiene que aumentarse tanto que resulta en una excesiva resistencia al avance. Puede diseñarse una tobera que dé una mayor reducción del nivel de ruido, pero esto podría suponer un peso considerable debido al refuerzo adicional requerido. Por lo tanto, la meta del diseñador es un compromiso que aporte una reducción destacable del nivel de ruido con el

mínimo sacrificio del empuje de motor o adición de peso.

En el motor de gran relación de paso con una sola etapa de fan sin álabes guías de entrada, las fuentes predominantes que rigen el nivel total de ruido son el fan y la turbina. Si se puede reducir la velocidad del fan sin pérdida del empuje, entonces se reducirá el nivel de ruido del motor. En circunstancias por debajo del empuje máximo, el motor de triple rotor permite que esto se lleve a cabo usando una tobera de área variable para reducir mecánicamente el área de descarga final de la corriente de gases calientes.

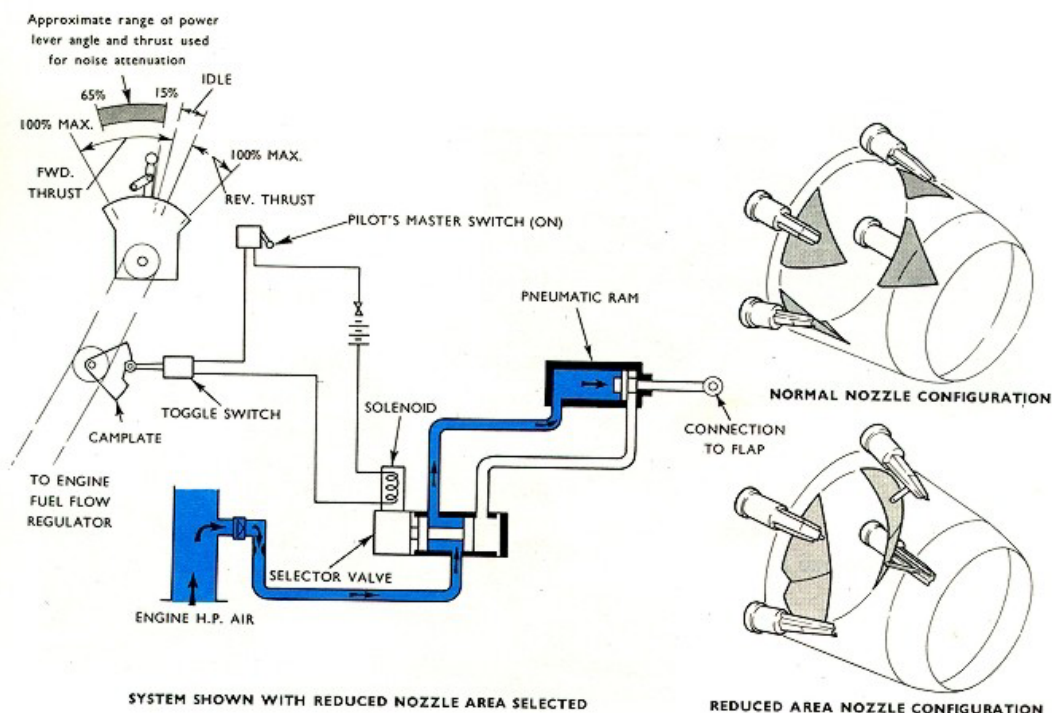
La reducción del área de descarga de la corriente de gases calientes hace que la velocidad del fan y su turbina asociada se reduzcan, produciendo una correspondiente reducción en el nivel de ruido de la turbina y el fan. Sin embargo, la velocidad de la corriente caliente aumenta, produciendo un correspondiente incremento del nivel de ruido en el chorro de escape. Si el área final de la tobera se reduce hasta que el nivel de ruido del fan, la turbina, y el chorro de escape sean del mismo orden, se habrá logrado el nivel medio óptimo de ruido para el motor. Esto normalmente ocurre

Fig. 7-15





cuando el área final de descarga de la corriente caliente se reduce aproximadamente al 50%. En el área de tobera óptima, el ruido radiado hacia tierra puede reducirse aún mas cambiando la forma geométrica de la tobera.



**Fig 7-16 Sistema típico de control de tobera de área variable**

Para asegurar que la apertura final de la tobera y el movimiento de la palanca de gases están relacionados, se requiere un sistema de control. Cuando se selecciona en ON el interruptor principal del piloto y el ajuste de palanca de gases está entre el 15% y el 65% automáticamente se selecciona el área de tobera reducida. La válvula selectora energizada proporciona aire extraído del compresor de alta presión (HP) para extender los actuadores neumáticos y las placas se cierran para formar una ranura vertical de área reducida. Si la palanca de gases se mueve fuera de la gama de potencia del 15-65% la operación del sistema se cancela. La reducción del área de la tobera no es progresiva y el sistema de control está diseñado para asegurar un cambio rápido.

Otro método de conseguir la supresión del ruido en un motor de gran relación de paso es por medio del uso de material absorbente de ruido en ciertas áreas del motor. El forro absorbente normalmente consta de una superficie porosa con un fondo de panel de abeja, montado dentro de los conductos del motor. Las propiedades acústicas de la superficie y el fondo están cuidadosamente equiparadas al carácter del ruido para conseguir una supresión óptima. La desventaja del uso de este método de supresión de ruido es que incurre en un ligero aumento de peso acompañado con un ligero aumento del consumo de combustible.

El supresor de ruido arrugado o tipo lóbulo forma la tobera de escape propulsora y normalmente es un conjunto independiente atornillado al conducto de escape. Normalmente esta provisto para que se pueda ajustar el área de la tobera de manera que pueda calibrarse con exactitud. El supresor tipo lóbulos tiene álabes guías para evitar la turbulencia y guiar los gases de escape suavemente a través de los lóbulos a la atmósfera. El supresor es una estructura soldada y fabricada de aleaciones resistentes al calor.

El dispositivo de reducción de ruido de tobera de área variable consta de un cierto número de placas, que están actuadas por actuadores neumáticos para reducir el área de la tobera y cambiar su forma geométrica a la requerida para la radiación de ruido preferente. Las placas están fabricadas de estructura soldada de aleaciones resistentes al calor.

En los motores de reacción se usan distintos materiales absorbentes de ruido. Estos, principalmente entran en dos categorías, materiales compuestos (*composite*) ligeros de peso que se usan en las zonas de temperaturas más bajas, y materiales fibrosos metálicos a partir de sílice que se usan en las zonas de temperaturas más altas. El material absorbente de ruido está unido al panel de abeja (*honeycomb*) metálico, que a su vez está unido a la estructura metálica principal del conducto o carcasa, para formar una estructura de panel de abeja tipo sándwich.

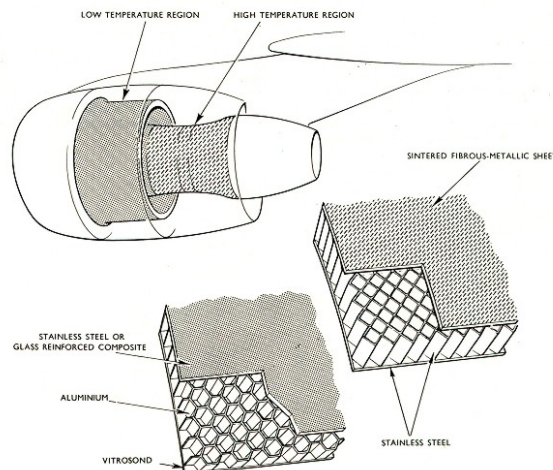


Fig. 7-17 Materiales absorbentes de ruidos

## Reversas de empuje

El uso de aviones propulsados por motor de reacción de gran actuación ha creado la necesidad urgente de nuevos métodos de reducción rápida de la velocidad del avión después del aterrizaje. Esto es necesario de manera que el avión pueda detenerse dentro de la longitud disponible de pista, sin el uso excesivo de los frenos de rueda u otro medio de frenado del avión (tal como el paracaídas de frenado).

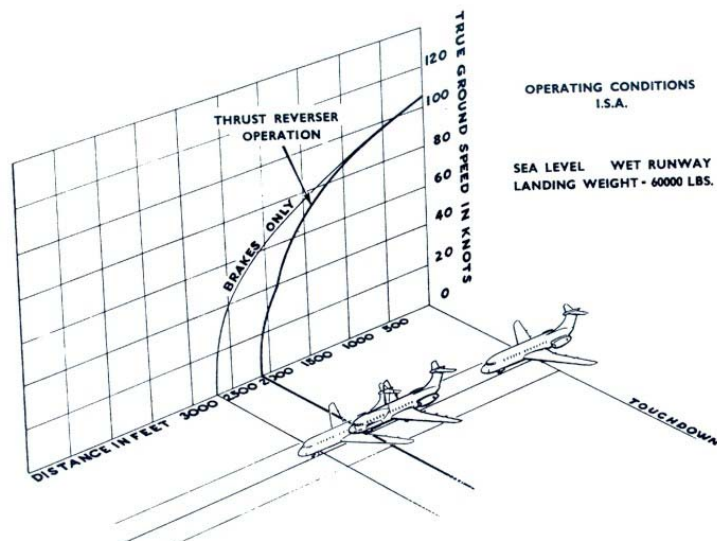


Fig. 7-18 CARRERAS DE ATERRIZAJES COMPARATIVAS, CON INVERSOR DE EMPUJE Y SIN INVERSOR DE EMPUJE

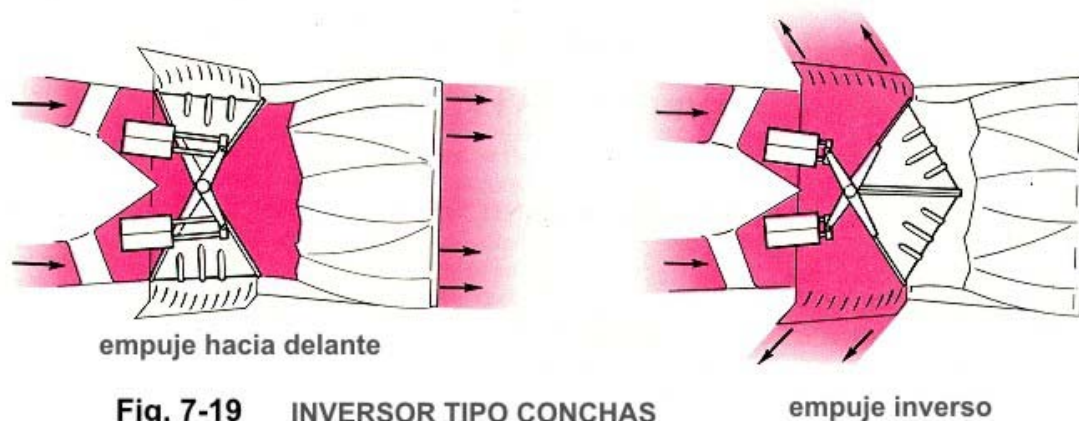
Una forma efectiva y simple de reducir la carrera de aterrizaje del avión es invertir la dirección de la corriente de los gases de escape, usando de esta manera la potencia del motor como fuerza de desaceleración. Este método de inversión del empuje produce un empuje hacia atrás entre el 40% y el 50% del empuje nominal hacia delante del motor. (La figura 7-18 muestra la diferencia de distancias de aterrizaje entre un avión sin inversor de empuje y uno que usa inversor de empuje). Normalmente los inversores de empuje no se usan en tierra cuando la velocidad es menos de 60 nudos debido al riesgo de recirculación de los gases de escape y a la ingestión de objetos extraños provocado por la alta velocidad de los gases.

En un motor de fan delantero, la inversión de empuje se obtiene invirtiendo el flujo del fan (la corriente fría); el flujo del gas de escape (corriente caliente) se invalida simplemente para evitar que se anule el efecto del inversor.

En aviones propulsados por hélice, la acción de inversión del empuje se obtiene cambiando el paso de las palas de la hélice. Esto se consigue normalmente por un sistema hidromecánico, que cambia el ángulo de la pala para dar la acción de frenada como respuesta de la palanca de potencia o gases del avión.

Cada método es mucho más seguro que usar solo los frenos de rueda cuando se aterriza sobre pistas húmedas, heladas o cubiertas de nieve.

Existen varios métodos de obtención de empuje inverso. A continuación se explican tres de ellos.

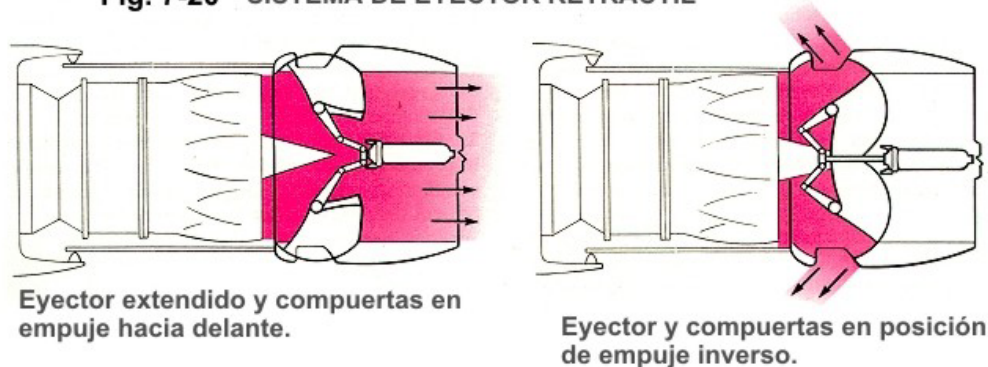


Un método usa puertas deflectoras tipo conchas para invertir la corriente del gas de escape, y un segundo método es usar un eyector retráctil con puertas tipo cangilón para hacer la misma cosa. El tercer método, usado en motores con fan delantero, utiliza puertas obstructoras para invertir la corriente de flujo de aire frío en conjunción con las puertas deflectoras tipo escudos que invalidan el flujo de la corriente de aire caliente.

El sistema de puertas tipo conchas (Fig. 7-19) denominado con frecuencia inversor de obstrucción mecánica es un sistema operado neumáticamente o hidráulicamente. La operación normal del motor no está afectada por el sistema, porque los conductos a través de los cuales los gases de escape se deflectan permanecen cerrados por las puertas hasta que el piloto selecciona empuje inverso.

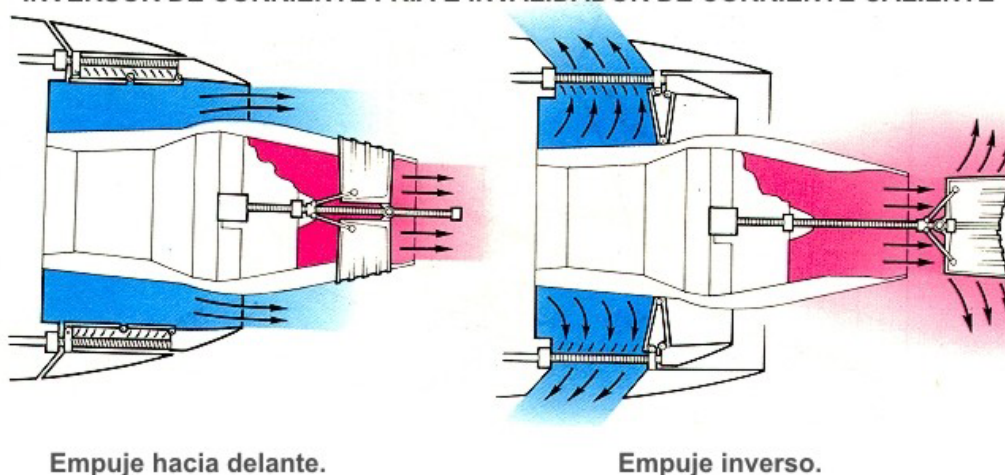
En la selección de empuje inverso, las puertas giran para dejar al descubierto los conductos y cerrar la salida normal de la corriente de gas. Entonces la cascada de álabes fijos dirige la corriente de gas en una dirección hacia delante de manera que el empuje del chorro se oponga al movimiento del avión. Idealmente, el gas debería dirigirse en una dirección completamente hacia delante. Ello no es posible, no obstante, para conseguir esto, principalmente por razones aerodinámicas se ha elegido un ángulo de descarga de aproximadamente 45 grados. La potencia del empuje inverso es aproximadamente la mitad de la potencia máxima del motor en empuje hacia delante.

Las puertas tipo conchas están operadas por actuadores neumáticos a través de palancas que le dan la máxima carga a las puertas en la posición de empuje hacia delante; esto asegura un sellado eficaz en los bordes de la puerta, evitando así pérdidas de la corriente de gas. Los apoyos de las puertas y el varillaje de actuación funcionan sin lubricación a temperaturas de hasta 600° C.

**Fig. 7-20 SISTEMA DE EYECTOR RETRÁCTIL**

El sistema eyector retráctil (Fig. 7-20) se actúa neumática e hidráulicamente y usa puertas tipo cangilón para invertir la corriente del gas de escape. El eyector está montado sobre un carril que se extiende hacia atrás desde el cárter de cámara de combustión hasta la tobera propulsora. Al seleccionar empuje inverso, la presión hidráulica o neumática desplaza al eyector hacia atrás sobre la tobera propulsora. Cuando el eyector está extendido y bloqueado, los cangilones se giran por medio de un actuador neumático o hidráulico dentro de la corriente del gas para desviarla hacia delante.

Los sistemas de inversión del empuje ya tratados invierten el empuje desviando la corriente del gas de escape hacia delante. En un motor de fan delantero es necesario invertir la corriente de flujo de aire frío, y debido a que este flujo de aire proporciona suficiente potencia de flujo inverso, solo es necesario invalidar la corriente del flujo de gas caliente para evitar que cancele el efecto del empuje inverso obtenido por la corriente de aire frío. Por lo tanto, el empuje inverso total disponible es completamente de la corriente fría.

**INVERSOR DE CORRIENTE FRÍA E INVALIDADOR DE CORRIENTE CALIENTE****Fig. 7-21**

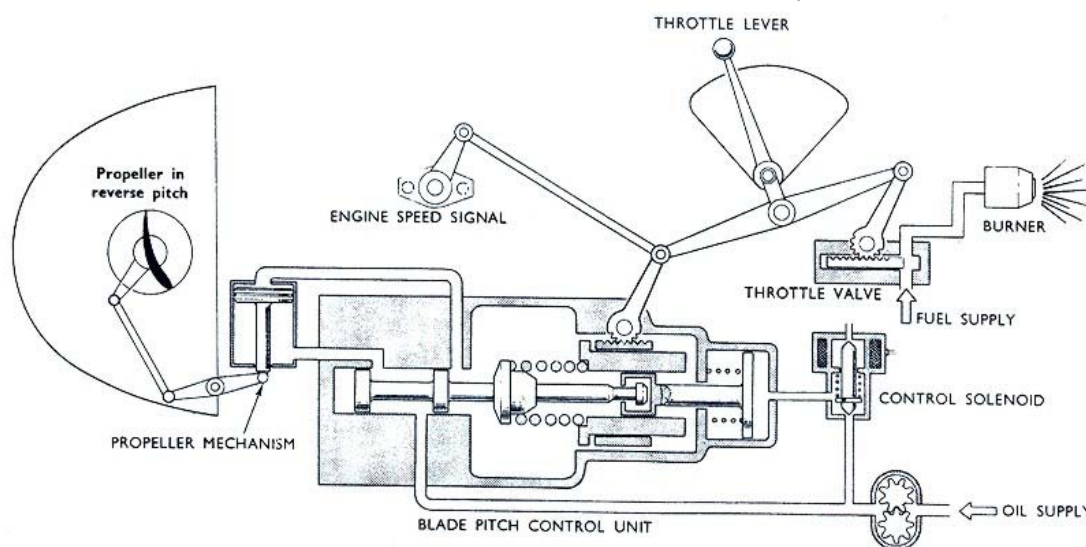
El sistema inversor de corriente fría – invalidador de corriente de gas caliente (Fig. 7-21), está actuado por un motor neumático o hidráulico, cuya potencia de salida se convierte en movimiento mecánico por medio de una serie de arrastres flexibles, cajas de engranajes y husillos.

Cuando el motor está funcionando en empuje hacia delante, la descarga de la corriente de aire frío está abierta porque la cascada de álabes fijos está internamente tapada por las puertas bloqueadoras y externamente por los capots deslizables; este último elemento también sirve para reducir la resistencia al avance. Bajo estas mismas condiciones las puertas invalidadoras permanecen plegadas a ambos lados del conducto de salida y forman parte del carenado posterior del motor.



Al seleccionar empuje inverso, el sistema de actuación desplaza los capots de translación hacia atrás y al mismo tiempo despliega las puertas bloqueadoras para anular la descarga final de la corriente de aire frío, desviando de esta manera el flujo de aire a través de la cascada de álabes fijos. Simultáneamente, las puertas invalidadoras se desplazan hacia atrás y se intercalan en la corriente de gases calientes para invalidar el flujo. A este tipo de inversor que utiliza cascadas de álabes fijos para dirigir el flujo de la corriente, se le llama inversor de obstrucción aerodinámica.

Los métodos de selección de empuje inverso y las características de seguridad incorporadas en cada sistema son básicamente los mismos. Una palanca de empuje inverso por cada motor se encuentra en el pedestal de mandos del compartimento de vuelo para seleccionar empuje inverso; la palanca no puede moverse a la posición de empuje inverso a menos que el motor esté rodando a un ajuste de baja potencia (ralentí), y el motor no puede configurarse para un ajuste de alta potencia si el inversor falla en desplazarse a la posición de empuje inverso total. Si acaso la presión neumática o hidráulica de funcionamiento bajase o fallase, un bloqueo mecánico retiene al inversor en la posición de empuje hacia delante; este bloqueo no puede quitarse hasta que la presión hidráulica o neumática sea restaurada. El funcionamiento del sistema de inversor de empuje está indicado en el compartimento de vuelo por una serie de mensajes y luces.



**Fig. 7-22 SISTEMA DE CONTROL DEL PASO DE LA HÉLICE**

Como se mencionó previamente, la acción de empuje inverso en los aviones propulsados por turbohélices se lleva a cabo cambiando el paso de las palas de la hélice a través de un sistema de control del paso hidromecánico. El movimiento de la palanca de gases o de control de potencia dirige el aceite desde el sistema hasta el mecanismo de la hélice para reducir el ángulo de la pala hasta cero, y luego a través de un paso inverso negativo. Durante el movimiento de la palanca de gases, el combustible hacia el motor está ajustado por la válvula de aceleración, la cual está interconectada a la unidad de control del paso, de manera que la potencia del motor y el ángulo de la pala están coordinados para obtener la cantidad deseada de empuje inverso. La acción de empuje inverso también puede usarse para maniobrar a un avión turbohélices hacia atrás después de que se ha detenido.

El sistema de puertas tipo conchas descrito anteriormente forma parte del conducto de salida. La carcasa del inversor está conectada a la estructura del avión o directamente al motor. La carcasa soporta las dos puertas tipo conchas, el mecanismo de actuación y los conductos de salida que contienen las cascadas de álabes fijos. El ángulo y área de la corriente de gas están controlados por el número de álabes fijos en cada conducto de salida.

Las puertas tipo conchas permanecen plegadas a ras con la carcasa durante la operación de empuje hacia delante y están abisagradas a lo largo de la línea central del conducto de salida. Por lo tanto están alineadas con la carga principal de los gases de escape, y esto asegura que una mínima fuerza sea necesaria para mover las puertas. Cada puerta está reforzada debido a



que están sujetas a unas cargas muy grandes de la corriente de gas durante la operación de empuje inverso y también a altas velocidades en el empuje hacia delante. La carga varía entre 4 y 13 toneladas, dependiendo de la potencia nominal del motor. las cascadas de álabes fijos también están sujetas a cargas entre 2 y 4 toneladas bajo condiciones de empuje inverso. Todos los sistemas inversores del chorro de gases de escape están sujetos a altas temperaturas y altas cargas de la corriente de gas. Por lo que los componentes, especialmente las puertas están construidas de materiales resistentes al calor y son de una construcción particularmente robusta.

La carcasa del inversor de empuje de la corriente fría está montada entre el cárter del compresor de baja presión y la descarga final de la corriente fría. Los conjuntos de cascadas de álabes fijos están dispuestos en segmentos alrededor de la circunferencia de la carcasa del inversor de empuje. Las puertas bloqueadoras se montan interiormente y están conectadas por varillaje al capot exterior deslizante, el cual está montado sobre rodillos y carriles. Debido a que este inversor de empuje no está sujeto a altas temperaturas, la carcasa, las puertas bloqueadoras y el capot están contruidos principalmente de aleación de aluminio. El capot es de chapa doble con material absorbente de ruidos entre ellas.

Las puertas invalidadoras de la corriente caliente están abisagradas juntas en la parte posterior, estando situados los conjuntos de bisagras en carriles que se extienden hacia atrás desde el conducto de salida. Las puertas están conectadas al mecanismo de actuación por una serie de varillas, y puesto que las puertas invalidadoras están sometidas a altas temperaturas y golpeteo por los gases calientes, están fabricadas de material resistente al calor y reforzadas adecuadamente para formar una construcción robusta.