

## SISTEMA DE AIRE

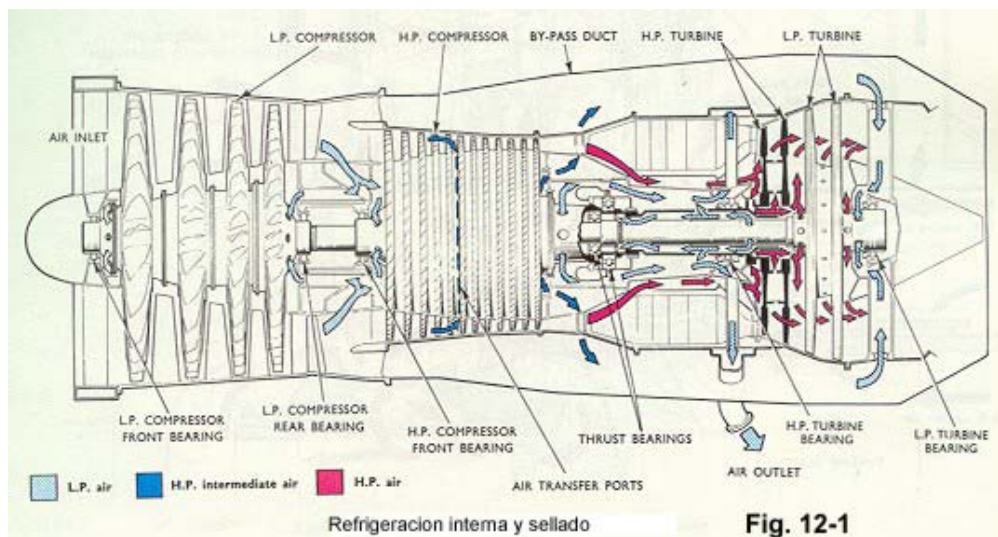
### Funcionamiento del Motor, Sistemas de Distribución del Aire y de Control del Antihielo

El aire que pasa por un motor de reacción necesita no sólo hacer las transformaciones energéticas estudiadas en los capítulos anteriores, sino que además precisa que estas evoluciones sean controladas y reguladas. Para ello los motores disponen de elementos como son las válvulas de sangrado, los estatores de ángulo variable, etc.

Por otro lado el motor deberá proporcionar al avión aire a presión de una forma constante; este suministro de aire será regulado por válvulas de sangrado.

Así mismo se puede considerar como aire sangrado el que se emplea para presurizar los distintos sellos del sistema de aceite.

También será necesario el dar servicio de aire a sistemas como el de antihielo, calentador de combustible, refrigeración de las bujías, etc.

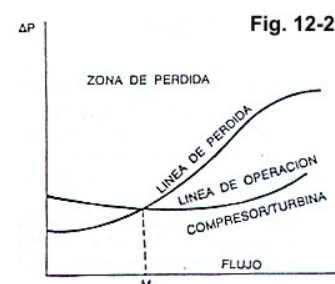


Una característica importante en el diseño de un motor de turbina de gas es la necesidad de asegurar que ciertas partes del motor, y en algunos casos ciertos accesorios, no absorban calor de la corriente de gas hasta el punto que sea en detrimento de su funcionamiento seguro. Esto se consigue permitiendo que una cantidad de aire controlado procedente del compresor fluya alrededor de estos componentes.

La cantidad de aire de sangrado extraído del compresor varía de acuerdo a las demandas del sistema. La pérdida de empuje es directamente proporcional a la extracción de aire de sangrado. Si el aire de sangrado es vuelto a introducir en la corriente de gas primario se recupera parte de la energía. La pérdida de empuje también es proporcional a la etapa de la cual se extrae el aire.

#### Sistema para control del compresor

En la operación del compresor quedan diferenciadas dos zonas, una de posible operación y otra denominada zona de pérdida donde el compresor no puede funcionar. En el diagrama de la figura 12-2 se ha añadido la curva de operación conjunta compresor – turbinas, es decir la línea que define lo que tiene que entregar el compresor a la turbina para que el motor opere de una forma estable.



Viendo el diagrama de la figura 12-2, hasta el punto M se observa que la línea de operación conjunta compresor – turbina, se encuentra por encima de la línea de operación del compresor; esto quiere decir que el compresor a bajo régimen (inferior a M), no es capaz de suministrar el flujo y presión requeridos, por entrar en pérdida. Como la primera operación necesaria para que un motor funcione es el arrancarlo, y en esta fase del motor tendría que operar por debajo de M, será necesario bajar la línea de operación conjunta por debajo de la línea de operación del compresor. Esto se puede conseguir mediante las válvulas de sangrado denominadas de puesta en marcha. Cuando estas válvulas abren, descargan a la atmósfera una cierta cantidad de aire del compresor haciendo que la línea de operación compresor – turbina baje.

Su operación estará limitada hasta un cierto régimen. Dicho régimen puede estar definido en función de unas revoluciones, de un determinado EPR, o de una determinada presión de descarga del compresor.

Sea cual fuere el parámetro de mando de este sistema de sangrado deberá estar al menos formado por tres elementos fundamentales: el emisor de la señal, que puede ser el control de combustible, una sonda de presión, etc., una válvula de control, denominada en algunos motores como válvula de control de sangrado, la cual es la encargada de transformar la señal recibida en una presión bien de origen neumático (por sangrado del compresor) o de origen hidráulico; y las propias válvulas de sangrado.

Volviendo al gráfico de operación del control, hay que considerar lo interesante que es bajo el punto de vista de los rendimientos, el operar en las proximidades de la línea de pérdida. Para acercarse a esta línea hay dos posibilidades, mediante sangrados o con álabes variables. Aunque también es posible una combinación de ambos sistemas.



Fig. 12-3

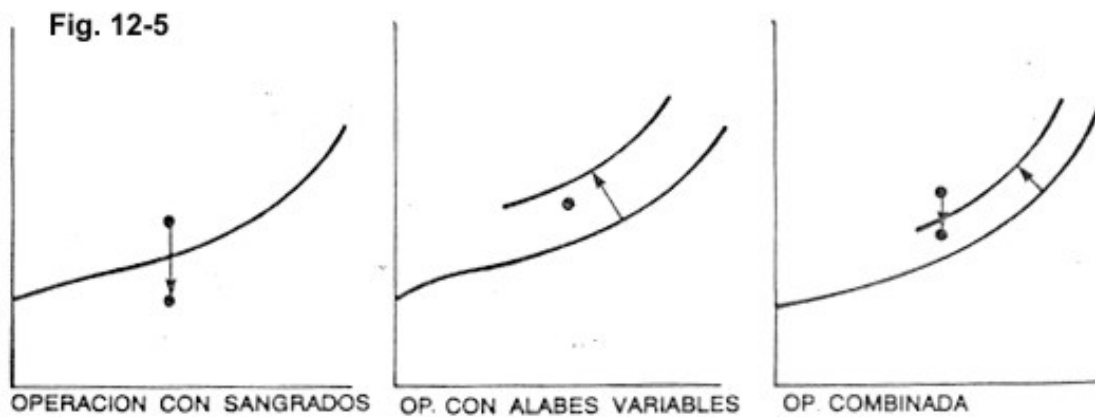
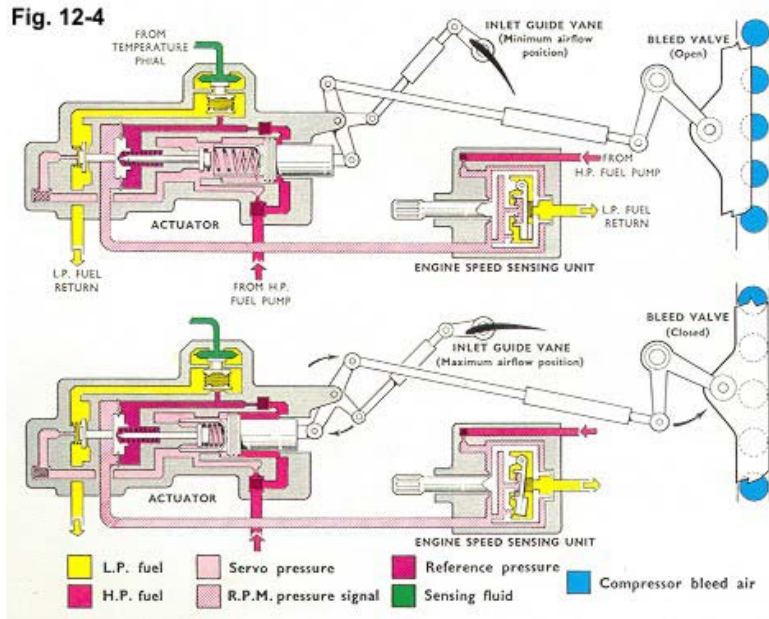
La primera solución presenta un proceso inverso al que se tenía para la puesta en marcha, aquí unas válvulas que se encontraban abiertas se cerrarán, haciendo que la línea de operación conjunta entre el compresor y la turbina suba, acercándose a la línea de entrada en pérdida y por lo tanto mejorando el rendimiento.

La operación con los álabes variables hace que la que se mueva sea la línea de entrada en pérdida, es decir, como si se hubiera cambiado el compresor.

Este sistema estará formado por un control de álabes variables, una palanca de mando, un conjunto de anillos de sincronización y las bieletas de mando a los propios álabes.

En la figura 12-4 se muestra un sistema de control mediante sangrado y álabes variables tipo hidromecánico.

El control de funcionamiento del compresor, no solamente debe estar buscando la operación de máximo rendimiento, sino que tiene que ser capaz de evitar que el motor entre en pérdida, y en su caso resolver la situación. Para ello los motores pueden actuar de tres formas: mediante sangrados, mediante álabes variables, o con una combinación de ambos sistemas. Lo que realmente se pretende es que el punto de operación esté siempre por debajo de la línea de entrada en pérdida (Fig. 12-5).



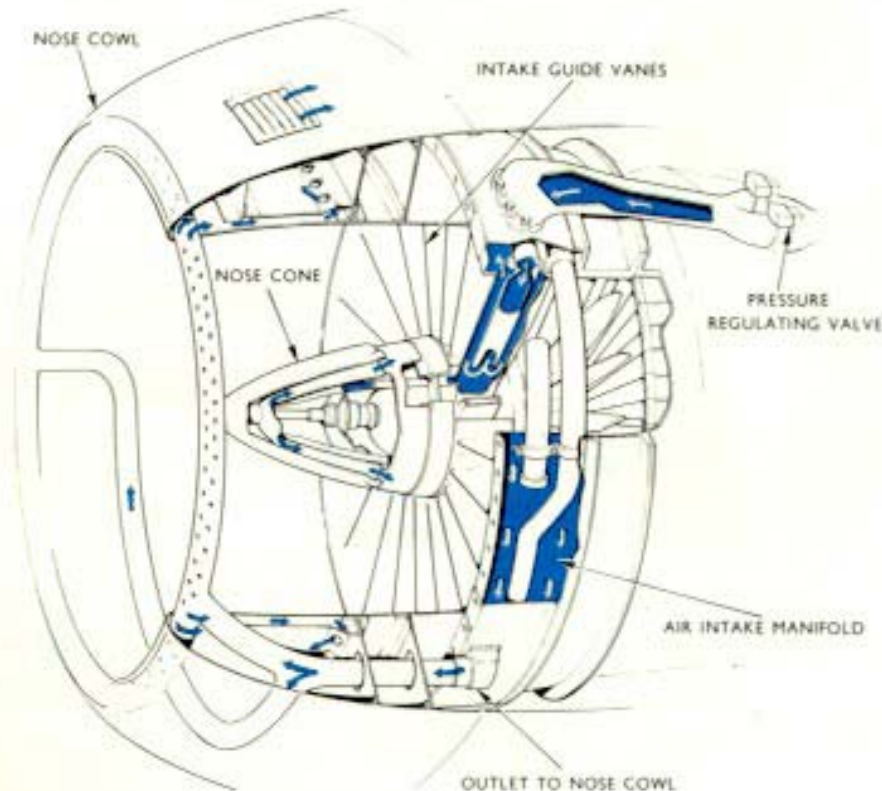
Algunos motores van provistos de un detector de entrada en pérdida, que será el que dé la señal para la apertura de las válvulas o la actuación del sistema de álabes variables. Dicho detector no es mas que un control de presión de descarga del compresor, ya que al entrar en pérdida se producirán fluctuaciones de esta presión.

**Sistema para el antihielo del compresor**

Un problema al que hay que prestar máxima atención es a la formación de hielo en la entrada del compresor, pues está claro que reduce el área de entrada, modifica el perfil de los álabes, etc. El problema de formación de hielo puede surgir durante el vuelo a través de nubes que contienen gotas de agua extremadamente frías y durante la operación en tierra en condiciones de poca visibilidad con una temperatura del aire próxima al punto de gelación. Un motor necesita protección contra la formación de hielo que se presenta a la entrada del motor y sobre el borde de ataque del conducto de entrada de aire. La formación de hielo en estas zonas puede restringir considerablemente el flujo de aire a través del motor, originando una degradación de su comportamiento, con posible fallo de motor. Debido al desprendimiento de trozos de hielo también se puede producir daño al compresor por la ingestión e impacto de los mismos (FOD).

Un sistema de protección contra el hielo debe evitar con eficacia la formación de hielo dentro de los requisitos operacionales de cada avión en particular. El sistema debe ser fiable, fácil de

mantener, no suponer excesivo peso, y no ocasionar demasiada pérdida de potencia al motor cuando esté funcionando.



**Fig. 12-6** *Protección contra el hielo por aire caliente*

Existen dos sistemas básicos de protección contra el hielo; los motores turboreactores generalmente usan un suministro de aire caliente, y los motores turbohélices usan energía eléctrica o una combinación de energía eléctrica y aire caliente. El sistema de aire caliente se usa generalmente para evitar la formación de hielo y se le conoce como sistema antihielo. El sistema alimentado por energía eléctrica se usa para romper el hielo que se ha formado sobre las superficies y se le conoce como sistema de deshielo.

El sistema de aire caliente proporciona calentamiento de la superficie del motor y/o grupo motopropulsor donde existe la posibilidad de formación de hielo. Las zonas afectadas son: la entrada del motor, los álabes guías de entrada, el cono de entrada, el borde de ataque del capot de morro y, algunas veces, la etapa delantera de álabes de estator del compresor. Raramente es necesaria la protección de los álabes de rotor, porque cualquier acumulación de hielo se dispersa por la acción de la fuerza centrífuga.

El aire caliente para el sistema de antihielo normalmente se extrae de la última etapa del compresor, y se conduce externamente a través de válvulas reguladoras de presión, hasta las piezas que requieren antihielo. Cuando el capot de morro requiere antihielo, el aire caliente que sale del colector de entrada de aire puede recogerse y conducirse hacia el capot de morro. Unas salidas de aire están dispuestas para permitir al aire pasar hacia dentro del compresor o ser ventilado a la atmósfera, manteniendo de esta manera un flujo de aire a través del sistema.

No obstante, en algunos motores, los sistemas de antihielo de motor y capot de morro son independientes. El cono de entrada del motor está calefactado por un suministro continuo de aire caliente sin regular sangrado del compresor y conducido interiormente al cono de entrada.

El capot de morro recibe su suministro de aire caliente del compresor de alta presión a través de conductos externos y una válvula reguladora de presión.

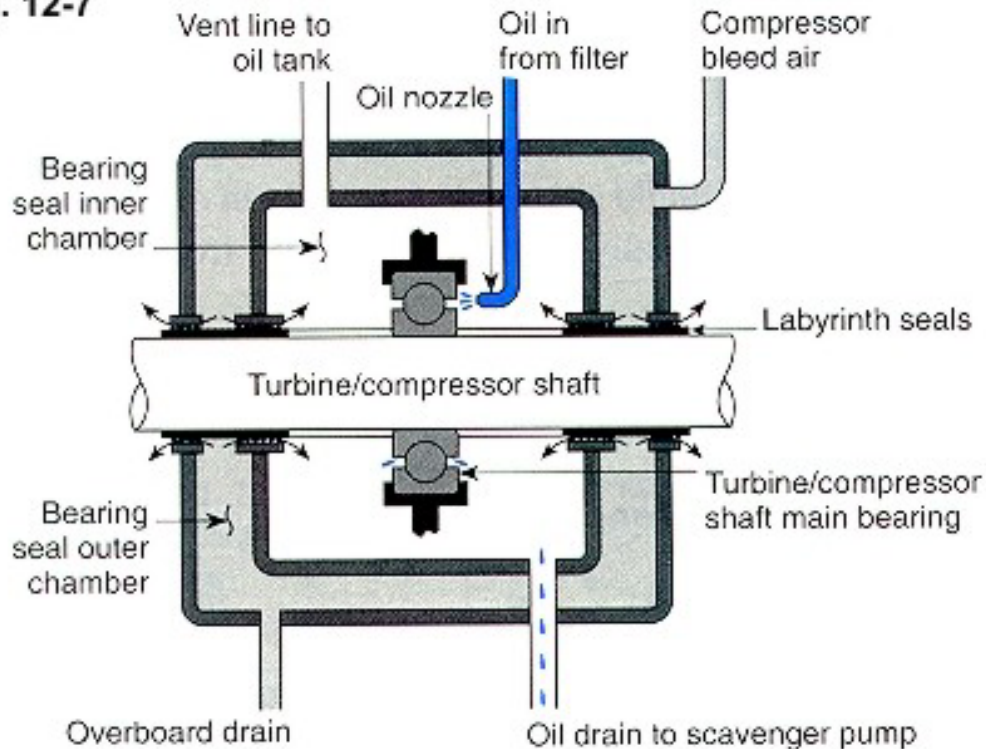
### Refrigeración Interna, Sellado y Servicios de aire externos

El calor transferido por los álabes de turbina desde la corriente principal de gas a los discos de turbina, los cojinetes de los conjuntos en rotación, y los cárteres principales del motor, se absorbe y dispersa dirigiendo un flujo de aire comparativamente frío sobre estos componentes (Fig. 12-1). Los flujos de aire de alta y baja presión se proporcionan tomando aire de ambos compresores; tras la realización de su cometido, el aire bien se ventila al exterior, o se une al flujo de gas de escape

#### Presurización del sellado de aceite de los cojinetes del motor

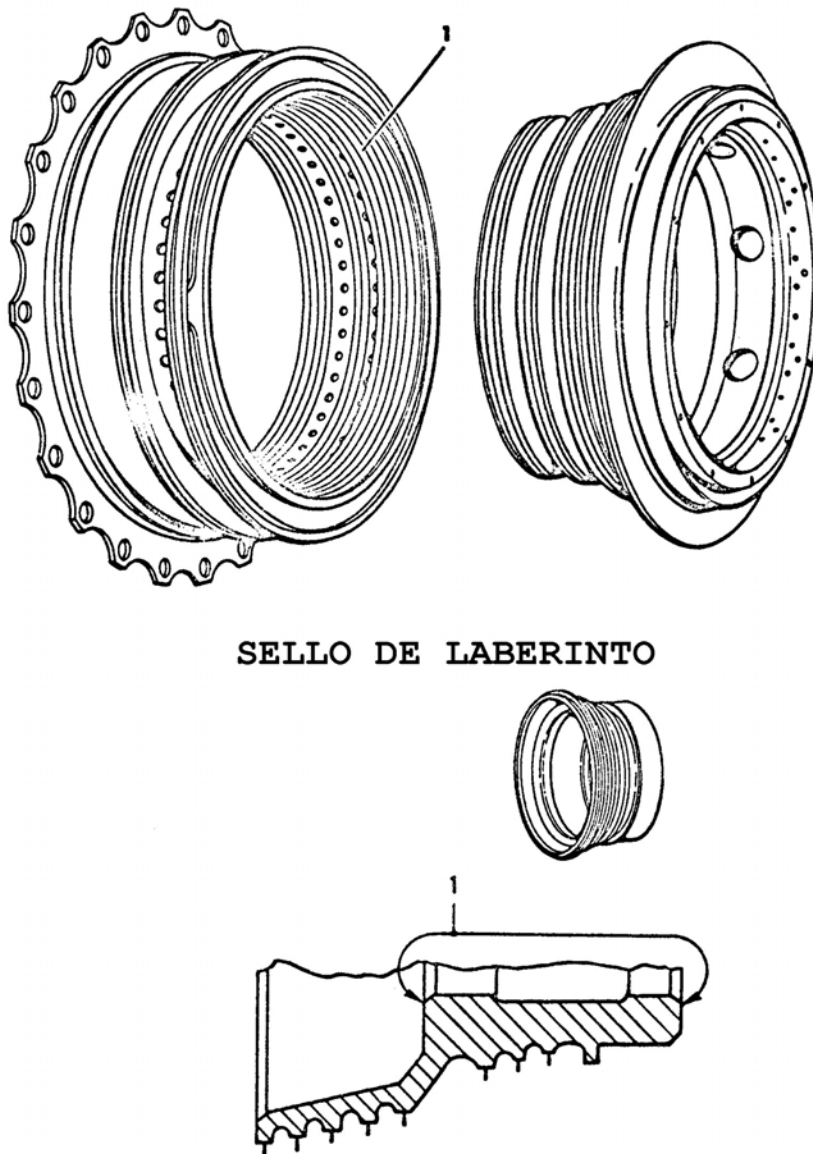
El eje compresor/turbina es el único elemento principal en rotación en un motor de turbina de gas y está apoyado en cojinetes de bolas y rodillos. El eje de rotación debe estar sellado para evitar que el aceite que lubrica a los cojinetes se meta en la corriente de aire según pasa a través del motor.

Fig. 12-7



Las altas velocidades rotacionales y las altas temperaturas dentro de un motor de turbina de gas requieren tipos de sellos diferentes a los usados en los motores alternativos. Los dos tipos de sellos normalmente usados son: sellos de carbón y sellos de laberinto.

Los sellos de laberinto no son sellos de fricción, porque la parte rotativa del sello no realiza su acción de sellado presionando contra la pista estacionaria. El sello de laberinto consiste en una serie de filos de cuchillas que están muy próximos, pero que no tocan a la región fija. En la figura 12-8 se muestra una vista de un sello de laberinto y su sección transversal.

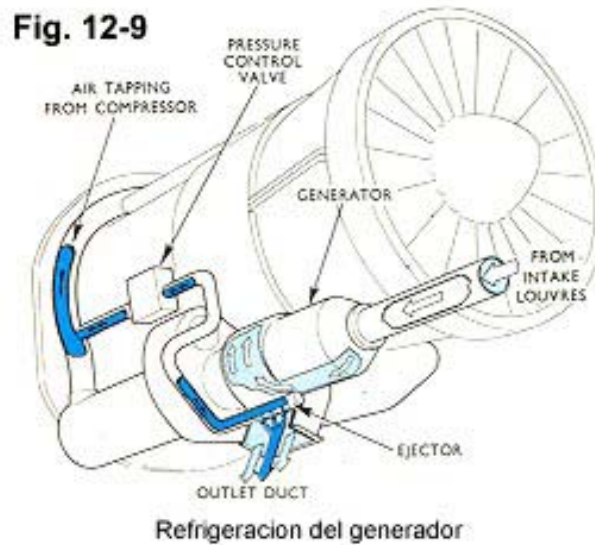


**Fig. 12-8 SELLO DE AIRE CON BORDES MÚLTIPLES (COJINETE Nº 4)**

El sello de laberinto puede instalarse a ambos lados del alojamiento de un cojinete, para evitar la pérdida de aceite de lubricación en la corriente de aire del motor. Aire presurizado sangrado de una de las etapas del compresor fluye dentro de la cámara exterior del sello. Parte de este aire se pierde a través de ambos sellos de laberinto; el resto fluye fuera de la cámara de sellado a través del drenaje exterior. Resulta evidente que la cantidad de aceite que se podría escapar dependerá de la holgura del sellado y de la presión diferencial entre la presión del aceite y la existente en la otra cara del sello. El aire que entra en el sistema de aceite procedente de la presurización de los distintos sellos crea una pequeña presión positiva que ayuda al sistema de recuperación de aceite. Este aire finalmente es separado del aceite por un desaireador que lo ventila al exterior.

### Refrigeración de los accesorios

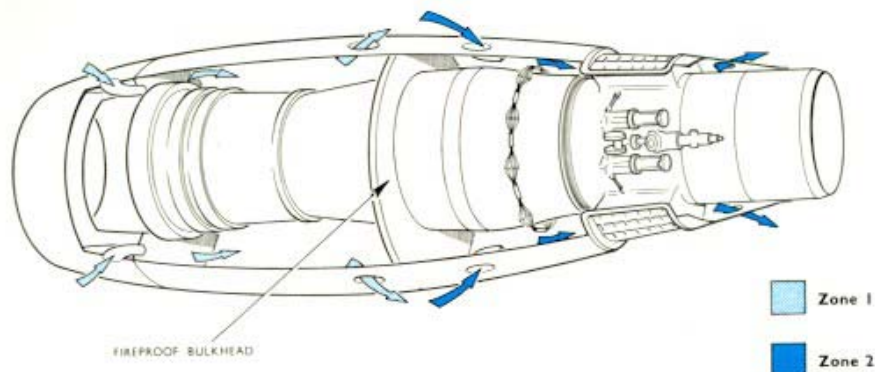
Algunos accesorios del motor producen una considerable cantidad de calor, entre ellos el generador o alternador de corriente es un ejemplo, y estos a veces pueden requerir un circuito de refrigeración propio. El aire algunas veces se conduce desde tomas externas en los capots del motor o puede extraerse de una etapa del compresor.



Cuando el accesorio se refrigera durante el vuelo por aire atmosférico que pasa a través de las tomas externas en los capots, normalmente es necesario proporcionar un circuito inducido para usarlo durante el rodaje en tierra, cuando no haya flujo de aire exterior. Esto se consigue permitiendo que aire entregado del compresor pase a través de inyectores situados en el conducto de salida de aire de refrigeración del accesorio. La velocidad del aire a través de los inyectores crea un área de baja presión que forma un eyector, induciendo así un flujo de aire atmosférico a través de las tomas externas de aire en los capots del motor. Para asegurar que el sistema eyector opera solo durante el rodaje en tierra, el flujo de aire del compresor se controla por una válvula de control de presión. Esta válvula se abre eléctricamente por medio de un interruptor que se opera cuando el peso del avión está soportado por el tren de aterrizaje. En la figura 12-9 se muestra un sistema de refrigeración de un generador por eyección.

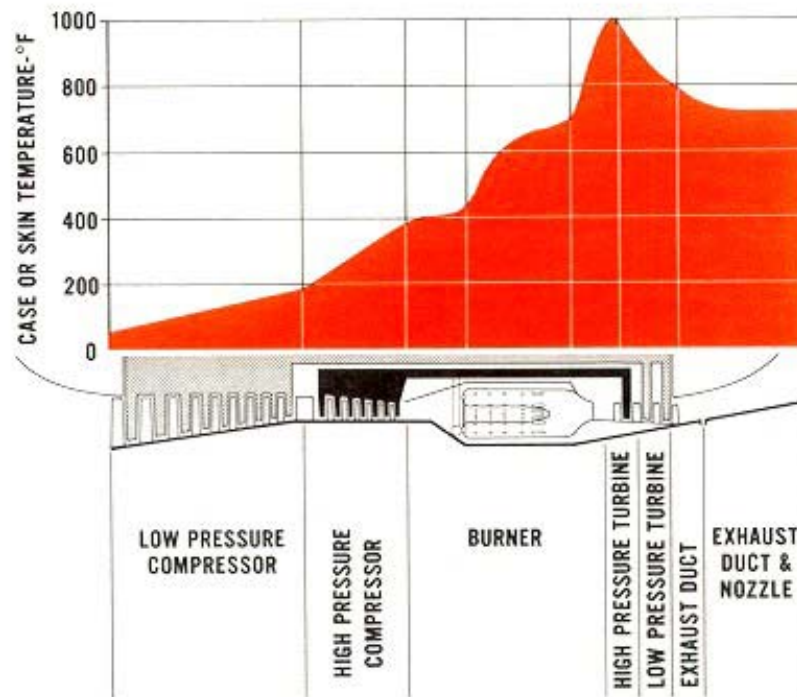
### Refrigeración exterior y ventilación de un motor de reacción

La góndola de motor normalmente se refrigera por aire atmosférico que se le hace pasar alrededor del motor y luego se ventila al exterior como puede verse en la figura 12-10.



Se puede proporcionar refrigeración por convección durante el rodaje en tierra usando una salida de ventilación de la refrigeración interna como sistema eyector. Una función importante del flujo de aire de refrigeración es purgar cualquier tipo de vapores inflamables del compartimento de motor.

El intenso calor que se produce en el interior de un motor de reacción hace que las temperaturas de su exterior sean un reflejo de lo que sucede en su interior, en la figura de abajo se muestra un gráfico orientativo de estas temperaturas analizadas sobre el exterior de un motor.



**Fig. 12-11**

Tipicas temperaturas de los cárteres exteriores para un motor turbo reactor de doble compresor de flujo axial.

El proceso de quemado en un motor de reacción es continuo y casi todo el aire de refrigeración pasa por su interior. Si solo entrara el aire necesario para la combustión, las temperaturas internas aumentarían hasta alcanzar los 4000°F. En la práctica se admite un a gran cantidad de aire en exceso de la necesaria para la combustión ideal .

Alrededor de la parte exterior del motor, suelen tenerse unas entradas de aire exterior de refrigeración que enfriará el cárter de la turbina y de la tobera.

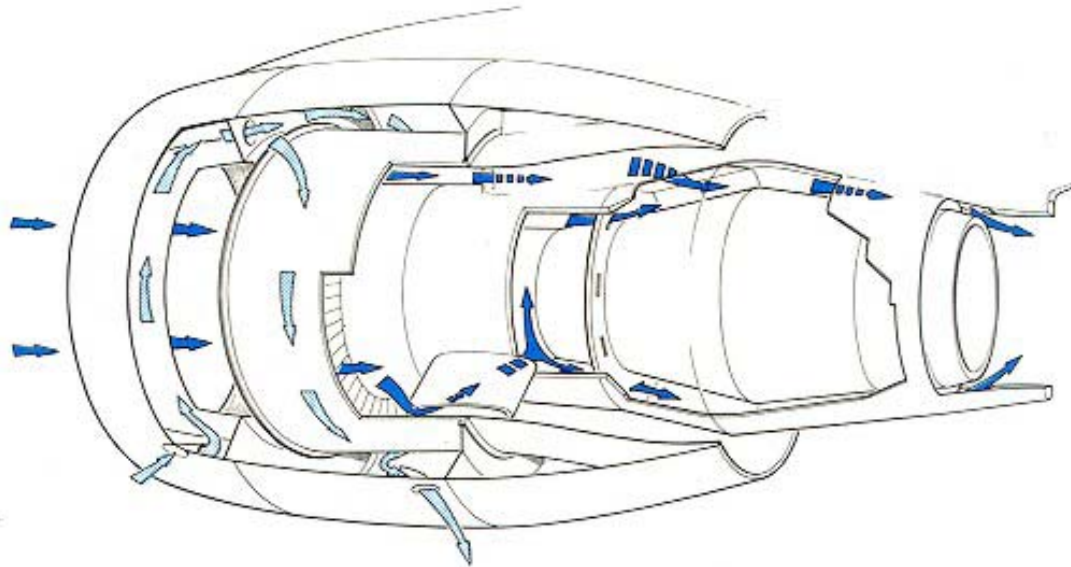
El exterior del motor y la góndola se enfrían con el aire que pasa entre el cárter y la envoltura de la góndola.

El compartimento del motor suele estar dividido en dos partes, la sección delantera que está construida alrededor del conducto de entrada de aire al motor, y la posterior alrededor del motor. Con esta división se pretende que los escapes de gases o las posibles fugas de combustible se encuentren alejadas del motor y así tener el mínimo peligro de incendio posible. En vuelo el aire de impacto facilita esta refrigeración.

Con el fin de reducir la temperatura exterior del conducto de escape, y evitar que el aceite o el combustible entren en contacto con superficies muy calientes, a veces es necesario aislar térmicamente algunas secciones del motor.



La figura 12-12 muestra un sistema de refrigeración más complejo usado en los motores turbofan. el aire de refrigeración se induce desde el conducto de entrada y también se entrega desde el fan para proporcionar una refrigeración tipo multizonas, cada zona tiene su propio flujo de refrigeración calibrado. La ilustración no define las zonas, pero indica el diseño de flujo general.



**Fig. 12-12** Refrigeración y ventilación del motor turbofan