

---

## **12.- SISTEMAS INTERNOS DE AIRE**

### **12-01.- INTRODUCCIÓN**

.- Las turbomáquinas presentan de forma generalizada diversos circuitos internos de aire que emplean en diferentes misiones y que obtienen de una serie de sangrados que efectúan en diferentes zonas del compresor. También se establecen diferentes tomas a lo largo del motor que se emplean para diversas funciones que incumben directamente al motor y sus equipos auxiliares, o la aeronave sobre la que se instala el mismo, tales como la descarga del compresor para evitar problemas del llamado "compressor stall", el sistema anti-hielo del motor, acondicionamiento y presurización de la aeronave y diversas señales que se emplean en funciones de regulación del suministro de combustible.

.- En estos momentos sólo podemos estudiar generalidades ya que cada fabricante varía los sistemas en sus propios modelos.

### **12-02.- SANGRADOS DE AIRE**

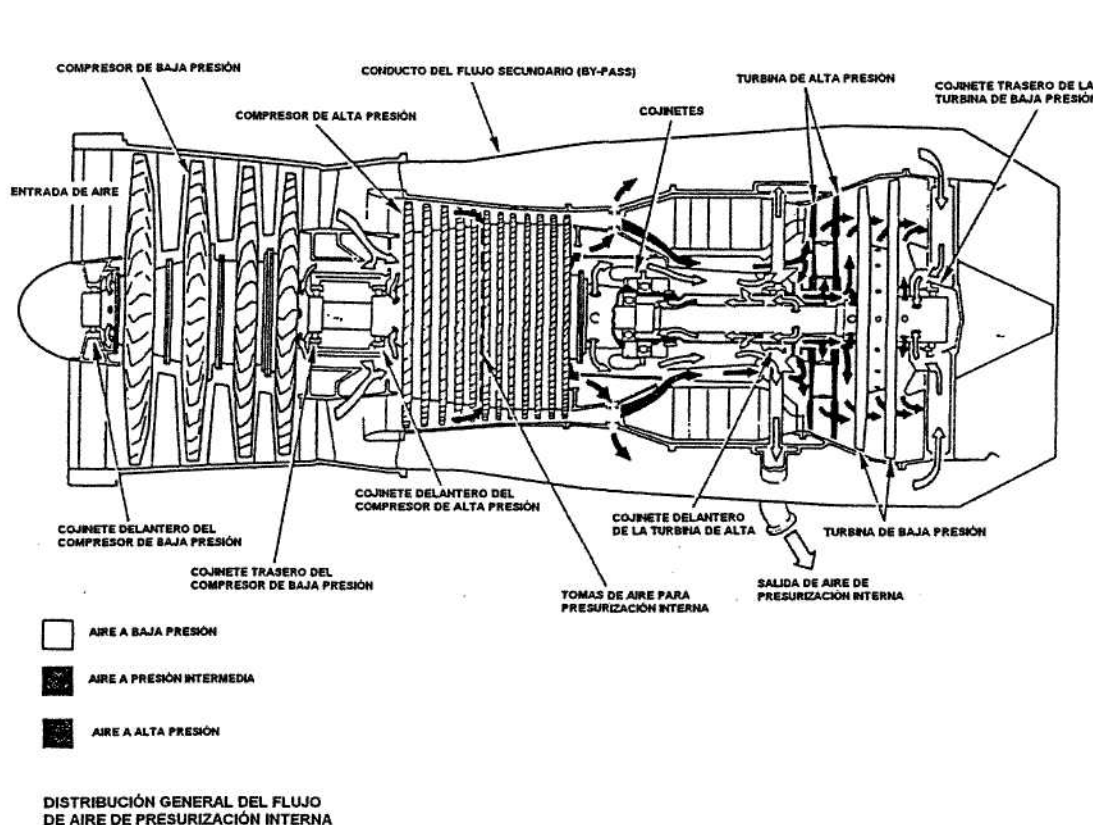
.- Los motores de reacción van dotados de una serie de sangrados del compresor, fundamentalmente una de baja y otro de alta que se extrae del último escalón del compresor, para alimentar diversos sistemas, además de las válvulas de sangrado ya comentadas para evitar la propia pérdida de compresor.

.- El aire sangrado del compresor alimenta fundamentalmente a:

- Presurización Interna
- Aire acondicionado y presurización del avión.
- Puesta en marcha de los motores, si ésta es neumática.
- Sistema anti-hielo de motor, planos y empenaje.
- Sistema de inversión de empuje, si es neumático.

## 12-02-01.- PRESURIZACIÓN INTERNA

.- Existen una serie de sangrados para utilización en el propio motor englobados en lo que podemos llamar como presurización interna que se muestran en la .figura siguiente y que desarrollaremos a continuación.



.- Las principales funciones que realiza este sangrado son:

### EQUILIBRIO TÉRMICO

.- Algunas de las piezas y componentes de un motor de reacción están sometidas por sus condiciones de trabajo a grandes esfuerzos mecánicos y térmicos llegando en algunos casos a comprometer sus límites de resistencia. Esta situación puede agravarse mediante determinadas tensiones que se generan en los propios materiales producidas por una distribución no uniforme de temperaturas de trabajo. Para evitarlo debemos asegurar que dicha distribución sea lo más uniforme posible y con tal fin se toma una cantidad de aire del compresor que fluye alrededor de las piezas y de esta forma reducir la temperatura de las zonas más calientes.

.- En este apartado también podemos incluir el aire derivado del compresor y dirigido internamente a los alabes de turbina con el fin de refrigerarlos evacuando el calor que sobre

---

ellos deja el fluido de trabajo que pasa a su través o en algunos casos servirlos de escudo térmico formando una película protectora a su alrededor para aislarlos en cierta medida de dicho fluido procedente de la cámara de combustión.

#### EQUILIBRIO DE FUERZAS

.- Otra de las misiones del aire sangrado del compresor del sistema de presurización interna es la de establecer una serie de presiones sobre las caras de los discos del compresor y de la turbina para equilibrar las fuerzas axiales que sobre sus cojinetes ejerce el fluido de trabajo que atraviesa el motor.

#### ESTANQUEIDAD

.- Determinados sellos, sobre todo los de tipo laberinto, consiguen su estanqueidad al establecer una diferencia de presión entre las cámaras que se pretende sellar. En realidad siempre existe una pequeña fuga, pero en el sentido deseado y con un caudal controlado. El flujo de aire se dirige a los sellos por conductos que también forman parte de los circuitos anteriormente mencionados.

#### ENFRIAMIENTO DE CARCASAS DE TURBINAS Y COMPRESOR

.- En muchos motores modernos se utiliza el aire de la presurización interna para refrigerar la carcasa del compresor y la de la turbina para provocar en ellas una contracción controlada de forma que se ajusten sobre los conjuntos rotores reduciendo las holguras entre estos y las carcasas correspondientes, evitando o reduciendo, de esta forma, las fugas intersticiales y aumentando el rendimiento tanto de la turbina como del compresor.

#### CALENTAMIENTO DEL COMBUSTIBLE

.- Como hemos estudiado en el sistema de combustible, en algunas condiciones de vuelo puede existir peligro de cristalización del combustible por bajas temperaturas. Los motores pueden disponer de un sistema con funcionamiento a criterio de piloto en el cual se hace pasar al combustible por un intercambiador de calor en el que el fluido a calentar es el combustible y el que proporciona el calor es el aire proveniente del compresor.

#### *12-02-02.- AIRE ACONDICIONADO Y PRESURIZACIÓN DEL AVIÓN*

.- Hacemos mención de este sistema en el módulo de "Fundamentos de Motores de Reacción" ya que el fluido base con el que trabaja se extrae, como ya hemos comentado, del sangrado del compresor de dicho motor pero a eso nos limitaremos ya que su estudio más detallado se realizará en otros módulos mas acordes, tales como el módulo de "Aerodinámica de Aviones, Estructuras y Sistemas".

#### *12-02-03.- PUESTA EN MARCHA DE LOS MOTORES, SI ES NEUMÁTICA*

---

- Así mismo, de este sistema solamente haremos mención en este tema como perteneciente a los sistemas que utilizan el aire a presión del sangrado del compresor, siendo desarrollado en profundidad en el tema 13, "Sistemas de Arranque e Ignición", perteneciente a este mismo módulo.

#### *12-02-04.-SISTEMA ANTIHIELO BE MOTOR, PLANOS Y EMPENAJE*

- En determinadas condiciones, gotas de agua subenfriadas y con temperaturas por debajo del punto de congelación pueden presentarse aún en estado líquido. Cuando son distorsionadas o al entrar en contacto con alguna superficie, ceden el calor de fusión e inmediatamente se forma hielo. Pues bien, cuando un avión vuela a través de una nube subenfriada, las gotas que golpean la estructura, y que se mantenían líquidas, se transforman inmediatamente en hielo.

- Los cristales de hielo pueden causar problemas y falsear lecturas e indicaciones sobre todo en los tubos de pitot, antenas, indicadores de presión, etc.

- Aunque teóricamente estas gotas subenfriadas no pueden existir a temperaturas por debajo de  $-40^{\circ}\text{C}$ , si pueden ser transportadas a altitudes más altas y frías. En la práctica se ha observado éste fenómeno a temperaturas tan bajas como  $-60^{\circ}\text{C}$ .

- El agua subenfriada se transforma en hielo y afectará al difusor de entrada, alabes guía de entrada, compresor de baja y alabes del fan, por tanto, en todo motor de reacción el elemento que debe protegerse de la posible formación de hielo es el conducto de entrada de aire, junto con los primeros escalones del compresor, puesto que si esto se diera, las restricciones de paso que llegaran a producirse influirían de forma decisiva en el correcto funcionamiento del motor, pudiendo llegar a producirse un "compressor stall" o incluso un "fíame out".

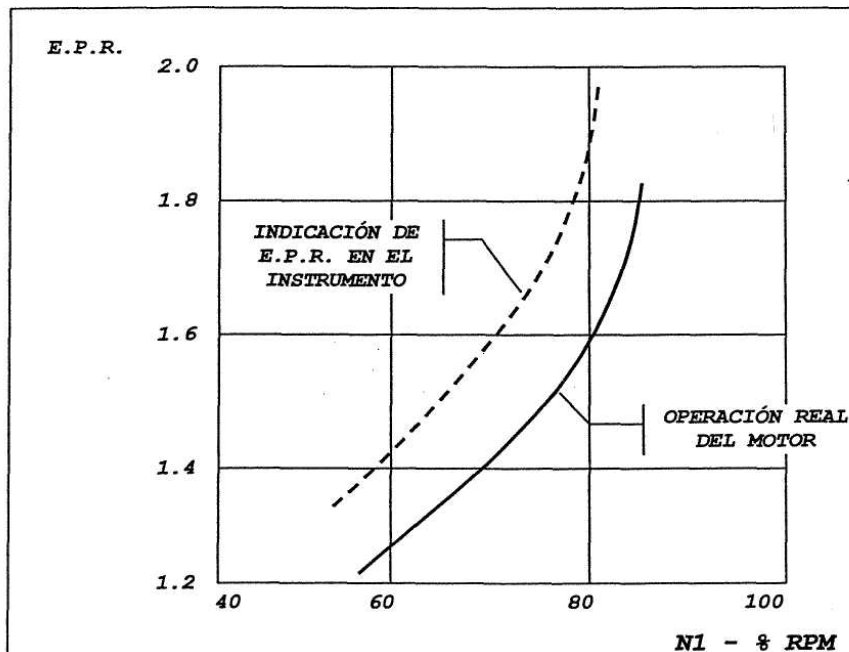
- En muchos motores se incorpora en el difusor de entrada la sonda de presión total del aire de entrada "Pt2", la cual tendrá problemas en el caso de formación de hielo.

Recordamos que en estos motores emplean como instrumento primario de empuje el E.P.R., que es la relación entre la presión total del aire de salida de la turbina  $P_{t7}$  y la presión total del aire de entrada al compresor  $P_{2t}$ . En el caso de formación de hielo, el orificio de la sonda  $P_{2t}$  se irá reduciendo y, por tanto, aumentará la velocidad y disminuirá la presión  $P_{2t}$ . Como la presión de salida  $P_{t7}$  no ha sido afectada, la relación E.P.R. tenderá a aumentar y en cabina se puede observar como la aguja de E.P.R. tiende a subir, sin que haya variado para nada la posición del mando de gases, lo cual puede resultar peligroso pues el piloto puede pensar que el motor está proporcionando un empuje mayor que el real y someter al avión a maniobras que puedan resultar comprometidas.

.- En las curvas siguientes se muestra como un piloto que observe la indicación del instrumento puede creer que lleva el empuja correcto, cuando en realidad es menor.

.- La utilización óptima del sistema de protección de hielo debe se a juicio del piloto y, aunque en caso de duda siempre se aconseja que se ponga, hay que tener en cuenta que su utilización incrementa el gasto de combustible (fuel flow).

.- Los sistemas de



protección varían según los motores pudiéndose realizar por medio de diferentes sistemas:

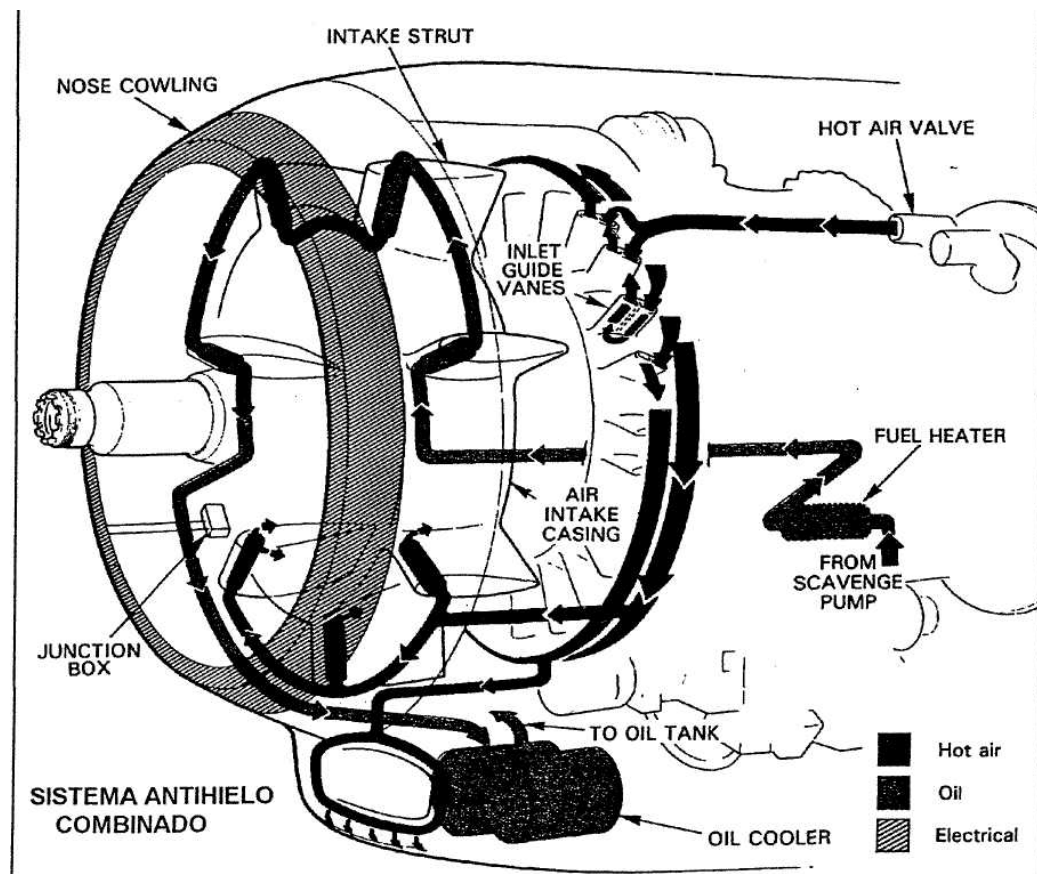
.- Establecer zonas calentadas por medio de resistencias eléctricas

accionadas en el momento que se detecta la posibilidad de la formación de hielo.

.- De una circulación de aire caliente que se suele obtener de los últimos escalones del compresor y que se dirige por unos conductos, internos o externos, hacia la zona mencionada, recorriendo las distintas islas y obús de entrada de la misma. El paso hacia la zona se posibilita por válvulas que se accionan cuando las condiciones atmosféricas lo determinan.

.- De una circulación de aceite caliente, obtenido en el circuito de retorno, dado que el mismo alcanza elevadas temperaturas en el funcionamiento normal; recordemos que una de las funciones del sistema de lubricación también era la de refrigerar.

.- Puede incluso que varios de estos sistemas operen en un mismo avión complementándose para conseguir una completa protección anti-hielo como se muestra en la figura siguiente.



## 12-02-05.- SISTEMA DE INVERSIÓN DE EMPUJE, SI ES NEUMÁTICO

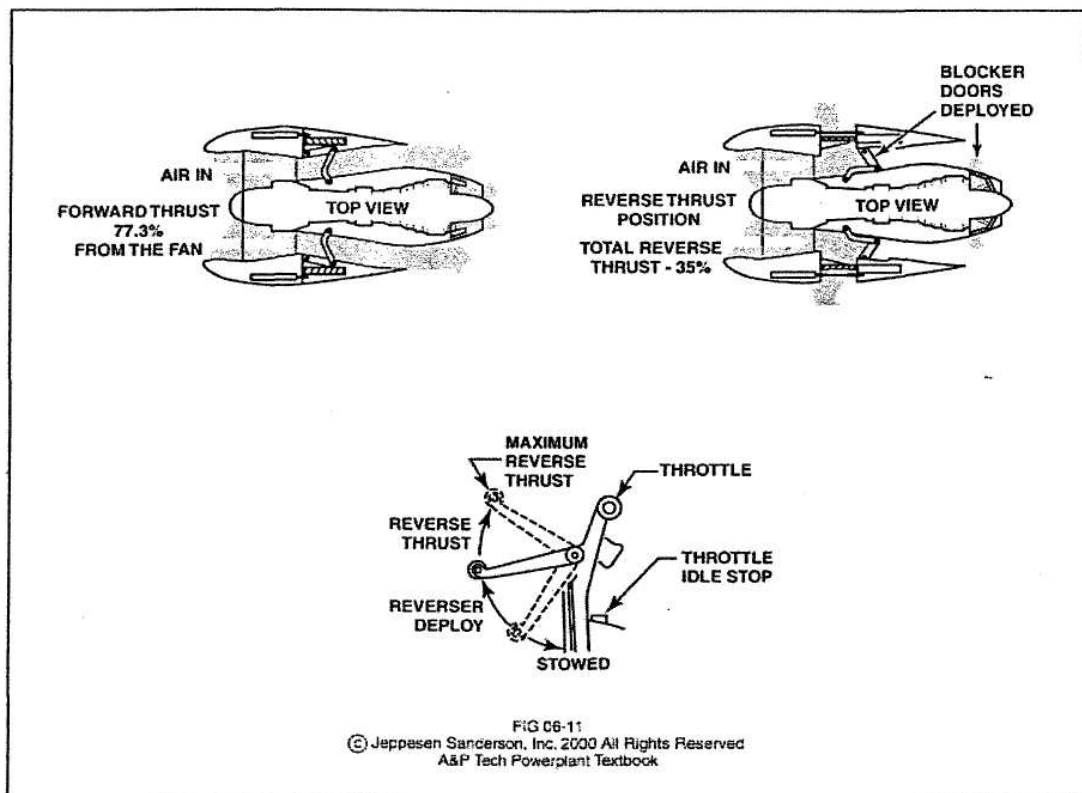
- Un problema importante que se le presenta al piloto en el momento del aterrizaje es para el avión una vez que este se ha posado en tierra. Los aviones modernos debido a su gran peso, necesitan una velocidad mínima de sustentación muy elevada, lo que hace que la carrera de aterrizaje sea muy larga y a su vez que la pista de aterrizaje sea también muy larga. Para reducir esta longitud sería necesaria una fuerza que actúe en sentido contrario a la marcha del avión. Esta fuerza se va a conseguir mediante la inversión de empuje de los motores.

- La reversa es un sistema que permite contrarrestar aproximadamente hasta la mitad del empuje en el momento del aterrizaje, reduciendo de esta forma la carrera y evitando el empleo excesivo de frenos. Este dispositivo es opcional, es decir, no es obligatorio para conseguir la certificación del avión por las Autoridades Aeronáuticas correspondientes.

- El accionamiento de la reversa puede ser de dos tipos:

- Hidráulica.

- Neumática.



---

.- En general, la única condición para poder actuar la reversa, es que el mando de gases esté retrasado a "IDLE" (ralentí). Es decir, existe una imposibilidad mecánica para poder actuar las reversas con los mandos de gases adelantados. Y viceversa, cuando tenemos empuje de reversa, no se pueden adelantar los mandos de gases.

.- Para operarla, lleva una pequeña palanca que pivota encima de la palanca de gases del motor. Al levantarla, en la parte trasera del motor salen dos conchas o deflectores que impiden la salida hacia atrás de los gases, deflectando la corriente hacia adelante.

.- Es conveniente no utilizar la reversa por debajo de una cierta velocidad del avión, del orden de 60 nudos, pues los gases pudieran afectar la entrada del motor originando la pérdida del compresor.

.- Atendiendo al número de inversores podemos encontrar:

— **Motor con inversor único.**

— **Motor de doble flujo con descargas independientes con dos reversas por motor, una para el flujo secundario y otra para el primario:** Es más práctica la primera en motores con gran Índice de derivación, debido a la mayor masa de aire que mueve.

— **Motor con inversor solo para uno de los dos flujos (secundario),** dejando sin inversor el otro flujo.

— **Motor con inversor único,** capaz de abarcar los dos flujos, siendo necesario que ambos flujos lleguen carenados hasta la tobera donde va colocado el inversor.

.- El uso de la reversa puede reducir la distancia de toma entre 150 y 250 metros. Cuando se utiliza en pistas muy resbaladizas, donde la tracción se minimiza, la reversa puede reducir dicha distancia en 600 m o más.

#### 12-03.- GRADO DE INVERSIÓN

.- Se define el grado de inversión como la relación entre el valor absoluto del empuje negativo y el máximo empuje positivo estático.

.- En general, el grado de reacción oscila entre el 30 y el 50 % y refleja, por tanto, el empuje que se contrarresta en el momento del aterrizaje.



### 13.- ENCENDIDO Y PUESTA EN MARCHA

#### **13-01.- FUNCIÓN DEL SISTEMA DE ENCENDIDO**

.- El sistema de encendido del turborreactor tiene la función de inflamar la mezcla de aire y combustible en la cámara de combustión.

.- En comparación con el mismo sistema del motor alternativo, donde la chispa salta en el cilindro a intervalos regulares y continuos, las bujías en la cámara de combustión del turborreactor sólo funcionan durante la fase de puesta en marcha del motor. Una vez que la llama se propaga por toda la cámara, la combustión se mantiene a sí misma.

.- No obstante, hay operaciones de vuelo que se efectúan con las bujías activas, por motivos de seguridad, ante la eventualidad de la extinción de la combustión, por problemas en el compresor, ingestión de hielo, agua, etc.

.- La normativa vigente requiere que el sistema de encendido tenga, al menos, dos bujías y también doble circuito eléctrico.

.- Conviene señalar que no tratamos aquí los procesos de combustión de la mezcla de combustible y aire, que se estudiaron con anterioridad en la sección dedicada al motor de émbolo, y es plenamente aplicable a este caso como tal proceso.

.- También recordamos que la detonación no es problema para los motores de turbina debido al ciclo de funcionamiento a presión constante que les caracteriza.

.- El sistema de encendido por chispa del turborreactor es más sencillo que el del motor de émbolo. Se basa en cargar un condensador a un potencial eléctrico muy alto y proceder, más tarde, a su descarga a través de los electrodos de la bujía.

.- El sistema consta de excitador, bujías y cables de encendido. El excitador produce la corriente de alta tensión. La corriente es transportada por los cables de encendido hasta las bujías.

.- Desde el punto de vista constructivo, los sistemas de encendido se dividen en dos grupos: sistemas de alta y de baja tensión.

.- Los sistemas se pueden alimentar con corriente alterna, 115 v, 400 Hz, o con corriente continua, normalmente de 28 v.

.- Desde el punto de vista operacional, los sistemas de encendido se clasifican por su capacidad, en sistemas de alta, media y baja energía. La clasificación se refiere a la energía eléctrica que son capaces de suministrar a las bujías.

.- Los sistemas de alta energía producen chispas de 20 julios, los de media de 4 julios, y los de baja energía de 1 a 2 julios.

---

.- El sistema estándar actual en aviación comercial combina, en una unidad doble, las características de los sistemas de alta y media energía. Son los llamados sistemas 20/4. Uno de los conjuntos proporciona chispas de 20 julios y el otro de 4. También hay sistemas que sólo ofrecen la opción de 20 julios.

.- Todos los sistemas funcionan con un amperaje muy alto. Por esta razón tienen limitación de tiempo de funcionamiento a causa del calor generado. Después de cada ciclo de trabajo existe un cierto tiempo de enfriamiento, que precisaremos más adelante.

#### *13-01-01.- DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE BAJA Y ALTA TENSIÓN*

.- El sistema de encendido de baja tensión funciona de la forma siguiente: cuando se conecta el circuito de encendido la tensión de la batería de a bordo se aplica a un filtro de radio. La función del filtro es bloquear las interferencias radioeléctricas que el sistema de encendido puede introducir en equipos de a bordo conectados a la misma fuente de alimentación.

.- La corriente de entrada pasa a un vibrador cuyas puntas se abren y cierran 200 veces por segundo. El vibrador produce una corriente continua pulsatoria que carga el condensador (almacenamiento de energía eléctrica). El condensador, pues, es la unidad que actúa como depósito de energía eléctrica. Cuando la carga eléctrica del condensador alcanza un valor determinado se hace conductor un tubo de descarga, situado a la salida del condensador, por la alta tensión eléctrica acumulada en sus puntas. En este momento permite la descarga del condensador a los terminales de las bujías.

.- Hay que ver que el tubo de descarga no se hace conductor hasta que la carga eléctrica en el condensador alcanza un valor prefijado.

.- El conjunto formado por el filtro, vibrador, condensador y tubo de descarga se llama excitador.

.- El sistema de encendido de alta tensión se diferencia del anterior, primero porque no necesita el vibrador, pues el circuito está alimentado por corriente alterna. En segundo lugar, la salida del tubo de descarga se conecta al primario de un transformador, que induce un voltaje muy elevado (20.000 V) en el secundario. Al secundario del transformador está conectada la bujía. La tensión es suficiente para ionizar el aire entre las puntas de los dos electrodos de la bujía.

.- El aislamiento eléctrico del sistema de alta tensión es esencial para su buen funcionamiento.

.- El sistema de alta tensión pesa más que el de baja, porque requiere un aislamiento perfecto.

---

.- Por estas razones el sistema de baja tensión es un sistema muy popular en aviación general; de hecho todos los motores de aviación general, excepto Garret, emplean el sistema de baja tensión.

.- Conviene señalar que el sistema de encendido, bien de alta o de baja tensión, funciona con voltajes muy altos. De hecho hablar de sistema de baja tensión es un eufemismo, pues se trata de tensiones de 4.000 v. Aunque el sistema tiene resistencias de sangrado para descargar completamente la carga del condensador, es un sistema cuya manipulación requiere seguir fielmente las instrucciones de los manuales técnicos.

#### *13-01-02.- BUJÍAS PARA MOTORES DE TURBINA*

.- Las bujías para motores de turbina son muy distintas de las que se emplean en los motores de émbolo.

.- En primer lugar, la distancia entre electrodos y la cantidad de corriente que circula por ellas es mucho mayor.

.- Las bujías de los turborreactores se contaminan menos que las del motor de émbolo. Esto es debido a la alta energía de la chispa, que elimina el carbón y otros restos de suciedad que se acumulan entre los electrodos. El material que se emplea es superaleación de níquel-cromo.

.- Como hemos dicho, el sistema de baja tensión dispara la chispa en la bujía a una tensión menor que en los sistemas de alta.

.- Las bujías de baja tensión se llaman de electrodo "shuntado" (shunt es el término eléctrico que se aplica a un paso de baja resistencia presente en un circuito eléctrico). Esto es así porque entre el electrodo central de la bujía y masa hay una pastilla de material semiconductor. Cuando la descarga inicial del condensador llega al electrodo central la corriente pasa a masa a través del semiconductor, del shunt. Con el paso de corriente el material de la pastilla cede calor al espacio que le rodea, hasta ionizar el aire situado entre los electrodos. En este momento, cuando el aire que rodea el extremo de la bujía se ha hecho conductor de la electricidad, el resto de carga eléctrica que hay en el condensador encuentra fácil trayectoria y pasa por el electrodo produciendo una chispa de alta energía.

.- Las bujías de los motores de turbina son de chispa, con una excepción. En los primeros motores de la serie PT6 se emplea la bujía incandescente.

.- La bujía incandescente es, en ciertos aspectos, parecida al encendedor eléctrico del automóvil. Una bobina (resistencia eléctrica) actúa como terminal de la bujía. En funcionamiento es calentada al rojo-amarillo, unos 2.000° C, mediante corriente continua. Durante la fase de puesta en marcha del motor una cierta cantidad de aire a presión (procedente del compresor) pasa por unos

---

orificios que tiene la bujía. El dardo de aire a presión se mezcla con el combustible que derrama un inyector, colocado en la proximidad de la bujía. El dardo de aire forma entonces una antorcha inflamable que enciende la cámara de combustión.

.- El fabricante de esta variedad de bujía señalaba su eficacia durante las puestas en marcha a bajas temperaturas, pero no se ha popularizado.

---

### **13-02.- CAJA DE ENGRANAJES**

.- En general, los motores de turbina proporcionan dos fuentes de potencia distintas para accesorios del motor y del avión: neumática y mecánica.

.- La primera aprovecha el aire sangrado del compresor para fines tan diversos como antihielo, presurización, acondicionamiento de aire, etc.

.- Otros accesorios del avión y del motor necesitan tomas de potencia mecánica, aprovechando el movimiento de rotación del eje del motor. Estos accesorios son bombas hidráulicas, de combustible, alternadores, etc.

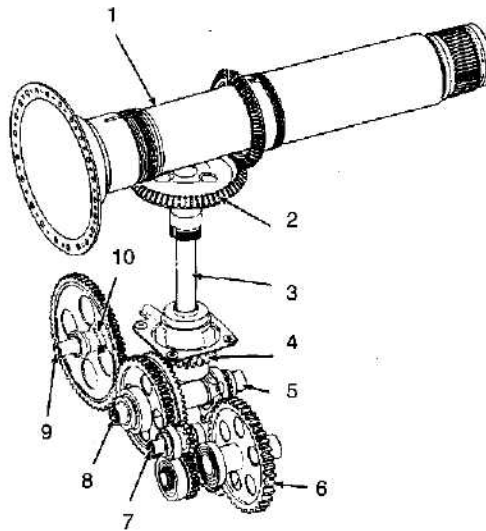
.- La potencia para los accesorios mecánicos se toma de una unidad compacta, que se llama caja de engranajes o cárter de accesorios. La caja de engranajes es el centro de distribución de potencia mecánica del motor.

.- La Fig. 27.2 muestra el sistema completo de distribución de potencia de un turborreactor. El conjunto de engranajes conducidos por el árbol del motor está alojado en un cárter, que forma la caja. Cada engranaje termina en un eje de acoplamiento con destino al accesorio que recibe la potencia necesaria de giro.

.- En funcionamiento, el árbol del compresor (1) tiene una extensión dentada que arrastra un engranaje cónico (2). A través del eje radial (3) el movimiento de giro del árbol llega a los distintos accesorios.

### 13-03. PUESTA EN MARCHA

.- El proceso de puesta en marcha del turborreactor es la transición desde el reposo hasta el régimen mínimo de revoluciones de funcionamiento autónomo. La condición de funcionamiento autónomo del motor coincide con una posición del mando de gases llamada ralentí ("idle").



*Fig. 27.2 Toma de potencia y caja de engranajes de un turborreactor con sistema de poscombustión. Detalles: 1 Eje compresor-turbina; 2 Engranaje cónico del árbol del compresor; 3 Eje radial de transmisión; 4 Engranaje principal del eje radial; 5 Eje de accionamiento de las valvas de la tobera de salida de área variable; 6 Toma de potencia para el regulador de sobrevelocidad del motor; 7 Toma de potencia para sistemas del posquemador; 8 Toma de potencia auxiliar (disponible); 9 Bomba de combustible del motor (Unidad de control de combustible); 10 Toma de potencia de la bomba de lubricación*

.- En el proceso de arranque, el generador de gas debe ser conducido hasta un cierto número de revoluciones donde se asegura que puede funcionar con temperatura de turbina por debajo del máximo admisible. Se llama régimen de equilibrio del motor el menor número de revoluciones del generador que satisface esta condición.

.- El régimen de equilibrio es menor que el correspondiente a ralentí. El motor no puede funcionar de modo autónomo a un número de revoluciones menor que el de equilibrio, sin sobrepasar la temperatura máxima del gas en la turbina.

### 13-03-01.-FASES DE LA PUESTA EN MARCHA

.- Durante el ciclo de arranque de un turborreactor se encuentran presentes los pares de fuerza siguientes: 1. Par que suministra el motor o sistema de arranque ( $M_A$ ); 2. Par resistente del compresor ( $M_C$ ); 3. Par de la turbina ( $M_T$ ), que existe en forma de par motor a partir del encendido de la cámara de combustión.

El ciclo de puesta en marcha se divide en tres fases, Fig, 27.2a.

.- En el instante  $t = 0$  se produce la conexión arrancador-rotor del compresor, al que le comunica un par de giro  $M_A$ . En algún punto de esta fase se conecta el encendido.  $M_C$  es el par resistente de arrastre del grupo rotatorio.

.- Durante la segunda fase de la puesta en marcha el rotor del compresor gira accionado por su propia turbina y por el eje de acoplamiento del arrancador, recibiendo un par de valor  $M_A + M_T$ , siendo  $M_A$  el par debido al arrancador y  $M_T$  el debido a la turbina que acciona el compresor del motor. Se alcanza un régimen de revoluciones de equilibrio  $N_2$ , a partir del cual la turbina puede conducir el compresor por sí sola. Con el fin de que el turborreactor llegue antes al régimen de ralentí, el arrancador se desconecta en un punto  $N_3$ , mayor que el de equilibrio.

.- En la tercera fase de la puesta en marcha el rotor es conducido únicamente por la turbina, hasta el número de revoluciones de ralentí.

### 13-03-02.- TIPOS DE ARRANCADORES

.- Los sistemas de arranque modernos utilizados en turborreactores pueden ser eléctricos y neumáticos.

.- Todos los arrancadores tienen la misma función, comunicar un par de giro al compresor del motor. En los motores de dos o más ejes sólo se acciona el compresor de alta presión.

#### **Arrancador-generador eléctrico**

.- Es un motor de ce. alimentado por una o varias baterías

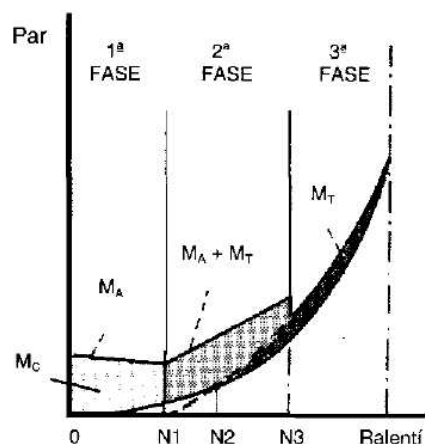


Fig. 27.2a Pares de fuerza presentes en el ciclo de puesta en marcha del turborreactor.

---

de suficiente capacidad para proporcionar el par de arranque.

.- Estos arrancadores se clasifican en dos grupos: arrancadores simples, propiamente dichos, y los que combinan las funciones de arrancador y generador.

.- En algunos motores, pues, el motor de arranque no se independiza mecánicamente del turborreactor, sino que queda conectado como generador después de la secuencia de arranque.

.- Los arrancadores eléctricos se emplean en unidades pequeñas, a las que confieren plena autonomía en cuanto al apoyo en tierra. También se dispone de una conexión exterior para alimentación a través de una unidad auxiliar de tierra.

### ***Arrancador de turbina de aire***

.- El arrancador de turbina de aire, Fig. 27.3, es el más empleado en la aviación comercial debido a las excelentes cualidades potencia / peso que exhibe.

.- El arrancador está constituido por una pequeña turbina cuyo eje se acopla a un mecanismo de embrague. El embrague termina en un piñón impulsor. El compresor toma de este piñón la potencia de movimiento necesaria para el giro.

.- En funcionamiento la turbina del arrancador recibe un caudal de aire de 25 a 50 kg/minuto, a una presión no muy alta, del orden de  $2,5 \text{ kg/cm}^2$ . El aire proviene de distintas fuentes, bien de una unidad auxiliar de tierra, del APU del avión, o de uno de los motores en marcha del avión.

.- El aire a presión entra en la unidad y pasa inmediatamente por el estator de la turbina del arrancador. En el estator se convierte la mayor parte de la presión del aire en velocidad. La corriente de aire es dirigida a gran velocidad sobre los alabes del rotor de la turbina del arrancador, a la que comunica un par de giro.

.- La turbina del arrancador gira a velocidad muy alta, del orden de 60.000 a 80.000 RPM. El tren de engranajes del reductor, Fig. 27.3, se encarga de disminuir la velocidad de giro por un factor de 20 a 30.

.- El piñón del eje de salida recibe el movimiento del mecanismo de embrague y comunica el par de giro al compresor del motor, a través de la caja de engranajes.

.- El desembrague de la unidad es automático. Cuando la velocidad de giro del eje sobrepasa un determinado valor se levantan, por fuerza centrífuga, los trinquetes que acoplan el eje de salida del arrancador al eje del reductor. En este momento se cierra también, como veremos en el próximo párrafo, la válvula de entrada de aire al arrancador; así, la turbina se desacelera hasta detenerse.

.- Por su parte, el eje de salida del arrancador, desacoplado ya de la turbina, participa del giro de la toma de potencia de la caja de engranajes a la que está unido.



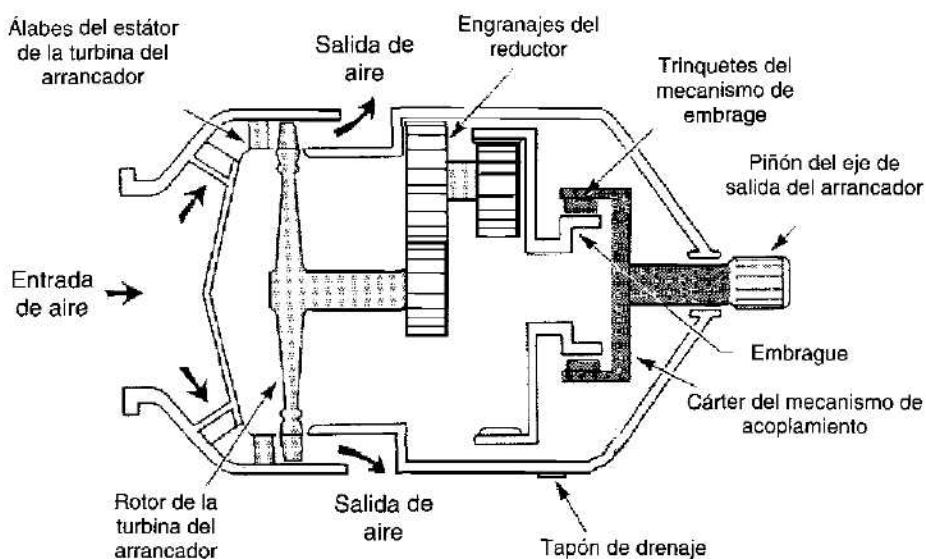
### Válvula de aire de puesta en marcha

.- La turbina de aire está controlada por un sistema neumático compuesto de servopistón y bobina solenoide (ver la Fig. 27.4). El servopistón (7) tiene la función de modular la posición de la válvula de mariposa (14) de entrada de aire al arrancador. La válvula de mariposa se denomina válvula de aire de puesta en marcha.

.- La válvula de aire de puesta en marcha de la ilustración está dibujada en el momento que corresponde al inicio de la puesta en marcha.

.- Cuando el interruptor de puesta en marcha se sitúa en la posición ON la válvula de solenoide (1) se desplaza, en la dirección de la flecha, y gira la barra de mando de torsión (2) en la dirección indicada. Este movimiento ocasiona otros dos adicionales, en paralelo: las varillas de control (5) y (3) se desplazan hacia la derecha, cerrando la ventilación a la atmósfera de la válvula de control principal (6). El cierre se produce mediante la caperuza (16) de la válvula, dibujada con mayor detalle en la parte inferior del gráfico.

.- A la vez, la varilla de control (3) desplaza el diafragma de la válvula (4) hacia la derecha. Cuando la caperuza (16) de la válvula de control cierra la ventilación a la atmósfera, el neumático de puesta en marcha llega al servopistón (7), a través de la línea neumática (10).

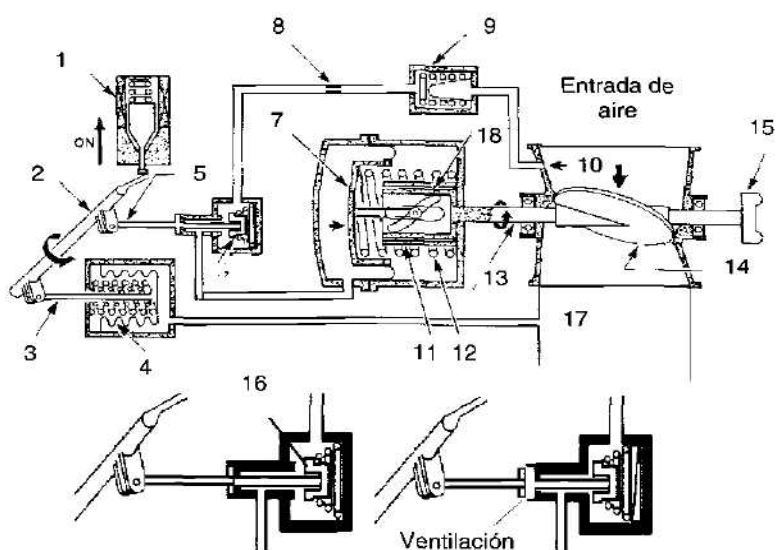


*Fig. 27.3 Arrancador de turbina de aire*

.- La presión que se ejerce en el pistón desplaza éste hacia la derecha del dibujo a través de una leva con rampa, muy parecida al mecanismo de cambio de paso que se emplea en las hélices Hidromatic. El pistón gira cuando se desplaza por la leva en rampa por la leva rampa, gira también la

barra de mando de la válvula de mariposa y ésta se abre. En este momento se inicia el paso de neumático para la puesta en marcha.

.- Cuando se abre la válvula (14) aumenta la presión del aire en la línea (17), de la válvula de diafragma. La presión crece en la válvula (4), de tal forma que tiende a desplazar el diafragma y su resorte hacia la izquierda. En este caso el movimiento de giro de 3a barra de mando (2) es contrario al dibujado, de manera que desplaza de su asiento la caperuza (16) de la válvula de control principal. Cuando la caperuza se despegas de su asiento, la línea neumática de entrada de la válvula está ventilada parcial o totalmente a la atmósfera, de manera que se alivia presión en la cabeza del servopistón.



*Fig. 27.4 Válvula de aire de puesta en marcha. En la parte inferior del gráfico detalle ampliado de la válvula principal de control.*

Detalles: 1 Válvula de solenoide (con el interruptor de puesta en marcha en posición ON la válvula de solenoide se desplaza hacia arriba, en la dirección de la flecha; 2 Barra de mando; 3 Varilla de control de la unidad de diafragma; 4 Unidad de diafragma; 5 Varilla de mando de la válvula principal de control; 6 Válvula principal de control; 7 Servopistón; 8 Restricción en la línea neumática de entrada; 9 Filtro; 10 Línea neumática de entrada; 11 Pista de la leva del servopistón; 12 Resorte; 13 Barra de mando de la válvula de aire de entrada (válvula de mariposa); 14 Válvula de mariposa; 15 Eje de accionamiento manual; 16 Caperuza de asiento de la válvula de control principal (dibujada en posición cerrada, cortando la ventilación de la válvula a la atmósfera); 17 Línea neumática secundaria, aguas abajo de la válvula de mariposa; 18 Leva con rampa.

.- El sistema está en equilibrio cuando la cantidad de aire que llega al servopistón es igual a la que se expulsa a la atmósfera. A partir de esta situación de equilibrio se produce la modulación del grado de apertura de la válvula de mariposa.

.- Cuando el arrancador alcanza una velocidad angular determinada sabemos que se produce el desembrague del piñón del arrancador. El desembrague corta el circuito de corriente eléctrica al solenoide (1), a través de un interruptor que se sitúa en posición OFF en el momento del

---

desembrague. El solenoide, sin corriente y por tanto sin fuerza magnética, libera la barra de control (2), abre el orificio de ventilación y alivia presión en el servopistón, momento en el cual la válvula de mariposa se cierra y cesa la entrada de aire a la turbina del arrancador.

.- El restrictor (8) está situado en la línea neumática de entrada para amortiguar las oscilaciones de presión. El maneral (15) permite el accionamiento de la válvula de mariposa por el servicio de mantenimiento en caso de que se haya agarrotado por cualquier circunstancia, suciedad o hielo.

#### Arranque cruzado

.- La turbina de aire funciona con una fuente neumática de tierra, el APU de a bordo, o con aire sangrado de un motor del avión en marcha.

.- Se llama arranque cruzado la operación de puesta en marcha de un motor con aire sangrado de otro.

.- El arranque cruzado no es un método frecuente de puesta en marcha. La razón principal es que para obtener aire a la presión que requiere la turbina del arrancador es preciso llevar el motor de sangrado a un régimen de empuje alto. Por tanto es muy probable que existan limitaciones en la zona de estacionamiento para alcanzar este régimen de empuje.

.- El sistema, por lo demás, sigue la práctica estudiada con anterioridad.

---

#### **13-04. ANORMALIDADES DURANTE LA PUESTA EN MARCHA**

.- Hay tres anomalías principales que se pueden presentar en el curso de la puesta en marcha del motor, que son las siguientes: puesta en marcha caliente, puesta en marcha colgada y puesta en marcha sin encendido.

##### ***13-04-01.- PUESTA EN MARCHA CALIENTE (HOTSTART)***

.- La puesta en marcha caliente se puede presentar por dos causas; en primer lugar cuando la unidad de control de combustible no funciona de modo correcto y envía una cantidad de combustible a la cámara de combustión mayor que la necesario para la puesta en marcha.

.- Sin embargo es más frecuente el caso donde se intenta una puesta en marcha con un exceso de carga sobre el motor, en particular aire acondicionado o carga eléctrica a tope. En estas condiciones el generador puede no ser capaz de atender la demanda extra de energía que se solicita y no alcanza su régimen de funcionamiento autónomo. La supervisión de la operación se basa en el examen del indicador de gasto de combustible (FUEL FLOW) y la temperatura de gases de escape (EGT). Es necesario observar la indicación EGT. El proceso suele ser rápido de manera que hay que prestar más atención al ritmo con que sube la temperatura que a la indicación en sí misma.

.- En caso de intuir que la temperatura va a sobrepasar los límites normales del motor para la puesta en marcha hay que cerrar las llaves de paso de combustible.

##### ***13-04-02.- PUESTA EN MARCHA COLGADA (HUNGSTART)***

.- La puesta en marcha colgada se puede producir por tres motivos, dos de ellos similares a los anteriores.

.- Puede deberse a un mal funcionamiento de la unidad de control de combustible, que no proporciona la suficiente cantidad de combustible para acelerar el motor hasta la velocidad de funcionamiento autónomo. Este problema se detecta porque la indicación de gasto de combustible es inferior a la normal.

.- Segundo, de nuevo una carga excesiva impuesta sobre el motor puede impedir que alcance la velocidad de funcionamiento autónomo y el motor permanece en una zona de revoluciones por debajo de ralentí. Si éste es el caso, hay que parar y empezar de nuevo, después de seguir los procedimiento de purga del motor (o reintento de puesta en marcha).

.- En tercer lugar, el sistema de puesta en marcha no cuenta con la suficiente potencia para arrastrar el motor hasta la velocidad autónoma; por ejemplo, en aviación general, cuando las baterías no están a plena carga.

.- En todos los casos el resultado es que el motor no alcanza el régimen de ralentí.

---

#### *13-04-03.- FALLO DE ENCENDIDO*

- El sistema de encendido está mal o se ha olvidado conectarlo. Aquí el problema es que la cámara de combustión permanece inundada de combustible. Por consiguiente, antes de proceder a un nuevo intento de puesta en marcha es necesario seguir los procedimientos de purga de la cámara de combustión. Esto se consigue arrastrando el motor con el encendido en OFF, de manera que la corriente de aire expulse el combustible de la cámara.

---

|  |
|--|
| <b>14.- SISTEMAS DE INDICACIÓN DEL MOTOR</b> |
|--|

**14-01.- SISTEMAS DE INDICACIÓN DEL MOTOR**

.- Los instrumentos indicadores de las diferentes variables operacionales del motor, se pueden considerar englobados en dos grupos:

**A.- Instrumentos PRINCIPALES:**

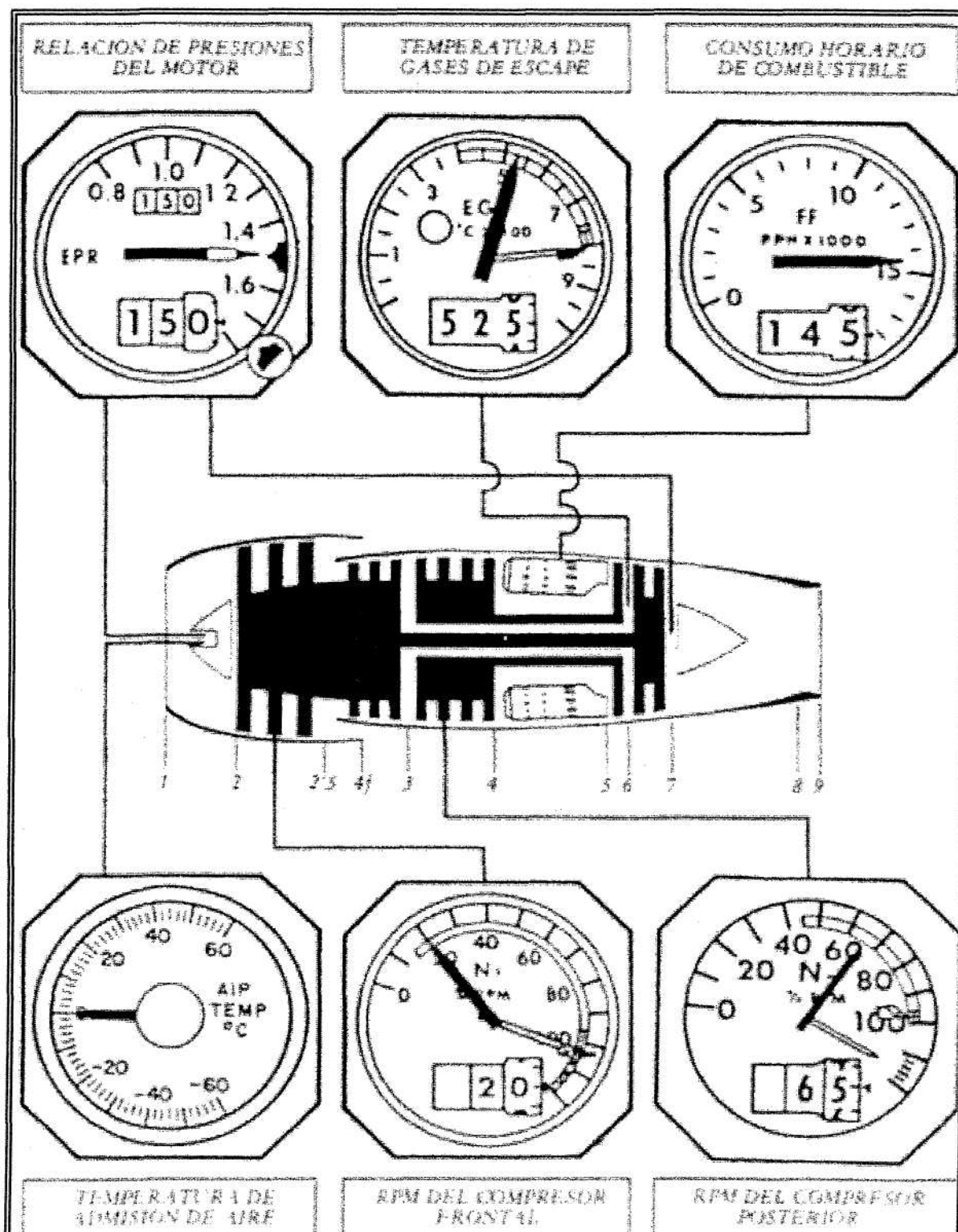
Empuje proporcionado por el motor.

Temperatura de los gases de escape. .

Consumo horario de combustible.

Temperatura de admisión de aire al motor.

. Indicador de las revoluciones del motor. Éste puede ser simple o doble, según que el compresor sea simple o doble.



---

**B.- INSTRUMENTOS AUXILIARES:** . Los indicadores se engloban en tres subgrupos:

- . De control de la alimentación de combustible.
- . De control del sistema de lubricación del motor.
- . De control de las vibraciones del motor.

.- A su vez cada uno de estos subgrupos los podemos considerar compuesto de los siguientes instrumentos:

**Sistema de alimentación de combustible:**

- Presión de combustible.
- Temperatura de combustible.
- Contador de consumo de combustible.

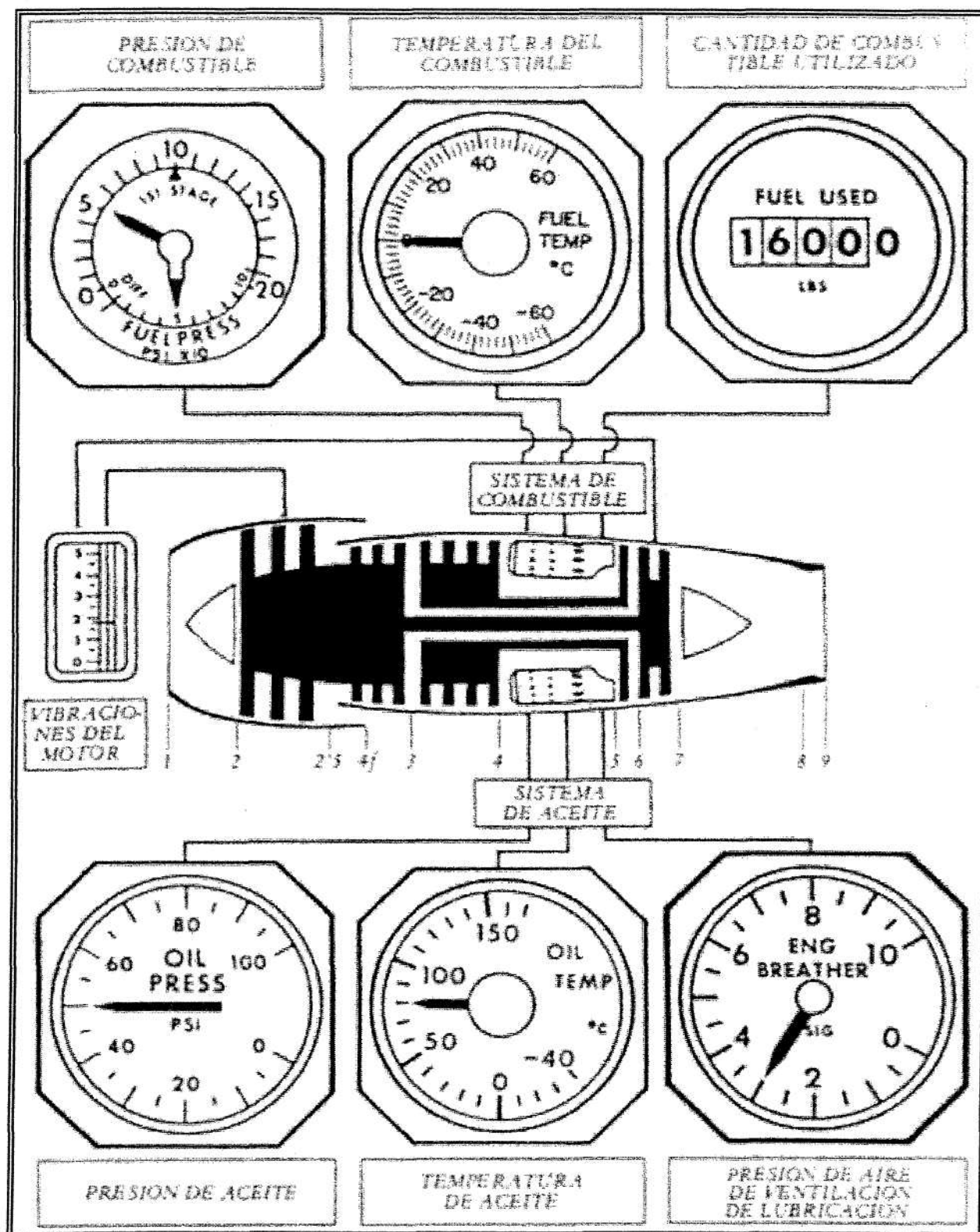
**Sistema de lubricación del motor:**

- Presión de aceite.
- Temperatura de aceite.
- Presión de aire de ventilación del aceite de lubricación.
- Contador de aceite disponible el depósito.

**Sistema de control de las vibraciones del motor:**

.- Empleado de manera generalizada en los turborreactores, sin embargo en los turbomotores o turbohélices no se suelen emplear, solventándose el necesario control con equipos portátiles que nos dan indicación de las vibraciones en determinados procesos de trabajo del mantenimiento de los mencionado motores.





---

.- El empuje se suele controlar en función a la relación de presiones del motor, la de entrada al compresor y la de la salida de la turbina. Esto es posible al hecho de que el empuje es función directa de la geometría de diseño del motor, de las condiciones de admisión de aire, condiciones a la salida del gas y de la relación de presiones inicialmente mencionadas, y cuando un motor opera a velocidad, altura, y temperatura exterior constante, para una posición fija del control de empuje, la variación de éste es función únicamente de la relación de presiones.

#### **14-02.- INSTRUMENTO DE TEMPERATURA DE GASES DE ESCAPE: (EGT)**

.- La temperatura de los gases de escape medida a la salida de la turbina, es un valor que tiene carácter limitativo del funcionamiento del motor y ha de utilizarse como prevención para las turbinas. En realidad la medición sería más correcto realizarla a la entrada de las turbinas, pues es la más crítica de las variables del ciclo, sin embargo, nos encontramos con la muy elevada temperatura del final de la combustión que limita el empleo de termopares en dicha posición, tanto por las características de resistencia térmica de los mismos, como por los posibles daños que podrían efectuar a las turbinas si son arrastrados por la comente del gas. La situación de los termopares en la descarga de la turbina nos da por tanto una indicación relativa de la que existe a la entrada.

.- Como la temperatura en la descarga es bastante menor que a la entrada, deberá vigilarse con atención esta indicación, para mantener el motor dentro de las condiciones operativas. La temperatura que se registra es el valor medio de la correspondiente a varios termopares situados circunferencialmente en la salida y cercanos a la rueda del último escalón.

.- No obstante, también existen determinados turborreactores o turbomotores, que miden la temperatura de los gases de escape entre dos grupos de turbinas, en el primer caso entre la turbina que da movimiento al compresor frontal y la que lo da al compresor posterior, y en el caso de turbomotores, entre la turbina de potencia y la productora de gas.

---

#### **14-03.- INSTRUMENTO DE FLUJO DE COMBUSTIBLE: (Fuel Flow)**

.- Éste es un dato de particular interés, ya que, por una parte, nos dará idea del funcionamiento correcto del sistema de control de combustible y, por otra, nos permitirá establecer el adecuado ajuste del empuje para un determinado radio de acción del aparato en función del peso del mismo.

.- Este indicador mide continuamente el flujo de combustible en Kg. ó Lb / h, proporcionando lecturas de aguja y numéricas del consumo por hora.

#### **14-04.- INSTRUMENTO DE LA TEMPERATURA DE ADMISIÓN DE AIRE AL MOTOR:**

.- Dado que el empuje varía con la temperatura de admisión de aire al motor, aumentando si la temperatura disminuye y, disminuyendo si la temperatura aumenta, las variaciones de empuje están tabuladas respecto de las variaciones de la temperatura indicada y tienen especial importancia en los despegues, para los cuales a una variación de 10° C, en la temperatura de admisión, da origen aproximadamente a una variación del 6% en la relación de presiones del motor.

#### **14-05.- INSTRUMENTO DE LAS REVOLUCIONES DEL MOTOR:**

.- Este indicador nos muestra la velocidad de giro del compresor, y en el caso de los compresores axiales, este giro se expresa en tantos por ciento %, sobre el valor normal máximo. En el caso de los turborreactores es una indicación de fiabilidad en conjunción con la lectura del empuje, temperatura de gases de escape y consumo de combustible. En el caso de los turbomotores, se debe de emplear en conjunción con la medida del par motor, siendo ambas indicativas de la potencia desarrollada por el motor. En este último caso también se evidencia por medio de un indicador la velocidad de giro de la turbina de potencia, en esta ocasión en revoluciones, para controlar posibles sobrevelocidades de salida con relación a las características mecánicas de la caja de transmisión principal del rotor.

#### **14-06.- INSTRUMENTO DE PRESIÓN DE COMBUSTIBLE:**

.- Nos proporciona un valor con el que se pueden detectar averías o posibles fenómenos de cavitación en el suministro de combustible. También se emplean sus mediciones en las comprobaciones en tierra.

#### **14-07.- INSTRUMENTO DE TEMPERATURA DE COMBUSTIBLE:**

.- Es un instrumento múltiple, que por medio de un selector nos proporciona lectura de la temperatura del combustible, bien en el depósito del avión, en la canalización del combustible o detrás del filtro de combustible del motor.

#### **14-08.- INSTRUMENTO DE COMBUSTIBLE CONSUMIDO:**

---

.- Nos proporciona lectura numérica continua del consumo acumulativo de combustible por todos los motores del avión.

---

#### **14-09.- INSTRUMENTO DE PRESIÓN DE ACEITE DE LUBRICACIÓN DEL MOTOR:**

.- Nos informa de la presión del aceite de lubricación a la salida de la bomba de presión del motor.

#### **14-10.- INSTRUMENTO DE TEMPERATURA DE ACEITE DEL MOTOR:**

.- Un bulbo de temperatura, nos indica la que posee el aceite de lubricación del motor en determinados puntos del circuito, dependiendo del modelo de motor. En ocasiones nos da indicación de la temperatura antes de la entrada del radiador y en otras en la entrada de la bomba de presión del motor

#### **14-11.- INSTRUMENTO DE CANTIDAD DE ACEITE DE LUBRICACIÓN:**

.- Nos proporciona indicación de la cantidad de aceite que se encuentra en el depósito de aceite de cada motor, o del depósito general para todos.

#### **14-12.- INSTRUMENTO DE VIBRACIONES DEL MOTOR O MOTORES:**

.- La indicación en el caso de varios motores, se presenta conjunta de todos ellos y por medio de un selector podemos apreciar las vibraciones, tanto del compresor como de la turbina. El valor de vibración aceptado para unas determinadas RPM, varía de unos modelos de motores a otros, debiendo tener claramente especificados los límites de los mismos.

#### **14-13.- INSTRUMENTO DEL TORQUE:**

.- En los turbomotores se necesita conocer el valor del torque o par motor, y se suele apreciar por un mecanismo hidráulico que expresa el mismo en PSI, medida equivalente al par motor.

---

## **15.- AUMENTO DE POTENCIA**

### **15-01.- SISTEMAS DE AUMENTO DE POTENCIA**

.- Existen una serie de procedimientos para conseguir un aumento de la potencia de los motores de reacción, procurando mantener unos regímenes de funcionamiento continuado con unos consumos contenidos, de tal manera que se consiga un aumento del radio de acción de la aeronave al no penalizarla con unos aumentos de peso que los limiten, pero podamos disponer de los mencionados aumentos de potencia para solventar situaciones comprometidas, tanto de carácter operacional en la aviación comercial, como en el ámbito de las aeronaves militares podemos encontrarlas en acciones de combate.

.- Los dos procedimientos más empleados para este aumento puntual de la potencia de los motores de reacción son:

A.- INYECCIÓN DE AGUA O DE AGUA-METANOL.

B.- LA POSTCOMBUSTIÓN.

#### **A.- INYECCIÓN DE AGUA O DE AGUA-METANOL**

.- La inyección de agua (o agua-metanol), tiene por finalidad asegurar un aumento de la potencia y es utilizado, en los regímenes de despegue, para contrarrestar el efecto de disminución del empuje en días de elevada temperatura, pudiendo conseguir de esta forma aumento del 10 al 40% del correspondiente sin inyección de agua. Se consigue este efecto de aumento del empuje por la refrigeración del aire que atraviesa el motor.

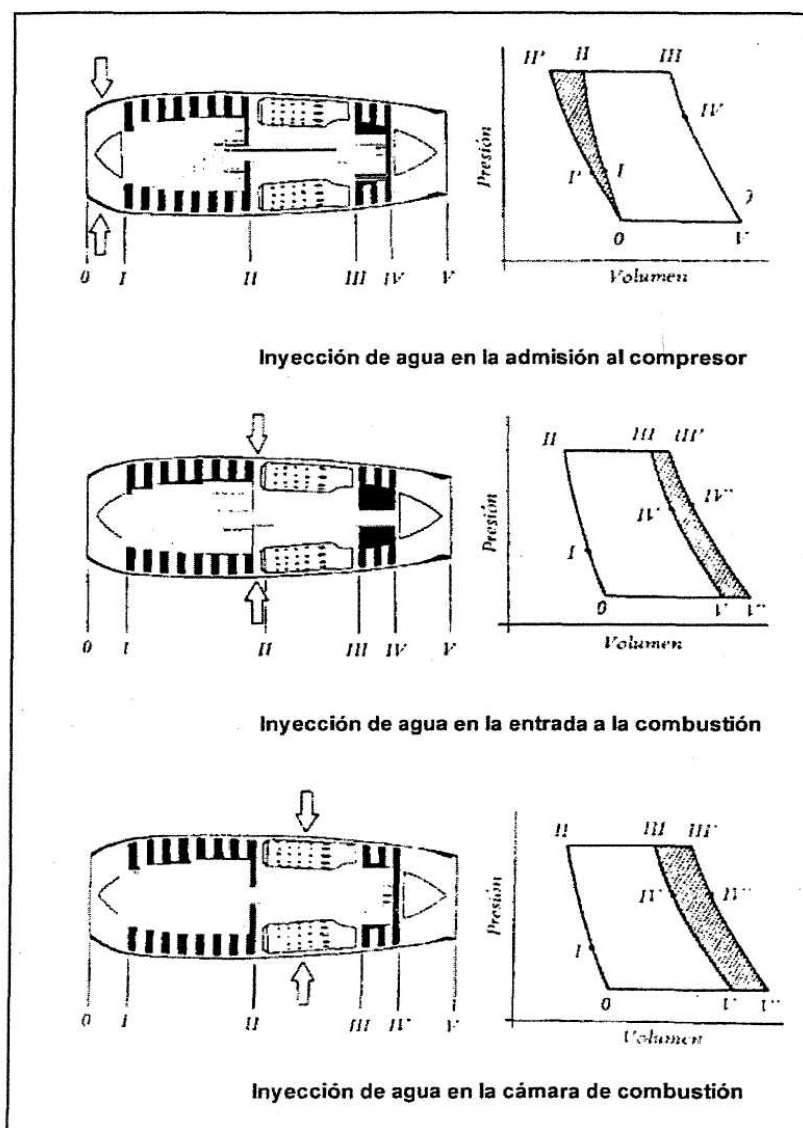
.- La inyección de agua se puede realizar en determinadas zonas del motor, produciendo en cada caso respuestas diferenciadas, que dependiendo de las necesidades constructivas determinan el procedimiento empleado:

.- En el caso de la inyección en la admisión del compresor, la vaporización del agua hace descender la temperatura del aire y esta reducción de temperatura aumenta la densidad del flujo del aire que, al admitirse en mayor cantidad y más frío, resulta el mismo efecto que si se operase en día frío.

.- En el caso de la inyección en el difusor de postcompresión lo que ocurre se explica por otro principio. La evaporación del agua o de la mezcla agua metanol libera una gran cantidad de calor del aire comprimido, y hace bajar la temperatura. Entonces el consumo de combustible puede aumentarse hasta que la temperatura de los gases a la entrada de la turbina sea el valor especificado para un correcto funcionamiento.

.- La inyección de agua en las cámaras de combustión reduce la temperatura por vaporización como en los casos anteriores, si bien admite mayor cantidad de agua o mezcla de agua metanol.

.- La inyección agua-metanol es limitada, puesto que la misma presenta el riesgo de rebasar la potencia máxima admitida por los elementos mecánicos del motor y el efecto de corrosión en las zonas calientes.



---

## **B.- LA POSTCOMBUSTION**

.- Este procedimiento se emplea para aumentos de la potencia durante un muy corto periodo y consiste en realizar una segunda combustión en la tobera de los gases de escape, que se posibilita, dado que los gases a la salida de la turbina poseen una gran proporción de aire fresco. Por otro lado es posible admitir una elevada temperatura de combustión, por que en esta zona ya no existen elementos mecánicos en movimiento que se puedan ver afectados por la misma.

.- El aumento del empuje depende de la velocidad de la eyección de los gases, ahora bien, la velocidad de eyección aumenta proporcionalmente a la raíz cuadrada de la elevación de la temperatura y de esta forma el aumento puede alcanzar el 50% del régimen nominal en atmósfera estándar. Sin embargo hay que tener en cuenta que este procedimiento requiere un muy considerable aumento del consumo de combustible, por lo que prácticamente se reserva para el uso en operaciones de carácter militar. Señalar, por último, que la utilización de la postcombustión resulta particularmente ventajosa en el turborreactor de doble flujo, dado que en el mismo la proporción de "aire fresco" en la tobera es muy importante.

.- La dificultad de este procedimiento consiste en tratar de realizar la combustión en una zona en la que el flujo de gas alcanza una elevada velocidad y debemos de tener en cuenta que la combustión está unida a la velocidad de deflagración de la llama que depende de la temperatura y la pulverización homogénea del combustible. Para ello se emplean unos sistemas de rampas y válvulas deflectoras.

.- El encendido, a pesar de la temperatura elevada de los gases, no puede hacerse siempre espontáneamente y por ello se deben emplear procedimientos de encendido por punto caliente, chispa o descarga del combustible sobre un catalizador.

.- La regulación del combustible es necesaria para limitar la temperatura de postcombustión. El mando de la misma se hace con la palanca de gases que, además de la puesta en marcha, permite la selección del porcentaje de PC (postcombustión), deseado.

.- Finalmente hay que tener en cuenta que el funcionamiento del compresor no se vea afectado por la utilización de la PC; esto se consigue variando de forma regulada la sección de salida de la tobera. Se pretende conseguir una postcombustión en expansión constante que impida la posibilidad de aparición del fenómeno denominado "compressor stall", suficientemente explicado con anterioridad.



---

## SECCIÓN III

---

INTENCIONADAMENTE EN BLANCO

## 16.- TURBOHÉLICES

.- El motor turbohélice es un generador de gas al que se ha añadido una tobera de salida, para canalizar los gases de combustión hacia la salida, más una hélice acoplada al eje del motor.

.- Por tanto, el turbohélice consta de los siguientes elementos: a) compresor; b) cámara de combustión; c) turbina que acciona el compresor; d) turbina que acciona la hélice; e) tobera de salida; f) hélice.

.- La figura muestra de forma esquemática la representación de este motor.

.- En el caso mostrado en la ilustración el motor dispone de dos ejes. Otros motores tienen sólo uno.

.- Véase en el esquema la presencia de dos (grupos) turbinas.

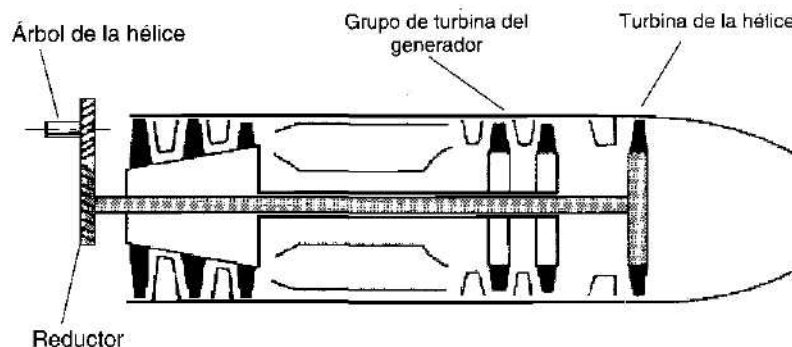
- La primera (de dos ruedas en el caso dibujado) acciona el compresor del generador de gas.

- La segunda turbina (rueda única en este caso) está unida directamente a la hélice, a través de engranaje reductor de velocidad de la hélice.

.- Esta configuración, de uno o dos ejes, establece la diferencia fundamental entre tipos de turbohélices.

.- La tobera de salida del turbohélice, como es natural, cumple la función de descargar los gases de combustión en la atmósfera.

.- El gas sale por la tobera de salida a velocidad considerablemente menor que en el turboreactor. El motivo es que la mayor parte de la energía potencial del gas, obtenida en la cámara de combustión, se emplea en mover la hélice. Así, pues, sólo queda una pequeña cantidad de energía en el gas para convertirla en energía cinética del chorro de gases. Esto explica la menor velocidad del chorro de gases de este motor.



---

.- Puntos a tener en cuenta en relación con el turbohélice son las siguientes:

1. En el turbohélice se emplea más energía para hacer girar la hélice que para imprimir velocidad al gas en la tobera de salida. Digamos, pues, que el grupo de turbina absorbe casi toda la energía potencial del gas. Una parte del trabajo que saca la turbina del gas se destina, como siempre, a mover el compresor, y el resto, que es la energía aprovechable, se destina casi toda ella a la hélice. Hay un pequeño resto, digamos el 15% o así, que se destina a acelerar el gas en la tobera de salida.

2. La distribución de energía se obtiene mediante el diseño aerodinámico del grupo de turbina. El diseño aerodinámico establece si la turbina debe extraer más o menos trabajo del gas que sale de la cámara de combustión. Es un tema que estudiamos en el Capítulo 21.

3. El órgano propulsor fundamental del turbohélice es la hélice. La hélice es la contribuyente máxima en la fuerza de propulsión del avión (85% o 90%). El resto de la tracción total del motor proviene del chorro de gases de salida por la tobera.

4. En comparación con el turborreactor básico, el grupo de turbina del turbohélice tiene que accionar el compresor del generador de gas y la hélice. Hay dos modos de realizar mecánicamente esta operación, que distingue a estos motores, como vemos a continuación.

---

## **16-01.- TIPOS DE TURBOHÉLICES**

.- La clasificación fundamental de los motores turbohélices se efectúa por el sistema de accionamiento de la hélice, y pueden ser: a) Turbohélices de turbina libre; b) Turbohélices de turbina fija.

### **a) Turbohélices de turbina libre**

.- Son motores que montan en ejes independientes la turbina que acciona el compresor y la que acciona la hélice.

.- Un esquema de turbohélice de turbina libre es el dibujado en la figura anterior. El esquema refleja que el compresor es accionado por un grupo de dos turbinas, la primera y la segunda del dibujo, enlazadas mediante un eje al compresor.

.- Por el interior de este eje gira otro que conecta una turbina con los engranajes del reductor, que transmiten el movimiento a la hélice. Los dos ejes pueden girar a velocidad distinta.

.- *Las ventajas de este tipo de turbopropulsor son:*

- La mayor facilidad de utilización, dado que el generador de gas es independiente.
- Un arranque más fácil, al tener que arrastrar únicamente al conjunto productor de gas
- La posibilidad de almacenar energía.
- La supresión del embrague, ya que el acoplamiento es progresivo por propio diseño.

.- *Inconvenientes son:*

- Una mayor complejidad mecánica, para permitir la continuidad del flujo a lo largo de las dos turbinas con diferente velocidad de giro.
- Una respuesta más lenta a los requerimientos operativos del piloto, que en determinadas ocasiones puede resultar una ventaja.

### **b) Turbohélices de turbina fija**

.- Tienen un sólo eje. La hélice y el compresor reciben el movimiento a través del mismo grupo de turbinas.

.- El turbohélice de turbina fija tiene menos flexibilidad operativa que el de turbina libre. Esto se explica porque las velocidades de rotación de los dos ejes son distintas en el caso del turbohélice de turbina libre. Esta posibilidad permite mejor adaptación a las condiciones de funcionamiento de la hélice.

---

.- No obstante, el turbohélice de turbina fija responde con más rapidez al movimiento del mando de gases.

.- En efecto, en este motor todo el conjunto giratorio del generador está animado de la misma velocidad angular, de manera que cuando la turbina recibe más energía de rotación, por aumentar el flujo de combustible en la cámara de combustión, se comunica mayor potencia a la hélice de forma casi instantánea.

.- En el turbohélice de turbina libre, por el contrario, primero se debe acelerar la turbina del generador de gas, y luego la de la hélice, que no tiene conexión mecánica con la anterior. Esto supone una demora y una cierta pérdida de "reprise".

*.- Las ventajas de este tipo de turbopropulsor son:*

- El tiempo de respuesta a los requerimientos del piloto es excepcionalmente rápido.
- Una mecánica robusta y simple, que disminuye los posibles fallos de funcionamiento.

*.- Inconvenientes son:*

- Necesidad de un acoplamiento con empleo de embrague, con lo que la supuesta sencillez mecánica prácticamente desaparece.
- La facilidad de entrada en pérdida del compresor cuando se sobrepasa el par máximo del motor.

## 17.- TURBOEJES

.- Hoy día, la práctica totalidad de los helicópteros se propulsan con motores de turbina, a excepción de los más ligeros que emplean el motor alternativo. Incluso, en estos casos, se ofrece la conversión de motor alternativo a motor de turbina.

.- Los motores de turbina empleados para propulsar helicópteros se denominan turbosojes.

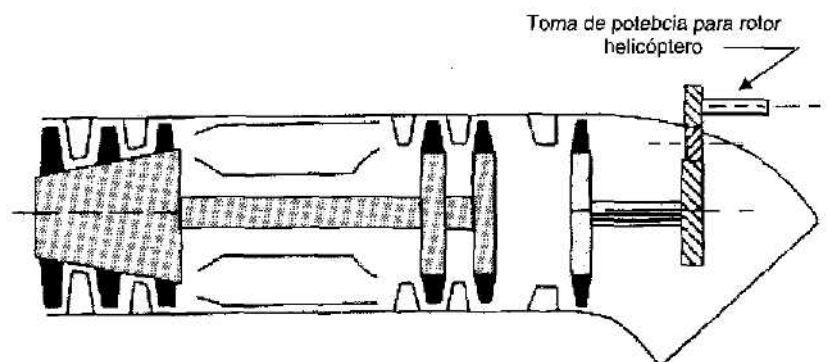
.- Los turbosojes son motores muy similares a los turbosojes. Se componen, entonces, de un generador de gas al que se ha añadido un grupo de turbina adicional de potencia. Es una turbina que mueve un eje para accionamiento del rotor principal y el rotor antipar del helicóptero.

.- Por tanto el turbosojes consta de los siguientes elementos, ver la figura siguiente:

- a) compresor;
- b) cámara de combustión;
- c) turbina, que acciona el compresor;
- d) turbina, que acciona el sistema de transmisión de potencia del rotor del helicóptero;
- e) tobera de salida de gases.

.- Los turbosojes, al igual que los turbosojes, pueden ser de turbina fija o turbina libre. La turbina libre proporciona, también aquí, mayor flexibilidad operativa.

.- La tobera de salida sirve para descargar los gases en la atmósfera. Al igual que en el caso del turbosojes, el gas no alcanza velocidad tan alta de salida como en el turbosojes, debido a que la mayor parte de la energía se emplea en mover el árbol de transmisión del rotor del helicóptero.



## 18.- UNIDADES DE POTENCIA AUXILIARES (APU)

.- Las unidades de potencia auxiliar son pequeños motores de turbina de gas, de tipo centrífugo o axial, con turbinas en muchas ocasiones centrípetas y que funcionan una vez estabilizados a revoluciones constantes. Están provistos de sistemas de protección de sobrevelocidad, de pérdida de presión de lubricación o presencia de fuego en el compartimento motor.



.- Las unidades de energía auxiliar están concebidas para poder conseguir que determinadas aeronaves sean totalmente autónomas del exterior respecto a fuentes de energía. El grupo auxiliar de potencia (*Auxiliary Power Unit*) es un conjunto motriz, autónomo, que puede proporcionar hasta tres funciones básicas en el avión donde se instala:

- Par de giro para puesta en marcha de los motores del avión, bien en forma de transmisión mecánica directa o en forma de energía neumática para la turbina de aire.
- Energía eléctrica.
- Aire comprimido para servicio del avión cuando está en tierra, y opcionalmente en vuelo si es necesario.

Según la fase de operación del avión, estas funciones se dividen:

- En tierra: El APU puede proporcionar aire sangrado de su propio compresor para puesta en marcha de los motores y para el sistema de acondicionamiento de aire. Además suministra energía eléctrica al sistema general del avión.



- 
- En vuelo: El APU actúa normalmente como sistema de respaldo para otros sistemas del avión, y puede suministrar estos servicios:
    - Energía Eléctrica.
    - Neumático para acondicionamiento en el aire.
    - Anti-hielo e planos principales.
  - En despegue: Como modo adicional presente en algunos aviones, el APU proporciona aire a presión para el acondicionamiento en cabina. Esta función se incluye con el fin de mejorar la prestación de los motores principales durante el despegue, sin detrenimiento del empuje.

El grupo auxiliar de potencia se suele instalar en el cono de cola del avión, aislando el resto de compartimientos por un tabique cortafuegos. La ubicación del grupo en el cono de cola ofrece ventajas singulares.

Es cierto que se encuentra lejos de los receptores de energía finales a los que sirve, pero a favor de tal posición encontramos:

- El espacio amplísimo que encuentra en el cono de cola.
- Disminución del nivel de ruido.
- Reducción de contaminación al nivel del suelo por gases de escape del APU.
- Disminución del riesgo general del avión en caso de incendio incontrolado en el compartimiento del APU.
- Disminución del riesgo general en caso de fragmentación de algún disco del rotor o turbina del turboeje del APU.

Desde el punto de vista motriz, el APU es un turboeje.

En su aplicación como grupo auxiliar de potencia, tiene requisitos funcionales y operativos mucho más estrictos que el mismo motor turboeje para aplicaciones turbohélices o helicópteros.

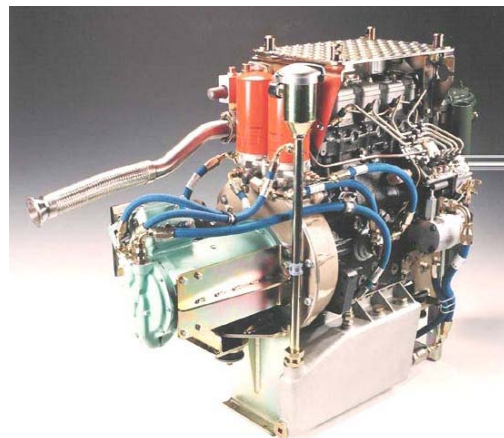
La Fig. 18.1 muestra la sección de un APU donde se aprecian dos compresores centrífugos y dos turbinas axiales, más la cámara de combustión de flujo invertido.

El turboeje para APU puede ser de turbina fija o de turbina libre.

Para potencias de salida pequeñas y medias, digamos inferiores a 1.600 CV, el motor del APU suele ser tipo turbina fija. Por tanto es un turboeje de un solo árbol. Tal preferencia se explica

por costes, peso y buena estabilidad de velocidad de rotación que tiene este tipo de motor, aunque el de dos ejes (turbina libre) tampoco tiene problemas en esta última faceta.

El turboboeje de turbina fija tiene una respuesta muy rápida de cambio de las revoluciones frente a las variaciones de carga que se imponen sobre la unidad. La estabilidad de velocidad de giro es, en principio, muy apropiada para el suministro de corriente alterna de frecuencia lo más constante posible, este tipo de turboboeje tiene respuesta rápida a los cambios de carga del sistema eléctrico del avión. Además, como consideración económica, el turboboeje de un solo eje es más barato que su compartida de dos ejes independiente.



El turboboeje para grupos APU de potencia superior a la indicada anteriormente, que ya es de mayor tamaño, suele ser de dos ejes, esto es de tipo turbina libre.

La ventaja fundamental que aporta ahora este motor es que la puesta en marcha del propio APU es más fácil, pues posee dos turbinas que giran de forma independiente, a distinta velocidad angular. Así, para la puesta en marcha solo es preciso mover el conjunto rotatorio de alta presión. El arrastre aerodinámico (corriente de aire inducida por el compresor) que produce la rotación de este conjunto pone en movimiento al de baja presión.

En efecto, puesto que el compresor y la turbina tienen ahora mayor diámetro (son turboboejes de mayor tamaño) quiere decirse que el momento cinético de los grupos giratorios es alto.

Así pues, la mayor inercia de giro suele ser suficiente para satisfacer los requisitos que impone la estabilidad de velocidad angular y de frecuencia constante de la corriente eléctrica de suministro.

En fin, los modernos sistemas de control de combustible del APU son también digitales, al igual que los empleados en los motores de propulsión.

#### **Tipos de APU:**

Desde el punto de vista mecánico los grupos APU se clasifican en dos categorías:

- Grupos de arranque de transmisión mecánica.
- Grupos de arranque neumático.

1. Grupos de arranque de transmisión mecánica. Es una unidad típica de empleo en aviación militar. El APU transmite al motor el movimiento de giro necesario por medios mecánicos. El APU consta del generador de gas y

---

una turbina de potencia que transmite un par de giro a la caja de engranajes del turborreactor. La caja de engranajes del turborreactor, a su vez, hace girar el eje del motor principal para la puesta en marcha. El APU mecánico se pone en marcha mediante un motor eléctrico, alimentado con corriente de los acumuladores eléctricos de a bordo. Una vez encendida la cámara de combustión del generador de gas del APU se dispone de potencia mecánica en el eje de salida de la unidad. Su característica operacional es la simplicidad, bajo coste y potencia de salida pequeña.

**2.** Grupos de arranque neumático. Estos poseen en origen la virtud de cumplir las tres funciones básicas de la unidad auxiliar de potencia, citadas anteriormente. La expresión grupo auxiliar de potencia debe reservarse para estas unidades, de empleo en la aviación comercial. Los grupos auxiliares de potencia neumáticos pueden ser de uno o dos ejes. Sin embargo, la clasificación práctica más importante de estas unidades se establece por el modo de alimentación de aire de servicio a los sistemas del avión. Según esta clasificación pueden ser:

- Grupos con alimentación de aire por compresor de prioridad.
- Grupos con alimentación de aire con compresor de carga.

**2.1.** Grupos con alimentación de aire por compresor de prioridad. Aquí el arrancador por turbina de aire del sistema de puesta en marcha del motor propulsor se alimenta con aire a presión procedente del compresor centrífugo del propio APU. El flujo de aire comprimido se divide a la salida del compresor en dos ramas, según la prioridad de funciones en un momento de funcionamiento determinado. Una rama se dirige a la cámara de combustión del APU y la otra se canaliza hacia la turbina de aire de puesta en marcha del turborreactor. Obviamente la función de alimentar con aire la cámara de combustión del propio APU tiene siempre prioridad sobre la cesión de aire de servicio al exterior.

**2.2.** Grupos con alimentación de aire con compresor de carga. En este caso, la turbina de potencia APU conduce a un compresor centrífugo independiente, llamado compresor de carga. El compresor de carga admite aire exterior por su boca de entrada, y lo comprime. El aire comprimido pasa a la turbina de aire para la puesta en marcha del turborreactor y/o servicios neumáticos del avión. El APU con compresor de carga permite mejor adaptación del grupo a las necesidades de aire de servicio del avión. Es la solución óptima para aviones polimotores. Por ello es el más usado en aviones comerciales.

---

## **19.- INSTALACIÓN DE LA PLANTA DE POTENCIA**

.- Dada la especial importancia de la configuración estructural de las aeronaves para obtener los mejores rendimientos aerodinámicos de las mismas, la disposición de los motores en la célula en ocasiones no es tarea sencilla y se soluciona con una excesiva complejidad de montantes y conexiones que penalizan posteriores operaciones de mantenimiento o de desmontaje y sustitución de conjuntos o del propio motor.

.- La planta de potencia suele situarse en unos montantes que por medio de unos pocos puntos de apoyo fijan el motor. Es evidente la diferencia estructural y de diseño de los montantes de un turboreactor y de un turbomotor, puesto que aquellos deben transmitir todo el empuje del motor a la aeronave y estos sólo deben ser elementos de soporte del motor y si acaso situarse de tal forma que no posibiliten las tan temidas vibraciones.

.- El punto anterior se centra en el aspecto de soporte mecánico, pero también hemos de tener en cuenta todo el varillaje, cableado y tuberías que hacen posible que el motor funcione y se relacione con elementos indispensables para su funcionamiento y que se encuentran dispuestos en la estructura. El control del motor se realiza normalmente por varillaje que accede a los conjuntos de regulación de combustible y estos se encuentran situados sobre el motor, por lo que tenemos que tener muy en cuenta a la hora del desmontaje del motor que este varillaje por lo menos se mantenga en la disposición que presenta a la hora del desmontaje, aunque lógicamente se deba de volver a ajustar en el momento de instalación del motor.



.- En relación con el cableado normalmente se procura que todo el mismo se recoja en mazos de cables que se conectan por medio de procedimientos de suelta rápida, de tal forma que con unos pocos elementos de conexión permitan la desconexión de los elementos eléctricos y electrónicos del motor, modernamente las fundas de protección de los cables presentan diferentes colores en función del circuito al que pertenecen, lo que facilita la localización y dificulta las equivocaciones.

.- También las conexiones hidráulicas y neumáticas se realizan por medio de uniones denominadas de suelta rápida y en el caso de las de lubricación y combustible además de lo anterior unen el aspecto de la seguridad, que permiten en caso de accidente el bloqueo de las mencionadas conexiones.

.- Teniendo en cuenta todo lo anterior debemos conocer detalladamente todo los mencionado circuitos para que en el caso de tener que proceder al desmontaje del motor de una aeronave no producir ningún daño a los mismos, que en muchas ocasiones complican enormemente una operación rutinaria de mantenimiento.

### **Mamparos cortafuegos**

Todos los motores de turbina de gas y las instalaciones de sus sistemas asociados incorporan características que reducen la posibilidad de fuego en el motor. Todas las fuentes potenciales de fluidos inflamables están aisladas de la zona caliente del motor. Los componentes externos de los sistemas de combustible y aceite así como sus tuberías asociadas normalmente están localizados alrededor de los cárteres del compresor, en la zona fría, y separados por un

336

mamparo cortafuegos del área de combustión, turbina y conducto de escape o zona caliente. Estas zonas pueden estar ventiladas para evitar la acumulación de vapores inflamables.

Los capots del motor están provistos con un adecuado sistema de drenaje para eliminar los fluidos inflamables de las góndolas de los motores, y todas las pérdidas de los sellados de los componentes se drenan al exterior.

Un fuego de motor debe quedar contenido dentro de la planta de potencia y no permitírsele extenderse a otras partes del avión. Los capots que rodean al motor normalmente están hechos de aleaciones ligeras, que serían incapaces de contener un fuego cuando el avión está estático. Sin embargo, durante el vuelo el flujo de aire alrededor de los capots proporciona suficiente refrigeración como para que se hagan a prueba de fuego. Los mamparos cortafuegos y capots que no estén afectados por un flujo de aire de refrigeración, así como las secciones de capots alrededor de ciertas salidas que pueden actuar como mantenedores de llama, se fabrican de acero o titanio.

### Capots de Motor

El acceso a un motor montado en el ala o fuselaje es a través de puertas abisagradas; en las instalaciones en pylons y en los turbohélices los capots principales están abisagrados. El acceso para el mantenimiento menor es a través de pequeños paneles desmontables o abisagrados. Todos los elementos de fijación son del tipo de suelta rápida.



Fig. 19-6



Fig. 19-7

Un motor turbohélice, o un motor turborreactor montado en pylon, normalmente es mucho más accesible que un motor insertado debido al gran área de capots abisagrados que se puede proporcionar.

### Paneles Acústicos

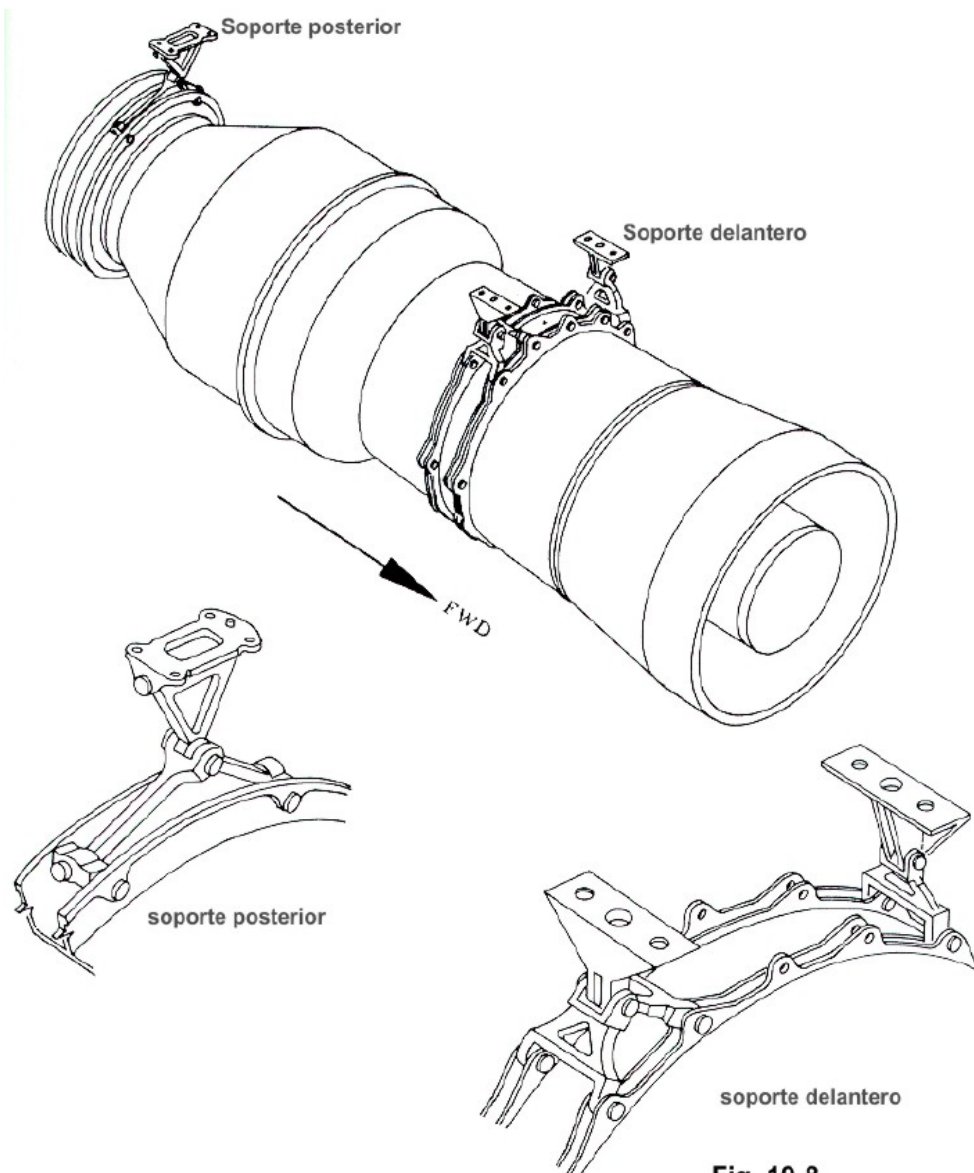
En los motores de reacción se usan distintos materiales absorbentes de ruido. Estos, principalmente entran en dos categorías, materiales compuestos (composite) ligeros de peso que se usan en las zonas de temperaturas más bajas, y materiales fibrosos metálicos a partir de sílice que se usan en las zonas 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.

#### **Soportes de fijación del Motor**

Los soportes de fijación del motor en la mayoría de los motores turborreactores son relativamente simples comparados con las estructuras de soporte instaladas en los motores alternativos. Sin embargo, realizan las mismas funciones básicas de soporte del motor y transmisión de las cargas impuestas por este a la estructura del avión. La mayoría de los soportes de fijación del motor están fabricados de acero inoxidable, y están localizados típicamente como se muestra en la figura 19-8. Algunos sistemas de soporte de fijación del motor usan dos montantes para soportar el extremo posterior del motor y un solo montante en el extremo delantero.



**Fig. 19-8**

### **Montantes Antivibración**

Aunque la vibración del motor puede tomar varios caminos para adentrarse en la cabina del avión, la ruta principal parte desde la estructura de los montantes del motor, los cuales se convierten en el foco o punto de choque a tratar a través de los sistemas de aislamiento.

Además de restringir el movimiento (limitando el desplazamiento relativo entre dos estructuras creado por el empuje, las cargas “g”, el peso y la torsión), los sistemas de montantes del motor también están diseñados para proporcionar aislamiento de la vibración y reducción del ruido. Esto conlleva la disminución de la transmisión de vibración de una estructura a otra.



---

Para restringir el movimiento, el sistema de montantes debe ser lo suficiente rígido. Sin embargo, para minimizar la vibración transmitida, el sistema de montantes debe ser flexible bajo la transferencia de fuerzas vibratorias. Este contraste inherente establece objetivos rivales que requieren compromiso y flexibilidad en el diseño del anclaje del motor.

Para reducir el ruido producido por la vibración del motor, se usan montantes antivibración que pueden ser rígidos, elastoméricos, y de fluido.

### **Montantes Antivibración**

Aunque la vibración del motor puede tomar varios caminos para adentrarse en la cabina del avión, la ruta principal parte desde la estructura de los montantes del motor, los cuales se convierten en el foco o punto de choque a tratar a través de los sistemas de aislamiento.

Además de restringir el movimiento (limitando el desplazamiento relativo entre dos estructuras creado por el empuje, las cargas “g”, el peso y la torsión), los sistemas de montantes del motor también están diseñados para proporcionar aislamiento de la vibración y reducción del ruido.

Esto conlleva la disminución de la transmisión de vibración de una estructura a otra. Para restringir el movimiento, el sistema de montantes debe ser lo suficiente rígido. Sin embargo, para minimizar la vibración transmitida, el sistema de montantes debe ser flexible bajo la transferencia de fuerzas vibratorias. Este contraste inherente establece objetivos rivales que requieren compromiso y flexibilidad en el diseño del anclaje del motor.

Para reducir el ruido producido por la vibración del motor, se usan montantes antivibración que pueden ser rígidos, elastoméricos, y de fluido.

1. Mayor eficacia que los muelles metálicos, los montantes elastoméricos proporcionan el muelleo y la amortiguación para el buen aislamiento de la vibración.

2. Capacidad para portar la carga en múltiples direcciones (la geometría de la goma está diseñada para que pueda portar la carga en compresión y cizalladura).

La mayoría de los montantes elastoméricos de motor utilizan elastómeros orgánicos que proporcionan una larga vida en servicio, un tamaño reducido y la mejor actuación total.

Los elastómeros sintéticos también se usan en situaciones donde la goma es susceptible a ser atacada por fluidos del motor.

Los aisladores elastoméricos están diseñados para soportar un período de vida igual a una o dos veces el intervalo de revisión general del motor.

Los montantes de fluido pueden proporcionar un valor de rigidez dinámica aproximadamente del 25% de los aisladores elastoméricos a una determinada frecuencia. Esto se consigue por medio del uso de una masa de inercia líquida, que actúa como un absorbedor de masa armonizada. Este

---

fluido es un líquido adecuado que tiene alta densidad y baja viscosidad. La masa fluida está diseñada para responder al desplazamiento dinámico del motor, originando pequeñas diferencias de presión en el interior del montante, que le permiten a este desplazarse mas fácilmente bajo las cargas del motor. Esta fuerza reducida en la estructura hace que se reduzca en la cabina el ruido generado por el motor.

#### Mangueras y Tuberías de Alimentación

Dentro de las mangueras y tuberías de alimentación hay que distinguir dos sistemas, uno el sistema hidráulico de servicio al avión y el otro el sistema de combustible para el motor.

El primero es el encargado de obtener la energía hidráulica que se precisa para la actuación de los distintos sistemas del avión.

Fundamentalmente está constituido por una o dos bombas hidráulicas, que reciben movimiento del cárter de accesorios del motor. Así mismo hay unas tuberías (dos por bomba) para el trasiego del fluido hidráulico.

En algunos casos se tienen en estas localizaciones los filtros del sistema hidráulico. La unión entre las bombas y el cárter de accesorios puede ser de muy diversas formas, siendo la más usual mediante tuercas de desconexión rápida.

Para el sistema de combustible del motor, es necesario tener una serie de conducciones, o al menos un conducto general que lleve el combustible desde el pylon hasta la bomba de combustible.

Generalmente se trata de un simple tubo, que en algunos casos está apantallado para evitar las altas temperaturas.

Algunos motores para su regulación y control utilizan el combustible como fluido hidráulico, en estos casos suele ser normal que se disponga de un sistema de drenaje centralizado para recoger cualquier posible pérdida evitando así el peligro de incendio.

#### **Conectores, mazos de cables, cables y varillas de mando**

Entre el motor y el avión tiene que existir una interconexión eléctrica, para ello el QEC (Quick Engine Change) aporta una serie de enchufes que se conectan rápidamente a los conectores del pylon del avión, con ellos se transmiten las distintas señales eléctricas así como la propia energía eléctrica, producida por el alternador.

Otros componentes del motor con conexiones eléctricas son los transmisores de señales que se encargan de transmitir las señales de indicación captadas por elementos tales como sondas o tacómetros a la cabina del piloto.

---

Un sistema de varillaje y cables se encarga de transmitir las ordenes del piloto desde la cabina hasta el motor, normalmente estas señales suelen ser dos, una que corresponde a la palanca de gases y otra a la palanca de corte de combustible. Actualmente en los modernos motores controlados por sistemas FADEC estas señales de mando de aceleración y corte de combustible se transmiten eléctricamente a través de motores eléctricos de torsión (torque motor).

### **Montaje e instalación del Grupo Motopropulsor**

En este apartado se presentará los procedimientos comunes para el desmontaje e instalación de los motores de turbina de gas. Los procedimientos específicos descritos se aplican solo a una instalación en particular, pero son representativos de los usados en la mayoría de las instalaciones.

El acceso al motor se proporciona por puertas que pueden levantarse y anclarse en la posición de abierto. Las referencias direccionales, tal como derecho, izquierdo, sentido de las agujas de reloj y sentido contrario a las agujas del reloj se aplican al motor según se mira desde atrás o desde el extremo del escape hacia delante.

El motor puede desmontarse del avión mediante dos métodos. Un método conlleva bajar el motor desde la góndola usando un carro plataforma. El otro método requiere cables de izado y una eslinga especial para bajar el motor hasta un carro de transporte. Los siguientes pasos preliminares son aplicables a cualquier método de desmontaje:

1. Asegure adecuadamente el avión, bien con calzos de rueda, o con provisiones de amarre.
2. Ponga un cable de masa al avión.
3. Abra los capots y sujételos con los soportes. Verifique que no hay energía eléctrica conectada.
4. Quite los registros de acceso a los montantes a ambos lados de la estructura de la góndola.
5. Gane acceso al conducto de neumático del motor, y desconecte el conducto del motor.
6. Desconecte la señal de presión de descarga de turbina.
7. Desconecte el cableado eléctrico y los conductores de los termopares de los conectores.
8. Desconecte la alimentación de combustible quitando los tornillos de la pestaña de la manguera.
9. Desconecte la varilla de control de potencia del varillaje del eje transversal de la palanca de control de potencia. Asegure la varilla de control de potencia a la estructura de la góndola.

---

Después de que el motor ha sido desconectado excepto los montantes del motor, y se está usando un carro plataforma, colóquelo bajo el motor, únalo a este y levante el carro plataforma hasta que todo el peso quede aliviado del ala. Si se usan cables de izado conéctelos a los montantes del motor a través de los accesos en el pylon. Cuando se baja el motor con cables de izado, opérelos simultáneamente para que la tensión sobre los cables se ejerza toda al mismo tiempo. Sitúe un carro de transporte bajo el motor antes de bajarlo.

Con cualquiera de los dos métodos, los cables de izado o el carro plataforma, el motor ya está preparado para bajarse.

Desmonte el perno y el casquillo del montante posterior del motor, y las tuercas y arandelas del montante frontal del motor. Empiece a bajar el motor, observando constantemente la holgura del motor con la góndola para evitar daños. Asegure el motor al carro plataforma. Si se está usando cables de izado suéltelos del motor. Separe el motor del avión. Cuando se esté retirando el motor del avión tenga cuidado para evitar daños al pylon o al propio motor. Tapone todas las tuberías, mangueras y aberturas. Con el motor quitado, inspeccione todos los soportes de las varillas del mando de potencia y conjuntos de bieletas, comprobando que no existe holgura en los rodamientos, y que el área de la góndola no tiene daños estructurales. Verifique que no existen grietas o aberturas en la zona donde la estructura del pylon se une a la estructura de la góndola.

### **Desmontaje de los accesorios QEC**

Cuando se va a sustituir un motor en un avión, los accesorios y equipos suministrados por el fabricante del avión pueden desmontarse para ser instalados en el nuevo motor o ser enviados a inspeccionar según se requiera. Observe cuidadosamente la localización y fijaciones de todas las unidades antes de desmontar, de manera que ayude al montaje. Cuando los accesorios se van a enviar a revisar o se van a almacenar, presérvelos de acuerdo a las instrucciones del fabricante y asegúrese de adjuntar todos los datos pertinentes así como las tarjetas de registro de los accesorios.

Tras el desmontaje de estos equipos y accesorios, tápese todos los arrastres y lumbreras que estén expuestos. Prepare el motor para el transporte, almacenamiento, o desmontaje según está descrito en las instrucciones aplicables del fabricante.

### **Instalación de los motores turbo reactores**

Básicamente el proceso de instalación es el mismo que el de desmontaje pero en sentido contrario.

Instalación con carro plataforma

---

Los siguientes procedimientos son los típicos para la instalación de un motor de turbina de gas usando un carro plataforma. Las instrucciones específicas del manejo en tierra normalmente están reflejadas en una placa sobre el carro plataforma.

1. Maniobre el carro plataforma y levante el motor hasta los montantes de fijación.
2. Alinee el montante posterior del motor con los puntos de fijación del montante.
3. Instale los pernos del montante del motor y apriete hasta el torque específico.

#### Instalación con cables de izado

Los siguientes procedimientos son los típicos usados en la instalación de un motor de turbina usando cables de izado:

1. Coloque el motor bajo la góndola.
2. Una la eslinga al motor.
3. Cuidadosamente opere todos los cables de izado simultáneamente para levantar el motor y guiar los montantes a su posición.

#### Finalización de la instalación

Los siguientes procedimientos cubren las instrucciones típicas finales de la instalación:

1. Instale el casquillo a través del montante posterior del motor y los puntos de fijación del montante trasero. Instale el perno a través del casquillo; instale la tuerca y asegúrela con un pasador de aletas.
2. A través de los accesos al montante delantero coloque la arandela achaflanada, la arandela plana y la tuerca en cada perno del montante delantero del motor. Apriete la tuerca al torque requerido. Luego asegúrela con alambre de frenar.
3. Conecte el extremo del conducto neumático en el pylon al conducto de sangrado de aire del motor. Apriete la conexión del conducto aplicando el torque adecuado.
4. Retire el carro plataforma o la eslinga y el resto del equipo de cambio de motor.
5. Conecte la manguera de alimentación de combustible. Use una junta nueva entre las pestañas de la manguera y la línea de alimentación en el motor.
6. Instale el tirante del soporte del conducto de entrada de aire de la puesta en marcha.
7. Aplique un compuesto antiagarrotamiento a los hilos de rosca de los conectores eléctricos. Conéctelos y frénelos con alambre.

- 
8. Conecte la línea de señal de descarga de presión de la turbina en el motor a la toma para el transmisor de relación de presión del motor.
  9. Conecte la varilla del mando de potencia al varillaje del eje transversal.
  10. Verifique que la instalación del motor está completa.
  11. Instale los registros de acceso.
  12. Haga un reglaje del mando de potencia y ajuste el motor si se requiere. Cierre y asegure los capots del motor.

## **20.- SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS.**

.- La protección, contra un posible incendio en un turborreactor o turbohélice', debe incluir las siguientes características y subsistemas:

- 1.- Diseño para prevención del incendio en general.
- 2.- Sistema detector de incendios.
- 3.- Sistema de contención del incendio, reduciéndolo a la zona localizada e impidiendo su propagación.
- 4.- Sistema de extinción de incendios.
- 5.- Detección de sobretemperatura.

.- Vamos a ver cada uno de estos subsistemas:

### **1.- Prevención del incendio en general:**

.- Ha de proveerse al motor de unas características que si se cumplen es difícil que aparezca el incendio, y sólo la coincidencia de dos o más circunstancias pueden dar lugar al incendio. Estas características son:

A) Aislamiento de los conductos de combustible y aceite de la zona caliente del motor, cámara de combustión, turbina, tobera, situando los conductos y sus componentes alrededor del cárter del compresor o zona fría del motor, separando ambas zonas por un mamparo cortafuegos y utilizando dichas zonas como se expone en el sistema de ventilación del motor.

B) Las tuberías portadoras de combustible, aceite o líquidos hidráulicos deben ser resistentes al fuego y de igual forma las conexiones. Asimismo, estas tuberías y componentes deben estar aislados eléctricamente del resto del avión, dando continuidad eléctrica al sistema que impida el salto de chispa por arco y la posibilidad de inflamación de vapores.

C) Los conjuntos y carenados del motor deben estar dotados de drenajes que permitan evacuar todo tipo de líquido inflamable procedente de las posibles pérdidas en las conexiones de las tuberías.

---

## **2.- Sistema detector de incendio:**

.- Es esencial detectar el incendio inmediatamente, para adoptarlas medidas de extinción lo más pronto posible, cerciorándose de que no es una.-falsa alarma que de hecho puede ocurrir a veces por vibración, o conducción por humedad en componentes que no están bien sujetos o aislados.

.- Para obviar la posible falsa alarma de incendio, los sistemas de detección son por lo general dobles, con circuitos de aviso independiente.

.- El sistema detector de incendios está formado en general por varios detectores, o por un elemento continuo y, en este caso, suele situarse en los orificios de descarga de ventilación del motor.

.- La detección de fuego se realiza por uno de los tres procedimientos siguientes:

A) Cambio en la .resistencia del circuito, en función de la temperatura y, por lo tanto, de la intensidad de la corriente.

B) Cambio en el voltaje de salida en función de la temperatura.

C) Efecto de la radiación de luz cuando hay incendio.

.- En todos los casos se genera una señal que actúa sobre un indicador luminoso o timbre sonoro que cesa de actuar cuando el fuego se extingue.

## **3.- Sistema de contención del incendio a una zona localizada:**

.- El carenado y conjuntos del motor deben estar provistos de chapas cortafuegos que forman compartimientos estancos, a excepción de la ventilación para refrigeración. Estos mamparos actúan de estabilizadores de llama, y normalmente son de acero ó titanio.

## **4.- Sistema extintor de incendios:**

.- Antes de actuar sobre el sistema extintor, de incendios, el motor debe pararse para reducir de esta forma la. descarga de fluidos inflamables a la zona del incendio.

.- Las válvulas de corte de combustible deben estar situadas en la zona fría del motor, es decir, alejadas de las zonas de cámaras de combustión, turbina o tobera, pues el flujo es más crítico en estas zonas y pudieran quedar inoperativas.



---

.- Después de extinguido el incendio, no arrancar de nuevo el motor, pues además de que pudieran persistir las causas que lo motivaron, el fluido del sistema extintor puede estar agotado.

.- Los fluidos agentes extintores de incendio son normalmente metil-bromuro o compuestos de Freón contenidos en acumuladores a presión, situados en zonas alejadas a las de riesgo de incendio.

.- Cuando se actúa de forma manual sobre el sistema extintor, se cierra normalmente un circuito eléctrico que abre la descarga de los acumuladores, y el fluido se difunde a través de tuberías a los difusores de descarga; El sistema debe ser de gran, rapidez de actividad, y debe ser efectivo para apagar un incendio desde que se conoce la señal de alarma en un tiempo no superior a dos segundos.

#### **5.- Detección de sobretemperatura:**

.- Es un sistema de aviso previo de posible incendio y transmite la sobretemperatura en las zonas de descarga de ventilación del carenado del motor como un sistema normal preventivo de alarma.

---

## **21.- ARRANQUE DEL MOTOR Y OPERACIONES EN TIERRA**

### **OPERACIONES COMUNES EN EL MANTENIMIENTO DEL MOTOR**

Las operaciones en tierra con un motor, al igual que las supervisiones, las podemos denominar procedimiento de mantenimiento.

El mantenimiento de los motores puede ser programado e imprevisto.

El programado está fijado por el fabricante del motor con revisiones a unas determinadas horas de vuelo o ciclos, por ejemplo, 50, 100, 300, 600, 1200 y revisión general. Mientras que el imprevisto tiene lugar con motivo de la aplicación de un Boletín de Servicio, Avería o Incidente en el motor (Ej. Un F.O.D.).

En cualquiera de los casos lo más importante para un Técnico de mantenimiento es “seguir las órdenes técnicas en todo momento y dejar registrados todas las intervenciones que se efectúen”.

En el “Mantenimiento Programado” se efectuarán revisiones del motor y sus componentes, por norma general a cuatro niveles, el primero de ellos el más liviano se efectúa sobre los motores montados sobre las aeronaves, y suelen ser a las pocas horas o ciclos de funcionamiento, 50, 100, 300, consisten básicamente y como norma general, en verificación de niveles, cambios de filtros, tomas de muestras de los aceites, sustitución de componentes (bomba de aceite o combustible, bujías, etc.), verificaciones con endoscopios, etc.

A un nivel superior tendríamos las intervenciones de 2º nivel, donde los motores han tenido que ser desmontados de las aeronaves y en un taller con mayores medios desmontaremos componentes modulares de los motores (Ej. Módulo de turbina de baja presión, caja de engranajes, ect) que por lo general en muchos casos requerirá una prueba funcional del motor, bien sobre aeronaves o banco de pruebas.

En el tercer nivel, se requieren unas instalaciones con los medios de recuperación de componentes importantes. (Ej. Equilibradoras, Plasma, Perdigoneado, Mecanizado, Soldadura, END, ect).

Por último para grandes reparaciones de alguna pieza o componente en concreto está el cuarto nivel o fabricante, donde el costo del equipo o banco de pruebas es tan elevado y el número de intervenciones a realizar a lo largo de la vida de un componente es tan pequeña que la inversión en este tipo de reparaciones la hace antieconómica (Ej. Soldadura por fricción y hornos de vacío, ect).

No obstante existen grandes centros de mantenimiento de motores donde el equipamiento es casi total, en España para motores civiles tenemos los Talleres de Iberia en la Muñeza y para motores militares, ITP en Ajalvir.

---

## **PROCEDIMIENTOS GENERALES**

Todo mecánico de mantenimiento, independientemente del nivel en el que intervenga, deberá seguir unas pautas muy sencillas.

Desmontaje:

- Es una buena práctica de mantenimiento mantener los elementos desmontados agrupados y marcados, para volverlos a montar según su configuración original en el motor, para ello realizar las marcas correspondientes.

- No utilizar herramientas con recubrimiento de cadmio en zonas con piezas de titanio, por que el cadmio por encima de 300° C embebido en el titanio puede causar enfragilamiento.

- Asegurarse de que cuando desmontamos las piezas las protegemos contra la oxidación, por ejemplo, protegiendo las piezas de acero con aceite.

- Proteja las piezas delicadas como, los cierres de cuchillas, con materiales blandos que protejan estos en bandejas.

- Proteger los rodamientos con aceite de motor y en bolsas herméticas.

- Proteger los ejes con mallas de plástico.

- Tapar los extremos de las tuberías con tapones apropiados, evitar utilizar cinta aislante o cinta de carrozero que podría contaminar los fluidos que circularan por su interior.

- En general toda pieza que sea susceptible de sufrir cualquier tipo de daño (doblada, rajada, etc.).

- No mezclar tuercas con diferentes números de pieza, los materiales utilizados en las tuercas son muy diferentes dependiendo si son de zona fría o zona caliente, aun cuando físicamente sean iguales o parecidos.

- No desmontar conjuntos remachados, no quitar placas de identificación, placas de modificaciones, espárragos, frenados, insertos marcados, a no ser que se especifique claramente en las ordenes térmicas.

- Tapar siempre los taladros, pasos de aceite o aire, con tapones de plástico rojo. Cubrir las aberturas grandes cuando finalice la jornada de trabajo de un día para otro al objeto de evitar la entrada de objetos o suciedad en el interior.

- Anotar claramente el desmontaje, el número y espesor de todas las arandelas de reglaje para tomarlas como referencia en el montaje.

- Si existe algún frenado especial, anotar su forma para aplicarlo al montaje.

---

- Para marcar las piezas no utilizar lapiceros que contengan carbón, ni puntas de trazar en piezas giratorias, utilizar lapiceros de plata, tinta china o rotuladores de base de agua.

- No utilizar martillos de acero directamente sobre las piezas, usar mazos con punta de plástico.

- No sujetar las piezas directamente en tornillos de acero, colocar un material blando entre las mordazas.

- Para evitar daños en las roscas de las tuercas autofrenables, lubricar los extremos de los tornillos o espárragos con aceite de motor antes de desmontar, y mantener siempre fijo el tornillo desmontando la tuerca del tornillo.

- Cuando se desmontan cables eléctricos, desechar las juntas tóricas de los conectores eléctricos, tapar todos los extremos para evitar la entrada de aceite, suciedad y humedad. Utilizar solamente las tapas de protección recomendadas. No cubrir los conectores eléctricos con cinta adhesiva o bolsas de plástico. No utilizar herramientas totalmente de metal sobre los conectores eléctricos, utilizar herramientas con insertos de plástico o equivalente.

- Cuando se utilice aire comprimido para operaciones de enfriado, limpieza o secado, no sobrepasar una presión de 30 psi.

- Rechazar todos los componentes fungibles.

En resumen realizar las operaciones de desmontaje siguiendo la orden técnica, utilizando los equipos de protección individual requeridos (ej. Gafas, botas, guantes, etc.) y sobre todo con LIMPIEZA Y ORDEN tanto en el trabajo en si mismo, como con el banco de trabajo y la herramienta.

#### **COMPONENTES DE CAMBIO SISTEMATICO “FUNGIBLES”**

Siempre que durante el proceso de desmontaje se tenga acceso al material que a continuación se relaciona, deberá sustituirse por otro nuevo.

Todas las juntas Tónicas (o-rings) y juntas de Teflón.

Todos los sistemas de retención que tengan lengüetas o pestañas freno y que deban doblarse durante el montaje (arandelas freno, clips de retención de alabes, etc.), las piezas que precisamente hayan sido dobladas no pueden volver a utilizarse.

Las tuercas autofrenables, algunos fabricantes autorizan tres aprietos, pero es imposible determinar cuantos se han realizado, por lo que es mejor rechazarlas y en general todas las tuberías, tubos, racores, soportes, casquillos y tortillería, pueden cambiarse sistemáticamente a criterio del usuario, por ejemplo determinadas compañías consideran que es más costoso limpiar y verificar el estado de uso de todos los tornillos que tengan un diámetro superior a 6 mm que poner todos nuevos.

---

## **LIMPIEZA DE MOTOR, COMPONENTES Y ACCESORIOS**

En general al objeto de poder realizar una buena inspección del motor o partes de él supuestamente dañadas, hay que limpiar las piezas o zona de motor lo mejor posible.

La limpieza ira desde una ligera hasta una que se realiza en instalaciones muy costosas.

La limpieza más liviana, consiste en un petroleado, limpiando con una brocha las piezas o componentes y un disolvente de limpieza como es el "Whait Spirit" o PD- 680 tipo II.

Otros compuestos con mayor poder desengrasante son los componentes clorados, estos están terminantemente prohibidos en la limpieza de piezas de titanio, dentro de las utilizables para el titanio y otros materiales están los alcoholes propilico, butilico, isopropilico, la metil-etil-cetona o la acetona por orden de preferencia para el titanio.

Es importantísimo como siempre seguir los procedimientos estándar de las ordenes técnicas al objeto de no dañar piezas con disolventes no apropiados, cada material tiene su procedimiento y dentro de estos cada pieza requiere ciertas peculiaridades.

Cuando se precisan limpiezas más importantes para quitar carbonillas, óxidos y grasas, se utiliza la limpieza química en instalaciones fijas de cubas con dos procesos, limpieza ácida y limpieza alcalina, todos los productor deben estar homologados por el fabricante, en España, en general, se utilizan productos de las marcas Magnafux y Androx.

Es preferible una limpieza alcalina a una ácida al objeto de evitar los procesos de enfragilización de los aceros.

Determinadas piezas tienen procesos muy especiales como son los rodamientos, los alabes con recubrimientos cerámicos, etc.

Otro tipo de limpieza también utilizada para el decapado es la mecánica mediante proyección de abrasivos en vía seca o húmeda.

Los abrasivos en orden creciente de capacidad de abrasión son:

- Plástico (decapado de molikote y pintura).
- Semillas (cáscara de nuez o almendra) para una limpieza o decapado de pintura.
- Bola de vidrio (limpieza de corrosión).
- Corindon (preparación de superficies para plaqueados posteriores metálicos o plasma).

El proceso de limpieza de no realizado correctamente y con los productos adecuados puede dañar las piezas (ej. Oxidarlas).

---

## **VERIFICACIÓN O INSPECCIÓN**

Este proceso tiene como misión detectar en los motores, piezas o en componentes, el problema que tienen por lo cual nos han hecho proceder a iniciar la reparación.

Durante este proceso buscaremos en el material roturas, grietas, desgastes, corrosión, elementos con vida límite y en general cualquier anomalía que no cumpla con la orden técnica, para lo cual se efectúa una verificación o inspección visual, con END y metrológica.

- Inspección Visual: Esta inspección ira desde realizarla ocularmente a ayudarse con lupas desde 10 aumentos, en determinadas ocasiones es necesario utilizar lupas de hasta 60 aumentos al objeto de discernir una marca detectada con END, por ver si es grieta o arañazo.

Otra inspección ocular, que requiere de medios sofisticados pero de gran importancia y que se puede realizar sin necesidad de bajar un motor de la aeronave, es la inspección boroscópica de gran importancia.

### **Inspecciones Boroscópicas**

Son aquellas que se realizan utilizando un instrumento llamado Boroscopio con el fin de localizar defectos internos de los materiales (motores y partes estructurales de aeronaves) sin necesidad de hacer costosos desmontajes que acarrearían elevados costos.

Estos equipos nos permitirán detectar grietas, deformaciones, desgastes, corrosiones, etc. cualquier tipo de defecto visible al ojo humano, incluso medirlo.

El acceso del boroscopio al interior de las estructuras de las aeronaves, se hace a través de registros y de los motores, por unos puertos de acceso que van distribuidos a lo largo de todo el motor, es en los motores fundamentalmente donde esta herramienta de inspección tiene un campo más amplio.

Para realizar inspecciones boroscópicas, se requiere que previamente se presenten las siguientes condiciones:

- La aeronave debe estar en condiciones seguras de mantenimiento.
- Si lo que tenemos que verificar es un motor, este puede estar montado sobre la aeronave o sobre un carro o banco de trabajo, en cualquier caso el motor debe estar en condiciones seguras para su mantenimiento.

Para la realización de inspecciones boroscópicas se debe preparar el equipo necesario que consta de un instrumento óptico de alta precisión denominado Boroscopio, más una fuente de luz y un dispositivo de video.

---

Los boroscopos pueden ser de sonda rígida o flexible. Los rígidos pueden ser de punta óptica fija o de prisma orientable, para aumentar su campo de visión.

Los flexibles pueden ser fibroscopicos o videoscopicos. Los primeros son de fibra óptica, mientras que los segundos llevan una verdadera microcámara (chip óptico) incorporada a la punta de la sonda, con la sonda flexible, el campo de visión es mayor gracias a un control remoto que varia la orientación de la punta de la sonda.

Así mismo, el diámetro de las sondas es variables, siendo las de 6 y 8 mm. las más utilizadas.

La visión en interior de las piezas se logra gracias a una luz de alta intensidad que se transmite desde una fuente de luz exterior, al extremo de la sonda a través de un cable de fibra óptica.

Uno de los procedimientos más sofisticados es la inspección boroscopica mediante Video Digital. El horóscopo se conecta a un monitor y esto permite inspeccionar, documentar y transmitir las imágenes a los especialistas. Las imágenes del monitor son de alta resolución y la reproducción en color asegura la exactitud de la inspección. Así mismo, los más modernos equipos nos permiten la medición de daños, para posterior valoración, además de captura, tratamiento de imágenes e incluso edición de informes.

Es de vital importancia en las inspecciones, sobre todo en los motores que al acceder a estos por los puertos de acceso, una vez finalizada la inspección, asegurarse de que los tapones queden perfectamente colocados, no seria la primera vez que un olvido o mala colocación de estos, dan lugar a un grave accidente en vuelo.

#### INSPECCIONES E.N.D.

Las inspecciones mediante ensayos no destructivos tienen gran relevancia y requieren que el personal este altamente cualificado y CERTIFICADO, existiendo tres niveles de certificación, por técnica, no estando autorizado realizar inspecciones a operarios con certificación menor de la requerida por la orden técnica.

Las técnicas más usuales son:

Líquidos Penetrantes por emulsificables para inspeccionar todo tipo de material en busca de grietas que afloren a la superficie, es el más utilizado, al ser hoy día los materiales empleados en la construcción de motores no magnéticos.

Corrientes Inducidas, cada día tiene mayor importancia, se utiliza para inspecciones fundamentalmente orificios, gargantas de disco de alabes, se realiza tanto manual como automáticamente.

---

Partículas Magnéticas, cada vez se utiliza menos, solo se puede emplear sobre materiales ferromagnéticos, (engranajes y rodamientos).

Rayos X, más que para buscar defectos se emplea para comprobar que las soldaduras efectuadas en las reparaciones son correctas.

Particularmente se está empezando a emplear la Termografía sobre todo, para comprobar las uniones de capas de material **abradable** en las carcasas de compresores.

### **CONTROL DIMENSIONAL**

Consiste en verificar mediante instrumentos de medida, pies de rey, calibres, **micrómetros**, etc. las dimensiones de las piezas.

Es de vital importancia que todos los instrumentos pesen o midan, se encuentren calibrados, manteniendo una correcta política de calibraciones de equipos, el verificador cuando efectúe una medida comprobada previamente que el equipo tiene su calibración en regla.

Los equipos de medida pueden ir desde los más sencillos, como los nombrados anteriormente, hasta los equipos de medidas de redondeces, equipos tridimensionales y **salas** limpias y climatizadas de metrología.

### **MÉTODOS DE REPARACIÓN Y RECUPERACIÓN DE PIEZAS**

En general todos los componentes del motor suelen ser recuperables mediante diferentes procesos que a continuación se mencionan.

Equilibrado.

Mecanizados con máquinas herramientas, como tornos, fresas, rectificadoras, etc.

Conformado de chapa.

Soldadura TIG.

Plasma.

Metalizados.

Pinturas especiales (antitérmicas, antioxidantes, molikote, etc).

Perdigoneado.

### **PROCEDIMIENTOS GENERALES DE MONTAJE**

Durante el proceso de montaje seguir siempre la orden técnica. Los apuntes en libretas de determinados procesos o las fotocopias de órdenes técnicas no se deben utilizar, puesto que la



---

documentación esta viva y cambia constantemente, ni utilizaremos fotocopias pueden haber surgido cambios que desconocemos.

En el proceso de montaje el proceso es diferente si se trata de un mantenimiento en línea de otro de reiniciación general.

En el de mantenimiento en línea es una buena práctica mantener los elementos desmontados agrupados y marcados, para volverlos a montar según una configuración original en el motor.

El proceso de montaje requiere un especial cuidado de no cometer errores, extremar el cuidado para que durante el montaje no entren polvo, suciedad o partículas extrañas en el motor. Si cualquier elemento extraño cae dentro del motor durante el montaje, parar el trabajo hasta que el elemento se localice y se retire del motor, incluso si ello supone el realizar un desmontaje considerable del mismo.

Si el motor se deja en una etapa del montaje aunque sea por un corto periodo de tiempo, cubrir o tapar todas las aberturas.

Si la pieza esta cubierta con un compuesto para evitar la corrosión, eliminar el compuesto y cualquier acumulación de suciedad antes del montaje. Estar seguro de que todas las piezas están limpias antes de montarlas, limpiar las piezas antes de montarlas con un trapo que no se deshilache o con papel de celulosa.

Una vez acabado el montaje de cualquier componente marcado, eliminar las marcas utilizando metil-etil-cetona o disolvente PD 680 tipo II.

Al tiempo que se efectúa el montaje ir rellenando el libro de motor anotando los reglajes efectuados y todo aquello que se solicite en el mismo y no al día siguiente.

Las juntas tónicas utilizadas en el sistema neumático se pueden montar sin lubricante, por el contrario las del sistema de aceite, humedecerlas con aceite de motor y las de combustible con combustible, como alternativa todas las juntas pueden lubricarse con una capa fina de vaselina neutra.

Si no se especifica lo contrario los piñones, ejes, rodamientos, etc, cubrirlos con una fina capa de aceite de motor.

Todas las tuercas y tornillos tienen un aprieto estándar que figura en las tablas de la orden técnica, únicamente se especificara en el montaje de la orden técnica aquellas tuercas o tornillos que tengan aprietos especiales.

Cuando se monten **racores o tubos abocardados** con cierres cónicos (ovalillos), lubricar las superficies con aceite de motor.

---

Apretar alternativamente tornillos opuestos a lo largo de la circunferencia o periferia.

Dejar un periodo de cinco minutos para dar el aprieto definitivo, al objeto de que las tuercas y tornillos se atemperen.

Las tuercas y tornillos se pueden lubricar ligeramente para su montaje a excepción de las tuercas recubiertas de un baño de plata que no se lubricaran.

No utilizar Molikote u otros compuestos antigripantes en zonas que vayan a estar en contacto con aceite de motor, ya que puede causar contaminación del sistema de aceite.

Cuando se montan rodamientos con pistas separadas, se debe usar grasa (Acryloid 615. HF-825 o Turbo 10), para sujetar los rodillos o bolas en su posición mientras se monta la segunda pista del rodamiento.

### **OFICINA TÉCNICA**

La función de este gabinete técnico consiste en el estudio de las documentaciones de los motores para ver su configuración, de tal modo que cuando un motor o componente entra en revisión estudia su configuración para ver que Boletines de Servicio tienen aplicados y cuales se les debe de aplicar en cada revisión.

Un Boletín de Servicio es una noticia técnica adicional a la Orden Técnica, que editan los fabricantes para ir introduciendo en los motores modificaciones para mejorar la seguridad o mantenibilidad del motor, cuando un Boletín afecta a la seguridad en vuelo, se llaman Boletines de Alerta, vienen impresos en otro color (generalmente rosa) y son de aplicación inmediata, el resto de Boletines se suelen aplicar coincidiendo con las paradas técnicas de los motores.

La oficina técnica también se encarga de la puesta al día de las Ordenes Técnicas, estudios de modificaciones, etc. todo lo relacionado con la ingeniería del motor.

### **PRUEBA DE MOTORES**

Finalizado el montaje del motor hay que proceder a la prueba de motor en banco de pruebas o si la reparación revisión ha consistido en un cambio de un modulo de motor se puede hacer una prueba de motor sobre la aeronave.

### **BANCOS DE PRUEBA DE MOTORES**

#### **INTRODUCCIÓN**

.- Los bancos de prueba de motores son imprescindibles para comprobar las prestaciones del motor, ya que permite medir de forma sencilla los parámetros más importantes: gasto másico, empuje, presiones y temperaturas a lo largo del motor, etc.

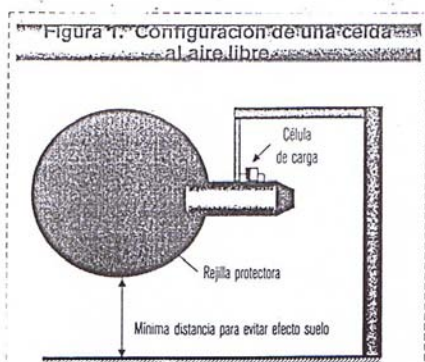
.- Básicamente podemos distinguir cuatro tipos de bancos de prueba para motores a reacción:

- Bancos al aire libre
- Bancos convencionales
- Bancos de altura
- Bancos de ensayo volantes

### **BANCOS AL AIRE LIBRE**

.- Los bancos al aire libre (figura 1) constan básicamente de una estructura que sujeta al motor por la parte superior y suelen estar situados en explanadas para evitar la ingestión de objetos extraños. Ofrecen la configuración más aproximada al de campo libre de distorsión por lo que, en principio, sería el tipo de banco recomendable.

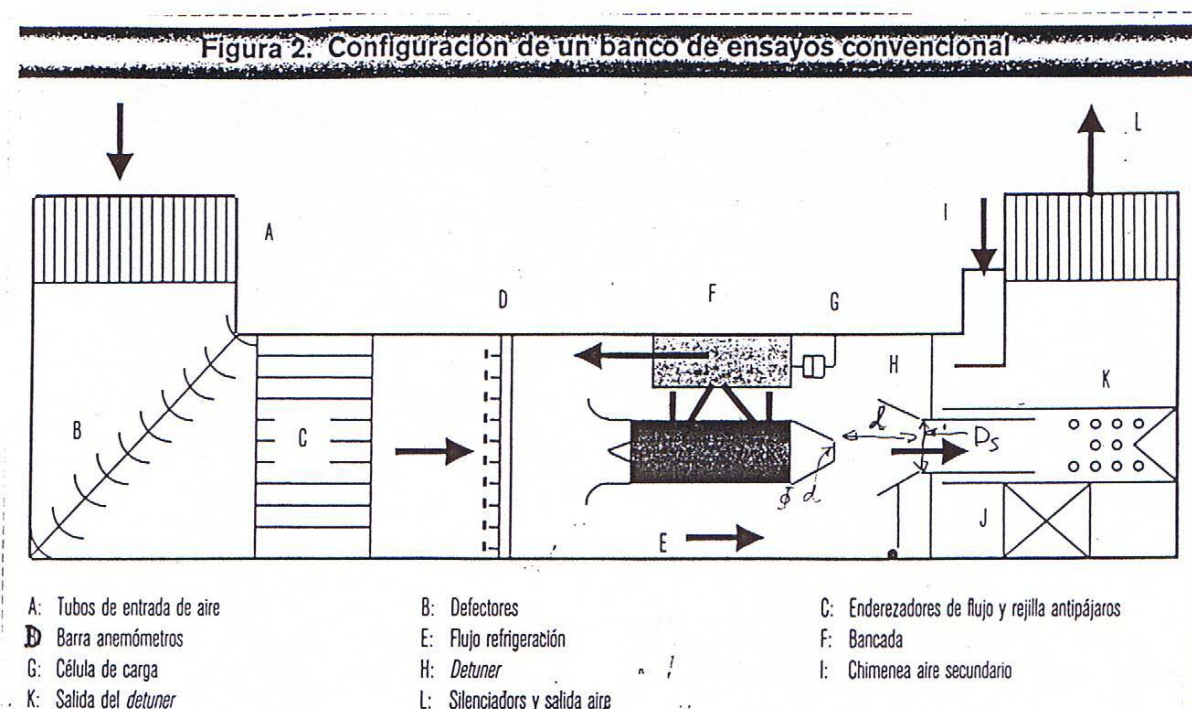
.- Desafortunadamente, poseen una serie de desventajas que hacen que no sean muy comunes. Por ejemplo, su uso se halla restringido por las condiciones ambientales. La lluvia, la velocidad o la dirección del viento pueden impedir el ensayo de un motor. Su localización también es un punto a tener en cuenta, debido al gran nivel de ruido que producen, lo que hace que en la práctica tengan que estar en zonas remotas y poco habitadas.



.- Por ello, en la mayoría de las ocasiones se prefieren los bancos cerrados, ya que permiten un uso casi independiente de las condiciones atmosféricas. En la práctica, el uso de las celdas al aire libre se halla restringido al calibrado de celdas de ensayo convencionales.

### **BANCOS CONVENCIONALES**

.- Para evitar que las condiciones ambientales puedan retrasar o cancelar el ensayo del motor, se introduce éste dentro de un edificio, según se muestra esquemáticamente en la figura 2. La independencia de la climatología tiene como inconveniente que las paredes y el techo del edificio modifican el campo de fluido que absorbe el motor. Es necesario, pues, calcular ciertos factores de calibración que corrijan la medida observada a la que se obtendría con el mismo motor en un banco al aire libre.



.- Existen numerosos métodos de obtención de estos factores de corrección de empuje, pero básicamente se dividen, por orden de precisión, en:

- Calibración cruzada entre un banco al aire libre y el banco a calibrar. De esta forma, para el mismo punto de funcionamiento y asumiendo que el motor no ha sufrido deterioro apreciable entre ambos ensayos, se logra determinar la diferencia de empuje entre ambos bancos y, por tanto, la corrección a aplica.

- Empleando mediciones de precisión, temperatura y velocidad del aire que circula por el banco:

- La presión se suele medir por medio de sondas estáticas colocadas al principio y al final del banco.

---

- La temperatura se mide por RBT (resistencias dependientes de la temperatura) bien colocadas en la rejilla protectora al principio del banco. Permiten conocer la distribución de temperaturas a la entrada del motor.

- La velocidad se mide por medio de anemómetros colocados por delante del tubo de ingestión (resistencia de la corriente de entrada) y a lo largo de la bancada del motor (resistencia de la bancada).

- Escalando datos de otro motor de similares características. En este caso la precisión obtenida no es grande, pero puede servir para obtener una estimación como primera aproximación.

- Empleando códigos fluidodinámicos (CFD) mediante el cálculo matemático teórico del comportamiento del banco. En cualquier caso, necesitan de validación por medio de alguno de los primeros métodos.

.- Por otra parte, el diseño aerodinámico debe ser bastante cuidadoso como para crear inestabilidad dentro del banco de pruebas. En especial, se debe evitar:

.- La distorsión de la corriente de entrada. Para comprobarlo se suelen poner tiras de papel de pared a pared con el fin de poder visualizar la distribución de la corriente. También se pueden emplear inyectores de humo. Una corriente distorsionada a la entrada puede afectar a las prestaciones del fan y dar medidas erróneas del gasto másico de aire que está ingiriendo el motor.

.- Bajas relaciones de derivación producen torbellinos que se desprenden de las paredes y que pueden llegar a ser ingeridos por el motor. Por relación de derivación, se entiende la relación entre la masa de aire que pasa rodeando al motor y la masa total de entrada en el banco, que es la suma de la que rodea al motor más la que ingiere el motor. Los valores de relación de derivación deben estar comprometidos entre el 50 y el 100 por ciento. Valores inferiores al 50 por ciento pueden conducir a una baja velocidad de circulación del banco, lo que provoca problemas de refrigeración y de reingestión de gases calientes de la tobera. Los factores que tienden a elevar la relación de derivación son:

.- Alta relación de la presión de la tobera.

.- Altas distancias entre el área de tobera y el área de ingestión del detuner.

.- Baja área de bloqueo.

.- Baja relación  $d/D$  (véase figura 2).

---

.- Baja relación I/D (véase figura 2).

.- Reingestión de gases de salida, debido fundamentalmente a un mal posicionamiento del detuner.

.- Torbellinos que incidan sobre la instrumentación que controla el motor. Se ha comprobado que ruidos de frecuencia ultra baja (hasta 1 Hz) pueden influir en el comportamiento del motor cuando éste se halla controlando en EPR, produciendo inestabilidad en la velocidad de rotación de los ejes con posible rotura de álabes por fallo o fatiga y excesivo deterioro en las prestaciones.

.- Otros factores a tener en cuenta en este tipo de banco son:

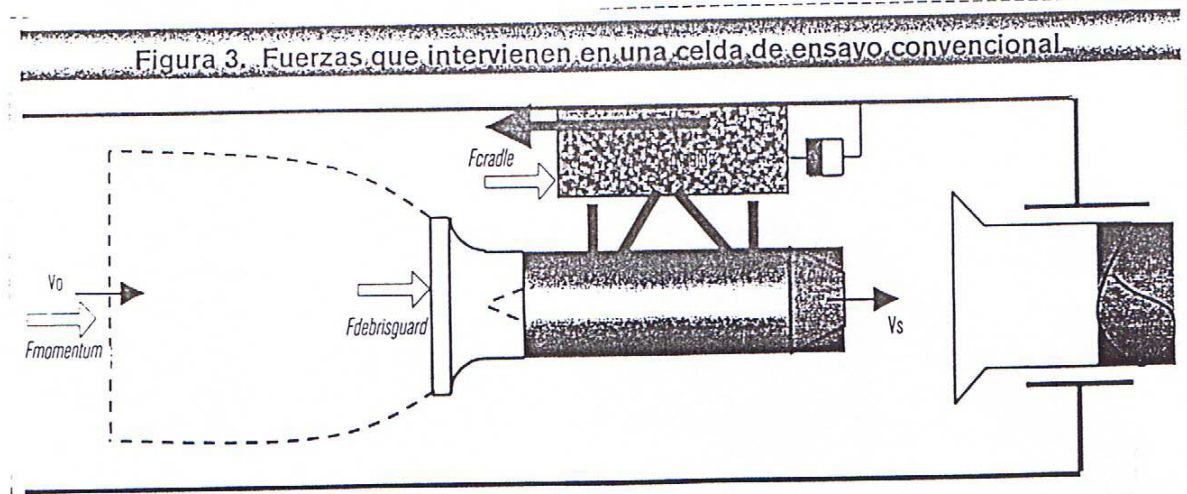
.- El empleo del protector produce pérdidas de presión y produce una resistencia aerodinámica que hay que considerar para la calibración.

.- Una vez calibrado el banco hay que controlar la configuración ya que ambas están íntimamente ligadas. Por ejemplo, la inclusión de una escalera afectará a la distribución de velocidades del banco, afectando por tanto a la calibración aerodinámica. La calibración sólo es válida para un tipo de motor, para un tipo de toma y tobera y para una configuración de banco determinada (posición de detuner, etc.). La modificación de cualquiera de estos parámetros conduce a recalcular la calibración del banco.

.- Las vibraciones producidas por el motor hacen aconsejable el uso de colchones sísmicos en los cimientos del edificio para evitar que se propaguen ya que pueden dañarlo.

#### METODOLOGÍA PARA LA CALIBRACIÓN DE BANCOS DE PRUEBA

.- El método empleado para calcular la corrección aerodinámica del empuje se suele realizar por medio del cálculo de las tres componentes que crean una fuerza de resistencia en la dirección contraria a la que miden las células de carga (figura 3). Estos tres componentes son: la resistencia de la corriente de entrada (*inlet momentum drag*), la resistencia de bancada (*cradle drag*) y la resistencia de base (*base drag*). De esta manera, se puede corregir el empuje medio en el banco a las condiciones que tendría el motor en un campo fluido libre (banco al aire libre).



RESISTENCIA DE LA CORRIENTE DE ENTRADA

RESISTENCIA DE LA BANCADA

RESISTENCIA DE BASE (EFECTO DE SUCCIÓN)

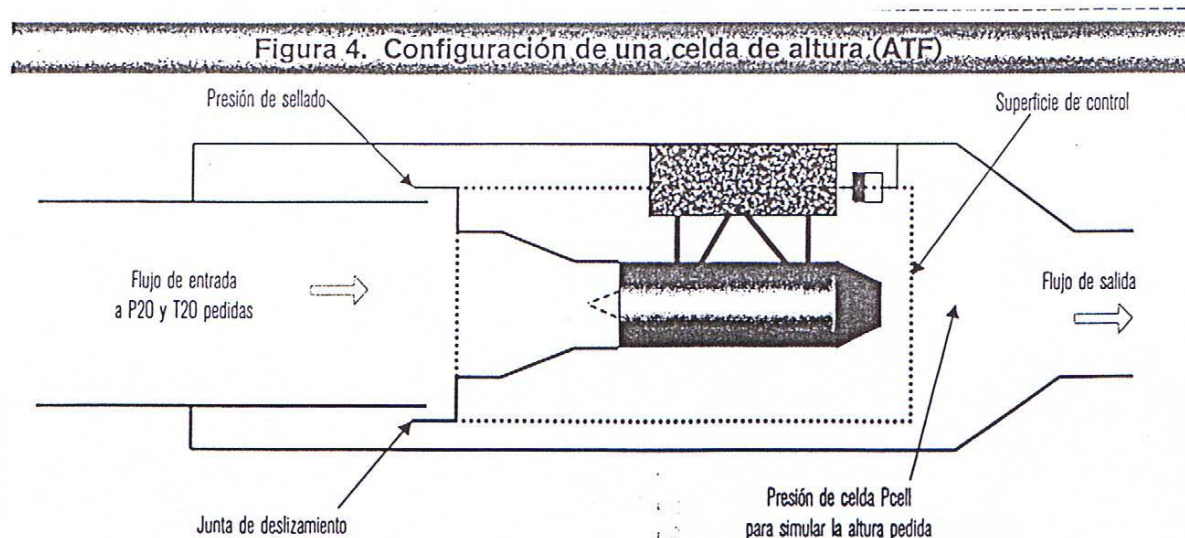
### BANCOS DE ALTURA (ATF)

.- Los bancos de altura suponen un paso más en complejidad, ya que básicamente se trata de un banco de prueba cerrado donde se pueden simular gran parte de las condiciones de vuelo del motor. Básicamente, se emplean para comprobar las prestaciones del motor en condiciones de crucero, cercanas a Mach 0.85 en motores comerciales y alrededor de Mach 1.6 para militares. Aunque también se ensayan otras situaciones como las de molinete (*windmilling*), reencendido de la postcombustión, arranque en altura, etc. Todo esto los convierte en túneles de viento complejos donde hay que simular el Mach de vuelo y la presión y temperatura ambiente en altura. Todo ello hace que sean extraordinariamente caros y que haya pocos en el mundo.

.- En Europa existen, de momento, dos ATF importantes situados en Sturrgart (Alemania) y Pyestock (Inglaterra) que son suficientes para abastecer el mercado de los fabricantes europeos de aeromotores.

.- Básicamente, los ATF constan de dos partes: el tubo de entrada y la zona del *detuner* de salida (véase figura 4). En el tubo de entrada un dispositivo con válvulas se encarga de proporcionar la presión, la velocidad, la temperatura y la masa de aire que requiera el motor a la condición de vuelo que se ensaye. Suele existir una restricción en la presión total mínima a proporcionar, aunque

depende de la configuración particular de cada banco. Así, en el caso del ATF de Pyestock es de una presión equivalente a 1.500 ft de altura y Mach de vuelo 0,1. Como el motor produce empuje, existe la posibilidad de un ligero movimiento axial de toda la estructura. Para evitar tensiones que pudieran romper el banco, se suele crear una junta (figura 4) que permite cierta holgura axial, pero que introduce nuevos factores de corrección de empuje y de gasto por las fugas que se producen en esta zona. En la parte trasera del banco, el ATF se encarga de ensayar la presión de descarga de la tobera y que va a simular la altura de vuelo del ensayo. En este caso, no existen correcciones aerodinámicas debidas a la resistencia de la corriente de entrada o de la bancada.



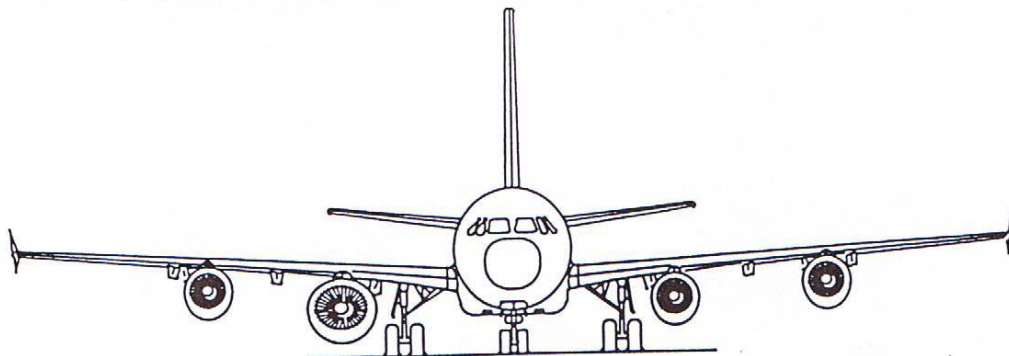
.- Los ATF se emplean básicamente en la fase de desarrollo de los motores. Es justo en esta fase cuando hay que comprobar de forma experimental las mejoras del diseño, posibles fallos y los métodos más efectivos de subsanarlos en vuelo, la validación del software del sistema de control y un largo etcétera que no vamos a explicar porque se saldría de la finalidad de este artículo. Todo ello hace que los ensayos en ATF sean realmente importantes para la validación última del motor (certificación).

### **BANCOS VOLADORES**

.- Otro método también muy empleado en proyectos de envergadura es el uso de bancos de prueba voladores (*Flying Test Beds*). En este caso, se instala el motor en el avión para el cual está diseñado y se hacen los cambios estructurales necesarios. El hecho de poder volar con el motor experimental, además de ser más económico, permite una mejor simulación de los efectos funcionales y de la distorsión de la toma. Pero, en su contra, el ensayo del motor sigue dependiendo de las restricciones operativas del avión así como de las condiciones.



Figura 5. Configuración de una celda de volante (FTB)



## CONCLUSIONES

- Básicamente, hemos descrito de forma breve todas las configuraciones de bancos de prueba. No se ha pretendido una descripción de mayor detalle debido a la complejidad que lleva aparejada y a la excesiva extensión que ello supondría. Quede pues el lector con la idea básica de que los bancos

---

son necesarios para comprobar las prestaciones del motor antes del vuelo y evitar posibles sorpresas posteriores. Dentro de los bancos de prueba, los cerrados son los más comunes debido a que no están sometidos a fuertes condiciones meteorológicas. Aunque ello supone la necesidad de calibrar los parámetros registrados debido a la distorsión de la corriente que suponen las paredes del banco y que afectan al comportamiento del motor.

Finalizada la prueba en banco se tendrá que analizar los parámetros de la prueba, que en caso de estar fuera de los límites marcados en la orden técnica, serán la causa de averías.

### **ANÁLISIS DE TENDENCIAS (AVERIAS)**

En general, las averías más comunes que nos vamos a encontrar son:

- Incrementos del Ce, temperatura de turbina alta, elevadas revoluciones.
- Pérdidas en los circuitos de aceite o combustible.
- Daños por ingestión de objetos extraños.
- Variaciones en la presión de aceite.
- Partículas en el sistema de aceite.
- Reparación de álabes.

#### **Incrementos en el Ce**

Cuando en un motor se observa un incremento paulatino en el consumo específico, nos está indicando una degradación del motor, que, en un momento determinado, nos dará alta temperatura en la turbina o revoluciones excesivas en el compresor, que hará imprescindible una intervención en el motor.

En el mejor de los casos bastará con una intervención en la zona caliente, con una revisión de configuración de cámara, limpieza y prueba de inyectores y revisión de turbina con regeneración de cierres.

Cuando la situación es más grave con pérdida acusada de presión, se puede hacer imprescindible una revisión general del motor, interviniendo en el compresor, ante la gravedad del caso y dado un alto costo, se hace imprescindible comprobar todas las posibles fugas de aire a presión que tenga el motor, con la comprobación de todas las válvulas neumáticas, al objeto de verificar que no tiran aire al exterior que haga descender la presión. Comprobado el funcionamiento correcto de las válvulas, la única opción es realizar una revisión CORE al núcleo del motor, a la zona de compresores para regenerar, los cierres y las holguras entre la punta de los álabes de compresor y sus correspondientes cubiertas.

Básicamente, al efectuar una R.G. a un motor, a parte de buscar grietas y desgaste, la revisión va a consistir en evitar que el aire se fugue entre rotores de compresor y turbina y sus correspondientes turbinas. Como ejemplo, en el motor TFE731 una holgura entre la punta de un álabe de turbina de alta presión y su cubierta de 0,001 pulgada implica una pérdida de temperatura 1,5 °F. Así mismo, la regeneración de los cierres de cuchillas y los cierres de material agradable o de Honey -Comb, nos evitará fugas de aire y/o aceite. También da excelentes resultados en los motores que es posible, colocar turbinas de alta presión con el mayor diámetro posible.

#### **Pérdidas de aceite o combustible**

Son debidas, normalmente, a la mala instalación de juntas u ovalillos, en algunos casos y en función de los tipos de uniones utilizadas en las tuberías, como el caso de bridas de unión, las vibraciones del motor hace que se deterioren y produzcan las correspondientes fugas.

---

Las fugas de aceite, por lo general, son muy escandalosas, una pequeña fuga ensucia una parte muy amplia del motor. Este tipo de avería se subsana localizando la fuga, reponiendo las juntas, bridas, etc., en general son fáciles de corregir.

También nos podemos encontrar con un consumo excesivo de aceite, las causas más probables pueden ser que el separador aire/aceite requiere limpieza, si fallan los sellos de compresor tendremos aceite en la entrada de aire y si es el de la turbina puede generar humos.

Si nos encontramos alta temperatura de aceite probablemente tengamos una restricción del flujo de aire en el enfriador de aceite, combustible diluido dentro de aceite que ha tenido lugar en el intercambiador aceite/combustible, al tener mayor presión el combustible que el aceite penetra en la instalación de aceite cuando nos encontramos con una rotura en el intercambiador, también podríamos observarlo por una cantidad anormal de aceite en el depósito y por último también puede ser debido a una falsa indicación de los instrumentos.

Cuando tenemos baja presión de aceite, las causas son las fugas, bien sean externas o internas, las fugas externas son fáciles de detectar por el aceite que gotea o rezuma por alguna parte del motor, las fugas internas pueden estar causadas por las empaquetaduras o sellos "O ring" y para comprobar que el sistema de indicación no tiene fallo basta con poner un manómetro adicional en la línea de medida.

### **Daños por objetos extraños**

Los F.O.D. pueden ir desde la ingestión de un pájaro por el motor estando en vuelo, piedras de la pista de despegue que se encuentra sucia, hasta herramientas que se olvidan en los difusores de admisión de los motores. Suelen ser averías muy importantes y caras de solventar, y afectan fundamentalmente a la zona de Fan y Compresores, que en función de la masa del objeto absorbido, producen más o menos daño.

La recuperación de un motor que ha sufrido un F.O.D. severo requiere la intervención de un mantenimiento de fábrica o muy avanzado.

Es de vital importancia una evaluación muy buena de los daños, por lo que habrá que hacer inspecciones endoscópicas para averiguar hasta qué escalón de compresor ha dañado.

En los motores de última generación, puede ocurrir que en los primeros escalones de compresor no se observen daños, encontrándose estos en el compresor de alta, donde los álabes son más pequeños y menos resistentes mecánicamente.

### **Partículas en el sistema de aceite (PAESA o SOAP)**

Si, como consecuencia de que el filtro de aceite se colmata o que en el indicador magnético comprobamos la presencia de partículas en el aceite, tendremos una contaminación del mismo.

En el colmatado del filtro se pueden dar dos circunstancias, que se haya colmatado por partículas metálicas o no, y en el caso de ser metálicas, estas pueden ser magnéticas o amagnéticas.

Cuando una junta tórica, por la circunstancia que sea, se degrada, nos pondrá el aceite negro, nos podrá originar pérdidas de aceite, pero no nos dañará el motor. Por el contrario, las partículas metálicas pueden producir severos daños en las cajas de engranaje y rodamientos.

El programa PAESA en España o SOAP en denominación inglesa consiste en el análisis espectrométrico del aceite y la evaluación del contenido del filtro de aceite.

Determinados fabricantes siguen un plan preventivo y altamente recomendado de inspecciones periódicas del aceite (SOAP).

Un kit SOAP consta básicamente de: frascos para obtener muestras de aceite recogidas de el depósito de aceite y del filtro de aceite así como las instrucciones de cómo tomar las muestras, y los registros necesarios de datos para que el examen tenga el significado correspondiente.

La toma de muestras se realiza de la manera siguiente: se introduce el tubo de sifón dentro del depósito para tomar la muestra aproximadamente en la mitad del depósito, justo inmediatamente después de parar el motor para que el aceite esté caliente y las partículas estén todavía en suspensión en la muestra que vamos a tomar.

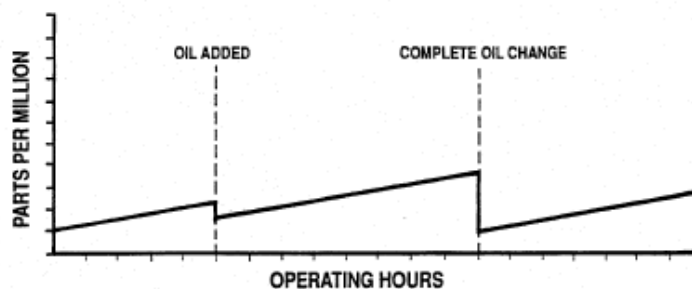
El análisis de la condición del aceite en el motor puede ser dividido en dos áreas básicas, partículas de material extremadamente pequeñas que se mantienen en suspensión en el aceite y que pueden ser analizadas químicamente para determinar de que parte del motor provienen.

Y las partículas contaminantes de mayor tamaño que quedan retenidas en el filtro de aceite. El análisis de estas partículas también es una parte importante del SOAP. Es importantísimo la recogida correcta de las muestras, cumplimentar correctamente el formulario, empaquetar correctamente y por ultimo enviarlo. En España el INTA es el organismo encargado de los análisis, avisando al cliente con una llamada telefónica fax o mail si la analítica muestra la existencia de un problema, en caso de normalidad los resultado son enviados por correo.

Por la composición de las partículas nos puede dar una idea de si lo que se está desgastando es un rodamiento, un engranaje o una parte de la bomba de aceite, y nos orientará hacia la parte a la cual debemos acceder. Si no tenemos estos datos, comenzaremos a verificar todos los componentes exteriores del motor, como son la bomba de aceite y la caja de accesorios para, posteriormente, acceder a los rodamientos en el interior del motor.

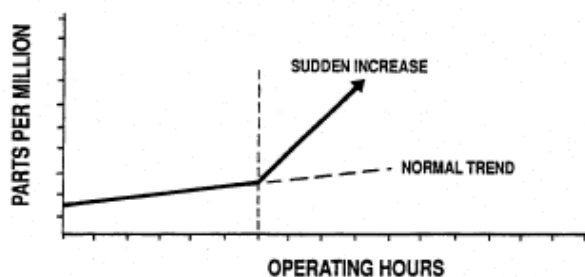
En caso de contaminación, la limpieza del depósito es parte importante de la reparación, así como la parte del circuito de aceite que comprenda desde el elemento que contamina hasta el filtro.

### **THE "NORMAL" INCREASING TREND OF METAL CONCENTRATION IN THE OIL IS AFFECTED BY SEVERAL ACTIONS:**



Las partículas que se van encontrando en las sucesivas analíticas van incrementándose paulatinamente, la tendencia del aumento normal de concentración de metal en el aceite se ve afectada por diversas causas como son, el añadir cierta cantidad de aceite al deposito o un cambio total del aceite, como se puede ver en la grafica las partículas se miden en partes por millón.

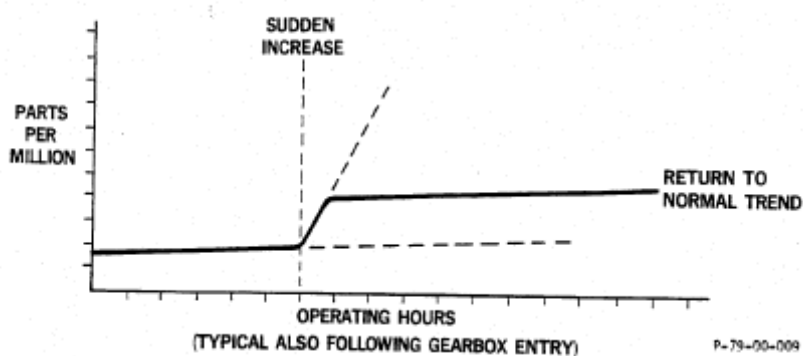
### **A SUDDEN INCREASE IN METAL CONCENTRATION MAY INDICATE A PROBLEM DEVELOPING ...**



En el siguiente grafico nos muestra el análisis de una muestra SOAP que indica un repentino alejamiento de la tendencia normal previamente establecida. Un aumento repentino en la concentración de partículas de metal en el aceite, pude ser un indicio de que un problema esta desarrollándose.

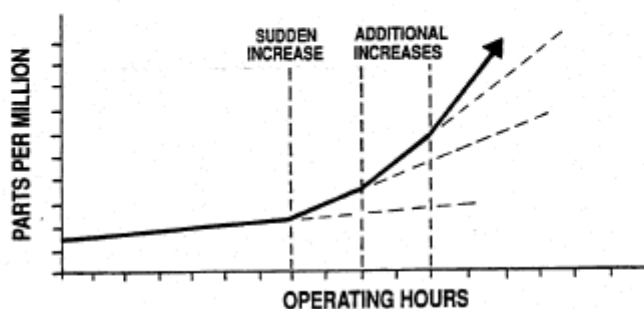
También es posible que este cambio repentino en el contenido de partículas pueda indicar que la muestra SOAP fue tomada de manera inapropiada. Por ejemplo, si la muestra fue tomada de un aceite que ha sido drenado dentro de un contenedor sucio, la muestra contendrá obviamente las partículas que estaban en el contenedor antes de la toma de la muestra, la experiencia nos muestra que se han encontrado muestras con pepitas de manzana, insectos, colillas de cigarros y un numero importante de objetos extraños que nada tienen que ver con el sistema de lubricación de los motores.

## ACCIDENTAL CONTAMINATION



Como indica la siguiente grafica si el incremento repentino era debido a una contaminación accidental, la tendencia se normaliza en la siguiente prueba SOAP.

## IF THE SUDDEN INCREASE IS DUE TO A PROBLEM DEVELOPING, THE TREND WILL CONTINUE UPWARD IN SUCCESSIVE SAMPLES



---

Si la línea de aumento de contaminantes continua en las muestras siguientes tomadas en intervalos cortos, confirmara que se esta desarrollándose un problema en el motor.

Además del análisis químico del contenido del aceite, se analiza el contenido del filtro. En primer lugar el filtro se lava para que el contenido pueda ser sometido a examen. Este incluye el peso de las muestras ,la forma dimensión de las partículas y el tipo de material será analizado químicamente para identificar el área del motor de la que provienen.

Lo que hace que las muestras SOAP sean eficientes en el mantenimiento preventivo es el tener un seguimiento y observar las tendencias previas.

En resumen el SOAP es una herramienta de mantenimiento preventivo muy útil, utilizada para el control de la condición del motor, puede ayudar a prevenir daños muy extensos avisándonos previamente.

### **Reparación de álabes**

Es el fabricante el que da las pautas a seguir en este tema tan delicado y crítico. En general los álabes de turbina que tienen revestimiento de aluminización o cromoaluminización en fase vapor, no está autorizado realizar retoques. Y cuando algún fabricante lo autoriza, una vez retocado el álabe, como se indicará posteriormente, hay que proceder a tratamiento con pintura Sermetel. Cuando se realiza en Segundo Escalón de mantenimiento y, cuando este álabe retocado y protegido localmente, llegue a un mantenimiento de Tercer Escalón por Revisión General, se procede al decapado de la pintura para verificar y dar una protección generalizada a todo el álabe. Este tipo de protecciones lo realizan empresas muy especializadas (Cromaloy), no estando al alcance de la gran mayoría de Centros de Reparación de Tercer Escalón.

Tanto para los álabes de turbina como de compresor, el proceso a seguir en el retoque es similar, una vez localizado el daño (grieta o impacto) se evalúa para ver si está dentro de lo autorizado por la Orden Técnica. Se lima y se suaviza la parte dañada lo más suavemente posible, en general se hacen unos aligeramientos de material de 7 a 10 veces en longitud de la profundidad que tengamos que realizar.

Cuanto mejor sea el acabado superficial y más suave sean los radios en el aligeramiento de material, la reparación tendrá mayor calidad.

### **VIBRACIONES**

Hoy en día al realizar la prueba en banco o sobre aeronave se le instalan al motor captadores de vibraciones que nos indicaran en que parte del motor se están produciendo estos, Fam, compresores o turbinas, esto será señal inequívoca de que algún componente esta desequilibrado y de no repararse se producirán daños en los rodamientos y no seremos capaces de detectar, hasta que a través del análisis espectrometrítico del aceite se detecte el fallo.

#### ***.- LAVADO DE MOTOR (COMPRESORES)***

.- Se realiza cuando se presentan algunas de las siguientes circunstancias:

- .- En una inspección se aprecia evidente suciedad en los alabes del compresor.
- .- Disminuye la potencia del motor.
- .- Se aprecia aumento de EGT de forma permanente en vuelos normales.
- .- En vuelo sobre el mar o poblaciones con alto índice de contaminación.

#### ***.- PREPARACIÓN DEL MOTOR:***

- 
- 1- Desconectar las tuberías que situadas en la entrada de aire. Taponar las tuberías.
  - 2- Cubrir con un plástico las ventanas de ventilación del generador de arranque, en caso de ser eléctrico.
  - 3- Desconectar las tuberías que situadas en el difusor de post-compresión, actúen por medio de sangrados otros mecanismos de la aeronave.
  - 4- Desconectar de las válvulas o actuadores de sangrado del flujo del compresor las tuberías que se dirijan al control de combustible.
  - 5- Desconectar la bobina de ignición.
  - 6- Desmontar las piezas del separador de partículas, en caso de llevarlo, que permitan un acceso adecuado a la entrada del motor.
  - 7- Quitar los posibles sensores de temperatura de la entrada del aire en el motor y cubrirlo con plástico, para que no puedan acceder al elemento sensible los productos empleados en la limpieza.

#### **PREPARACIÓN DE LAS BOMBONAS DE LAVADO:**

.- Normalmente se suelen preparar dos tipos de bombonas, una con una serie de mezclas de productos limpiadores y disolventes, para lavados más enérgicos, y otras con agua, para lavados ligeros o aclarados de los primeros. Todas ellas se presurizan, para poder introducir vaporizando el contenido en la entrada del motor.

#### **PRECAUCIONES:**

- No dejar la solución inicial sin emplear durante más de una hora.
- No lavar el motor mientras esté caliente.
- Preparar para cada lavado la proporción correspondiente.

#### **Por parte del PILOTO.**

- .- Quitar el interruptor del sistema de ignición.
- .- Colocar la selección de régimen en parada.
- .- Interruptor de combustible y anti-hielo en OFF.
- .- Establecer el medio de comunicar con el mecánico el momento de conectar el sistema de arranque y motorizar.

---

Por parte del MECÁNICO/

- .- Colocar el útil adecuado en la entrada del motor.
- .- Establecer el medio de comunicación con el piloto para abrir las bombonas al tiempo que se motoriza.
- .- Una vez finalizado el lavado se conectan todas las tuberías, la bobina, se quitan las protecciones del motor de arranque y se montan las piezas del separador de partículas.

**Operación final.**

Una vez realizadas las operaciones anteriores se realizará el "SECADO" del motor por medio del arranque del mismo y mantenerle en ralentí el tiempo que se indique en las operaciones, que suele estar en torno a los diez minutos por termino medio. En esta operación se asegurará que se encuentren activados los sistemas que permitan el secado de partes internas del motor, tales como anti-hielo y calefacción. Una vez terminada esta operación final se verificará el correcto estado de operación del motor.



---

## **22.- ALMACENAMIENTO DEL MOTOR Y PRESERVACIÓN.**

### **22-01.- ALMACENAMIENTO**

*El almacenamiento y preservación del motor y los componentes del sistema de combustible se puede realizar desmontados de la aeronave o instalados sobre ella.*

### **22-02.- PRESERVADO DEL MOTOR Y ACCESORIOS.**

*Los motores según los materiales con los que han sido contruidos nos va determinar el modo de preservación, los de antigua tecnología , en los que se utilizaban aleaciones férricas en bastantes componentes, los motores se introducían en contenedores metálicos estancos, presurizados con un gas inerte y con saquetes de sales anti –humedad.*

*Actualmente los modernos motores están contruidos con aleaciones de titanio y cromo-níquel y solo la caja de accesorios y las carcasas de algún componente se construyen en aleaciones ligeras, por lo que los contenedores actuales están contruidos en resinas muy ligeras con sistemas de amortiguación también se les introduce sacos anti-humedad. En general si el periodo de almacenaje del motor es superior a noventa días, es necesario hacer girar el motor al objeto de los rodamientos y los engranajes se lubriquen, esta operación se puede realizar desde moviendo el Fan o a través de la caja de accesorios.*

*Los accesorios que son necesarios preservar son los relacionados con el sistema de combustible (control de combustible, bomba de combustible y en motores militares la bomba de combustible de la post-combustión). Al igual que los motores tendremos que preservar en función del tiempo de almacenaje previsto, cuando el periodo va ha ser inferior a los noventa días se les quitara el combustible y sales llenara con un liquido de preservación y se introducirán en una bolsa de propileno con un saquete de sales anti-humedad.*

*Si el periodo de almacenaje va ha ser superior a los noventa días la preservación será igual pero la bolsa de propileno estará al vacío , en ambos casos posteriormente se introducirán en contenedores de madera o resina.*

### **22-03.- PRESERVADO DE MOTOR Y DEL CONTROL DE COMBUSTIBLE SOBRE LA AERONAVE.**

#### **PREPARACIÓN**

*.- Desconectar la conexión de la bobina de ignición.*

*.- Desconectar la tubería del circuito de combustible principal que viene del control de combustible, conectando en ella un adaptador y llevarlo a un depósito.*

---

.- Hacer la misma operación con la tubería del circuito de combustible de arranque, en la salida de la válvula solenoide o similar, conectar un adaptador adecuado y llevarlo al depósito indicado anteriormente.

.- Desconectar la tubería de llegada al control de combustible y preparar un recipiente con una tubería adecuada que conectaremos en la entrada anterior. En este recipiente se dispondrá aceite de preservar, que suele ser de baja densidad y muy estable,.

.- Desmontar las piezas del separador de partículas o rejillas, para poder acceder con facilidad al difusor de admisión del motor. En ese punto disponer una boquilla pulverizadora con aceite de preservar de características similares al indicado en el punto anterior y aire a presión.

### **EJECUCIÓN**

#### **Por parte del PILOTO:**

.- Seleccionará el régimen operacional de ralentí.

.- Situará los siguientes interruptores de la siguiente forma:

.- El de ignición en posición ON.

.- El de fuel en ON.

.- El de bombas en OFF.

.- Establecerá el método de comunicación con el mecánico para avisarle del comienzo y final de la motorización, teniendo siempre presente las limitaciones de funcionamiento del motor de arranque.

---

### **Por parte del MECÁNICO:**

.- Son normalmente necesarios dos mecánicos para el preservado simultáneo del control de combustible y del compresor. Un mecánico se sitúa en la zona de la admisión del motor y el otro prepara el recipiente y tubería en la entrada del control de combustible. y

.- Se establece el procedimiento de comunicación con el piloto y mientras éste motoriza, uno pulveriza aceite con la boquilla en el compresor y el otro vierte el aceite en el recipiente conectado con el control de combustible y observa la salida por las tuberías situadas en el depósito, hasta que salga el fluido regularmente, sin irregularidades.

.- Cuando ocurra lo anteriormente indicado, se avisará al piloto que interrumpirá la motorización.

.- Finalmente se conectarán todas las tuberías que se habían desconectado, la bobina de ignición y se montarán las piezas del separador de partículas en caso de ser necesaria su desinstalación.

.-Se realizará la anotación correspondiente, con la fecha del preservado, en la documentación del motor.

## ***22-02.- DESPRESERVADO DEL MOTOR Y CONTROL DE COMBUSTIBLE***

### ***PREPARACIÓN***

.- Desconectar la conexión de la bobina de ignición.

.- Desconectar la tubería del circuito de combustible principal que viene del control de combustible, conectando en ella un adaptador y llevarlo a un depósito.

.- Hacer la misma operación con la tubería del circuito de combustible de arranque, en la salida de la válvula solenoide o similar, conectar un adaptador adecuado y llevarlo al depósito indicado anteriormente.

### **EJECUCIÓN**

#### **Por parte del PILOTO:**

.- Seleccionará el régimen operacional de ralentí.

.- Situará los siguientes interruptores de la siguiente forma:

.- El de ignición en posición ON.

.- El de fuel en ON.

---

.- Establecerá el método de comunicación con el mecánico para avisarle del comienzo y final de la motorización, teniendo siempre presente las limitaciones de funcionamiento del motor de arranque.

**Por parte del MECÁNICO:**

.- Situarse en la proximidad del control de combustible y ver que por las tuberías situadas en el recipiente sale combustible limpio y sin presencia de burbujas o irregularidades.

.- Cuando se aprecie lo anterior se espera a recoger una cantidad de unos cinco litros y se procede a avisar al piloto cuando esta circunstancia se haya producido, para que finalice la motorización.

.- Finalmente se conectarán todas las tuberías que se habían desconectado, la bobina de ignición y se realizarán las operaciones necesarias para proceder al lavado de motor necesario si se ha realizado la preservación del compresor.