

# **SISTEMAS DE PROPULSIÓN AERONÁUTICA**

## **1– INTRODUCCIÓN**

## **2– CLASIFICACIÓN DE LOS MOTORES A REACCIÓN**

### 2.1– ESTATORREACTORES

### 2.2– PULSORREACTORES

### 2.3– TURBORREACTORES

#### 2.3.1– TIPOS

#### 2.3.2– CICLO DE FUNCIONAMIENTO

#### 2.3.3– ESPECIFICACIONES

## **3– PARTES FUNDAMENTALES DE LOS TURBORREACTORES**

### 3.1– DIFUSORES DE ADMISIÓN

### 3.2– COMPRESORES

#### 3.2.1– CENTRÍFUGOS

#### 3.2.2– AXIALES

### 3.3 DIFUSOR POST–COMPRESOR

### 3.4 CÁMARAS DE COMBUSTIÓN

### 3.5– TURBINAS

### 3.6– TOBERAS DE ESCAPE

## **4– SISTEMAS AUXILIARES DEL MOTOR**

## **5– SISTEMAS DE INCREMENTO DE RENDIMIENTO**

### 5.1– INYECCIÓN DE AGUA

### 5.2– POSTCOMBUSTIÓN

## **6– COMBUSTIBLES Y LUBRIFICANTES**

## **7– CONCLUSIÓN**

## **8– BIBLIOGRAFÍA**

## 1- INTRODUCCIÓN

La idea de usar el empuje de reacción para generar propulsión no es nueva. Hero de Alejandría diseñó un tipo de turbina de vapor hace aproximadamente unos 2000 años. Los chinos han utilizado cohetes de pólvora desde el siglo XII A.D.

Sir Isaac Newton describió el principio del empuje a reacción en sus leyes de la dinámica en 1687, hasta que un siglo después el año 1791, a John Barber de Inglaterra se le fue concedido el primer patente de una turbina de gas, a pesar de que esto ocurrió casi 100 años antes de que los materiales necesarios, los diseños, y las técnicas de fabricación permitieran construir una de esas turbinas.

Los primeros motores de embolo utilizaban un pequeño motor de gas que accionaba una hélice grande para ayudar a acelerar el aire para generar empuje.

El avión de los hermanos Wright utilizaba un motor de hélice. Desafortunadamente, la velocidad de los aviones de hélice era más bien limitada, para volar más rápidamente era necesario otro diseño. Durante los años 30 un ingeniero alemán, Hans von Ohain, y un ingeniero inglés, Frank Whittle intentaban diseñar un nuevo tipo de motor, cada uno por separado. Hacia 1938, Hans von Ohain y su mecánico Max Hahn ya habían diseñado, construido y realizado pruebas de vuelo de un avión de propulsión a chorro. Su diseño contenía un compresor (cierto tipo de rotor) y una turbina en el mismo eje. El diseño de Frank Whittle también incluía un rotor o hélice interna accionada por una turbina con un combutor. Su avión de propulsión a chorro voló con éxito en 1941. Así, ambas naciones, Inglaterra y Alemania, dieron inicio a la era de la propulsión a chorro.

Desde entonces, se han realizado muchas mejoras y variaciones de los diseños del motor a reacción. Además, motores de propulsión a chorro más eficientes han hecho posible la fabricación de aviones más grandes y más rápidos. En menos de 100 años, los aviones han ido desde el primer avión de los hermanos Wright y de su primer vuelo de 12 segundos y 120 pies hasta los aviones supersónicos que son capaces de volar alrededor del mundo en unas cuantas horas. Todo esto se hizo posible gracias a la invención del motor a reacción.

## 2- CLASIFICACIÓN DE LOS MOTORES A REACCIÓN

Un motor a reacción es un sistema propulsivo cuyo principio de funcionamiento esta basado en la aplicación de la Segunda y la Tercera Ley de Newton:

1ª Ley de Newton : Todo cuerpo permanece en estado de reposo o velocidad constante (aceleración = 0) cuando se le deja libre sin que actúe ninguna fuerza sobre él.

2ª Ley de Newton: El incremento de la cantidad de movimiento es igual a la impulsión de la fuerza aplicada y tiene la misma dirección que aquella.

Puede expresarse también diciendo que la fuerza total ejercida sobre un cuerpo es igual al producto de su masa por su aceleración.

3ª Ley de Newton: A toda acción de una fuerza, hay una reacción igual actuando en la misma dirección pero en sentido contrario.

Entonces podemos considerar que los motores a reacción son todos aquellos que utilizan una serie de gases, que expulsados a gran velocidad y presión, ejercen una fuerza en sentido contrario, que podríamos llamar impulso o avance. Dentro del grupo de los motores a reacción, estos se pueden dividir en cuatro grandes grupos, tres de los cuales son utilizados actualmente por la industria aeronáutica.

Los motores a reacción llamados motores cohete son aquellos que funcionan bajo el principio de reacción y

no necesitan del aire ambiente para su funcionamiento. Por lo cual son ideales para operaciones extra-atmosféricas.

## **2.1– ESTATORREACTORES**

Los estatorreactores son motores a reacción auxiliares que carecen de compresores y turbinas, pues la compresión se efectúa por la alta presión dinámica debida a la alta velocidad que es necesario imprimir al estatorreactor para su funcionamiento. El aire, después de comprimido, se somete a un proceso de combustión en una cámara, y después a expansión en la tobera de escape. Se ha de tener en cuenta que esta forma de trabajo es continua.

El principio de funcionamiento del estatorreactor es el mismo que el de todos los motores a reacción: la variación de la cantidad de movimiento del aire a la entrada y del gas aire-combustible a la salida.

Tecnológicamente, el estatorreactor es el más sencillo de los motores a reacción, ya que no contiene ninguna pieza mecánica móvil, a excepción de la bomba de combustible. Los componentes principales de los estatorreactores desde la admisión hasta el escape son: difusor de admisión, cámara de combustión, y tobera de escape.

Es entonces un sistema muy simple que funciona de manera continua: el aire, que es sometido a una gran presión (debido a la gran velocidad del supuesto avión) entra por el difusor de admisión del estatorreactor en donde se encuentra un espacio más reducido, por lo cual su presión y su temperatura aumentan de manera considerable, el siguiente paso es el de la combustión de todo ese aire, este proceso se ejecuta en la cámara de combustión, donde se encuentran una serie de inyectores que se encargan de expandir el combustible finamente atomizado de manera continua, cuando el combustible y el aire se encuentran en la cámara de combustión, el siguiente paso lo realiza una serie de bujías encargadas de encender la mezcla, este paso llamado combustión como en la mayoría de motores desprende una gran cantidad de calor (700 grados C. a pesar de su refrigeración), por lo que es necesario un recubrimiento cerámico especial para las paredes del estatorreactor. Finalmente la mezcla final sale a gran velocidad por la tobera de escape, la cual puede ser de dos distintas maneras según se necesite; estas pueden ser: convergentes o divergentes.

La principal diferencia entre estos dos, radica en que el primero es utilizado para la propulsión subsónica mientras que el segundo lo es para velocidades supersónicas.

Por lo tanto la principal aplicación del estatorreactor es la de propulsión adicional, después de haber adquirido la velocidad que el estatorreactor requiere para su funcionamiento.

## **2.2 PULSORREACTORES**

Los pulsorreactores también son motores a reacción, en realidad los pulsorreactores son muy parecidos a los estatos ya que estos también carecen de compresores, turbinas y otros. Es tan grande la similitud entre estos dos que la principal diferencia radica en el interior de estos. Como ya se comentó anteriormente los estatos tienen un funcionamiento continuo, no se pueden más que encender o apagar según la alternación con los otros equipos a reacción (ya que un estatorreactor no es más que un equipo auxiliar), como decíamos los estatos funcionan de manera continua mientras que los pulsorreactores disponen de unas válvulas en su interior que permiten ejecutar la combustión de manera intermitente a impulsos de alta frecuencia. Muchos son los que creen que este sistema de intermitencia aumenta la potencia y el rendimiento del motor gracias a su incremento de presiones en el interior, si es cierto, aunque también lo es que ese aumento es mínimo y que aparte de esto estamos hablando de un motor con más componentes mecánicos móviles que los estatos, por lo tanto el riesgo de averías mecánicas también aumenta.

## **2.3– TURBORREACTORES**

Los turborreactores son motores pertenecientes al grupo de las turbinas de ciclo abierto, con la única diferencia que para llamarse turborreactor es indispensable que en él se encuentre un compresor o turbocompresor, de ahí viene su prefijo turbo, hecho que ocurre también con muchos de los coches con motores sobrealimentados.

En la actualidad los turborreactores no solo se han incorporado a la mayor parte de los aviones militares, sino que cada vez este se está utilizando de mayor forma en aviones de pasajeros, llamados también aviones civiles.

Los turborreactores son pues unas máquinas de increíble rendimiento aunque también tienen sus pequeños defectos, por ejemplo la deficiencia más notable de estos consiste en la insuficiente potencia en el despegue, hecho que ocurre también en los motores de turismos con turbocompresores fijos: (falta de potencia a bajas revoluciones). Para remediar este inconveniente se recurre al sistema de postcombustión, sistema que se estudiará con detalle más adelante.

### **2.3.1– TIPOS DE TURBORREACTORES.**

Actualmente podemos diferenciar hasta ocho tipos diferentes de turborreactores.

Se diferencian entre sí primeramente según sea su flujo, ya que este puede ser único o doble, dentro de cada uno de estos, se pueden diferenciar también según el número de compresores utilizados: simples o dobles, y finalmente se dividen esos ocho grupos según el tipo de compresor utilizado y la disposición de este.

La principal diferencia entre los reactores de flujo único y los de doble flujo es que en los turborreactores de flujo único, *todo* el aire que entra en el motor se le somete a compresión, y después a una combustión parcial, expansionándose en las turbinas, para captar la energía necesaria para mover el compresor. Mientras que en los de doble flujo solamente *una parte* del aire que penetra en el motor se le aplican las mismas transformaciones que en turborreactor de flujo único. La otra parte del aire absorbido no es sometido a combustión, acelerándole únicamente por la acción de los álabes de un compresor, consiguiendo un aumento de empuje con la variación de la cantidad de movimiento obtenida.

### **2.3.2 CICLO DE FUNCIONAMIENTO**

El ciclo de funcionamiento de un motor es una de las características más destacadas de este, ya que es aquí donde se puede apreciar su rendimiento en cada una de sus fases.

El proceso a que se somete al aire y al gas aire–combustible para funcionamiento de turbinas de gas y turborreactores corresponde al ciclo de Brayton :

–Compresión adiabática

–Combustión a presión constante

–Expansión adiabática.

A continuación se presenta el ciclo de un turborreactor estándar de un solo compresor axial:

0–I.– Compresión del aire en el difusor de entrada, debido a la presión dinámica proporcionada por el movimiento relativo motor/aire.

I–II.– Compresión del aire en el compresor, mediante la aplicación del trabajo mecánico proporcionado por la turbina.

II–III.– Combustión a presión teóricamente constante y, realmente, a presión menor que la de final de compresión, debido a las pérdidas por fricción.

III–IV.– Expansión del gas en la turbina o turbinas, captando su energía, que se aplica para mover el compresor.

IV–V.– Expansión del gas en la tobera de salida, aumentando la velocidad del gas, apareciendo un gran incremento de la cantidad de movimiento que produce en empuje.

Aquí podemos encontrar el gráfico del ciclo completo que se ha descrito anteriormente.

### **2.3.3 ESPECIFICACIONES**

Podemos considerar como especificaciones de un turborreactor, aquellas características que definen su configuración, y diferencian cada uno de estos.

A continuación se subrayaran las características más importantes y se definirán brevemente:

–Tipo de motor: define si el motor es turborreactor puro, de doble flujo o turbohélice.

–Modelo: se refiere a las variantes sobre el motor básico, la incorporación de mejoras, etc.

–Características básicas: se especifica el tipo de compresor, así como el número de estos, el número de escalones, el número de álabes de cada cascada, y la forma de sujeción de los álabes al tambor del rotor. Se indican también el número de turbinas que mueve cada compresor, el número de ejes coaxiales, el tipo de cámara de combustión, las dimensiones del motor y en definitiva lo más importante en cuanto a mecánica se trata.

–Materiales: de que están hechas todas y cada una de las partes del motor.

–Control de combustible: se expresa si esta unidad es del tipo hidromecánico o electrónico.

–Extracción de energía neumática: esta especificación indica en qué escalón o escalones del compresor puede extraerse aire para ser utilizado como energía neumática para el avión.

–Sistema de encendido: se indica el sistema de la fuente de energía eléctrica para el encendido.

## **3– PARTES FUNDAMENTALES DE LOS TURBORREACTORES**

Las diferentes partes las cuales componen los motores a reacción, van a ser estudiadas en este apartado en el que vamos a entrar en detalle sobre el funcionamiento de todas y cada una de ellas.

### **3.1– DIFUSORES DE ADMISIÓN**

El sistema de admisión de aire en un motor a reacción ha de cumplir un requisito indispensable, la correcta canalización del flujo de aire hacia el compresor, eso sí, este flujo de aire debe estar libre de distorsiones, con estabilidad y siendo capaz de transformar la mayor parte de energía cinética en energía debida a la presión. Una de las características muy importantes de los difusores de admisión es la forma del conducto de admisión que a la vez depende de la situación del motor en el avión, siendo las de mejor rendimiento las de secciones rectas hacia el eje de motor, esto es, sin cambios de dirección, aunque esto es muchas veces difícil de lograr en casos como los de dobles conductos de admisión.

Al igual que pasa entre los turismos normales y los turismos de competición, las entradas de aire variarían de manera considerable. Esto mismo ocurre en los aviones, según estos estén capacitados para velocidades subsónicas o por lo contrario supersónicas.

Difusores subsónicos: puede obtenerse un alto valor de rendimiento de admisión, si las pérdidas por fricción en las paredes del conducto y la separación del flujo de aire dentro de él son mínimos.

Difusores supersónicos: en el caso del difusor supersónico, el requisito indispensable y que lo hace diferente a los otros tipos de difusores, es que el conducto ha de ser convergente en la entrada y divergente en el momento en que la velocidad del aire dentro del conducto es igual a Mach 1 ( $\text{Mach } 1 = 1024 \text{ kms/h}$ ). Aunque el rendimiento incrementa bastante más si se utiliza un conducto de admisión de geometría variable, tipo de conducto que se está poniendo muy de moda entre la nueva generación de turismos (de cuatro ruedas).

En la mayoría de los casos los conductos de admisión están diseñados por los fabricantes de los aviones y no por los de los propios motores, cosa que dificulta la elección de un determinado motor para un determinado modelo de avión y que dificulta aún más las cosas para los ingenieros, tanto de una como de otra parte.

### **3.2– COMPRESORES**

Otra de las partes que componen los turborreactores son los compresores, que por cierto son los encargados de dar el prefijo a la palabra *turborreactores*.

Un compresor es un aparato, máquina, que como su propio nombre dice, se encarga de comprimir el aire o cualquier otro gas. Por lo tanto lo que hace es reducir el espacio de este y incrementar su presión y temperatura (aunque muchas veces es esto último lo que se intenta evitar).

De compresores los hay de diferentes tipos, medidas, materiales, capacidades, etc., pero los más utilizados en la industria aeronáutica actualmente son dos: los llamados centrífugos y la axiales.

#### **3.2.1– CENTRÍFUGOS**

Los compresores centrífugos fueron los primeros utilizados en los motores a reacción, tanto en los modelos ingleses como en los americanos, ya que su relativa ligereza y facilidad de fabricación era y es compatible con la gran masa de aire que pueden llegar a comprimir cuando la elevación de presión exigida no es muy elevada.

Este tipo de compresores está formado principalmente por tres componentes: el rotor, el difusor y el colector. El rotor está montado sobre un eje, y el conjunto está cerrado en un cárter. Por una parte el aire tiene su entrada a este en el difusor y después de haber pasado por el espiral que supone el rotor sale a diferente presión por el colector. El hecho de que el aire se comprima es debido a que al girar el rotor, su gran velocidad arrastra el aire por la acción de la fuerza centrífuga hacia la periferia (de ahí su nombre), apareciendo así un incremento de presión, velocidad y temperatura.

A continuación se puede observar con detalle la configuración de un compresor centrífugo.

#### **3.2.2– AXIALES**

Los compresores axiales, por su configuración, elevado rendimiento y facilidad de acoplamiento de varios escalones, han adquirido un gran desarrollo en la técnica de la propulsión a reacción, y de ellos han partido multitud de variantes: compresores axiales sencillos, compresores axiales dobles, turbocompresores para motores de doble flujo en disposición serie o paralelo, etc...

La principal diferencia respecto al compresor centrífugo es, que en el axial la corriente de aire sigue una

dirección sensiblemente paralela al eje de rotor; la velocidad radial es nula puesto que el radio de la salida y entrada del rotor es de iguales dimensiones.

Los compresores axiales distan también de los centrífugos en el número de partes que están compuestos; en el caso de los axiales solo son dos el número de componentes básicos: el rotor y el estator o difusor.

Su funcionamiento es un tanto diferente respecto a el compresor centrífugo.

Debido a la rotación de la cascada de alabes del rotor, el aire adquiere una velocidad tangencial la cual proporciona un momento cinético respecto del eje del rotor mediante el cual se comunica un trabajo al aire para la elevación de presión.

A continuación se puede observar con detalle la configuración de un compresor axial.

### **3.3– DIFUSOR POST–COMPRESOR**

Es la parte del motor comprendida entre la descarga de aire del compresor y las cámaras de combustión. La misión fundamental de este difusor consiste en reducir la velocidad de salida del aire del compresor, para facilitar la atomización del combustible con el aire en las cámaras.

La reducción de la velocidad se produce de manera espectacular en los motores provistos de compresores centrífugos, ya que el aire que sale del compresor debe cambiar en 90 grados la dirección de la velocidad. Sin embargo en un motor provisto con uno o unos compresores axiales, el difusor difiere de forma según que la cámara de combustión sea: única, formada por unidades aisladas, cámara múltiple, o de flujo reversible.

El aspecto de este difusor suele recordar al cárter del compresor de sobrealimentación en un motor alternativo.

### **3.4– CÁMARAS DE COMBUSTIÓN**

En las cámaras de combustión se produce el llamado ciclo de combustión.

Dichas cámaras están compuestas de una serie de partes:

El núcleo de las cámaras, que está recubierto interiormente por un material cerámico, el cual protege la parte exterior del núcleo, realizado normalmente de metales de gran resistencia.

Inyectores: están repartidos por las paredes del núcleo, de forma que estos puedan repartir el combustible uniformemente en todo el espacio

Llama: en la mayoría de las cámaras, la llama es el sistema más utilizado para encender la mezcla. Consiste en un tubo de material muy resistente a el calor, la punta del cual expulsa una llama de manera continua.

El proceso por el cual el aire se ve obligado a pasar es el siguiente:

El aire sale del compresor a alta presión y velocidad. Velocidad que pierde al pasar por el difusor del compresor, de manera que entra a la cámara de combustión con mucha presión pero con no muy alta velocidad. Una vez dentro el aire se mezcla con el combustible expulsado por los inyectores, seguidamente se enciende automáticamente a causa del calor desprendido por la llama.

Finalmente podemos decir que los motores pueden ir dotados de diferentes cámaras de combustión: por una parte puede estar dotado de una sola cámara de tipo anillo abarcando toda la sección del motor, o de un número determinado de pequeñas cámaras cilíndricas distribuidas radialmente formando un círculo. Dentro de

este segundo grupo se pueden diferenciar más tipos de cámaras, aunque son realmente complicadas de explicar.

### **3.5– TURBINAS**

Las turbinas son elementos situados a la salida de la/s cámara/s de combustión que aprovechan parte de la energía cinética de la mezcla expulsada. De manera que si la turbina es solidaria con el mismo eje del compresor esta da una ayuda extra a la hora de comprimir el aire, por lo que cada vez el compresor irá más rápido y consecuentemente lo hará todo el grupo mecánico.

Las turbinas están formadas por una serie de alabes, el número tamaño e inclinación de estos dependerá de los resultados que se quieran obtener.

Estos alabes giran a grandes velocidades, por lo cual suelen vaciar su interior de modo que estos tengan una correcta refrigeración.

En el dibujo se puede apreciar claramente la disposición de los elementos turbina–compresor, y el eje central que los comunica.

### **3.6– TOBERAS DE ESCAPE**

La tobera de escape es el último de los componentes, podríamos comparar las toberas con los tubos de escape de un motor alternativo.

Su función, principalmente, es la de evacuar los gases de salida lo más veloz posible. Aunque no lo parezca, la forma de estas es realmente importante para el funcionamiento global del equipo, siendo las toberas que expulsan los gases a mayor velocidad las más eficientes.

Por lo tanto, como ya se ha dicho, las toberas de escape pueden tener diferentes formas, aunque eso si, siendo las convergentes las más utilizadas. A continuación veremos los principales tipos de toberas convergentes:

Tobera tipo *Clamshell*: el mayor o menor giro de las compuertas sobre las charnelas de sujeción produce la variación del área de salida.

Tobera anular: la diferente posición del anillo perfilado constituido por sectores unidos articulados entre si produce la variación del área de salida.

Tobera de cono central: el desplazamiento axial del vértice del cono produce la variación del área de salida.

Tobera tipo Iris: el cono de salida adopta forma troncocónica por la diferente posición de unas compuertas situadas en forma circunferencial.

Actualmente, en el mundo de la aeronáutica, el tipo de toberas más utilizado es una mezcla en convergencia y divergencia, aunque también se está experimentando con sistemas de tobera direccional, la cual cosa ayudaría bastante a las alas en el viraje.

Otra de las funciones de la tobera puede ser también la de freno aéreo, ya que en los turborreactores dotados de doble flujo, se puede utilizar el flujo secundario como empuje inverso, o podríamos llamarlo freno aéreo.

## **4– SISTEMAS AUXILIARES DEL MOTOR**



En todo turborreactor se encuentran una serie de elementos que ayudan a este a funcionar debidamente; estos son los llamados sistemas auxiliares. Entre estos, podemos encontrar el sistema de arranque, el sistema de encendido, el sistema de lubricación, el sistema contra el hielo en la admisión, el sistema de refrigeración e incluso el sistema contra incendios.

Sistema de arranque: este sistema es el encargado de hacer girar el rotor de tal manera que este adquiera velocidad y así se pueda empezar el ciclo.

Para hacer girar todo el grupo desde cero, es necesaria bastante potencia, potencia que será proporcionada según el empuje necesario requerido. Siendo necesarios 100CV para un empuje de 5000Kg.

Este trabajo puede ser realizado por tres elementos distintos, estos son:

motores eléctricos, turbinas de aire o turbinas de gas.

*Motores eléctricos:* estos son alimentados por corriente continua con doble excitación del sistema inductor, en serie y en paralelo con la red de corriente aplicada, esto es, del llamado tipo compound.

Con este sistema se pueden llegar a desarrollar hasta unos 60CV utilizando 110V.

*Turbinas de aire:* el sistema está formado por una turbina movida por la energía del aire que es soltado por un acumulador neumático.

Las turbinas utilizadas en el sistema son axiales, y por consiguiente, se tiene alto rendimiento a gran velocidad.

*Turbinas de gas:* en este sistema se utiliza gas en vez de aire atmosférico comprimido, también se diferencia al anterior puesto que este último dispone de compresor centrífugo. La potencia generada por el conjunto es ligeramente superior al de turbinas de aire.

Sistemas de encendido: este sistema es el encargado de encender la mezcla en la cámara de combustión. Actualmente se conocen dos tipos de encendidos:

–Sistema de fuente de alimentación de corriente continua y de gran cantidad de energía eléctrica.

–Sistema de fuente de alimentación de corriente alterna y de pequeña cantidad de energía eléctrica.

Estas son las principales características de cada sistema, como se puede apreciar, hay grandes diferencias entre los dos.

Sistema de lubricación del motor: el objetivo de la lubricación es el de disminuir el rozamiento entre las piezas mecánicas, mejorando el rendimiento del motor, evitando calentamientos localizados y reduciendo el desgaste entre las piezas.

Para conseguir los fines citados, es necesario suministrar una cantidad de aceite entre las piezas con rozamiento.

La lubricación de un turborreactor es relativamente más sencilla que la de un motor alternativo, ya que el primero dispone de más piezas móviles.

Los componentes de un sistema de lubricación de un motor a reacción son los siguientes:

–Depósito de almacenamiento de aceite.

–Bomba de presión.

–Filtros.

–Bombas de recuperación.

Sistema de protección contra el hielo en la admisión: es frecuente que en vuelos de alta altura, la temperatura exterior baje de los 0 grados centígrados, por lo el empuje de los reactores se ve afectado sensiblemente por la formación de hielo en la admisión, siendo los compresores axiales los más afectados por el hielo.

Para impedir la formación de hielo, se utiliza una solución muy simple que consiste en calentar el conducto de admisión con aire procedente del compresor.

El sistema antihielo reduce la masa de aire para reacción, y por consiguiente, también se reduce el empuje, por lo cual este sistema solo se deberá utilizar en momentos oportunos.

Sistemas de refrigeración: es quizá el sistema más importante del conjunto, ya que sin él no se podrían realizar trayectos superiores a unos pocos minutos. El objetivo del sistema es muy sencillo, refrigerar el turborreactor para contrarrestar las altas temperaturas que este puede llegar a alcanzar.

Normalmente se provee a los turborreactores de unas entradas de aire auxiliares, donde el aire que entra circula a través de unos conductos hasta las partes donde se necesita reducir la temperatura. En algunos casos, incluso los álabes son huecos en su interior para permitir esa refrigeración.

Sistema de protección contra incendios: la protección contra un posible incendio en un turborreactor, debe incluir las siguientes características:

–*Diseño para prevención del incendio en general:* deben aislarse cuidadosamente los conductos de combustible y aceite cerca de la zona caliente del motor, asimismo estos conductos deben estar aislados eléctricamente de la resta del avión, y ser resistentes al fuego.

Los conjuntos y carenados del motor deben disponer de drenaje para poder evacuar cualquier tipo de líquido inflamable.

–*Sistema detector de incendios:* El sistema detector de incendios está formado por varios detectores, normalmente dobles para así poder asegurarse que no hay falsa alarma a causa de vibraciones.

–*Sistema de contención del incendio, reduciéndolo a la zona localizada e impidiendo su propagación:* El carenado y conjuntos del motor deben estar provistos de chapas cortafuegos.

–*Sistema de extinción de incendio:* Los 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.

–*Detección de sobretensión:* Este es un sistema previo de posible incendio, y transmite la sobretensión en las zonas de descarga de ventilación del carenado del motor como un sistema normal preventivo de alarma.

Unidades de energía auxiliar (APU): las unidades de energía auxiliar están concebidas para arrancar los motores del avión, sin utilizar fuente de energía exterior y para suministrar el aire a presión para diferentes

utilizaciones, especialmente para el sistema de acondicionamiento de aire y para mover accesorios hidráulicos o eléctricos.

Para el arranque de las APU, se hace uso de un motor eléctrico, integrado en la misma unidad, para el cual la corriente eléctrica procede de las baterías del avión.

## **5– SISTEMAS DE INCREMENTO DE RENDIMIENTO**

En este apartado se puede comprobar la evolución tecnológica en el sector aeronáutico durante los últimos años. Sistemas varios, diseñados principalmente en los 80 y 90 que incrementan de manera notable las prestaciones de los turborreactores; o podríamos también llamarlo incremento de rendimiento.

Los sistemas de este tipo más conocidos son dos:

- El de inyección de agua; utilizado en la gran mayoría de turborreactores (tanto para uso civil como militar).
- La postcombustión; principalmente utilizado por los aviones militares.

### **5.1 INYECCIÓN DE AGUA**

Este sistema es utilizado en bajos regímenes de vueltas, por ejemplo en el despegue. Su finalidad es la de contrarrestar el efecto de disminución de empuje en días de elevada temperatura.

La inyección se puede dar en tres lugares distintos del turborreactor, estos son: la admisión de aire al compresor, la sección del cárter del difusor post-compresor, justamente antes de las cámaras de combustión, y por último en las mismas cámaras.

Los procedimientos de inyección se pueden llevar a cabo de manera individual o simultánea según se necesite.

La inyección en las cámaras de combustión, en donde el incremento de rendimiento es superior, se hace con una cantidad aproximada del 30% de metanol, y es entonces cuando el aumento de empuje se obtiene principalmente por el efecto de refrigeración del aire que atraviesa el motor.

En general, lo que se consigue con esta inyección es una refrigeración interior que permite reducir el trabajo necesario para generar igual empuje.

Pero este sistema no puede funcionar en todo momento, sino que solo es recomendable su uso en el despegue. Las razones son varias, aunque un poco difíciles de entender.

### **5.2 LA POSTCOMBUSTIÓN**

Su principio de funcionamiento es relativamente sencillo, aunque su uso no se hizo definitivo hasta mediados de los 80.

La postcombustión consiste en inyectar combustible después de la turbina en la tobera de salida, haciendo uso de un 75% en exceso de aire en el gas caliente de escape, portador de oxígeno sin quemar aún. Esta adición de calor aumenta la velocidad de salida de los gases y, por tanto, el empuje.

El efecto en el ciclo termodinámico, representado en el diagrama presión/volumen, es el de una fase adicional de combustión a presión constante, representada por la línea VII–VIII, dando como resultado un incremento de la energía obtenida en el ciclo representado por el área de la zona rayada de la figura.

La combustión se utiliza en cortos periodos de tiempo, normalmente para incrementar el empuje al despegue y así acortar la longitud de la pista.

Se utiliza en cortos periodos de tiempo porque el consumo de combustible aumenta de forma exagerada.

Exageradamente también aumenta el empuje final, llegando tranquilamente a aumentos del 60% respecto el empuje sin postcombustión.

A continuación se presentan dos diagramas sobre el efecto de la postcombustión en el consumo específico de combustible.

El principal inconveniente de la postcombustión, aparte de el gran consumo de combustible, es el de el incremento de temperatura en la tobera de escape, por lo que es muy importante construir esta con materiales realmente resistentes al calor.

## **6- COMBUSTIBLES Y LUBRIFICANTES**

Sin este par de fluidos, hoy en día no se podría viajar en la mayoría de transportes. Sin combustible, los motores no podrían funcionar; mientras que sin lubricantes lo harían por un espacio de tiempo muy reducido.

Los combustibles utilizados actualmente en el sector aeronáutico son combustibles derivados del petróleo y son principalmente dos: el keroseno y el JP-4. Realmente sus características térmicas son bastante parecidas:

–*Keroseno*: producto obtenido a partir de la destilación del petróleo en un porcentaje que oscila entre 0 y 100% en la gama de 177 a 266 grados centígrados, tiene un peso específico medio de 0,8363 y un poder calorífico de 10133 Kcal/Kg

–*JP-4*: se destila entre 66 y 260 grados centígrados, tiene un peso específico medio de 0,7523 y un poder calorífico de 10305 Kcal/Kg.

Aunque como ya se ha dicho anteriormente, son muy parecidos, el JP-4 supera por muy poco al Keroseno, ya que el primero pesa menos y quema mejor, aunque se necesita más calor para su destilación.

Actualmente se están estudiando nuevos combustibles como el Keroseno sintético (que creo que ya se esta utilizando), el Metano líquido y el Hidrógeno líquido. Aunque estos dos últimos serían más apropiados para el sistema a reacción llamado cohete, que aquí no hemos estudiado.

Esta es una tabla con las diferentes características energéticas de combustibles para motores a reacción.

Los lubricantes son el otro de los fluidos importantes para el buen funcionamiento de un motor a reacción.

Si bien en un principio se utilizaron los mismos, lubricantes que en un motor alternativo, el progresivo desarrollo de los motores a reacción, obteniendo mayores empujes, temperaturas y presiones, han conducido a la fabricación de lubricantes cuyo punto de inflamación se encuentra por debajo de las temperaturas a que se encuentran las partes lubricadas.

*\*(Se entiende por punto de inflamación aquella temperatura a la cual la cantidad de vapor emitido es lo suficiente para formar una mezcla de combustible/aire por encima de la superficie de aceite, y que es susceptible de arder con una chispa momentánea.)*

Se utilizaran principalmente dos tipos de aceites para lubricar el motor, los de baja viscosidad para vuelo a

gran altura y bajas temperaturas, y los de baja volatilidad para bajas condiciones de presión junto a altas temperaturas de funcionamiento.

## **7– CONCLUSIÓN**

En conclusión, podemos afirmar que en los últimos años el gran avance tecnológico desarrollado en los países industriales ha hecho posible, en gran parte, la modernización de estos aparatos, los reactores.

No obstante, la evolución de estos también se debe al estudio realizado por ingenieros especializados en materias periféricas, como pueden ser: aerodinámica, termodinámica, etc., las cuales han ayudado a mejorar, en general, el rendimiento global de estos motores.

Gracias al motor a reacción hoy en día se puede transportar cualquier objeto a la otra punta del globo en menos de veinte horas. Así que este se ha hecho indispensable en la sociedad actual, de tal manera que siempre que miramos al cielo vemos esa marca rasgada que no solamente nos indica el paso de un avión, si no también el de un siglo, el de la propulsión a reacción.

## **8– BIBLIOGRAFÍA**

\*CUESTA ÁLVAREZ, MARTÍN

*Motores de Reacción*, octava edición

Editorial Paraninfo

Madrid, junio de 1995

738 páginas

\*Fascículos 1y 2 colección *Aviación*

RBA Coleccionables

Barcelona, 1998

\*Fascículos del 1 al 35 colección *Aviones de guerra*

Planeta–DeAgostini

Barcelona, 1995