

FUERZA AEREA DE CHILE VIRTUAL

Propulsores y Motores.

En este capítulo se explicarán en forma básica, y sin entrar en detalles, los motivos físicos por los que vuela un avión. Puede ocurrir, que para explicar determinadas circunstancias de vuelo sea necesario profundizar más en algún tema físico, de ser así ese tema será tratado especialmente en ese momento.

Contenido Propulsores

:

Hélices

Termodinámica, Ley de los gases perfectos y transformaciones

Funcionamiento de motores a pistón (ciclo Otto 4 tiempos)

Sistemas anexos del motor a pistones

Instrumentos relacionados con motores a pistón

Mandos relacionados con los motores a pistón

Control y manejo de los motores a pistón

Funcionamiento de turbinas de gas, turbo reactores, ciclo de Brayton

Tipos y clasificación de reactores

Sistemas anexos de los turbo reactores

Instrumentos relacionados a los turbo reactores

Mandos relacionados a los turbo reactores

Uso, manejo y control de los turbo reactores

Generalidades sobre turbohélices

Tipos de combustibles

QUAM CELERRIME AD ASTRA

Advertencia

La información que aquí se brinda está basada en la realidad. El conocimiento de la misma no es habilitante para volar realmente, solo se brinda a título informativo para uso exclusivo en simuladores de vuelo, y no debe ni puede ser aplicada fuera de ese contexto. Si desean aprender a volar en la realidad, solo podrán hacerlo en las entidades habilitadas para tal fin (Aeroclubes, Fuerza Aérea, etc).

Propulsores.

Como se dijo anteriormente, un avión para volar necesita una fuerza de empuje para vencer la resistencia del aire.

Este empuje es obtenido a través de sus motores, y de las características del mismo variarán las capacidades de la nave. Por ejemplo, de la potencia "extra" del motor dependerá la capacidad de ascenso. Explicándolo mejor diremos que, de la totalidad de la potencia de el motor, solo se emplea una parte para mantener el avión en vuelo nivelado a una velocidad determinada; si se desea iniciar un ascenso y no perder velocidad, se emplea el resto de potencia para lograrlo, cuanto más potencia esté disponible mayor puede ser la tasa de ascenso.

Esto es muy importante tenerlo en cuenta cuando se vuelan pequeños bimotores, pues en caso de plantarse uno de ellos, el restante utilizara casi la totalidad de su potencia para mantener el vuelo nivelado, haciendo imposible un ascenso, en algunos casos a duras penas se lo logra nivelar.

Se ven dos grandes grupos de naves según la clase de propulsión que utilizan, las de hélices y los reactores.

Las naves equipadas con hélices utilizan dos clases de motores a pistón y turbohélices. El primero de los motores de los más antiguos y utilizados.

Según con los tiempos en que realiza un ciclo completo se clasifican en dos y cuatro tiempos y por el tipo de ciclo en OTTO (nafteros) y DIESEL (gasoleros).

Los utilizados en aeronáutica casi con exclusividad son ciclo Otto de cuatro tiempos.

Los segundos constan de una pequeña turbina, encargada de mantener girando el eje principal asociado a la hélice.

Los reactores, no poseen hélices, en cambio la propulsión la consiguen por el principio de acción y reacción, es decir impulsan gases a alta presión y velocidad en un sentido, reaccionando con una fuerza igual pero de sentido contrario que

empuja el dispositivo y lo que esté asociado a él. Estos dispositivos son conocidos como turbinas y según su funcionamiento se clasifican en turborreactores, estatorreactores, turbofan, etc.

Este es un breve pantallazo sobre los tipos de motores utilizados en aeronáutica, a continuación veremos más detalladamente cada uno de ellos, su utilización, control, funcionamiento, etc.

Hélices

La propulsión en las aeronaves se puede lograr por la utilización de dos métodos diferentes, una turbina que empuja al avión o por hélices. Estas últimas generan propulsión en los aviones, mientras que en los helicópteros proporcionan además sustentación y control de actitud, ladeo y guiñada.

Están formadas por aspas o palas unidas en el centro, en aeronáutica se utilizan desde dos hasta no más de cuatro aspas. Independientemente de su cantidad, podemos clasificarlas en dos grupos, de paso constante y de paso variable o más conocidas como de velocidad constante.

Para explicar que es el paso imaginemos que una hélice es como un tornillo con la capacidad de "enroscarse" en un fluido, en este caso el aire.

El paso define cuánto avanza un tornillo por cada vuelta completa y este valor es la distancia que existe entre dos filetes de rosca consecutivos (fig 1). Se lo indica en milímetros para roscas métricas o en cantidad de filetes por pulgada para roscas Whitworth.

fig 1: El paso, tanto en hélices como en tornillos define cuánto avanza por cada vuelta.

Si se rectifica una vuelta del tornillo, es decir que se cortara la superficie y se la aplanara, se tendría un triángulo (fig 2), en donde el ángulo formado por su lado

de base y la hipotenusa determina el paso, cuanto mayor sea este ángulo mayor será el avance representado por el cateto opuesto. Lo mismo rige para las hélices.

fig 2: Una vuelta completa de la rosca de un tornillo rectificado, a mayor ángulo del filete, mayor paso, mayor avance.

Para ser exactos el funcionamiento de una hélice dista mucho de ser el de un tornillo. Por el perfil de las aspas veremos que es muy similar al de un ala y se aplican los mismos principios que para esta (Bernoulli), sugiero ante dudas repasar el tema "sustentación en alas y hélices" en el capítulo de física.

Al girar, en las aspas aparecerá una diferencia de presión que como en un ala se traduce en una fuerza con una magnitud y un sentido determinado.

Entre la dirección de giro y la cuerda del aspa se forma un ángulo (ángulo de ataque), que determina cuánto va a avanzar la hélice, es decir el paso. A mayor ángulo, mayor paso, mayor avance y viceversa (fig 3).

fig 3: Variación de la fuerza según el paso.

Las hélices generan fuerzas y depende de si giran en un plano vertical u horizontal proveerán tracción como en un avión o sustentación como en los helicópteros.

En general las aeronaves equipadas con motores de más de 180 CV están equipadas con hélices de paso variable, mientras que para los menores suelen utilizarse paso fijo. De tener paso variable o fijo dependerá el manejo del

acelerador del motor, puesto que en las primeras el paso es controlado y regulado por el piloto y esto será importante a la hora de acelerar o desacelerar el motor para ascender o descender, siempre y cuando no se quiera sufrir daños en la nave.

Ante un fallo en vuelo por el cual deba pararse un motor, en el caso de aviones multimotores, para disminuir la fricción algunas hélices pueden tener la capacidad de ponerse "en bandera", esto es con la cuerda de las aspas perpendiculares a la dirección de giro.

Por último digamos que, existen severas limitaciones aerodinámicas y físicas tanto para la cantidad de palas (no más de cuatro) como para su velocidad de giro que no supera las 3000 rpm. aunque alguna vez hubo algún desarrollo especial que superar esos problemas.

Termodinámica, ley de los gases perfectos y transformaciones.

Es costumbre explicar el funcionamiento de los motores desde un punto de vista mecánico, empero en realidad los motores son máquinas térmicas y su estudio y cálculo se hace desde un punto de vista termodinámico, mientras que el análisis mecánico hace referencia a las características constructivas.

La termodinámica es una especialidad de la física que como su nombre lo indica, estudia la dinámica del calor y principalmente la reacción de los gases ante cambios determinados de este. No es una ciencia muy difundida entre el común de la gente (no relacionada con carreras técnicas industriales) siendo en ese aspecto más conocida la mecánica y también de más fácil interpretación.

A pesar de no ser tan difundida, resulta vital, pues como toda ley física, rige para todo el universo y de hecho el universo se rige por estas leyes, como ejemplo digamos que la atmósfera terrestre está constituida por gases el que está sometido a intercambio de calor y variaciones de presión, lo que le va a producir cambios, estos cambios siguen formulaciones y leyes termodinámicas, para no hablar del calor y su comportamiento, presente en todo el universo.

Uno de los avances más importantes en la termodinámica se dio en el siglo XVII momento en que el físico inglés Boyle y el francés Mariotte, tras experimentar con los gases llegan simultáneamente a determinar lo que se conocería como la ley fundamental de los gases perfectos y dice:

A temperatura constante el volumen de una masa de gas está en relación inversa a la presión a que se encuentra sometida.

En otras palabras es, si la temperatura es constante, a mayor presión menor volumen y viceversa, esto matemáticamente por las siguientes expresiones:

$$P \cdot V = R \cdot T$$

$$P = r \cdot R \cdot T$$

Donde P es la presión, V el volumen por mol, T la temperatura absoluta, R la constante de los gases perfectos, r la densidad.

En base a esto pueden establecerse las siguientes leyes:

A presión constante, el volumen de un gas es proporcional a la temperatura y la densidad será inversa del volumen y de la temperatura.

A volumen constante, la presión es directamente proporcional a la temperatura y la densidad inversa.

A temperatura constante, el volumen de un gas es inversamente proporcional a la presión y la densidad directamente proporcional.

A partir de aquí se siguieron estudios e investigaciones para determinar cómo varían los gases tras cambios de temperatura, presión, volumen, o varios de ellos simultáneamente dando origen a las transformaciones térmicas, que podemos resumirlas en:

Si en un recipiente cerrado tenemos un gas que bien puede ser aire a determinada presión y lo calentamos, si no se permite que varíe su volumen, se verá un incremento en la presión del mismo, esta es una **transformación a volumen constante**. Por otra parte si se realiza lo mismo pero se mantiene constante su presión, el incremento será de volumen (**transformación a presión constante**). ---si se permiten variaciones de presión y volumen según ciertos parámetros, se tendrá una **transformación adiabática**.

Si se tiene un cilindro conteniendo un gas, tapado con un pistón capaz de desplazarse hacia arriba y hacia abajo dentro del mismo, contruidos con materiales que no permitan la transferencia de calor, es decir que no es posible que se ceda o se absorba calor a través de sus paredes, y empieza a desplazarse el pistón de modo que comprima el gas, este reducirá su volumen, como es obvio se elevará la presión y además se calentará. Por el contrario si se expande el gas aumentará su volumen, disminuirá su presión y se enfriará.

Si en ningún momento se produjo transferencia de calor, es decir que el gas en el cilindro ni absorbe, ni cede calor se tendrá una **transformación adiabática**.

En otras palabras, las transformaciones que impliquen variaciones de volumen y presión sin producirse un intercambio de calor son **transformaciones adiabáticas**.

Estas son transformaciones puras en condiciones ideales, en la realidad existen pérdidas, por ende, estas transformaciones no ocurren de esta forma exacta, mezclados entre sí, dando lugar a las **politrópicas**.

En lo que respecta al cálculo y estimaciones de estas transformaciones, matemáticamente hablando, todas parten de las ecuaciones propuestas en la ley de gases perfectos, de allí su importancia.

No proseguiremos más con esta especialidad, pues no es objetivo de este curso explicar esta ciencia, que además es extensa, compleja y requiere una serie de conocimientos previos para poder entenderla. Esta breve explicación es un comentario para incentivar y orientar al alumno en la investigación y no quedarse con la explicación clásica acostumbrada y en general con errores de concepto.

Funcionamiento de motores a pistón (ciclo OTTO 4 tiempos).

La más común de las explicaciones del funcionamiento de estos motores se realiza desde un punto de vista netamente mecánico, empero como se dijo, el estudio y el cálculo de los mismos en cuanto a rendimiento, es puramente térmico.

Como verán el tema es complejo y requiere una serie de conocimientos previos de una especialidad no muy difundida entre el común de la gente, aquel que quiera podrá investigar el tema por su cuenta, puesto que existen numerosas monografías en internet.

Podemos recomendar [Monografias.com](http://www.monografias.com), allí encontrarán una muy buena cuyo autor es el Sr Alberto Lavín Maldonado, la dirección de la página es <http://www.monografias.com/trabajos/termodinamica2/termodinamica2.shtml>

Nosotros veremos el funcionamiento mecánico, con el que se explica en forma clásica y comentaremos la transformación térmica que interviene, esto es especialmente importante un uno de los tiempos (expansión) puesto que allí es donde más confusiones y errores se cometen.

En un motor encontraremos las siguientes partes principales:

- 1 - cilindro
- 2 - pistón o émbolo
- 3 - bujía
- 4 - válvula de admisión
- 5 - válvula de escape
- 6 - biela
- 7 - cigüeñal

En la parte superior del cilindro se encuentra alojada, la bujía, es la encargada de generar una chispa para provocar el encendido de la mezcla de combustible.

Además de las válvulas de admisión y escape que permiten la entrada y la salida de los gases quemados y por quemar.

Dentro del cilindro se desplaza el pistón en un movimiento alternativo (no uniforme), este es transmitido por la biela al cigüeñal que lo convierte en circular (no uniforme), el último es solidario al eje de salida del motor.

El pistón realiza carreras entre dos puntos, el punto muerto superior (PMS) que es el punto superior donde cambia de sentido el desplazamiento del pistón y el punto muerto inferior (PMI), idéntico al anterior pero en la parte inferior del cilindro. Los cuatro tiempos son:

Admisión: El pistón encontrándose en el PMS con la válvula de admisión abierta inicia su carrera hacia el PMI, simultáneamente ingresa la mezcla de aire y combustible a través de la válvula antedicha.

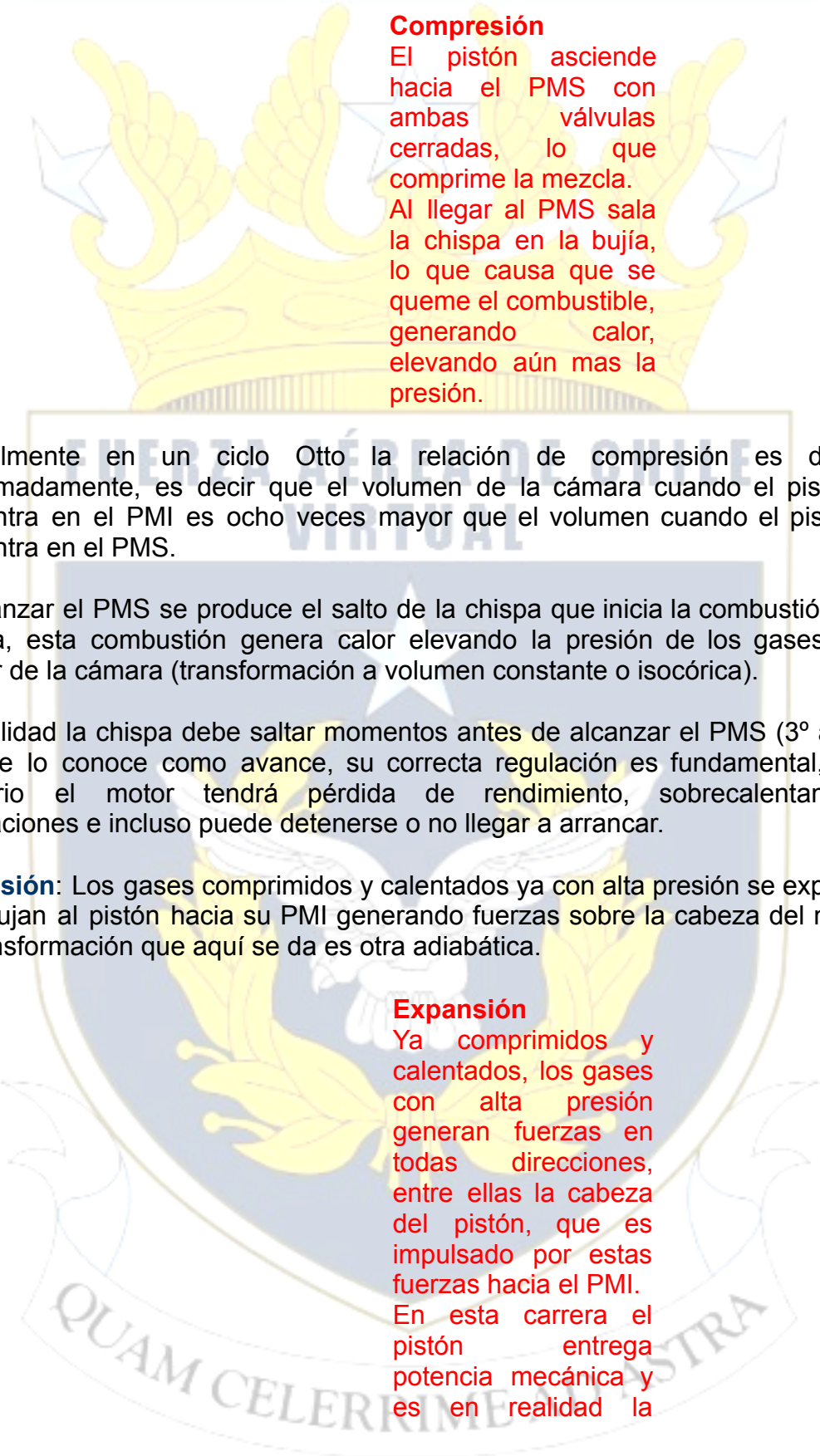
Admisión

El pistón desciende hasta el PMI, con la válvula de admisión abierta ingresa la mezcla de aire y combustible.

La carrera descendente del pistón provoca aspiración y una consiguiente depresión en los conductos de combustible (múltiple de admisión) facilitando el ingreso del mismo.

Al alcanzar el PMI la válvula de admisión se cierra y comienza el segundo tiempo.

Compresión: Ya cerrada la válvula y con la cámara del cilindro sellada herméticamente, el pistón comienza una carrera ascendente hacia el PMS comprimiendo la mezcla. (aquí se produce en teoría una transformación adiabática).



Compresión

El pistón asciende hacia el PMS con ambas válvulas cerradas, lo que comprime la mezcla.

Al llegar al PMS salta la chispa en la bujía, lo que causa que se queme el combustible, generando calor, elevando aún más la presión.

Normalmente en un ciclo Otto la relación de compresión es de 1:8 aproximadamente, es decir que el volumen de la cámara cuando el pistón se encuentra en el PMI es ocho veces mayor que el volumen cuando el pistón se encuentra en el PMS.

Al alcanzar el PMS se produce el salto de la chispa que inicia la combustión de la mezcla, esta combustión genera calor elevando la presión de los gases en el interior de la cámara (transformación a volumen constante o isocórica).

En realidad la chispa debe saltar momentos antes de alcanzar el PMS (3° a 5°) a esto se lo conoce como avance, su correcta regulación es fundamental, de lo contrario el motor tendrá pérdida de rendimiento, sobrecalentamiento, detonaciones e incluso puede detenerse o no llegar a arrancar.

Expansión: Los gases comprimidos y calentados ya con alta presión se expanden y empujan al pistón hacia su PMI generando fuerzas sobre la cabeza del mismo. La transformación que aquí se da es otra adiabática.

Expansión

Ya comprimidos y calentados, los gases con alta presión generan fuerzas en todas direcciones, entre ellas la cabeza del pistón, que es impulsado por estas fuerzas hacia el PMI.

En esta carrera el pistón entrega potencia mecánica y es en realidad la

única carrera que se aprovecha.

De las cuatro carreras que realiza el pistón esta es la única carrera útil, es decir que aquí es donde el pistón entrega energía, mientras que en las otras tres absorbe energía.

Escape: Al llegar al PMI se abre la válvula de escape, se produce el enfriamiento de los gases quemados en otra transformación a volumen constante.

Estando la válvula de escape abierta y el pistón en el PMI, este comienza su carrera ascendente empujando y expulsando los gases quemados, como es evidente en comparación con los conductos de escape (múltiple de escape) en el cilindro, la presión será levemente mas alta lo que facilita la salida de los gases.

Escape

Alcanzado el PMI, se abre la válvula de escape. El pistón comienza una carrera hacia el PMS expulsando los gases de combustión hacia el múltiple de escape. Cuando el pistón llega al PMS la válvula de escape se cierra (en realidad lo hace un poco antes) y comienza el ciclo nuevamente.

Al llegar al PMS la válvula de escape se cierra y se abre la de admisión dando comienzo a un nuevo ciclo.

Como puede intuir el movimiento transmitido por el pistón al cigüeñal no es uniforme o parejo, por ende el del eje de salida tampoco lo será. Para solucionar esto, al eje se le agregan masas inerciales (volante) que uniformará el movimiento.

Esta es la explicación clásica de los cuatro tiempos del motor. Estrictamente los tiempos no los definen las carreras del pistón sino el comienzo y final de las transformaciones térmicas.

Térmicamente las carreras de admisión y escape no se consideran tiempos sino que son carreras de llenado y vaciado del cilindro. Siendo así, el ciclo queda como, una carrera de llenado del cilindro, al que le sigue el primer tiempo que es la compresión (adiabática), una transformación isocórica donde se le agrega

calor a los gases llamada combustión(segundo tiempo), luego una expansión de gases con una transformación adiabática (tercer tiempo), seguida de otra isocórica (volumen constante) cumpliéndose el cuarto tiempo, finalizando el ciclo con una carrera de vaciado del cilindro (escape) para comenzar el proceso nuevamente.

En los motores suele haber varios cilindros, por lo general en cantidades pares, entonces se construyen para que los pistones de cada cilindro no se encuentren en la misma carrera o el mismo tiempo que los demás, es decir que no hagan lo mismo simultáneamente, así es menos crítica la compensación del movimiento por parte del volante inercial.

Según la disposición de los cilindros se los clasifica en, lineales, los que tienen los cilindros uno detrás del otro, en V, divididos en dos mitades posicionadas con forma de V, Boxer los que poseen cilindros opuestos y radiales si los cilindros están dispuestos en forma de estrella.

Por último digamos que el combustible utilizado es un hidrocarburo perteneciente a la familia de las naftas, con complejos procesos de refinamiento y enriquecimiento.

Sistemas anexos del motor.

Para funcionar correctamente el motor requiere la asistencia de varios sistemas anexos, a continuación veremos cuales son.

Distribución: Este mecanismo es el encargado de abrir o cerrar las válvulas en los momentos precisos.

La apertura de válvula se realiza por acción del árbol de levas, que es un eje al que se le practican protuberancias (levas), a veces este actúa sobre los botadores de las válvulas u otras acciona balancines que transmite el movimiento a la válvula correspondiente.

El árbol de levas es movido por el cigüeñal de forma tal que por cada dos vueltas de cigüeñal el árbol solo da una (relación 1:2). El mecanismo que realiza esta relación es llamado distribución y puede ser un tren de engranajes, cadenas, o correa dentada.

Lubricación: La lubricación tiene como fin reducir el desgaste y el rozamiento entre piezas móviles. El método consiste en interponer una fina capa de aceite entre las superficies de dos piezas que tengan movimiento entre sí.

Por lo general se utiliza el sistema de cárter húmedo, el carter o depósito de aceite se encuentra ubicado en la parte inferior del motor, el junta el aceite proveniente del motor.

Dentro del cárter se encuentra instalada la bomba de aceite, en la mayoría de los casos es una bomba de engranajes y es la encargada de impulsar el aceite por los conductos hacia el motor. Como el flujo depende de la velocidad del motor tiene incorporadas válvulas de alivio para evitar sobrepresiones.

En su circuito el aceite puede arrastrar suciedad, carbón y virutas metálicas, que además de ser perjudiciales para el motor reducen las capacidades del aceite como lubricante, para reducir este daño o incluso eliminarlo se intercala un filtro que debe ser cambiado con relativa asiduidad.

Por el funcionamiento de los motores de aviación otra función muy importante del aceite es la refrigeración. El movimiento entre dos piezas genera calor, el aceite al entrar en contacto con estas absorberá parte de ese calor enfriándose, luego es necesario enfriar el lubricante. Para lograrlo se lo hace circular por un intercambiador de calor (radiador) a través del cual pasa aire frío.

Una última función de la lubricación es la de disminuir y reducir la corrosión al quedar el elemento bañado en aceite.

Refrigeración: Sin dudas el mejor sistema de refrigeración para estos motores es por circulación de agua, aunque se usó en los primeros aviones a medida que estos aumentaron su altura de vuelo debió ser descartado.

La temperatura de ebullición del agua es de 100°C a nivel del mar con una presión atmosférica ideal, si la presión disminuye el punto de ebullición también lo hace, entonces cuando se alcanzaban grandes alturas el agua hervía a menor temperatura produciendo grandes pérdidas por evaporación.

El método utilizado actualmente es el de refrigeración forzada por circulación de aire, este consiste en forzar una corriente de aire a través de los cilindros ya sea por un ventilador (forzador o turbina) o por diferencia de presiones.

Generalmente en el interior del carenado del motor se colocan tabiques dividiendo la sección en dos mitades, la superior con alta presión y la inferior de baja presión, lo que genera una corriente de aire por diferencia de presiones, dicha corriente se la hace circular por las paredes del cilindro, enfriándose. En las paredes del cilindro pueden disponerse una serie de álabes para aumentar la superficie de contacto mejorando el rendimiento del sistema.

En los tabiques divisores del carenado por lo general suele haber unas compuertas o dampers de posición regulable para poder variar el flujo de aire permitiendo variar la capacidad de enfriamiento del motor.

Este sistema demostró ser muy eficaz, y su utilización no aumentó prácticamente la resistencia al aire de las naves.

Admisión: Impulsado por bombas desde los tanques el combustible llega al motor. Para un correcto funcionamiento es necesario dosificar las cantidades que van a cada cilindro además de mezclarlo con aire en las proporciones correctas.

Originalmente esto lo hacía el carburador. Es básicamente un tubo Venturi con capacidad de regular la cantidad de aire por la apertura o cierre de mariposas o clapetas de acuerdo a la cantidad de combustible utilizada.,

De este, la mezcla pasa al múltiple de admisión para finalmente entrar al cilindro, a la vista el múltiple de admisión es un tubo principal con varias salidas, una para cada cilindro, aclaramos que a la vista pues su correcto diseño es fundamental debido a que tiene la virtud o defecto de mejorar o empeorar el llenado del cilindro, mejorando o empeorando la potencia del motor, aunque en realidad en aeronáutica los múltiples tratan de diseñar lo más simples posibles, aún en detrimento del rendimiento final.

Dentro del múltiple tiende a producirse depresión por causa de la aspiración del pistón mientras que fuera del sistema o del carburador hay una presión mayor lo que facilita y permite el ingreso de combustible. El sistema es básicamente atmosférico y será afectado por la presión atmosférica, al ganar altura esta disminuirá y afectará la calidad de la mezcla debiendo regularse la riqueza de carburante para que el motor funcione sin mayores problemas.

Los motores más modernos cambiaron el sistema de carburador por el de inyección electrónica. Su función es la misma que la del carburador pero el control de las proporciones de aire - combustible es regulado y controlado en forma automática por el sistema. Para hacer esto el sistema mide en los gases de escape, la cantidad de oxígeno y monóxido de carbono a través de la sonda lambda, determinado si la combustión es completa o no, variando luego la entrada de mezcla.

Este sistema requiere la instalación de un inyector de combustible en la cabeza del cilindro, el aire ingresa por la válvula de admisión mientras que la nafta impulsada por una bomba ingresa pulverizada por el inyector, obteniéndose el llenado completo del cilindro.

Básicamente es un sistema presurizado y el más eficaz hasta el momento, no se ve tan afectado por condiciones atmosféricas externas como ocurre con los carburadores.

Encendido: Primeramente aclaremos que cuando se habla de encendido no nos referimos al arranque del motor sino al sistema encargado de iniciar la combustión dentro de los cilindros.

El combustible empieza a quemarse después del salto de una chispa en los electrodos de la bujía, para que esto ocurra debe haber tensión entre estos. Los

métodos por los que se obtiene son múltiples los más comunes son magnetos, bobinas - capacitor y electrónicos.

Si se hace variar un campo magnético cualquiera, que actúe sobre una bobina, en los extremos de esta última se tendrá tensión eléctrica, cuyos valores dependerán de la cantidad de vueltas de alambre en la bobina o devanado y de la velocidad con que varíe el campo magnético.

El campo magnético variable se puede obtener por ejemplo, haciendo girar un imán permanente (inductor) dentro de la bobina (inducido), otra forma es con un segundo devanado por el cual se hace circular una corriente variable, obtenida por la descarga de un capacitor sobre el dicho devanado.

El segundo método tiene el problema de no tener una chispa constante, esta empeora a medida que aumentan las rpm del motor debido a que el capacitor no tiene tiempo suficiente para cargarse completamente, por ende su descarga es pobre generando menos tensión y una chispa más débil. Este sistema fue muy usado en automóviles aunque hoy se lo está reemplazando por el encendido electrónico que supera este problema; pero ambos sistemas tienen la desventaja de ser dependientes de la energía que puede entregar la batería, una falla de esta o el alternador y el motor se detendrá.

En motores aeronáuticos se opta por el sistema de magnetos, estos giran dentro de un bobinado induciendo así la corriente necesaria. Los imanes son movidos por el mismo motor lo que independiza el sistema de encendido del correcto funcionamiento de la batería o el alternador, reduciendo las posibles fallas en el sistema. Presenta también la ventaja de no disminuir la chispa con un aumento en las rpm, pues al aumentar estas los imanes también giran más rápido mejorando la chispa aún más.

Para arrancar el motor es necesario primero conectar estos magnetos, luego accionar el starter, esto hará mover el motor por acción del motor de arranque (no es más que un motor eléctrico que hace girar al motor de combustión), a medida que estos giran, los magnetos también, generando las chispas en las bujías, empezando a funcionar el motor, una vez arrancado se suelta el starter dejando de funcionar el sistema de arranque y el motor se independiza finalmente del sistema eléctrico del avión.

Por seguridad se instalan dos sistemas de magnetos y dos bujías por cilindro (twin spark), esto último además de brindar seguridad trae la ventaja de hacer completa la combustión dentro del cilindro. Un selector en la cabina permite seleccionar si funcionan ambos, uno u otro.

Debe tenerse en cuenta que para parar el motor no basta con poner el encendido en OFF, es necesario también desconectar los magnetos, pues de no hacerlo si alguien hace girar la hélice, también girará el motor y los magnetos, pudiendo llegar a arrancar el motor.

Arranque: El sistema de arranque es sencillo, consta de una corona dentada (aro con dientes de engranajes en su perímetro externo) clavada en el volante inercial y de un motor eléctrico con un engranaje en su extremo más su sistema de acoplamiento (Bendix) llamado motor de arranque o burro de arranque.

Al accionar el starter el engranaje por acción del Bendix se acoplará a la corona y el motor de arranque comenzará a girar moviendo el eje del motor de combustión, al producirse las combustiones de la mezcla el motor empezará a funcionar por sí solo, allí se suelta el starter y el burro de arranque se desconecta y desacopla de la corona.

Los sistemas hasta aquí nombrados se encuentran en todos los motores y son necesarios para su funcionamiento. Pueden existir otros que no son comunes a todos los motores, algunos pueden tenerlos instalados por producir alguna mejora. Uno de los más comunes es el sistema de precompresión más conocido como turbocompresor, a continuación lo explicaremos.

Precompresión: El concepto de precompresión es muy antiguo, data de los primeros motores y se lo ve en autos deportivos de los años 1930 y 1940 como los Bugatti, aunque con notables diferencias si la comparamos con la de estos días.

El concepto es simple, en un motor normal el aire que ingresa al cilindro es posteriormente comprimido por el pistón, en cambio en uno con precompresión sufre dos compresiones. La primera fuera del cilindro, por un sistema anexo al motor destinado a comprimir el gas para luego ingresar a la cámara del cilindro donde el pistón realizará la segunda compresión. De esta forma la relación de compresión total es mucho mayor y por ende su potencia final, sin que prácticamente varíe el consumo de combustible, pero con esfuerzos y solicitudes sobre las piezas del motor mucho mayores.

Originalmente se utilizaron compresores a pistón (el aire es comprimido por un pistón como en un motor, al estar comprimido sale por una válvula que se abre). Estos eran movidos por el mismo motor. Si bien esta compresión le otorgaba potencia extra al motor, por otro lado, el compresor también le consumía potencia aunque la diferencia era favorable.

Con los años, los caballos extras que daba la diferencia entre potencia ganada y potencia consumida por el compresor pudo obtenerse por otros medios y mejoras en general, con la ventaja de la disminución de los esfuerzos sobre las piezas, haciendo injustificado, costoso y complejo el sistema, quedando finalmente en el olvido.

El concepto fue retomado pero con severos cambios, primero se reemplazó el compresor a pistón, por un compresor a turbina, con un rendimiento mucho más

alto. El segundo y más notable cambio se dio en la forma de mover este compresor.

En lugar de utilizar la energía útil del motor para mover el compresor como se hacía primitivamente, se utilizó la energía que no se aprovechaba, minimizando la pérdida de potencia útil del motor.

Gran cantidad de energía se encuentra en el escape de gases del motor, apenas una pequeña parte que se transforma en calor era y es utilizada para precalentar el combustible por entrar al cilindro, el resto se desperdiciaba, y de ella se echó mano. Para ello se intercala en el escape una segunda turbina, al ser atravesada por los gases de escape con alta presión la hacen girar. Esta es solidaria (está unida) a la turbina de compresión., que al girar comprime los gases para ingresar a la cámara de combustión.

Este conjunto de doble turbina es conocido como turbocompresor, al que se le puede agregar un intercambiador de calor (intercooler) en su salida de alta presión. Este enfriara los gases reduciendo su volumen, pudiendo de esa manera aumentar la cantidad total de gas que entra a cada cilindro.

Los turbocompresores hoy día son utilizados en motores Diesel que por lo general deben contar con mucha potencia disponible debido a que mueven grandes cargas o en ciclos Otto que necesitan también grandes potencias y contar además con una importante autonomía.

Instrumentos relacionados con los motores a pistón.

A continuación se detallan los instrumentos indicadores del funcionamiento de los motores a pistones que comúnmente encontraremos.

Amperímetro (Amp) : El amperímetro marca la carga o descarga del sistema eléctrico, más precisamente de su batería. Para ello el instrumento tiene dos escalas, una negativa y otra positiva, según muestra la figura.

El sistema eléctrico de una aeronave es el encargado de proveer la energía a instrumentos, iluminación, comunicaciones, arranques, etc. En los aviones grandes se recurren a equipos auxiliares para obtener dicha energía en tierra (APU), constan de motores a pistón que mueven los generadores encargados de obtener la electricidad necesaria para auxiliar a la nave, incluso el arranque de sus turbinas.

En un avión la energía es provista por baterías o acumuladores, para evitar que estos se descarguen por completo, la energía es repuesta por un generador

movido por el motor de la nave. Los niveles de tensión necesarios son controlados y regulados por sistemas anexos electrónicos o electromecánicos.

Como se dijo el instrumento marcará la descarga del sistema cuando la aguja se encuentre en la escala negativa y la carga o sobrecarga si la aguja se encuentra en la escala positiva. En funcionamiento correcto la aguja debe señalar 0 con una leve tendencia a la escala positiva.

Manómetro de aceite (oil press) : El manómetro de aceite mide la presión con que la bomba impulsa el aceite hacia el motor, si durante un vuelo nota que esta cae deberá pensar qué puede deberse a fallas en la bomba o pérdida de aceite, en estos casos deberá aterrizar a la mayor brevedad pues el motor se deteriora muy rápidamente hasta fundirse y plantarse. Puede ser también una falla en el instrumento en cuyo caso no tiene consecuencias sobre el motor. De todas formas las causas sólo pueden determinarse tras una revisión que desde luego, es imposible hacerla mientras el avión vuela por lo que deberá aterrizar lo antes posible.

En el caso un
instrumento doble:
OIL PRESS :
indica la presión de
aceite.
OIL TEMP : indica
la temperatura del
aceite.

Termómetro de aceite (oil temp) : Mide la temperatura del aceite, debe tenerse en cuenta que el aceite varía sus propiedades lubricantes con la temperatura, al elevarse demasiado perderá sus propiedades. Si nota un incremento excesivo de esta temperatura, aterrice cuanto antes, pues como en el caso anterior, el motor puede sufrir también severos daños.

Termómetro de cilindros (CHT) : Mide la temperatura en la cabeza de los cilindros, en realidad de uno de ellos, por lo general es el nº 4, esta temperatura variará con la calidad de la combustión.

Trabajando en combinación con el medidor de gases de escape nos da una idea de lo correcto o incorrecto de la mezcla.

Este son dos
instrumentos en
uno :
CHT
termómetro de
cilindros.

The background of the page features a large, faint watermark of the Fuerza Aérea de Chile crest. The crest is a shield with a blue field containing a white star and a white eagle with spread wings. Above the shield is a golden crown with two golden wings. The shield is flanked by two golden wings. The text 'FUERZA AÉREA DE CHILE' is written in blue capital letters across the top of the shield. Below the shield is a white banner with the Latin motto 'QUAM CELERRIME AD ASTRA' in blue capital letters.

EGT
termómetro de
gases de
escape

Termómetro de gases de escape (EGT) : Mide la temperatura de los gases de escape, en base a esto podemos determinar la calidad de mezcla necesaria y realizar los ajustes necesarios a medida que se gana altura.

Nivel de combustible (Fuel QTY) : Es un simple indicador de nivel de combustible dentro de los tanques.

Dos versiones de un mismo instrumento, uno de aguja con indicación lleno y vacío y otro digitalizado indicando consumo en miles de libras.

No está demás aclarar que habrá un indicador de nivel por cada tanque, incluso pueden ser digitales.

Flujo de combustible (Fuel Flow) : Miden la tasa de consumo de combustible de los motores. En general están calibrados en libras o miles de libras dependiendo el instrumento y consumo de los motores.

Otro instrumento doble en este caso :
PRESS MAN : mide la presión en el sistema de admisión .
FUEL FLOW : indica el consumo de combustible.

En los motores a inyección modernos indica la caída de presión en los inyectores.

Manómetro del colector (press man) : El manómetro de colector mide la presión en el sistema de admisión del motor. Permite tener idea de la potencia que se está manejando en cada momento, lo que resulta vital a la hora de tocar las regulaciones del motor a medida que se asciende o desciende, generalmente está graduado en pulgadas de mercurio.

Taquímetro (RPM) : Indica las cantidades de vueltas que da la hélice por minuto, eventualmente puede indicar las del motor. Se leen los valores en RPM (revoluciones por minuto).

Taquímetro

Mandos relacionados con los motores a pistón.

Conexión de magnetos y arranque:

A continuación se detallan los mandos que comúnmente encontraremos en Flight Simulator relacionados con la operación del motor y las hélices.

Aunque Flight Simulator entrega el avión con los motores encendidos, también da la posibilidad de apagarlos, daños, re-encenderlos y agotamiento o no de combustible, según se configure.

El primer mando que veremos es el "starter" que además de encender los motores controla la conexión de los magnetos (fig 1).

Fig 1: El starter que comúnmente viene en FS

En el starter de arriba puede verse las posiciones "OFF", una sección marcada como "MAGNETOS" dentro de la cual se observa "R","L","BOOTH"y finalmente la posición "START".

El starter maneja el sistema de encendido de las bujías en los cilindros y por supuesto el sistema de arranque. La posición OFF desconecta la alimentación eléctrica a las bujías, esto detendrá al motor. Cuando se desee apagar el motor no debe pasarse la llave a la posición OFF directamente, primero es necesario que agote el combustible el el sistema de admisión, para ello deben cerrarse los pasos de combustible se los hubiera o regular el mando de control de mezcla y esperar a que el motor se detenga, luego deben pasar el selector a OFF, esto evitará un encendido accidental si se girara la hélice.

Recordemos que el sistema de encendido de los cilindros está duplicado, es decir que hay dos bujías independientes alimentadas por dos circuitos de magnetos también independientes, la posición R habilita el encendido de la bujía derecha, la posición L hace lo propio con la bujía izquierda solamente, mientras que en BOTH ambas bujías tienen alimentación eléctrica y esta es además la condición normal de funcionamiento.

La posición START es la que da arranque al motor, es decir conecta el sistema de arranque haciendo girar el motor hasta que este entre en funcionamiento normal. Cuando ello ocurre al soltar el starter, el selector pasará a BOTH desconectando el sistema de arranque y quedando el motor en marcha.

Pueden aparecer otra variantes como ejemplo el utilizado en el panel de un bimotor en este caso un Piper Navajo (fig 2).

Fig 2: Arranque y encendido del panel de un bimotor Piper Navajo.

En el caso de arriba todo es manejado por teclas o pulsadores y existe un juego completo por cada motor. Veamos los controles para el motor izquierdo.

Tiene un interruptor que habilita (ON) o cierra (OFF) el paso del combustible al motor, luego dos teclas juntas marcadas como L y R cada una conecta o desconecta la bujía correspondiente, para que funcionen ambas las dos perillas deben estar en "ON" y finalmente el pulsador de arranque del motor, este al pulsarlo conecta el sistema de arranque por baterías del motor, al empezar a funcionar el motor debe soltarse el pulsador desconectando el sistema de arranque, previamente deben encontrarse en ON las teclas de control de las bujías y la de paso de combustible. Lo mismo ocurre con el motor derecho.

Control de acelerador, paso y mezcla:

Estos controles suelen presentarse en dos formas, la de perillas para tirar y empujar (fig 3) o las de palancas con corredera(fig 4), y siempre habrá un juego por cada motor

Fig 3 : Mandos a perillas

Fig 4 : Mandos de correderas de un bimotor

Esta es, salvo raras excepciones, la disposición de estos mandos. De izquierda a derecha encontraremos primero la palanca o mando del acelerador del motor (THROTTLE), generalmente de color negro. Con el pulsador completamente

apretado o las palancas hacia arriba (en realidad debería decirse hacia adelante) el motor tendrá su máxima velocidad, es decir acelerado a fondo. Por el contrario con las palancas abajo o la perilla hacia afuera el motor estará en ralentí.

Seguido del mando de acelerador y si el avión tiene hélices de velocidad constante se encuentra el control de la hélice (PROP), casi siempre de color azul. Cuando este mando está completamente metido o las palancas arriba, es cuando la o las hélices tienen la menor incidencia, es decir el paso más chico. A medida que se va tirando o bajando las palancas la incidencia aumenta (aumenta el paso) permitiendo reducir la potencia del motor para mantener la velocidad.

Para entenderlo comparemoslo con la caja de velocidades de un auto, en los cambios bajos (menor pasó) el auto necesita menos potencia para comenzar a moverse aunque desde luego no alcanzara grandes velocidades. A medida que se van subiendo los cambios (aumento del paso) el auto para mantener la velocidad utiliza cada vez menos RPM. Esto permite un mejor aprovechamiento de la potencia disponible, especialmente en motores grandes.

Finalmente a la derecha en color rojo el mando de control de mezcla de combustible (MIXTURE), este controla la cantidad de combustible que ingresa a los cilindros.

Los motores están diseñados para trabajar con una proporción determinada de aire y combustible, a medida que se asciende la densidad del aire disminuye, de no variar este mando la mezcla se enriquecería (demasiado combustible en relación con el oxígeno) originando baja temperatura en la cabeza del cilindro (CHT) mal funcionamiento y pérdida de potencia, es necesario entonces empobrecer la mezcla (reducir el combustible) para mantener la proporción adecuada, para ello tire del mando o baje las palancas gradualmente. Esto además permite ahorrar combustible.

Al descender la situación es a la inversa, debiendo enriquecerse la mezcla, para eso oprima el mando o suba las palancas siempre gradualmente.

Una mezcla demasiado pobre puede originar sobret temperatura en la cabeza de los cilindros y detonaciones, en casos muy extremos puede llegar a dañar el motor aunque esto en la práctica se demostró que es una rareza.

Con el mando completamente extraído o palancas completamente bajas la mezcla es extremadamente pobre a tal punto que se produce el corte de combustible, mientras que la máxima riqueza es con las palancas arriba o el pulsador metido a fondo.

Flaps de refrigeración :

Indicador y mando de los flaps de refrigeración.

En la imagen se observa el mando de manejo y el indicador de posición de las clapetas o flaps de refrigeración del motor.

Estas abren, cierran y regulan la cantidad y el paso de aire por el carenado del motor y que pasará por los cilindros para enfriarlos.

Uso, manejo y control de los motores a pistón.

Es cierto que Flight Simulator facilita el trabajo, pues, siempre entrega el avión con el motor en marcha y durante el vuelo el ajusta los controles de propulsores y mezcla automáticamente, por lo menos en su configuración más simple.

Si se desea algo más realista, usted deberá cambiar estos seteos previamente.

Al entregar el avión FS siempre lo entrega con sus motores en marcha, no obstante daremos una explicación rápida sobre el encendido.

Para arrancarlo no tendrá mayores problemas, recuerde reducir el paso de las hélices y enriquecer la mezcla, previa habilitación de los pasos de combustible, conecte también el alternador y la batería si el panel lo permite. Conecte ambos juegos de magnetos y después de arranque con los pulsadores correspondientes o llevando el starter a la posición "START", cuando el motor arranque suelte los pulsadores o el starter para que quede en la posición "BOTH"(ambos magnetos conectados).

En este punto y mientras calienta el motor es bueno realizar algunas comprobaciones por ejemplo el correcto funcionamiento de ambos circuitos de magnetos, para ello acelere levemente el motor y pase el selector de "BOTH" a "L" deberá notar una leve caída en las RPM luego vuelva a "BOTH", repita el procedimiento con "R" y con cada motor. Si no nota cambios en la revoluciones uno de los circuitos no está funcionando como debe.

La primera duda sobrevendrá con la hélice y como regularla, recuerde que equivale a las velocidades de un automóvil, la menor incidencia (menor paso) equivale a las marchas bajas, mientras que las mayores incidencias a las velocidades altas. Por ejemplo en un despegue le convendrá usar ángulo de

incidencia bajo en las aspas, de esta forma tendrá la máxima potencia disponible para el despegue y salvar una eventual emergencia.

Cuando vuele en crucero por ejemplo le convendrá aumentar el ángulo de las aspas, tirando hacia atrás del mando de la hélice, con esto tendrá un mejor uso de la potencia del motor. Recuerde que al variar la aceleración un regulador variará automáticamente el ángulo de las aspas para mantener constante la velocidad de la hélice

Para tener una idea de la potencia que disponemos, basta con mirar el manómetro del colector (MAN RESS), cuanto más alto sea este valor, mayor es la potencia.

En general digamos que se aconseja utilizar en ascenso el 75% de la potencia o la potencia máxima para vuelo crucero aunque esto no implica que no pueda hacerse a máxima potencia.

Como se dijo a medida que se asciende debe empobrecerse la mezcla si no se quiere sufrir un mal funcionamiento del motor, pero ¿cuanto ajustar ?.

Como regla general empobrezca la mezcla (tirando del mando) hasta que la temperatura de gases de escape (EGT) llegue al máximo o cerca de este, luego empuje levemente el mando (para enriquecerla), recuerde que una mezcla demasiado pobre puede generar sobretemperatura.

A pesar de todos los mitos que hay sobre el tema, es casi imposible que un motor bien mantenido sufra daños por una mala regulación de algún mando o un mal manejo de los mismos. Tal vez el punto más importante son las temperaturas de cilindros (CHT) y gases de escape (EGT), ambas se seguirán muy de cerca, vigile que se mantengan dentro de los valores normales y haga lo necesario para mantenerlas en estos valores, si enriquece la mezcla la temperatura baja mientras que al empobrecerla aumentará. Por lo demás todo es una cuestión de ruido, vibraciones y economía, aprenda a escuchar el motor, él le indicará que es lo que debe hacer.

Para tener una idea general y no errarle mucho a las regulaciones, utilice el concepto de motor equilibrado, esta indica una relación entre la presión en la admisión y las RPM, por ejemplo un motor estaría equilibrado cuando tiene una presión de colector de 25 pulgadas de mercurio y gira a 2500 RPM o 27 pulgadas a 2700 RPM mientras que estaría en desequilibrio a 27 pulgadas y 2400 RPM. Esto no es una regla que deba cumplirse a rajatabla, de hecho muchas fábricas indican desequilibrios importantes en los manuales de sus motores, utilícelo por tener una idea general de los valores.

Cuando deba descender deberá enriquecer la mezcla, lo que puede provocar un importante descenso en las EGT y CHT, intente utilizar la mezcla para evitar esto, pero recuerde que estas reglas no son fijas, simplemente son consejos, la prioridad siempre será la seguridad y en base a ello actúe.

Para no forzar el motor cuando se realicen cambios en la potencia es al aumentar la potencia ajuste primero la mezcla, luego la hélice y finalmente el acelerador, mientras que para reducirla haga a la inversa primero el acelerador, después la hélice y finalmente la mezcla. Como regla mnemotécnica recuerde que para aumentar la potencia se regula de derecha a izquierda y para reducir de izquierda a derecha.

En flight Simulator

Corresponde al teclado español, para otros teclados consultar el manual respectivo.

Acelerador

Mínima potencia, reducción total de potencia F1

Reducción gradual de potencia F2

Aumento gradual de potencia F3

Máxima potencia, aumento total de potencia F4

Propulsor (hélice)

Reducción a mínima incidencia CONTROL - F4

Reducción gradual de incidencia CONTROL - F3

Incremento gradual de incidencia CONTROL - F2

Incremento a máxima incidencia CONTROL - F1

Mezcla

Reducción a mínima cantidad de combustible CONTROL - SHIFT - F1

Reducción gradual de combustible CONTROL - SHIFT - F2

Incremento gradual de combustible CONTROL - SHIFT - F3

Incremento a máxima cantidad de combustible CONTROL - SHIFT - F4

Turbinas de gas, turborreactores, ciclo de Brayton.

Otra forma de propulsores utilizados en aeronáutica son los motores a reacción, Estos motores impulsan una masa de gas a alta velocidad y presión en una dirección, para después por el principio de acción y reacción (tercera ley de Newton) desplazarse en sentido contrario.

Los primeros motores datan de la segunda guerra mundial, algunos tipos cayeron en desuso por sus características, otros se aplican actualmente, pero el principio de funcionamiento es el mismo. Posteriormente veremos una clasificación de los mismos.

Las diferencias con los motores anteriormente vistos, radican en que los turbo reactores desplazan la masa de aire para impulsarse ellos mismos y como ya se hace evidente, la principal diferencia es la térmica, pues estos responden a un ciclo termodinámico conocido como ciclo de Brayton. Aquellos que deseen profundizar sobre este ciclo y los relacionados (Ericsson y Stirling), encontrarán información en [monografias.com](http://www.monografias.com) página : <http://www.monografias.com/trabajos/termodinamica2/termodinamica2.shtml>, cuyo autor es Albert Lavin Maldonado del Instituto Tecnológico de Celaya.

Este ciclo, es un ciclo abierto y consta de una compresión adiabática, una transformación a presión constante, etapa en la cual se le entrega calor y finalmente una expansión adiabática

La primera etapa es la de compresión (transformación adiabática), para ello se recurre a compresores rotativos, el aire comprimido pasa seguidamente a la cámara de combustión donde se inyecta combustible produciéndose la combustión de la mezcla, para que posteriormente esta masa comprimida y calentada comience una expansión adiabática canalizada por un conducto que la orienta hasta igualar la presión del ambiente, dando origen a los turbo reactores (Fig. 1).

Figura 1: Esquema de un turbo reactor.

Antes de producirse esto, seguido a la cámara de combustión se coloca una turbina, el gas en expansión perderá energía en ella y obviamente la turbina la ganará, provocando su giro.

Esta turbina está montada sobre un eje que será solidario a el o los ejes impulsores de los compresores rotativos, proveyendo la energía que necesitan para comprimir la masa de aire que está ingresando.

Algunas turbinas solo tienen una etapa de compresión, en este caso tienen un eje, otras poseen varios compresores divididos en etapas, de alta y de baja presión, en este caso tienen varios ejes pero impulsados por la turbina de salida.

Los compresores rotativos usados en la etapa de compresión, se clasifican en dos tipos, los radiales o centrífugos y los axiales, según impulsan el aire en forma radial al eje principal o axial al mismo. Ambos constan de un rotor y un estator, que cumplen funciones similares.

Los rotores, son ruedas sobre las que están montados los álabes, estos son perfiles aerodinámicos diseñados para canalizar y forzar el flujo de aire en un sentido determinado (Figura 2).

Los compresores radiales o centrífugos tienen su rotor compuesto por álabes dispuestos radialmente, que impulsan el aire hacia el estator que es un conjunto fijo, este lo recibe y lo canaliza a través de secciones de paso divergente que lo conducen a un estrechamiento, lo que le hace perder velocidad y por el principio de Venturi aumenta su presión

Figura 2 : Un compresor centrífugo y un axial, nótese el diseño y la disposición de los álabes.

Los axiales tienen en sus rotores los álabes dispuestos para forzar el flujo en sentido axial (paralelo al eje principal), el estator está constituido por dos semicaracteres donde se colocan álabes fijos, que finalmente provocan por estrechamiento la compresión necesaria.

En las cámaras de combustión se inyecta el combustible, para que por el calor generado por la combustión se aumente la energía del gas ya comprimido, por su construcción y diseño se las clasifica en tubulares, anulares, tubo-anulares.

Finalmente la turbina en la salida de la cámara de combustión está compuesta también por un conjunto de álabes que aprovechan el flujo axial de los gases en expansión, digamos que esta turbina es la encargada de mantener funcionando el resto de las partes del turborreactor, pues es la que provee la energía interna que ellos consumen.

Pueden tener instalados también regeneradores para recobrar el calor generado por los gases de escape, incluso un sistema de enfriamiento de aire a la salida de los compresores o recalentadores de los gases en etapa de expansión, con el fin de mejorar el rendimiento y el empuje del sistema.

En realidad la eficiencia de un turborreactor depende pura y exclusivamente de la relación de presiones entre las etapas de entrada y salida de gases. Esto es importante tenerlo en cuenta pues estos valores se verán afectados directamente por las características del aire ambiente.

Tipos y clasificación de reactores.

Dentro de los motores a reacción se pueden hacer dos grandes grupos según su dependencia del aire ambiente, los cohetes y los aerorreactores.

Para que se produzca combustión, además de combustible debe haber aire, precisamente el oxígeno (O_2) contenido por este.

Los cohetes tienen cierta independencia pues además de combustible, poseen depósitos con el oxidante adecuado (O_2), lo que les permite funcionar aun en ausencia de aire. Actualmente tienen aplicación en tecnología aeroespacial y militar como propulsores de misiles, pues logran desarrollar altas velocidades.

Los aerorreactores por el contrario, dependen de la presencia de oxígeno en el ambiente, es decir que toman este desde el exterior, lo que limita su altura de funcionamiento a la máxima altura en la que haya presencia de oxígeno, es más, su rendimiento mejorará o empeorará con las características del aire en el ambiente que lo rodea.

Existen dos formas de comprimir el aire que entra al motor, y por él, podemos dividirlos en dos grupos, los de compresión dinámica y de compresión mecánica.

Dentro de los primeros (compresión dinámica) se encuentran los primeros motores a reacción como son los estatorreactores y los pulsorreactores utilizados en la segunda guerra mundial en el Arado 197 y la bomba B1 respectivamente. Este tipo de motores ya han caído en desuso.

Lograban la compresión del aire por la forma de su toma, en la que al circular aire a cierta velocidad por efecto Venturi obtenían la compresión para luego entrar en la etapa de combustión y expansión, como es obvio no tienen la turbina a la salida de la cámara de combustión pues no precisan mover compresores. Adicionalmente los pulsorreactores tenían en su toma de aire dispuestas ventanillas que se cerraban al momento de la combustión y de esta forma canalizar totalmente el flujo de gases. Estas ventanillas originan el clásico ronroneo del pulsorreactor característico de la bomba B1.

La principal contra de estos tipos de motores es la de no poder arrancar por sí solos, necesitan ser catapultados a cierta velocidad para que comience a darse el efecto Venturi, pues no poseen otra forma de obtener compresión.

La independencia del catapulta miento se logró a partir de proveer al motor una forma de compresión propia, dando así origen al grupo de compresión mecánica, utilizados en la actualidad.

Estos motores se clasifican en :

1-Turborreactores.

2-Turbofan (Doble Flujo).

3-Turbohélices.

4-Turboejes.

Turborreactores : Este tipo de motor es el que se dio como ejemplo al explicar el funcionamiento de los turborreactores (Figura 1).

Figura 1 : Esquema de un Turborreactor.

Se caracterizan por poseer un solo flujo de gases, es decir que la masa completa de aire que ingresa al compresor pasa a la cámara de combustión y luego a la turbina de salida, finalizando con la expansión a la salida del generador de gases.

Turbofan (Doble Flujo) : La diferencia con el caso anterior radica en que en estos motores existen dos flujos de gases desde el compresor, que en general este último suele ser más grande.

La masa de aire proveniente del compresor se divide en dos flujos (Figura 2).

Figura 2 : Esquema de un Turbofan o Aerorreactor de doble flujo.

El flujo primario que sigue el camino compresor - cámara de combustión - Turbina - canalización de salida (este sistema se lo denomina comúnmente generador de gases) trabaja de la misma forma que en los turborreactores.

No es raro que este flujo antes de ingresar a la cámara pase por otro compresor (etapa de alta presión).

El flujo secundario proveniente de las ruedas (una o más) del compresor, es canalizado directamente hacia la salida, donde se expandirá y se unirá al flujo primario ya en expansión, es decir que no sufre el proceso del generador de gases.

Presenta ventajas sobre los turborreactores, suele ser más económico en lo que a consumo de combustible se refiere, silencioso y menos contaminante.

Turbohélices : No deja de ser un sistema generador de gases normal, se le agregan canalizaciones de gases para su salida y se le acopla al eje principal una hélices.

Turboejes : Estos son motores similares a los turbohélices, se utilizan en los helicópteros, son generadores de gas a los que se les canaliza el flujo de salida y se les agrega en turbina de potencia que moverá la toma de potencia solidaria al eje que impulsa al rotor principal.

Hasta aquí se trataron los aerorreactores que normalmente podemos ver a diario, como una rareza (por ahora) encontraremos las turbinas de flujo vectorizable.

Turbinas de flujo vectorizable : Es un turborreactor o turbofan (según el caso) en el que el flujo principal (que en las normales es axial), se lo direcciona en su salida por medio de canalizadores móviles, de esta forma se cambia el sentido del empuje del motor.

La más famosa es la Rolls Royce "Pegasus", que equipa al avión militar "Harrier", famoso por ser un avión con capacidad de despegue y aterrizaje vertical (VTOL), vuelo estacionario, etc.

En este reactor, el flujo de salida del generador de gas es enviado a un sistema de distribución conectado a cuatro tuberías de salida direccionables. Dichas toberas tienen la capacidad de rotar gradualmente 90°, direccionando el flujo en sentido vertical u horizontal y desde luego las posiciones intermedias, logrando así el vuelo vertical suspensión en el aire y vuelo horizontal.

Turbofan Rolls Royce Pegasus .
Motoriza a los "Harrier" Británicos, en la fotografía
pueden apreciarse dos de las cuatro toberas de escape
direccionables.

En vuelo vertical o estacionario, del reactor se drena flujo de las etapas de alta presión y baja presión que es enviado en forma controlada, a las puntas de las alas , proa, popa y deriva, para proporcionarle control se alabeo, cabeceo y guiñada durante esas condiciones de vuelo.

Vale aclarar que si bien el "Harrier" tiene capacidad VTOL (despegue y aterrizaje vertical) en la práctica casi no se utiliza esta capacidad pues consume grandes cantidades de combustible, si suele utilizarse como avión de carreras corta de despegue y aterrizaje vertical (STOVL).

Nuevas turbinas de flujo vectorizable se encuentran en construcción, aunque sin llegar al extremo de la "Pegasus", solamente direccionan en unos cuantos grados en varias direcciones el flujo, no apuntan a proveer capacidad VTOL a sus aviones, solo a cambiar sus respuestas en diversas maniobras, volviéndolo más eficaz en combate aéreo, estos motores equiparán el F22 "Raptor" y el "Eurofighter".

Al comienzo de las investigaciones de vuelo vertical se desarrollaron pequeños turborreactores de asistencia en el vuelo vertical, estos enviaban el flujo hacia abajo. No tuvieron éxito, solo lograron acortar la carrera de despegue, el sistema demostró ser muy inseguro pues al fallar una de estas turbinas se perdía totalmente el control de la nave.

Sistemas Anexos.

Como ocurre en cualquier motor existen sistemas de refrigeración, lubricación, etc, que cumplen las mismas funciones en todos los motores, sean de reacción o de pistones, no entraremos en detalles sobre ellos.

Si en cambio veremos unos sistemas que son exclusivos de los aerorreactores.

Existen varios accesorios que suelen montarse en la salida del conducto de gases del aerorreactor para aprovechar sus virtudes en determinadas condiciones o potenciar las mismas.

Sistema de postcombustión : Este sistema suele disponerse en general en aviones militares de interceptación o en los que deban superar la barrera del sonido.

Figura 1: Esquema de funcionamiento de postcombustión.

Consiste en inyectar combustible y provocar su combustión sobre la tobera de salida de gases del aerorreactor (Figura 1), de esta forma, se calientan los gases en expansión potenciando, el resultado final es un incremento notorio en la fuerza de empuje, que conlleva a un aumento en la aceleración de la nave en vuelo nivelado y una mejor respuesta en maniobras exigidas donde se necesita contar con toda la potencia disponible.

La contra del sistema es la caída de la autonomía en forma muy marcada si se hace abuso, pues se inyecta gran cantidad de combustible. El uso excesivo puede traer aparejado el sobrecalentamiento del aerorreactor, especialmente en su etapa de salida con el consiguiente daño en el motor.

Montada en un banco de empuje, el turbofan EuroJet 2000, con su postcombustión trabajando a pleno.

El uso de la postcombustión en general suele estar reservado al despegue o a situaciones que lo requieran exclusivamente y se recurre a él por cortos periodos de tiempo.

Deflectores de empuje : Como su nombre indica, se encarga de redireccionar el empuje del aerorreactor hacia adelante para frenar el avance del avión después de tomar tierra.

Generalmente consiste en unas especies de compuertas que se abren o se cierran en la tobera de salida de gases.

Figura 2 : Esquema de funcionamiento de los deflectores de empuje.

Durante el despegue o en vuelo normal, se encuentran replegadas sobre el carenado, dejando libre la salida y permitiendo el flujo axial de gases. En el aterrizaje, al tomar tierra, por mando de los pilotos, los deflectores se despliegan detrás de la salida de gases direccionando el flujo en forma oblicua hacia adelante (figura 2). En estas condiciones; a medida que se aceleren los reactores mayor será la desaceleración de la nave.

Para evitar efectos no deseados y posibles daños, los deflectores deben desplegarse y retraerse con los motores en ralentí para después acelerarlos.

Toberas de sección variable "Colas de pato" : Las "colas de pato", constan de superficies móviles dispuestas en el perímetro de la tobera de salidas de gases del aeródromo.

Son, hasta ahora, por su costo y función de uso exclusivo en aeronáutica militar, utilizándose en aviones interceptores y de ataque de alta velocidad.

Figura 3 : Disposición de las superficies móviles "cola de pato" de la EuroJet 2000.

Al estar instaladas en todo el perímetro de la tobera de salida (figura 3), extienden la longitud de esta, por ser superficies móviles controladas por procesador, según se abran o cierren varían la sección de salida de gases, logrando cierto control sobre la expansión a producirse.

En algunos reactores de flujo vectorizable se está implementando este sistema para lograr la vectorización de empuje.

Sistema de deshielo : Muchas superficies de las aeronaves como por ejemplo los bordes marginales alares, presentan una tendencia a la formación y acumulación de hielo, lo que implica un serio riesgo para el vuelo.

Para evitar la formación y acumulación de hielo, es necesario calentar estas superficies, para ello se drenan gases calientes desde el aerorreactor y se envía a las secciones que normalmente se ven afectadas.

Instrumentos relacionados.

Muchos de los instrumentos son similares a los utilizados en los motores a pistón, pues indican lo mismo como ser, presión de aceite, temperatura de aceite, flujo de

combustible y cantidad del mismo, etc, habrá tantos juegos de instrumentos como motores tenga el avión.

A modo de ejemplo se muestran los instrumentos (fig 1) del panel original del Boeing 737 - 400 provisto en Flight Simulator 2000. Por ser un birreactor hay dos instrumentos de cada tipo, uno para cada motor.

Figura 1 : Conjunto de instrumentos de control de funcionamiento de motores en el panel del Boeing 737-400 en FS 2000.

En cambio hay otro grupo que son exclusivos de los motores a reacción o de pistón, ahora veremos los instrumentos de los reactores.

N1: Indicador de revoluciones del compresor, indica la velocidad de giro en porcentajes, en relación con total máximo admisible del compresor. La medición en los motores de dos ejes es sobre etapa de baja presión.

N2: Indicador de revoluciones del compresor (alta presión), Ídem a N1 pero sobre la etapa de alta presión.

ITT: Inter Stage turbine temperature (temperatura interfásica de la turbina), mide la temperatura de los gases que fluyen entre las ruedas de alta y baja presión de la turbina.

Su valor es limitante de la potencia del motor debiendo mantenerse el indicador dentro de los valores admitidos y por lo general indicados en los instrumentos (con líneas verdes).

EPR: Engine pressure ratio, mide la relación de las presiones de entrada y salida, cuanto mayor sea ésta mayor será el empuje del motor.

EGT: Exhaust gas temperature (temperatura de gases de salida), es un termómetro que como en los motores a pistón mide la temperatura de los gases de escape, en el caso de los aerorreactores la medición se hace después de la turbina y antes de entrar al cono de salida de gases (tobera).

VIB: Vibration (vibración), mide los niveles de vibración del motor de referencia, esto puede indicarle al piloto la presencia de un problema en el motor o bien que se alcanzó un punto de formación de hielo en el mismo, esto último por lo general no trae consecuencias sobre el motor.

Si la vibración es excesiva reduzca la potencia al 40% o 45% de N1 y aguarde unos minutos (entre cinco y diez), luego acelere al 80% de N1, si la condición de vibración persiste puede ser indicación de otro problema, en ese caso inicie los "procedimientos para vibración sin formación de hielo". Generalmente consisten

en desconectar el acelerador automático y reducir potencia hasta mantener la vibración debajo de 4 unidades.

Estos son los instrumentos indicadores de funcionamiento propios a cualquier reactor, hay dispuestos más instrumentos relacionados con los sistemas que lo asisten, que también encontraremos en aeronaves con otros tipos de motores.

TAT: termómetro dispuesto para medir la temperatura del aire externo, útil para calcular la densidad del aire y prever las diversas velocidades de la nave.

OIL PRESS (OIL PSI): Manómetro que mide la presión de bombeo de aceite para lubricación. Si la presión cae demasiado se deberá aterrizar a la brevedad para revisión y reparación.

Figura 2 : Luz testigo de presión de aceite.

En algunos paneles encontrarán también un testigo de presión de aceite que se encenderá si esta es baja (fig 2).

OIL TEMP (OIL °C): Temperatura del aceite de lubricación, recordar que sus características pueden perderse si la temperatura es excesiva, lo que además indica otro problema en el motor, de darse el caso se deberá aterrizar a la brevedad para realizar las revisiones y reparaciones necesarios.

OIL QTY: mide en porcentaje la cantidad de aceite en el motor, si cae demasiado se deberá aterrizar a la brevedad para su revisión y reposición, y de ser necesario realizar las reparaciones.

FF: Fuel flow, mide el flujo de combustible hacia el motor.

FUEL LBS (FUEL QTY): Cantidad de combustible en el tanque, medido en libras. La medición según el avión podrá ser sobre un tanque determinado o la total de todos los tanques.

HYD PRESS: Manómetro que mide la presión en los sistemas hidráulicos del avión., si este los tuviere, este sistema por lo general es el que acciona los actuadores de la superficies de control y tren de aterrizaje.

HYD QTY: Cantidad de aceite hidráulico en el sistema.

Mandos relacionados.

Detallaremos ahora los mandos generales que podemos encontrar en los aviones a reacción, según las características del avión pueden encontrarse otros, más específicos.

STARTERS: Son los interruptores de encendido y apagado de los motores, habrá uno por cada motor, pueden presentarse en los paneles de distinta forma, como pulsadores, palancas, etc.

Figura 2 : Conmutadores de arranque del panel del Boeing 777.

Tienen tres posiciones (fig 1), OFF, GEN, START, en la posición OFF el motor se encuentra apagado, en GEN se encuentra con el reactor funcionando y START es la posición de arranque, adonde debe ser llevado si el motor está apagado y desea encenderlo, una vez que arranque el interruptor solo saltara a la posición GEN.

Asociados al sistema de arranque se encuentran en algunos paneles de FS 2000 unos indicadores luminosos, que se encienden con el interruptor en START indicando que la válvula de arranque está abierta y que el motor esta en proceso de arranque (fig 2), si permanecieran encendidos cuando el motor está en marcha, es señal de algún problema en el motor, por tal se deberá apagar manualmente. Habrá una por cada motor.

Figura 2 : Testigo de válvula de arranque

Flight Simulator entrega el avión con sus motores en marcha, si el usuario lo desea puede apagarlo y volver a encenderlos. Pulsando control+E se inicia el proceso de arranque automáticamente en todos los motores, lo mismo ocurre si se utiliza el botón AUTO que aparece en algunos paneles como el del ejemplo (fig 1).

Además del descrito arriba, otros mandos referentes al motor se encuentran o incorporados al panel (FS 98 generalmente) o bien en otra vista denominada "cuadrante de aceleración", siendo este último el caso más común en Flight Simulator 2000 (fig 3).

Figura 3 : Cuadrante de aceleración del Boeing 777 en Flight Simulator 2000

Este cuadrante corresponde con la torre de mandos ubicada en el centro de la cabina, en ella se encuentran además de los mandos de gases y combustible del motor, los mandos de flaps, spoilers y freno de estacionamiento estudiados anteriormente.

INTERRUPTORES DE COMBUSTIBLE (FUEL CONTROL): Abren o cierran el flujo de combustible hacia los motores, habrá tantas como motores tenga el avión

DESPEGUE - CONTINUAR GO-AROUND(TO-GA): Cuando la aceleración automática está activada, al hacer clic en este interruptor las palancas de empuje se sitúan automáticamente en la posición de despegue y continuar.

PALANCAS DE EMPUJE: Controla de forma indirecta la potencia que proporciona el motor. Cuando las palancas de empuje están totalmente arriba (abiertas), el motor produce la máxima potencia. Cuando están abajo (cerradas), el motor genera el mínimo de potencia. En Flight Simulator estas palancas también generan la inversión de empuje para el frenado del aparato, para ello cuando aterrice con las palancas ya en la posición de ralentí, las palancas bajarán en la medida que vaya pulsando F2 invirtiendo el empuje (esto en Flight Simulator se entiende), si pulsa F1 las palancas vuelven a la posición de ralentí, en algunos paneles este segmento de empuje inverso suele estar marcados con color rojo.

Figura 4 : Cuadrante de aceleración del Concorde en Flight Simulator 2000

Otra variante es la que trae por ejemplo el Concorde (fig 4) en FS 2000, en la que el empuje inverso se activa por acción de las palancas más pequeñas, lo que resulta más preciso con respecto a los aviones reales, pues con ellas se invierte el empuje. De todas formas desde el ralentí se accionan con F2 y se devuelve al ralentí con F1.

Aunque en el FS no se muestran, sobre el cuadrante de aceleradores hay dispuestas marcaciones que corresponden a las posiciones de los aceleradores para las posiciones de ralentí, despegue - continuar, empuje reducido, etc, que se estudiarán más adelante.

MANDO DE FLAPS: Ya fué tratado en superficies de control. [Ir a la página.](#)

MANDO DE SPOILERS: Ya fué tratado en superficies de control. [Ir a la página.](#)

POSTQUEMADORES: Activan o desactivan los postquemadores (SHIFT+F4), en caso que el avión los tenga, el Concorde tiene la opción de regular la sección de la tobera de salida de gases de la turbina, la que se realiza por mandos, sin embargo el FS no da esta opción, por lo menos hasta ahora.

FRENOS DE ESTACIONAMIENTO (PARKING BRAKE): Activan o desactivan los frenos de estacionamiento, bloqueando todas las ruedas del tren de aterrizaje.

Uso, manejo y control de los aerorreactores.

Realmente el manejo de la propulsión en los aerorreactores es más simple que el visto en los motores a pistón, su complejidad principal radica en que suelen ser aviones multimotores, siendo el verdadero problema el lograr un empuje simétrico a ambos lados de la nave.

Para lograr ello es aconsejable acelerarlos un pequeño porcentaje de N1 a todos y una vez estabilizados verificar, tanto por N1, N2 y EPR la similitud de los valores, una vez logrado esto acelerar todos los motores en forma simultánea y pareja.

Debe tenerse en cuenta que a diferencia de lo que ocurre con los motores a pistón, en los reactores existe un retraso entre la aceleración del motor y la llegada del empuje correspondiente, es decir que desde que se acelera el motor hasta que este empieza a empujar pasan varios segundos que muchas veces es notoria, por lo que es necesario prever el requerimiento de potencia con anterioridad.

El más claro ejemplo de esto se da en el despegue, en una nave con motor a pistón simplemente se da gases al motor y al avión comienza a acelerar en su carrera de despegue, con los reactores, una vez en cabecera de pista y con las ruedas frenadas y bloqueadas, se aceleran las turbinas y se espera hasta que el empuje ya esté en su nivel máximo para luego soltar los frenos y comenzar la carrera.

Como control vigile las ITT cuando acelere, verifique que no alcancen las marcas rojas de sobrecalentamiento, esto puede ocurrir fácilmente si se da plena potencia rápidamente, especialmente en la carrera de despegue, aunque no dude en extraerle toda la potencia si se trata de una emergencia.

Vigile también las N1 y N2 para que no ocurra lo mismo, va, en general vigile que ningún indicador entre en las zonas de los cuadrantes marcados en rojo y no tendrá problemas, por lo menos en condiciones de vuelo normales, en emergencia haga lo necesario para salvar la situación aun exigiendo los motores.

Como se comentó, sobre el cuadrante de aceleradores suelen estar dispuestas marcaciones de potencias, estas corresponden a las posiciones de los mandos para ciertas potencias, maniobras o técnicas utilizadas comúnmente y que son las recomendadas por el fabricante para aumentar la vida útil de la turbina.

Estos en general son:

IDLE: posición de ralenti

TAKE OFF: Se trata de la potencia de despegue máxima y debe ser calculada para el aeropuerto y las condiciones en ese momento.

REDUCED TAKE OFF: Es la potencia para despegue con empuje reducido, se trata de una potencia menor que la máxima, aumentando la vida útil del motor.

GO - AROUND: Es la máxima potencia de despegue, normalizada por la mayor velocidad del avión en la maniobra de go-around, esta es la principal diferencia que existe entre las potencias de Take Off y Go-Around.

MAXIMUM CONTINUOUS: Es la máxima potencia que a discreción del piloto puede ser usada continuamente en una emergencia.

MAXIMUM CLIMB: Es la máxima potencia admitida para una subida normal.

MAXIMUM CRUISE: Es la máxima potencia de crucero con todos los motores operativos.

Por ahora no se tratarán estas potencias, pues ellas se explicarán con más detalles en niveles avanzados.

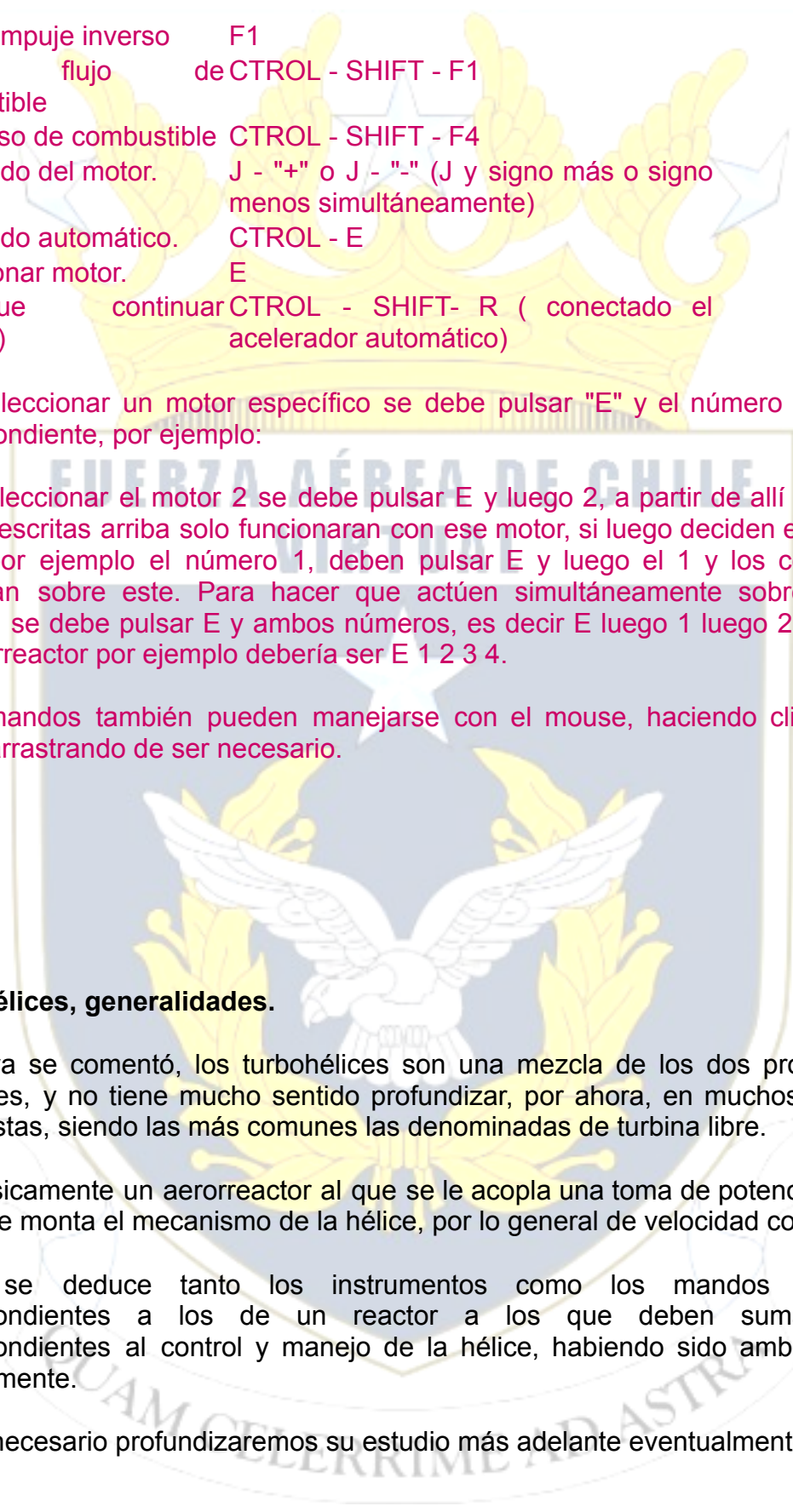
Respecto del encendido y apagado de los motores en FS no tendrán mayores problemas, para apagarlos coloquen los starters en OFF (J -) y corten los interruptores de paso de combustible(CTRL-SHIFT-F1).

Para encenderlos abrir el paso de combustible (CTRL-SHIFT-F4), luego llevar el starter a la posición start (J +), se verá que la turbina correspondiente alcanza aproximadamente entre el 19 y 21% de N1, sostener la posición start y cuando finalmente arranque soltarlo, automáticamente el starter pasará a la posición GEN, el proceso de arranque comienza automáticamente presionando CTRL+E.

En Flight Simulator.

Para manejar estos elementos con un teclado español se utilizan las siguientes combinaciones de teclas.

Cortar aceleradores.	F1
Incrementar	F3 o 9 en teclado numérico.
Disminuir	F2 o 3 en teclado numérico.
Potencia completa	F4
Activar postquemador	SHIFT F4 (si posee este sistema)
Desactivar postquemador	SHIFT F4 (si está activo)
Empuje inverso	Con aceleradores cortados pulsar F2 o 3 en el teclado numérico.
Disminuir empuje inverso	F3 open teclado numérico.



Cortar empuje inverso	F1
Cortar flujo de combustible	CTROL - SHIFT - F1
Abrir paso de combustible	CTROL - SHIFT - F4
Encendido del motor.	J - "+" o J - "-" (J y signo más o signo menos simultáneamente)
Encendido automático.	CTROL - E
Seleccionar motor.	E
Despegue (TO-GA)	continuar CTROL - SHIFT- R (conectado el acelerador automático)

Para seleccionar un motor específico se debe pulsar "E" y el número de motor correspondiente, por ejemplo:

Para seleccionar el motor 2 se debe pulsar E y luego 2, a partir de allí todas las teclas descritas arriba solo funcionaran con ese motor, si luego deciden elegir otro motor por ejemplo el número 1, deben pulsar E y luego el 1 y los comandos funcionan sobre este. Para hacer que actúen simultáneamente sobre ambos motores se debe pulsar E y ambos números, es decir E luego 1 luego 2. Si fuera un tetrarreactor por ejemplo debería ser E 1 2 3 4.

Estos mandos también pueden manejarse con el mouse, haciendo click sobre ellos y arrastrando de ser necesario.

Turbohélices, generalidades.

Como ya se comentó, los turbohélices son una mezcla de los dos propulsores anteriores, y no tiene mucho sentido profundizar, por ahora, en muchos detalles sobre estas, siendo las más comunes las denominadas de turbina libre.

Son básicamente un aerorreactor al que se le acopla una toma de potencia, sobre la que se monta el mecanismo de la hélice, por lo general de velocidad constante.

Como se deduce tanto los instrumentos como los mandos son los correspondientes a los de un reactor a los que deben sumarse los correspondientes al control y manejo de la hélice, habiendo sido ambos vistos anteriormente.

De ser necesario profundizaremos su estudio más adelante eventualmente.

