

SISTEMAS FUNCIONALES

3 DESARROLLO DE LA SECCIÓN.

A esta sección había que darle un nombre y no es que me guste este, me parece incluso un poco artificioso, pero la verdad, no he encontrado otro mejor. Aclarado este punto, esta sección trata principalmente del sistema propulsor y del tren de aterrizaje, incluyendo además algunos otros sistemas, denominados auxiliares, cuya función principal es la de proporcionar servicio al motor, excepción hecha del sistema eléctrico cuya función es de uso más general. A continuación se expone un índice de lo tratado en cada uno de estos capítulos:

3.1 SISTEMA PROPULSOR (MOTOR).

- 3.1.1 Motores de pistón.
- 3.1.2 Tipos de motores de pistón.
- 3.1.3 Turbinas de gas.
- 3.1.4 Propulsión por turbina.

3.2 SISTEMA PROPULSOR (HELICE).

- 3.2.1 Funcionamiento de la hélice.
- 3.2.2 Hélice de paso fijo.
- 3.2.3 Hélice de paso variable.
- 3.2.4 Hélice de velocidad constante.

3.3 CONTROL DE LA PROPULSIÓN.

- 3.3.1 Mandos e instrumentos de control.
- 3.3.2 Aviones con hélice paso fijo.
- 3.3.3 Aviones con hélice de paso variable.
- 3.3.4 Aviones con hélice de velocidad constante.

3.4 SISTEMA ELÉCTRICO.

- 3.4.1 Batería.
- 3.4.2 Generador/Alternador.
- 3.4.3 Amperímetro.
- 3.4.4 Interruptor principal o "master".
- 3.4.5 Fusibles y circuit breakers.
- 3.4.6 Otros elementos.
- 3.4.7 Fallos eléctricos.

3.5 SISTEMA DE ENCENDIDO.

- 3.5.1 Magnetos.
- 3.5.2 Doble encendido.
- 3.5.3 Operación del encendido.
- 3.5.4 Otros elementos.

3.6 COMBUSTIBLE (I).

- 3.6.1 Combustible.
- 3.6.2 Depósitos.
- 3.6.3 Alimentación de combustible.
- 3.6.4 Carburador.
- 3.6.5 Inyección de combustible.
- 3.6.6 Detonación.

- 3.7 COMBUSTIBLE (II).
 - 3.7.1 Control de la mezcla.
 - 3.7.2 Efectos de mezcla inadecuada.
 - 3.7.3 Cuidar el combustible.
 - 3.7.4 Calefacción del carburador.
 - 3.7.5 Uso de la calefacción al carburador.

 - 3.8 LUBRICACIÓN Y REFRIGERACIÓN.
 - 3.8.1 Lubricación.
 - 3.8.2 Monitorizando la lubricación.
 - 3.8.3 Refrigeración.
 - 3.8.4 Controlando la temperatura.

 - 3.9 TREN DE ATERRIZAJE.
 - 3.9.1 Tipos de tren de aterrizaje.
 - 3.9.2 Tren de rodadura.
 - 3.9.3 Trenes fijos y retráctiles.
 - 3.9.4 Frenos.

 - 3.10 CUIDADOS DEL MOTOR.
 - 3.10.1 Arranque del motor.
 - 3.10.2 Ascensos y descensos.
-

SISTEMAS FUNCIONALES

3.1 SISTEMA PROPULSOR (MOTOR).

Lo mismo que un automóvil, una bicicleta o un tren, obviamente, es necesario que un aeroplano cuente con una fuerza que lo impulse. En un avión, esta necesidad se hace más imperiosa, pues mientras que en otras máquinas el impulso solo se necesita para vencer la inercia y la resistencia al avance, en un avión este impulso es vital para producir la circulación de aire en las alas, origen de la [sustentación](#).

Esta fuerza, denominada de tracción cuando se ejerce por delante del motor -tira del avión-, o de empuje si es ejercida por detrás del motor -empuja al avión-, es proporcionada por el sistema propulsor, el cual está constituido por uno o más motores, y en muchos modelos, además por una o más [hélices](#). En este último caso, el elemento que realmente produce la fuerza es la hélice, siendo el motor un mero mecanismo que la hace girar.

La fuerza de [tracción](#) o empuje, se obtiene acelerando hacia atrás una masa de aire ambiente a una velocidad superior a la del avión; de acuerdo con la [3ª ley del movimiento de Newton](#), esta acción provoca una reacción de la misma intensidad pero de sentido opuesto, la cual impulsa el avión hacia adelante. La aceleración de la masa de aire, se logra por la rotación de una hélice, movida por un motor convencional de [pistón](#) o una turbina de gas, o por la expulsión a muy alta velocidad del chorro de gases generado por una [turbina](#) de gas.

Ambos tipos de motor, de pistón o turbina, convierten la energía química contenida en el [combustible](#) en energía mecánica capaz de propulsar al avión, quemando dicho combustible, razón por la cual reciben el nombre de motores de combustión interna.

Dada la extensión del tema, se ha dividido en dos capítulos: este dedicado a los motores, y el siguiente a las hélices.

El que un piloto conozca los principios de funcionamiento del motor, puede ayudarle a obtener una mejor eficiencia del mismo, no someterle a desgastes prematuros ampliando así su vida útil, y en muchos casos evitar fallos y averías. Por razones prácticas, se hace especial hincapié en los motores de pistón, habituales en los aviones ligeros.

3.1.1 Motores de pistón.

Los motores de pistón son los más comunes en la aviación ligera. Estos motores son casi idénticos a los de los automóviles, con tres importantes diferencias:

- Los motores de aviación tienen sistemas de [encendido](#) doble. Cada cilindro tiene dos bujías y el motor está servido por dos magnetos, una proporciona energía a todas las bujías "pares" de los cilindros y otra a las bujías "impares". Si una bujía o una magneto se estropea, la otra bujía o la otra magneto siguen haciendo saltar la chispa que enciende el combustible en el cilindro. Un detalle muy importante es que las magnetos, accionadas por el giro del motor, no dependen de la batería para su funcionamiento.
- La mayoría de los motores aeronáuticos están [refrigerados](#) por aire. Esta particularidad evita cargar con el peso de un radiador y del refrigerante, y que una avería del sistema de refrigeración o la pérdida de refrigerante provoquen una avería general del motor.
- Como los motores de aviación funcionan a distintas altitudes, el piloto dispone de un control manual de la [mezcla](#), control que utiliza para ajustar la proporción adecuada de aire y combustible de entrada a los cilindros.

Este tipo de motor consta básicamente de cilindros, pistones, bielas y un cigüeñal. En el interior de cada cilindro, un pistón realiza un movimiento de arriba abajo, movimiento que mediante una biela transmite al cigüeñal, de forma que el movimiento rectilíneo del pistón se convierte en movimiento giratorio del cigüeñal. En la parte superior del cilindro, se encuentran normalmente dos bujías, una o más válvulas de entrada de la mezcla, y una o más válvulas de salida de los gases quemados.

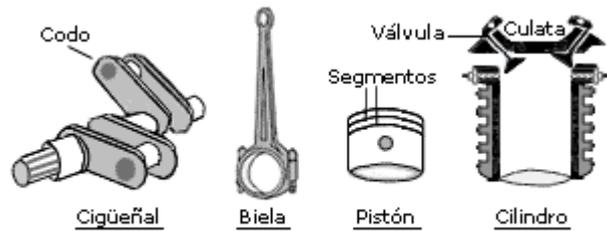


Fig.3.1.1 - Componentes de un motor de pistón.

En aviación, la mayoría de estos motores son de cuatro tiempos, llamados así porque un ciclo completo de trabajo se realiza en cuatro movimientos del pistón:

- Admisión - El pistón situado en la parte superior del cilindro, realiza un movimiento de bajada con la válvula de admisión abierta succionando una mezcla de aire y combustible.
- Compresión - Desde la parte inferior del cilindro, el pistón hace el movimiento de subida estando las válvulas cerradas, lo cual comprime la mezcla admitida en la fase anterior.
- Explosión - Con el pistón en la parte superior, una chispa procedente de las bujías hace explotar la mezcla comprimida de aire y combustible. Esta explosión lanza violentamente al pistón hacia abajo.
- Escape - Desde la parte inferior, al realizar la carrera hacia arriba con la válvula de escape abierta, el pistón empuja y expulsa los gases del cilindro. Al llegar al punto superior, se cierra la válvula de escape y se abre la de admisión comenzando de nuevo el ciclo: admisión,...

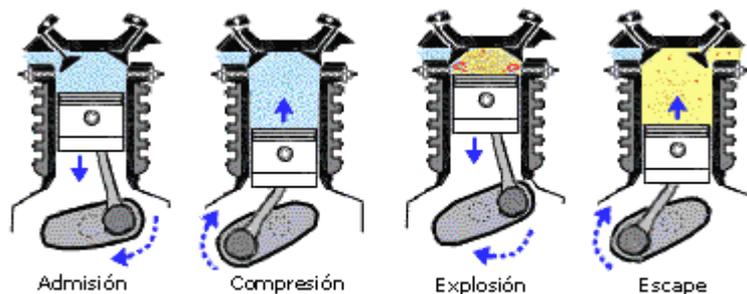


Fig.3.1.2 - Los cuatro tiempos de un motor de explosión.

Si el motor tuviera un solo cilindro, giraría a trompicones, con mucha fuerza en el momento de la explosión pero con menos fuerza en cada tiempo posterior hasta la siguiente explosión. Pero los motores tienen más de un cilindro, y cada uno de ellos se encuentra en una fase distinta de los demás, de forma que las explosiones se suceden a intervalos regulares dando al cigüeñal un giro más constante. Además el cigüeñal incorpora unos contrapesos que ayudan a hacer el giro más regular. Todos los ciclos de un motor de cuatro tiempos se realizan en dos vueltas del cigüeñal.

El movimiento del cigüeñal se transmite a través de engranajes o correas dentadas al árbol de levas, el cual mediante unos empujadores y balancines o a veces directamente, se encarga de abrir y cerrar las válvulas en el momento adecuado. Este giro también se transmite al sistema de ignición, el cual hace saltar la chispa en las bujías en el instante justo. Si la apertura o cierre de las válvulas o el salto de la chispa en las bujías no se realiza de forma perfectamente sincronizada con el movimiento de los pistones, el motor está "fuera de punto".

Lógicamente, para que el motor funcione, es necesario aportarle combustible en la forma adecuada, proporcionarle la corriente que hace saltar la chispa, lubricarle, refrigerarle, etc. Todas estas funciones se detallan en siguientes capítulos de esta sección.

3.1.2 Tipos de motores de pistón.

Atendiendo a la colocación de los cilindros, los motores pueden ser: **horizontales opuestos** (boxer), en los cuales 4 o 6 cilindros están colocados horizontalmente, la mitad de ellos opuestos a la otra mitad; **en línea**, cuando todos los cilindros están colocados uno detrás de otro verticalmente o con una ligera inclinación; **en "V"**, con la mitad de los cilindros en cada rama de la V; **radiales**, cuando los cilindros (entre 5 y 28) están montados en círculo alrededor del cigüeñal, a veces en dos o más bancadas; etc.

Los motores con cilindros horizontales opuestos, tipo boxer, son los más comunes en aviones ligeros.

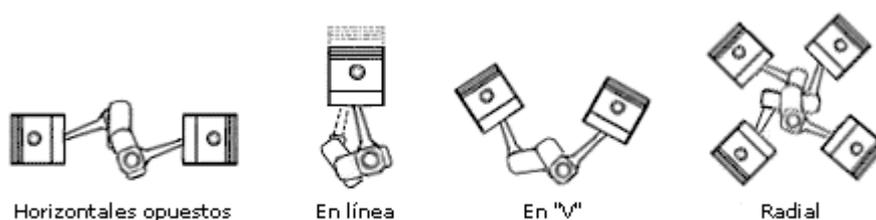


Fig.3.1.3 - Tipos de motor según colocación de los cilindros.

3.1.3 Turbinas de gas.

Una turbina de gas es una máquina motriz que convierte la energía derivada de la combustión de un elemento, normalmente queroseno, en energía mecánica en forma de chorro de aire de alta presión y elevada temperatura. Esta energía mecánica puede ser aprovechada para mover un mecanismo propulsor tal como la hélice de un aeroplano o el rotor de un helicóptero, o para generar el empuje que impulsa a un avión.

Estas máquinas constan básicamente de cuatro partes: compresor, cámaras de combustión, turbina, y tobera de salida, y su funcionamiento es el siguiente: El aire entra por un gran conducto de entrada a la zona de compresores; en esta zona, un primer rotor con alabes comprime el aire, un segundo rotor lo comprime aún más, y así sucesivamente hasta alcanzar de 10 a 40 veces la presión del aire de entrada. Este aire pasa mediante difusores a las cámaras de combustión, donde un flujo constante de combustible en forma de spray, vapor o ambas cosas, es quemado a una presión casi constante.

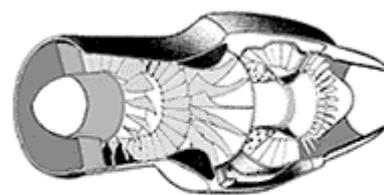


Fig.3.1.4 - Turbina de gas.

La combustión provoca la expansión violenta de los gases producidos, en forma de chorro de alta presión, temperatura (hasta 1500° C) y velocidad. En su camino de salida, el chorro mueve una turbina que comparte eje con los compresores, de manera que parte de la energía del chorro hace girar aquellos, en general a más de 10.000 R.P.M. Por último, este chorro de gases se expelle a la atmósfera a través de la tobera de salida.

Si se compara este ciclo de trabajo con el de un motor de pistón, vemos que es similar (admisión, compresión, explosión o combustión, y escape). La diferencia es que mientras en un motor de pistón se producen tantos ciclos de trabajo como número de cilindros hay, por cada dos vueltas del cigüeñal, en una turbina el ciclo de trabajo es un proceso continuo.

Una versión más moderna de turbina es la denominada turbofán. En esta, un gran rotor delante de la sección de compresores produce un flujo de aire a baja presión que no pasa por las cámaras de combustión, sino que es mezclado con el chorro de salida incrementando la masa de aire acelerado. Este sistema de mover grandes volúmenes de aire a una velocidad más baja, incrementa la eficiencia de la turbina consumiendo menos combustible y produciendo un nivel de ruido más bajo.

Puesto que la turbina tiene por diseño un movimiento giratorio, al contrario que los motores de pistón que tienen que convertir el movimiento rectilíneo a movimiento circular, una turbina de gas es más simple que un motor de pistón de potencia equivalente, tiene menos peso, requiere menos mantenimiento, y tiene mayor capacidad de generar potencia; a cambio, consume combustible en mayor cantidad, y ciertas limitaciones termodinámicas que restringen su eficiencia a un 40% de su valor ideal.

En algunos casos, el chorro de aire que sale de turbina vuelve a ser quemado (postcombustión) generando una fuerza de aceleración extraordinaria. Debido al excesivo gasto de combustible de este procedimiento, solo se emplea en el Concorde y en aviones militares supersónicos, y en ambos casos en maniobras muy restringidas.

También, para ayudar en el frenado del avión tras la toma de tierra, las turbinas suelen tener unos dispositivos en la tobera de salida, conocidos como inversores de empuje o reversa, que cambian la dirección de salida del chorro de gases hacia adelante.

3.1.4 Propulsión por turbina.

Existen dos formas generales de convertir la energía del gas de salida de la turbina en fuerza propulsora.

(1) Un rotor colocado en el flujo del chorro extrae la potencia mecánica para mover un propulsor externo, por ejemplo una hélice; en este caso el empuje o tracción es generado por la aceleración de la masa de aire por la hélice. En este tipo de propulsión denominado turbohélice o turbopropulsor, la turbina mueve la hélice a través de un mecanismo reductor. Los turbohélice son más eficaces que los reactores a velocidades de hasta 300 mph, pero pierden eficacia a mayores velocidades. Si la turbina es de tipo turbofán, se obtiene un altísimo flujo de aire usando hélices de paso muy alto.

(2) El chorro de alta energía producido es dirigido a una tobera que acelera el chorro a muy alta velocidad en su salida a la atmósfera; en este caso el empuje es generado por la propia energía del chorro de salida. Este tipo de propulsión se denomina turbojet.

Notas.

La eficiencia de un motor se expresa en términos de potencia, velocidad, y consumo de combustible. En un motor de pistón, parte de la potencia generada en los cilindros se pierde debido a la resistencia por fricción de los elementos mecánicos del motor. Igualmente, hay una gran cantidad de energía contenida en el chorro de gas de una turbina que no es totalmente aprovechada para proporcionar propulsión. La eficiencia mecánica de un motor es la fracción de la energía disponible que es aprovechada para impulsar al aeroplano, comparada con la energía total de la combustión o el chorro de gases.

A la hora de diseñar un motor, dos parámetros importantes a tener en cuenta son su peso y su volumen por el efecto que ambos tienen sobre el rendimiento del aeroplano. Cada motor es diseñado de forma específica para obtener un eficiente consumo de combustible y lograr el más alto rendimiento propulsor, con el menor peso y volumen posible, todo ello en función del rango de velocidades y alturas en que debe operar el avión.

Sumario:

- La fuerza que impulsa al avión, se denomina tracción cuando se ejerce por delante del motor -tira del avión-, y empuje cuando se ejerce por detrás del motor -empuja al avión-.
 - Esta fuerza se obtiene acelerando una gran masa de aire. Esta aceleración hacia atrás genera una reacción de sentido contrario, la cual impulsa al avión hacia adelante.
 - La aceleración de esa masa de aire, se puede lograr mediante el giro de una hélice, la cual puede ser movida por un motor de pistón o una turbina de gas, o mediante la expulsión de gases a alta velocidad gracias a una turbina de gas. El elemento propulsor es la hélice en el primer caso, y la turbina en el segundo.
 - Tanto los motores de pistón como las turbinas, reciben el nombre de motores de combustión interna porque su funcionamiento requiere el quemado de combustible (queroseno, gasolina,...).
 - Los motores de pistón utilizados en aviación son casi idénticos a los de los automóviles, salvo tres aspectos característicos: (1) tienen un sistema de encendido doble servido por magnetos independientes de la batería, (2) suelen estar refrigerados por aire para ahorrar el peso que supone el radiador y el líquido refrigerante, y para minimizar las posibles averías por fallo en la refrigeración, y (3) como los aviones operan a distintas alturas, disponen de un control manual de la mezcla, que se utiliza para ajustar la proporción adecuada de aire y combustible según la altura.
 - El motor de pistón consta básicamente de unos cilindros, dentro de los cuales se deslizan arriba y abajo unos pistones que mediante las bielas transmiten este movimiento a un cigüeñal. El conjunto está dispuesto de forma que el movimiento rectilíneo de los pistones se convierte en movimiento giratorio del cigüeñal.
 - Los ciclos de trabajo de un motor de cuatro tiempos son: admisión, compresión, explosión y escape.
 - Conforme la disposición de los cilindros, los motores se denominan: horizontales opuestos (boxer), en línea, en "V", radiales...
 - Una turbina de gas es una máquina motriz que convierte la energía de la combustión de queroseno, en energía mecánica en forma de chorro de aire de alta presión y elevada temperatura.
 - Esta energía mecánica se aprovecha para mover un mecanismo propulsor tal como la hélice de un aeroplano o para generar el empuje que impulsa a un avión.
 - Las turbinas de gas constan básicamente de cuatro partes: compresor, cámaras de combustión, turbina, y tobera de salida.
 - Al contrario que en un motor de pistón, el ciclo de trabajo de la turbina es continuo.
 - Las turbinas tienen por diseño un movimiento giratorio, en tanto los motores de pistón han de convertir un movimiento rectilíneo en movimiento giratorio.
 - En un avión turbohélice o turbopropulsor, una o más turbinas hacen girar una o más hélices que impulsan al avión.
 - En un turbojet, el impulso se debe al chorro de gases de salida de la turbina.
-

SISTEMAS FUNCIONALES

3.2 SISTEMA PROPULSOR (HELICE).

La hélice es un dispositivo constituido por un número variable de aspas o palas (2, 3, 4...) que al girar alrededor de un eje producen una fuerza [propulsora](#). Cada pala está formada por un conjunto de perfiles aerodinámicos que van cambiando progresivamente su ángulo de incidencia desde la raíz hasta el extremo (mayor en la raíz, menor en el extremo).

La hélice está acoplada directamente o a través de engranajes o poleas (reductores) al eje de salida de un [motor](#) (de pistón o turbina), el cual proporciona el movimiento de rotación.



Fig.3.2.1 - Hélice.

Aunque en principio las hélices se construyeron de madera, actualmente se fabrican con materiales más ligeros y resistentes. El empleo de hélices como elemento propulsor en aviación ha decaído por la progresiva utilización de la propulsión por turbinas de gas, cada vez más potentes, ligeras, y con consumos más ajustados. No obstante, aunque la propulsión por hélice es poco utilizada en aviación comercial, su uso está generalizado en aviones ligeros.

3.2.1 Funcionamiento de la hélice.

Los perfiles aerodinámicos que componen una hélice están sujetos a las mismas leyes y principios que cualquier otro perfil aerodinámico, por ejemplo un ala. Cada uno de estos perfiles tiene un ángulo de ataque, respecto al viento relativo de la pala que en este caso es cercano al plano de revolución de la hélice, y un paso (igual al ángulo de incidencia). El giro de la hélice, que es como si se hicieran rotar muchas pequeñas alas, acelera el flujo de aire hacia el borde de salida de cada perfil, a la vez que deflecta este hacia atrás (lo mismo que sucede en un ala). Este proceso da lugar a la aceleración hacia atrás de una gran masa de aire, movimiento que provoca una fuerza de reacción que es la que propulsa el avión hacia adelante.

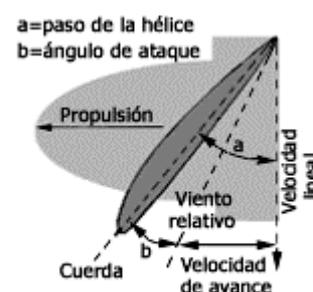


Fig.3.2.2 - Angulos de la hélice.

Las hélices se fabrican con "torsión", cambiando el ángulo de incidencia de forma decreciente desde el eje (mayor ángulo) hasta la punta (menor ángulo). Al girar a mayor velocidad el extremo que la parte más cercana al eje, es necesario compensar esta diferencia para producir una fuerza de forma uniforme. La solución consiste en disminuir este ángulo desde el centro hacia los extremos, de una forma progresiva, y así la menor velocidad pero mayor ángulo en el centro de la hélice se va igualando con una mayor velocidad pero menor ángulo hacia los extremos. Con esto, se produce una fuerza de forma uniforme a lo largo de toda la hélice, reduciendo las tensiones internas y las vibraciones.

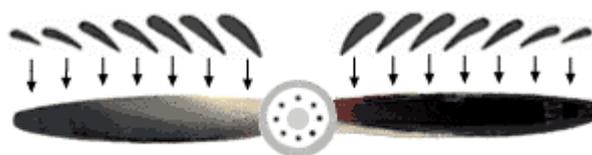


Fig.3.2.3 - Perfiles y ángulos de incidencia.

Un punto crítico en el diseño radica en la velocidad con que giran los extremos, porque si está próxima a la del sonido, se produce una gran disminución en el rendimiento. Este hecho pone límites al diámetro y las r.p.m. de las hélices, y es por lo que en algunos aviones se intercala un mecanismo reductor basado en engranajes o poleas, entre el eje de salida del motor y la hélice.

La fuerza de propulsión del aeroplano está directamente relacionada con la cantidad de aire que mueve y la velocidad con que lo acelera; depende por tanto del tamaño de la hélice, de su paso, y de su velocidad de giro. Su diseño, forma, número de palas, diámetro, etc... debe ser el adecuado para la gama de velocidades en que puede operar el avión. Una hélice bien diseñada puede dar un rendimiento de hasta 0,9 sobre un ideal de 1.

Con independencia del número de palas (2, 3, 4...), las hélices se clasifican básicamente en hélices de paso fijo y hélices de paso variable. Se denomina paso de la hélice al ángulo que forma la cuerda de los perfiles de las palas con el plano de rotación de la hélice.

3.2.2 Hélice de paso fijo.

En este tipo, el paso está impuesto por el mejor criterio del diseñador del aeroplano y no es modificable por el piloto. Este paso es único para todos los regímenes de vuelo, lo cual restringe y limita su eficacia; una buena hélice para despegues o ascensos no es tan buena para velocidad de crucero, y viceversa. Una hélice de paso fijo es como una caja de cambios con una única velocidad; compensa su falta de eficacia con una gran sencillez de funcionamiento.

En aviones equipados con motores de poca potencia, la hélice suele ser de diámetro reducido, y está fijada directamente como una prolongación del cigüeñal del motor; las r.p.m. de la hélice son las mismas que las del motor. Con motores más potentes, la hélice es más grande para poder absorber la fuerza desarrollada por el motor; en este caso entre la salida del motor y la hélice se suele interponer un mecanismo reductor y las r.p.m. de la hélice difieren de las r.p.m. del motor.

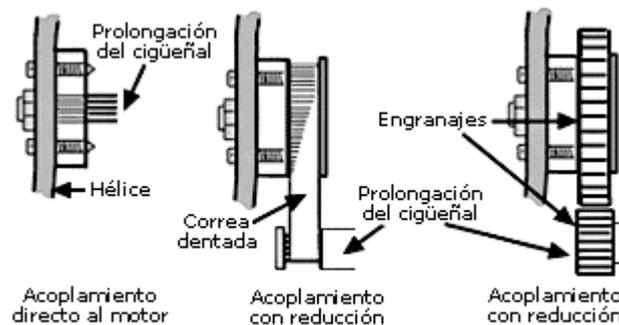


Fig.3.2.4 - Acoplamientos de hélice de paso fijo.

3.2.3 Hélice de paso variable.

Este tipo de hélice, permite al piloto ajustar el paso, acomodándolo a las diferentes fases de vuelo, con lo cual obtiene su rendimiento óptimo en todo momento. El ajuste se realiza mediante la palanca de paso de la hélice, la cual acciona un mecanismo que puede ser mecánico, hidráulico o eléctrico. En algunos casos, esta palanca solo tiene dos posiciones: paso corto (menor ángulo de las palas) y paso largo (mayor ángulo de las palas), pero lo más común es que pueda seleccionar cualquier paso comprendido entre un máximo y un mínimo.

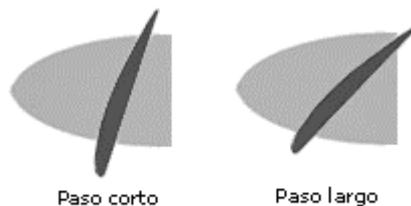


Fig.3.2.5 - Hélice de paso variable.

Para entender como funciona el paso variable, partimos de: (1) La mayoría de los motores de combustión interna obtienen su máxima potencia en un punto cercano al máximo de r.p.m. (2) La potencia requerida para volar de forma económica a velocidad de crucero es usualmente menor a la potencia máxima.

El paso corto, implica menor ángulo de ataque de la pala y por tanto menor resistencia inducida, por lo que la hélice puede girar más libre y rápidamente, permitiendo el mejor desarrollo de la potencia del motor. Esto le hace el paso idóneo para maniobras en las que se requiere máxima potencia: despegue y ascenso, aunque no es un paso adecuado para régimen de crucero.

Este paso es como las marchas cortas (1ª, 2ª) de la caja de cambios de un automóvil, que se emplean para arrancar o subir cuestas empinadas pero no son eficientes para viajar por autopista. Con estas marchas el motor de un automóvil alcanza rápidamente su máximo de r.p.m., lo mismo que el motor de un avión con paso corto en la hélice.

El paso largo, supone mayor ángulo de ataque y por ello mayor resistencia inducida, lo que conlleva menos r.p.m. en la hélice y peor desarrollo de la potencia del motor, pero a cambio se mueve mayor cantidad de aire. Con este paso, decrece el rendimiento en despegue y ascenso, pero sin embargo se incrementa la eficiencia en régimen de crucero.

Volviendo al ejemplo de la caja de cambios, este paso es como las marchas largas (4ª, 5ª), que son las más adecuadas para viajar por autopista pero no para arrancar o subir una cuesta empinada. Con estas marchas, el motor del automóvil no desarrolla sus máximas r.p.m., pero se obtiene mejor velocidad con un consumo más económico, exactamente lo mismo que un avión con la hélice puesta en paso largo.

En algunos manuales, se identifica el paso corto con velocidades pequeñas del avión debido a que las maniobras en las cuales está indicado este paso (despegue, ascenso...) implican baja velocidad en el avión. Por la misma razón se identifica el paso largo con altas velocidades (crucero...).

3.2.4 Hélice de velocidad constante.

Es una hélice de paso variable, cuyo paso se regula de forma automática, manteniendo fija la velocidad de giro de la hélice, con independencia de los cambios de potencia en el motor. Estas hélices tienen un regulador que ajusta el paso de las palas para mantener las revoluciones seleccionadas por el piloto, utilizando más eficazmente la potencia del motor para cualquier régimen de vuelo.

Notas.

Las hélices modernas, sobre todo aquellas que equipan a aviones bimotores o comerciales, tienen un mecanismo que en caso de fallo de motor permite ponerlas "en bandera", es decir, presentando al viento el perfil de la hélice que ofrece menor resistencia. En algunos aeroplanos equipados con motores muy potentes, es posible invertir el paso de la hélice para ayudar en la frenada y hacer más corta la carrera de aterrizaje.

La densidad del aire es un factor que interviene en el rendimiento tanto de la hélice como del motor: a mayor densidad mayor rendimiento. Puesto que la densidad disminuye con la altura, a mayor altura menor rendimiento de la hélice y del motor.

Se denomina paso geométrico a la distancia horizontal teórica que avanza una hélice en una revolución. Pero como el aire no es un fluido perfecto, la hélice "resbala" y avanza algo menos. Este avance real, se conoce como paso efectivo. Es obvio que el resbalamiento de la hélice es igual a la diferencia entre ambos pasos.



Fig.3.2.6 - Paso efectivo y paso geométrico.

En aviones monomotores, la hélice gira en el sentido de las agujas del reloj, vista desde el asiento del piloto. Para contrarrestar la [guiñada adversa](#) producida por la hélice, en algunos aviones con más de un motor, las hélices de un ala giran en un sentido y las de la otra en sentido contrario.

La hélice necesita unos cuidados básicos para que no pierda efectividad: mantenerla libre de suciedad, melladuras, grietas,... Cuando se rueda en terrenos no asfaltados, debe hacerse con precaución para evitar que las piedras levantadas por el aire de la hélice la golpeen, pudiendo producirle melladuras o fisuras. Por la misma razón, si la pista es asfaltada pero no así sus accesos o calles de rodaje, conviene realizar la prueba de motores si es posible sobre la pista.

Sumario.

- La hélice está formada por un número variable de palas que giran alrededor de un eje produciendo una fuerza propulsora.
- Cada pala es un conjunto de perfiles aerodinámicos que cambian progresivamente su ángulo de incidencia desde la raíz hasta el extremo de la hélice.
- Estos perfiles están sujetos a las mismas leyes y principios que otros perfiles aerodinámicos, tal como el ala.
- Las hélices son movidas por motores de pistón o turbina. El acoplamiento de la hélice al motor puede ser directo o bien mediante mecanismos reductores.
- La "torsión" dada a la hélice tiene como principal objetivo producir de forma uniforme la fuerza que acelera la masa de aire.
- Las puntas de la hélice tienen mayor velocidad que la parte central.
- La proximidad a la velocidad del sonido en el giro de la hélice produce una gran disminución en su rendimiento. Esto limita su diámetro y la velocidad de rotación.
- Se llama paso al ángulo que forma la cuerda de los perfiles de las palas con el plano de rotación de la hélice.
- Las hélices se clasifican básicamente en hélices de paso fijo y hélices de paso variable.
- Como su propio nombre indica, una hélice de paso fijo es aquella cuyo paso es único para todos los regímenes de vuelo; no es modificable por el piloto. Este tipo de hélice compensa su falta de eficacia con una gran sencillez de funcionamiento.
- Una hélice de paso variable posibilita al piloto ajustar el paso de la hélice a las distintas condiciones de vuelo. El ajuste se realiza con una palanca que, habitualmente, permite seleccionar un paso dentro de un rango, entre un paso mínimo y un paso máximo.
- El paso corto provoca menos resistencia y permite el mejor desarrollo de la potencia del motor, más r.p.m.. Este paso incrementa el rendimiento en despegue y ascenso, pero no es adecuado para régimen de crucero.

- El paso largo implica mayor resistencia y menor desarrollo de la potencia del motor, menos r.p.m., pero mueve una masa de aire mayor. Es el utilizado en régimen de crucero y no es eficaz en despegue y ascenso.
 - Los pasos de la hélice son como las marchas de la caja de cambios de un automóvil: marchas cortas (paso corto) para arrancar y subir cuestas empinadas; marchas largas (paso largo) para autopistas.
 - Una hélice de velocidad constante, es una hélice de paso variable que mantiene su velocidad constante con independencia de los cambios de potencia del motor.
 - Paso geométrico es la distancia horizontal teórica que avanza una hélice en una revolución, y paso efectivo es la distancia real.
 - Un factor muy importante en el rendimiento del motor y de la hélice es la densidad del aire: a mayor densidad mayor rendimiento. Como la densidad disminuye con la altura, a mayor altura menor rendimiento de la hélice y del motor.
-

SISTEMAS FUNCIONALES

3.3 CONTROL DE LA PROPULSIÓN.

Una vez conocida la forma en que se propulsa un avión, así como los dispositivos (motor y hélice) que desarrollan la fuerza que da lugar a esta propulsión, es necesario saber como y de que manera el piloto controla esta fuerza, en definitiva, como ejerce el control sobre el motor y la hélice.

Puesto que la gran mayoría de los aviones ligeros empleados en entrenamiento suelen estar dotados de un motor de pistón y una hélice, nos ceñiremos principalmente a este supuesto. Ahora bien, dependiendo de si la hélice es de paso fijo o paso variable, tanto los mandos como la forma de ejercer este control varía.

3.3.1 Mandos de la propulsión.

Los mandos mediante el cual el piloto controla la propulsión son: la palanca de gases y la palanca de paso de la hélice. Obviamente, solo se dispone de mando de paso de la hélice si el avión está equipado con hélice de paso variable o de velocidad constante. La palanca de gases actúa sobre el carburador o sobre el carburador y la presión en el colector de admisión; a mayor apertura mayor potencia desarrollada y viceversa. La posición más adelantada de la palanca de gases corresponde a la máxima potencia y la posición más retrasada corresponde a la mínima potencia (ralentí).

La palanca de paso actúa, como su propio nombre indica, sobre el paso de la hélice. La posición más retrasada de esta palanca corresponde a un paso largo (mayor ángulo en las palas) mientras que la posición más adelantada corresponde a un paso corto (menor ángulo en las palas). Debido a los términos empleados, se puede producir una cierta confusión al intentar asociar mentalmente pasos, ángulos de las palas, y posiciones del mando; en ese caso, lo menor confuso es asociar:

paso atrás= menos r.p.m., paso adelante= más r.p.m.

Algunos aviones (p.ejemplo Cessna) disponen de mandos de varilla en vez de palancas, pero el manejo es idéntico: empujando el mando de gases se aplica más potencia y tirando del mismo menos potencia; empujando el mando de paso de la hélice se seleccionan más r.p.m. y tirando se seleccionan menos r.p.m.

Con un símil automovilístico, el mando de gases funciona de manera similar al acelerador de un automóvil mientras que el mando de paso de la hélice lo hace como la palanca del cambio de velocidades.



Fig.3.3.1 - Mandos de la propulsión.

3.3.2 Instrumentos de control.

Los instrumentos que dan información sobre la propulsión son: el tacómetro y el indicador de presión de admisión (manifold pressure).

El tacómetro es un medidor de r.p.m. las cuales representa en un dial, calibrado de 100 en 100 r.p.m. con marcas mayores cada 500 r.p.m. Este instrumento suele tener un arco verde que indica el rango normal de operación en vuelo de crucero, y un arco rojo que muestra el rango que no es conveniente mantener de una forma sostenida.



Fig.3.3.2 - Tacómetro.

En aviones con hélice de paso fijo, este instrumento proporciona el número de r.p.m. del motor y por extensión, de la hélice; en aviones con hélice de paso variable, indica el número de r.p.m. de la hélice.

El indicador de presión de admisión, es un barómetro que mide la presión de la mezcla aire-combustible en el colector de admisión o múltiple, y la muestra en unidades de pulgadas de mercurio. Este indicador, inexistente en aviones con hélice de paso fijo, informa al piloto de la potencia del motor: a mayor presión más potencia. La presión de admisión influye sobre la potencia (a más presión más potencia) pero también somete al motor a más esfuerzos, y puede dar lugar al fenómeno conocido como detonación.



Fig.3.3.3 - Manifold pressure.

3.3.3 Aviones con hélice de paso fijo.

Para un avión equipado con hélice de paso fijo, la capacidad de propulsión está directamente relacionada con la velocidad de giro de la hélice, puesto que los demás parámetros (paso, etc..) no son susceptibles de cambio. Debido a esta circunstancia, el piloto solo dispone de la palanca de mando de gases para controlar la propulsión, siendo el tacómetro el único instrumento que le proporciona información sobre la misma.

En este tipo de aviones regular la propulsión es sencillo: empujando el mando de gases la potencia y las r.p.m. aumentan; al tirar de este mando, la potencia y las r.p.m. disminuyen. Recordemos del capítulo anterior que un avión con hélice de paso fijo es como un automóvil con una caja de cambios con una única marcha.



Fig.3.3.4 - Mandos de propulsión con hélice de paso fijo

Lo mismo que cuando un automóvil sube o baja una cuesta muy empinada el aumento o disminución de la velocidad aumenta o disminuye el número de r.p.m. del motor, el aumento de la velocidad aerodinámica del avión produce un aumento de las r.p.m., por lo cual es conveniente vigilar el tacómetro en descensos con mucha velocidad para asegurar que permanecen dentro de los límites.

3.3.4 Aviones con hélice de paso variable.

La capacidad de propulsión en los aviones con este tipo de hélices depende de la velocidad de rotación de la hélice y del paso de la misma. Esto hace que el control de la potencia y de las r.p.m. sea un poco más complejo. Mientras que en el caso anterior un mismo mando controlaba la potencia y las r.p.m., en este caso el piloto cuenta con un mando para controlar la potencia y otro para controlar las r.p.m. Como es natural, hay también dos instrumentos diferenciados para monitorizar la potencia y las r.p.m.

El mando de gases controla la potencia mediante la presión de admisión en el manifold o múltiple, la cual es registrada por el indicador de presión de admisión. A mayor apertura de gases mayor presión de admisión y por tanto mayor potencia desarrollada por el motor, y viceversa.

El mando de paso de la hélice controla las r.p.m. las cuales se monitorizan por medio del tacómetro. Valiéndonos de nuevo del símil automovilístico, el mando de gases es como el acelerador mientras que el mando de paso de la hélice es como la palanca del cambio de marchas.

Al contar con dos mandos, la combinación de posiciones que el piloto puede poner es muy amplia, siempre dentro de los límites de operación. Pero conviene destacar que los motores ofrecen su mejor rendimiento con unas r.p.m. concretas y una presión de admisión proporcional a estas r.p.m. Para cualquier r.p.m. dadas hay unos límites de presión de admisión que no deben ser excedidos para no someter al motor a esfuerzos que pueden dañarle. Los fabricantes suelen incluir unas tablas en las cuales se muestra la presión de admisión y las r.p.m. adecuadas a la misma, en función de la altura de vuelo.

Tener que actuar sobre dos mandos para regular la potencia, implica conocer cual es la secuencia correcta para aumentar o disminuir esta. De las combinaciones de r.p.m. y presión de admisión posibles, la menos acertada es mantener unas r.p.m. bajas con una presión de admisión alta, pues ello supone someter al motor a un esfuerzo innecesario (igual que acelerar en demasía el motor de un automóvil en una marcha corta).

Para aumentar la potencia: 1) incrementar las r.p.m. mediante el mando de la hélice y 2) aumentar la presión de admisión mediante el mando de gases. Para disminuirla se invierte el proceso: 1) reducir la presión de admisión mediante el mando de gases, y 2) disminuir las r.p.m. por medio del mando de paso de la hélice.

En caso de duda sobre que mando tiene preferencia sobre el otro, aplicar la regla "*El paso de la hélice es el más valiente: el primero en entrar y el último en salir*".

En la fase final del aterrizaje conviene tener el mando de la hélice adelante (paso corto) en previsión de tener que abortar la toma (motor y al aire).

3.3.5 Aviones con hélice de velocidad constante.

El control de la propulsión es idéntico al caso anterior. La única diferencia radica en que una vez seleccionadas unas r.p.m. con el mando de paso de la hélice, estas se mantendrán constantes aunque cambiemos la presión de admisión. Por ejemplo, si se incrementa la presión de admisión, el mecanismo automático de paso de la hélice incrementará el paso de las palas manteniendo las mismas r.p.m.

Un factor que influye en la propulsión, tanto si la hélice es de paso fijo o de paso variable o de velocidad constante, es la densidad del aire; a mayor densidad más propulsión. Así, una hélice a 2200 r.p.m. a nivel del mar producirá más propulsión que a 2500 r.p.m. en una altitud de 5000 pies.

Sumario.

- El piloto controla la propulsión por medio del mando de gases y del mando de paso de la hélice.
 - El mando de gases actúa como el acelerador de un automóvil: a mayor apertura del mando mayor potencia desarrollada por el motor.
 - La posición más retrasada del mando de paso de la hélice corresponde a un paso largo mientras que la posición más adelantada corresponde a un paso corto.
 - Los instrumentos que monitorizan la propulsión son el tacómetro y el indicador de presión de admisión.
 - El tacómetro muestra las r.p.m. de la hélice y el indicador de presión de admisión, la presión de la mezcla de aire-fuel en el colector de admisión.
 - A mayor presión de admisión mayor potencia desarrollada por el motor.
 - En aviones con hélice de paso fijo, únicamente se cuenta con el mando de gases, el cual actúa aumentando o disminuyendo las r.p.m. del motor y por extensión de la hélice. El tacómetro se encarga de medir las r.p.m. desarrolladas. Para aumentar la potencia abrir gases; para disminuirla cortar gases.
 - En aviones con hélice de paso variable o de velocidad constante, el mando de gases actúa sobre la presión de admisión (potencia) la cual se refleja en el indicador de presión de admisión, y el mando de paso de la hélice controla las r.p.m. de la misma. El instrumento que indica dichas r.p.m. es el tacómetro.
 - Para cualquier r.p.m. hay una presión de admisión que no debe ser sobrepasada.
 - Para aumentar la potencia en hélices de paso variable: 1) aumentar las r.p.m. mediante el mando de paso de la hélice y 2) incrementar la presión de admisión.
 - Para disminuirla: 1) reducir la presión de admisión, y 2) disminuir las r.p.m.
 - El mando de paso de la hélice sigue la regla del más valiente "*el primero en entrar y el último en salir*".
 - La densidad del aire es un factor que influye en la propulsión. Puesto que a mayor altura menor densidad, para unos mismos valores de velocidad de giro y paso de la hélice, a mayor altura menor capacidad de propulsión.
-

SISTEMAS FUNCIONALES

3.4 SISTEMA ELÉCTRICO.

La energía eléctrica es necesaria para el funcionamiento de muchos sistemas e instrumentos del aeroplano: arranque del motor, radios, luces, instrumentos de navegación, y otros dispositivos que necesitan esta energía para su funcionamiento (bomba de combustible, en algunos casos accionamiento de flaps, subida o bajada del tren de aterrizaje, calefacción del pitot, avisador de pérdida, etc...)

Antiguamente, muchos aeroplanos no contaban con un sistema eléctrico sino que tenían un sistema de magnetos que proporcionaban energía eléctrica exclusivamente al [sistema de encendido](#) (bujías) del motor; debido a esta carencia, el arranque del motor debía realizarse moviendo la hélice a mano. más tarde, se utilizó la electricidad para accionar el arranque del motor eliminando la necesidad de mover la hélice manualmente.

Hoy en día, los aviones están equipados con un sistema eléctrico cuya energía alimenta a otros sistemas y dispositivos. No obstante, para el encendido del motor se sigue utilizando un sistema de magnetos independiente, es decir que las magnetos no necesitan del sistema eléctrico para su operación. Gracias a esta característica, el corte del sistema eléctrico en vuelo no afecta para nada al funcionamiento normal del motor.

La mayoría de los aviones ligeros están equipados con un sistema de corriente continua de 12 voltios, mientras que aviones mayores suelen estar dotados de sistemas de 24 voltios, dado que necesitan de mayor capacidad para sus sistemas más complejos, incluyendo la energía adicional para arrancar motores más pesados.

El sistema eléctrico consta básicamente de los siguientes componentes:

3.4.1 Batería.

La batería o acumulador, como su propio nombre indica, transforma y almacena la energía eléctrica en forma química. Esta energía almacenada se utiliza para arrancar el motor, y como fuente de reserva *limitada* para uso en caso de fallo del alternador o generador.

Por muy potente que sea una batería, su capacidad es notoriamente insuficiente para satisfacer la demanda de energía de los sistemas e instrumentos del avión, los cuales la descargarían rápidamente. Para paliar esta insuficiencia, los aviones están equipados con generadores o alternadores.

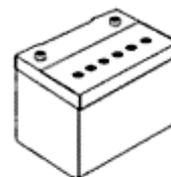


Fig.3.4.1 - Batería.

3.4.2 Generador/ Alternador.

Movidos por el giro del motor, proporcionan corriente eléctrica al sistema y mantienen la carga de la batería. Hay diferencias básicas entre generadores y alternadores.

Con el motor a bajo régimen, muchos generadores no producen la suficiente energía para mantener el sistema eléctrico; por esta razón, con el motor poco revolucionado el sistema se nutre de la batería, que en poco tiempo puede quedar descargada. Un alternador en cambio, produce suficiente corriente y muy constante a distintos regímenes de revoluciones. Otras ventajas de los alternadores: son más ligeros de peso, menos caros de mantener y menos propensos a sufrir sobrecargas.

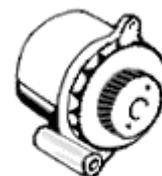


Fig.3.4.2 - Alternador.

El sistema eléctrico del avión se nutre pues de dos fuentes de energía: la batería y el generador/alternador. La batería se utiliza en exclusiva (salvo emergencias) para el arranque del motor; una vez puesto en marcha, es el alternador el que pasa a alimentar el sistema eléctrico.

El voltaje de salida del generador/alternador es ligeramente superior al de la batería. Por ejemplo, una batería de 12 volts. suele estar alimentada por un generador/alternador de 14 volts. o una batería de 24 volts. se alimenta con un generador/alternador de 28 volts. Esta diferencia de voltaje mantiene la batería cargada, encargándose un regulador de controlar y estabilizar la salida del generador/alternador hacia la batería.

3.4.3 Amperímetro.

Es el instrumento utilizado para monitorizar el rendimiento del sistema eléctrico. En algunos aviones el amperímetro es analógico, como el mostrado en la fig.3.1.3, en otros es digital, otros no poseen amperímetro sino que en su lugar tienen un avisador luminoso que indica un funcionamiento anómalo del alternador o generador, y en otros este avisador complementa al amperímetro.

El amperímetro muestra si el alternador/generador está proporcionando una cantidad de energía adecuada al sistema eléctrico, midiendo amperios. Este instrumento también indica si la batería está recibiendo suficiente carga eléctrica.



Fig.3.4.3 - Amperímetro.

Un valor positivo en el amperímetro indica que el generador/alternador esta aportando carga eléctrica al sistema y a la batería. Un valor negativo indica que el alternador/generador no aporta nada y el sistema se está nutriendo de la batería. Si el indicador fluctua rápidamente indica un mal funcionamiento del alternador/generador.

3.4.4 Interruptor principal o "master".

Con este interruptor, el piloto enciende (on) o apaga (off) el sistema eléctrico del avion, a excepción del encendido del motor (magnetos) que es independiente. Si el interruptor es simple, un mecanismo eléctrico activado por la carga/descarga del alternador, cambia de forma automática el origen de la alimentación del sistema eléctrico, de la batería al alternador o viceversa.

En la mayoría de los aviones ligeros este interruptor es doble: el interruptor izquierdo, marcado con las iniciales **BAT** corresponde a la batería y opera de forma similar al "master"; al encenderlo el sistema eléctrico comienza a nutrirse de la batería. El interruptor derecho, marcado con **ALT** corresponde al alternador/generador; al encenderlo, el sistema eléctrico pasa a alimentarse de la energía generada por este dispositivo, cargandose la batería con el excedente generado.

Este desdoblamiento del interruptor posibilita que el piloto excluya del sistema eléctrico al alternador/generador en caso de mal funcionamiento de este.



Fig.3.4.4 - Master.

Este interruptor tiene un mecanismo interno de bloqueo de manera que normalmente, el interruptor ALT solo puede activarse con el interruptor BAT también activado.

3.4.5 Fusibles y circuit breakers.

Los equipos eléctricos están protegidos de sobrecargas eléctricas por medio de fusibles o breakers (interruptores de circuito). Los breakers hacen la misma función que los fusibles, con la ventaja que pueden ser restaurados manualmente en lugar de tener que ser reemplazados. Los breakers tienen forma de botón, que salta hacia afuera cuando se ve sometido a una sobrecarga; el piloto solo tiene que pulsar sobre el breaker ("botón") para volver a restaurarlo.



Fig.3.4.5 - Circuit breakers.

3.4.6 Otros elementos.

Además de los elementos anteriores, el sistema eléctrico consta de otros componentes como: motor de arranque, reguladores, inversores de polaridad, contactores, transformadores y rectificadores, etc... Para facilitar la conexión de los equipos al sistema eléctrico, los aviones disponen de una barra de corriente ("electrical bus") que distribuye la corriente a todos ellos, simplificando sobremedida el cableado.

Puesto que los generadores producen corriente continua y los alternadores corriente alterna, el sistema está provisto de los correspondientes conversores, de corriente continua a alterna y viceversa.

El sistema de encendido del motor (magnetos), que como hemos dicho es un sistema independiente del eléctrico, se tratará en otro capítulo.

3.4.7 Fallos eléctricos.

La pérdida de corriente de salida del alternador se detecta porque el amperímetro da una lectura cero o negativa, y en los aviones que dispongan de ella, porque se enciende la luz de aviso correspondiente. Antes de nada debemos asegurarnos de que la lectura es cero y no anormalmente baja, encendiendo un dispositivo eléctrico, por ejemplo la luz de aterrizaje. Si no se nota un incremento en la lectura del amperímetro, podemos asumir que existe un fallo en el alternador. Si el problema subsiste, chequear el breaker del alternador y restaurarlo si fuera necesario. El siguiente paso consiste en apagar el alternador durante un segundo y volverlo a encender (switch ALT). Si el problema era producido por sobrevoltaje, este procedimiento debe retornar el amperímetro a una lectura normal.

Por último, si nada de lo anterior soluciona el fallo, apagar el alternador. Cuando se apaga el alternador, el sistema eléctrico se nutre de la batería, por lo que todo el equipamiento eléctrico no esencial debería ser cortado para conservar el máximo tiempo posible la energía de la batería.

En caso de fallo eléctrico en cualquier equipo, chequear el breaker correspondiente y restaurarlo. Si el fallo persiste no queda más remedio que apagar ese equipo.

Es importante desconectar el interruptor principal después de apagar el motor, ya que si se deja activado puede descargar la batería.

Sumario:

- El sistema eléctrico proporciona la energía necesaria para el funcionamiento de otros sistemas.
 - El sistema de encendido (magnetos) es independiente del sistema eléctrico.
 - La batería o acumulador almacena energía, transformando la energía eléctrica en energía química y viceversa.
 - La batería es una fuente de reserva de electricidad *limitada*.
 - El generador o el alternador producen la corriente necesaria para alimentar al sistema eléctrico y recargar la batería.
 - Los generadores producen corriente continua y los alternadores corriente alterna.
 - El amperímetro, analógico o digital, y las luces de aviso cuando existen, nos sirven para monitorizar el rendimiento del sistema eléctrico.
 - El interruptor "master" apaga/enciende el sistema eléctrico.
 - El master suele ser dual, un interruptor para la batería y otro para el alternador.
 - Todos los equipos eléctricos están protegidos de posibles daños debido a una sobrecarga de corriente por fusibles o breakers.
 - Los fusibles han de sustituirse, en tanto los breakers pueden restaurarse pulsandolos.
 - En caso de apagar el alternador por avería, debemos apagar también todos los equipos eléctricos no imprescindibles para alargar el periodo de reserva de la batería.
-

SISTEMAS FUNCIONALES

3.5 SISTEMA DE ENCENDIDO.

En el [capítulo 3.1](#) se detalla como el motor de pistón transforma la energía contenida en el combustible en energía mecánica, gracias a la explosión violenta de la mezcla de aire-combustible en los cilindros. Esta explosión, se produce gracias a una chispa que salta en las bujías en el momento adecuado (ciclo de explosión). La función del sistema de encendido consiste en generar la energía que hace saltar esa chispa.

Los sistemas de encendido se clasifican en sistemas de magneto y sistemas de batería y bobina. El encendido por magneto suele ser utilizado en motores aeronáuticos mientras que el encendido por batería y bobina es clásico en motores de automóvil, aunque en estos últimos está siendo desplazado por el encendido electrónico.

Aunque el funcionamiento de ambos sistemas es similar en sus principios básicos, la magneto es autosuficiente y requiere solo de las bujías y los cables conductores mientras que el sistema de batería y bobina requiere además otros componentes.

En la mayoría de los motores de los aviones se utiliza el sistema de encendido por magnetos, debido a que:

- Este sistema es autónomo, es decir no depende de ninguna fuente externa de energía, tal como el [sistema eléctrico](#) (batería, generador...). Esta autonomía posibilita que aunque el sistema eléctrico del avión sufra alguna avería en vuelo, el motor funcione con normalidad pues los magnetos continúan proveyendo la energía necesaria para la ignición.
- Las magnetos generan una chispa más caliente a mayores velocidades del motor que la generada por el sistema de batería y bobina de los automóviles.

El sistema de encendido de los motores aeronáuticos se compone de magnetos, bujías, y los cables de conexión entre estos elementos. De forma simplificada el funcionamiento del sistema es como sigue: las magnetos generan una corriente eléctrica, la cual es encaminada a las bujías adecuadas a través de los cables de conexión. Como es comprensible, el conjunto funciona de forma sincronizada con los movimientos del cigüeñal para hacer saltar la chispa en el cilindro correspondiente (el que está en la fase de combustión) y en el momento adecuado.

3.5.1 Magnetos.

Una magneto es un generador de corriente diseñado para generar un voltaje suficiente para hacer saltar una chispa en las bujías, y así provocar la ignición de los gases comprimidos en un motor de combustión interna.

Una magneto está compuesta de un rotor imantado, una armadura con un arrollamiento primario compuesto de unas pocas vueltas de hilo de cobre grueso y un arrollamiento secundario con un amplio número de vueltas de hilo fino, un ruptor de circuito y un capacitor.

Cuando el rotor magnético, accionado por el movimiento del motor, gira, induce en el primario una corriente que carga el capacitor; el ruptor interrumpe el circuito del primario cuando la corriente inducida alcanza su máximo valor, y el campo magnético alrededor del primario colapsa. El capacitor descarga la corriente almacenada en el primario induciendo un campo magnético inverso. Este colapso y la reversión del campo magnético produce una corriente de alto voltaje en el secundario que es distribuido a las bujías para la ignición de la mezcla.

3.5.2 Doble encendido.

Prácticamente todos los motores aeronáuticos están equipados con un sistema doble de encendido, compuesto por dos magnetos independientes que suministran corriente eléctrica a dos bujías en cada cilindro (una magneto suministra corriente a un juego de bujías y la otra alimenta al otro juego), por seguridad y eficacia:

- Si falla un sistema de magnetos, el motor puede funcionar con el otro hasta que pueda realizarse un aterrizaje seguro.
- Dos bujías en cada cilindro no solo dan mayor seguridad sino que además mejoran la combustión de la mezcla y permiten un mayor rendimiento.

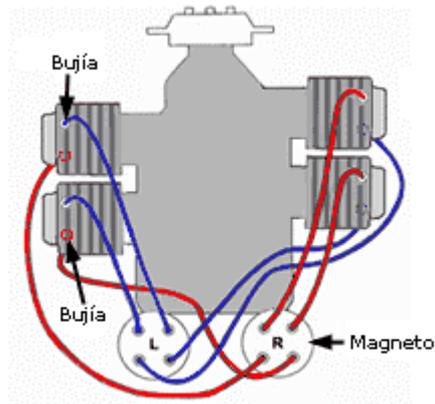


Fig.3.5.1 - Sistema de encendido doble.

3.5.3 Operación del encendido.

En el panel de instrumentos, hay un interruptor de encendido/starter accionado por llave, el cual tiene cinco posiciones:

- **OFF** (Apagado).
- **R** (Right= Derecha) en la cual solo una magneto suministra corriente a su juego de bujías.
- **L** (Left= Izquierda) lo mismo con la otra magneto y su juego de bujías.
- **BOTH** (Ambos), ambas magnetos suministran corriente, cada una a su juego de bujías, y
- **START** (Arranque) que acciona el starter que arranca el motor.

Para generar electricidad las magnetos deben girar, así que para poner en marcha el motor el piloto acciona el arranque (llave en START), alimentado por la batería, con lo cual se hace girar al cigüeñal y este a su vez las magnetos. Una vez comienzan a girar, las magnetos producen corriente y hacen saltar en las bujías la chispa que inflama la mezcla de aire y combustible en los cilindros. En el momento en que el motor comienza a girar por sus propios medios (explosiones en los cilindros), el piloto suelta la llave, la cual vuelve automáticamente a su posición de BOTH quedando desactivado el sistema de arranque. El motor sigue su ciclo de trabajo, con el sistema de encendido alimentado por la corriente generada por las magnetos gracias al giro del motor, así que la batería ya no juega ningún papel en el funcionamiento del motor. Esta autonomía de las magnetos posibilita que en vuelo el motor siga funcionando aún con el sistema eléctrico averiado o desconectado por avería.



Fig.3.5.2 - Llave de encendido.

Para asegurar que el sistema dual de encendido funciona correctamente, se debe comprobar este en la prueba de motores previa al despegue. El procedimiento consiste en: ajustar la potencia al régimen indicado por el fabricante (entre 1700 y 2000 r.p.m. dependiendo del avión); entonces se mueve la llave de encendido desde la posición BOTH hasta la posición L (Left) chequeando en el tacómetro que la caída de r.p.m. no excede de las indicadas por el fabricante (normalmente entre 75 y 100 r.p.m.); seguidamente se vuelve a la posición BOTH y se repite el mismo procedimiento llevando la llave esta vez a la posición R (Right) y comprobando en el tacómetro la caída de r.p.m. La diferencia en la caída de r.p.m. con la llave en L y con la llave en R tampoco debe superar las indicadas por el fabricante (unas 50 r.p.m.). Antes de realizar este procedimiento conviene asegurarse de que la temperatura y la presión del aceite tengan valores normales (indicadores en verde).

Para apagar el motor de un automóvil, basta con girar la llave de encendido y extraerla, pero el peculiar sistema de encendido del motor de un avión hace esto algo diferente. En primer lugar, se mueve la palanca de la [mezcla](#) de combustible a la posición de mínima para interrumpir la alimentación al motor; una vez que el motor se para, es cuando se lleva la llave de encendido a la posición OFF. De esta manera se garantiza que no queda combustible en los cilindros, lo cual podría hacer que el motor se pusiera en marcha si alguien mueve accidentalmente la hélice con la llave de encendido puesta, aún cuando el interruptor eléctrico principal ([master](#)) esté apagado.

3.5.4 Otros elementos.

Además de las magnetos, el sistema de encendido consta de las bujías y los cables que llevan la corriente desde las magnetos hasta la bujías. Las bujías de los motores de avión no son diferentes de la empleadas en los automóviles, y sus cuidados los mismos: mantenerlas limpias de carbonilla y desengrasadas, calibrar la separación entre sus electrodos, etc... En cuando a los cables, vigilar que no estén cortados o pelados, que están bien conectados, etc...

Sumario:

- La función del sistema de encendido consiste en generar la energía que hace saltar la chispa en las bujías.
- Los sistemas de encendido se clasifican en sistemas de magneto y sistemas de batería y bobina. El encendido por magneto es el más utilizado en motores aeronáuticos.
- El funcionamiento de ambos sistemas es similar en sus principios básicos, pero la magneto es autosuficiente y requiere solo de las bujías y los cables conductores mientras que el sistema de batería y bobina requiere además otros componentes.
- El sistema de encendido por magnetos es profusamente empleado en aviación por su autonomía respecto a fuentes de energía externa.
- Una magneto es un generador de corriente que genera un voltaje suficiente para hacer saltar una chispa en las bujías.
- Prácticamente todos los motores aeronáuticos están equipados con un sistema doble de encendido, por cuestiones de seguridad y eficacia.
- Si falla un sistema de magnetos, el motor puede funcionar con el otro hasta que pueda realizarse un aterrizaje seguro.

- Dos bujías en cada cilindro no solo aportan mayor seguridad sino que además mejoran la combustión de la mezcla y permiten un mayor rendimiento.
 - El sistema de encendido debe chequearse durante la prueba de motores, antes del despegue.
 - Antes de apagar el motor llevando la llave de encendido a OFF, hay que cortar la mezcla de combustible y dejar que el motor se pare.
-

SISTEMAS FUNCIONALES

3.6 COMBUSTIBLE (I).

La energía que propulsa a un avión, independientemente del tipo de motor utilizado, se obtiene a partir de la conversión de la energía química contenida en el combustible a energía mecánica, es decir quemando combustible. Por tanto, todo avión propulsado por un motor requiere un sistema capaz de almacenar el combustible y transferirlo hasta los dispositivos que lo mezclan con el aire, o lo inyectan en los cilindros o en los quemadores.

El sistema esta compuesto por [depósitos](#), conductos, [carburador](#) o sistema de [inyección](#), instrumentos de medida, y otros dispositivos tales como cebador (primer), mando de mezcla, bomba de combustible, etc...

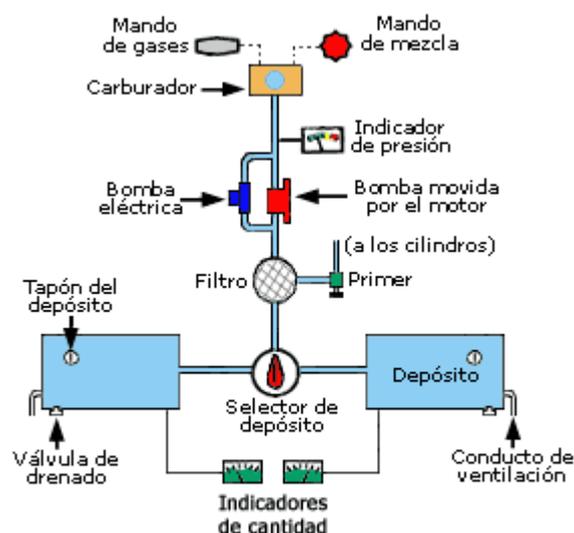


Fig.3.6.1 - Esquema de sistema de combustible.

3.6.1 Combustible.

Los aviones equipados con [motores de pistón](#) utilizan gasolina de aviación, producto líquido, incoloro, volátil e inflamable, compuesto por una mezcla de hidrocarburos, obtenida entre otros productos en el proceso de refinado del petróleo, y que arde en combinación con el oxígeno liberando una gran cantidad de energía.

Entre todas las especificaciones del combustible, tales como densidad, poder calorífico, punto de congelación, etc.. la que más interesa al piloto es el octanaje. El octanaje define el poder [antidetonante](#) de un carburante en relación a una mezcla de hidrocarburos tomada como unidad base, y se expresa con un número denominado número de octano.

La gasolina de aviación se clasifica (lo mismo que la de automóvil) por número de octano o grados, y cada fabricante especifica el grado de combustible a utilizar para ese motor, siendo el más común el denominado 100LL (de color azul). En caso de no poder repostar el combustible recomendado, ocasionalmente se puede utilizar combustible de superior octanaje pero en ningún caso de octanaje inferior. Para facilitar su identificación, los carburantes están teñidos de colores, correspondiendo el rojo al 80/87 octano, azul al 100/130 y púrpura al 115/145.

Los aviones propulsados por [turbina](#) (turborreactor, turbopropulsor o turbohélice) utilizan queroseno, de propiedades similares a la gasolina, obtenido también en el proceso de refinado del petróleo. Con independencia de su graduación, es incoloro o amarillo pálido. Este combustible, específico para motores de turbina, no puede emplearse de ninguna manera en motores de pistón.

Para facilitar su identificación, los carburantes están teñidos de colores, correspondiendo el rojo al 80/87 octano, azul al 100/130 y púrpura al 115/145. Una característica que aporta seguridad es que si se mezcla combustible de distintos octanajes los colores se anulan entre sí, es decir el combustible se vuelve transparente.

Para aumentar el poder antidetonante del combustible, se le solía añadir tetraetilo de plomo, pero esta práctica se abandonó en la década de los 80 debido a la toxicidad que producía en los residuos de la combustión. Otros aditivos incluyen a veces detergentes, productos antihielo, y antioxidantes.

3.6.2 Depósitos.

La mayoría de los aviones están diseñados para utilizar el espacio interior de las alas como depósitos. Aunque algunos usan cámaras de goma, lo habitual es utilizar lo que se llaman "alas húmedas", en que la propia estructura del ala hace de depósito, utilizándose selladores especiales para impedir el escape del combustible.

Los depósitos tienen una abertura para llenado, con su tapa de cierre, unas válvulas para proceder a su drenado, y unas tomas de aire ambiente. El objetivo de estas tomas es permitir que el aire sustituya al combustible gastado, manteniendo así una presión ambiente en la parte vacía del depósito. Si el depósito fuera totalmente hermético, al ir gastando combustible se generaría una depresión en la parte vacía, depresión que impediría el flujo hacia el motor.

Es posible que por condensación se formen gotas de agua en los depósitos, las cuales se depositan en la parte mas baja del depósito debido a su mayor peso. Lo mismo sucede con las impurezas. Pues bien, las válvulas de drenado, situadas en la parte más baja de los depósitos, sirven para drenar de agua e impurezas los depósitos. En algunos aviones, también hay una válvula de drenado en la parte del motor.

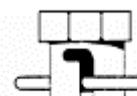


Fig.3.6.2 - Válvula de drenado.

La cantidad de combustible contenida en cada depósito se muestra al piloto mediante los correspondientes indicadores en el cuadro de mandos, la mayoría de las veces en galones USA pues la mayor parte de los aviones son de construcción estadounidense (1 galón USA equivale aproximadamente a 3,8 litros).



Fig.3.6.3 - Indicadores de cantidad de combustible.

3.6.3 Alimentación de combustible.

A veces, los sistemas de combustible se clasifican según la forma de acarrearlo desde los depósitos hasta el motor. Bajo esta perspectiva, se clasifican en sistemas de alimentación por gravedad y sistemas de alimentación por bomba de combustible. El sistema por gravedad se suele emplear en aviones de plano alto, fluyendo el combustible desde las alas hasta un conducto único hacia el motor por su propio peso. Obviamente, este sistema no puede ser utilizado en aviones de plano bajo, por lo que estos utilizan unas bombas mecánicas y/o eléctricas que bombean el combustible a presión, desde los depósitos al motor.

En este último caso, la mayoría de los aviones disponen de dos sistemas a este efecto: un sistema principal cuya bomba es movida mecánicamente por el giro del motor, y un sistema auxiliar que cuenta con una bomba activada eléctricamente, la cual se utiliza para proveer presión adicional al sistema, especialmente en el arranque del motor, en despegue y aterrizaje, en el cambio de depósito mediante el selector, o en cualquier emergencia o anomalía en el sistema de combustible. Algunos aviones de plano alto también cuentan con este sistema auxiliar.



Fig.3.6.4 - Interruptor de la bomba auxiliar de combustible e indicador de presión.

En el cuadro de mandos de la cabina, se encuentra el interruptor que acciona esta bomba auxiliar, así como un indicador que muestra al piloto la presión en el sistema de combustible.

Con independencia de la forma de alimentación, los conductos de combustible pasan a través de un selector, localizado en la cabina, el cual provee al piloto de la posibilidad de abrir o cerrar el paso de combustible, y además en algunos casos seleccionar el depósito del cual se alimenta el sistema. Este mando selector puede ser de dos posiciones (On=Abierto y Off=Cerrado), o de tres posiciones (R=Depósito izquierdo, L=Depósito derecho y Off=Cerrado). La posición Off solo debe usarse para cortar el paso del combustible en un aterrizaje de emergencia y evitar de esa manera un posible incendio.



Fig.3.6.5 - Selectores de depósito.



Fig.3.6.6 - Primer.

Para facilitar el arranque del motor, especialmente en tiempo frío, los aviones disponen de un dispositivo cebador, denominado *primer*, consistente en una varilla aunque los hay eléctricos, que al tirar de ella toma combustible y al empujarla inyecta el combustible aspirado directamente en el colector de admisión o en los cilindros. La varilla tiene un pequeño pitón que sirve para mantenerla bloqueada, de forma que para extraer o empujar la varilla este pitón debe hacerse coincidir con la ranura del conjunto en que se aloja.

3.6.4 Carburador.

El objetivo último del sistema de combustible consiste en proveer a los cilindros de una mezcla de aire y combustible para su ignición. Para este fin, la mayoría de los motores de pistón utilizados en aviación están equipados con un carburador o con un sistema de [inyección](#) de combustible. Los carburadores son de utilización común en motores no muy potentes debido a que son relativamente económicos y sencillos de fabricar, en tanto los motores mayores suelen tener sistemas de inyección.

El carburador consta muy esquemáticamente de: una cámara de entrada a la cual llega la gasolina por un conducto que suele contener un filtro; en esa cámara, un flotador tiene adosada una válvula de aguja que al subir o bajar con el flotador abre o cierra el conducto de entrada del combustible; una tobera circular de entrada de aire en la cual se produce un estrechamiento o Venturi, en el centro del cual se halla una boquilla de salida de gasolina; una válvula de mariposa accionada por el mando de gases en la cabina, un dispositivo de control de la mezcla, y otros elementos tales como economizador, bomba de combustible, etc...

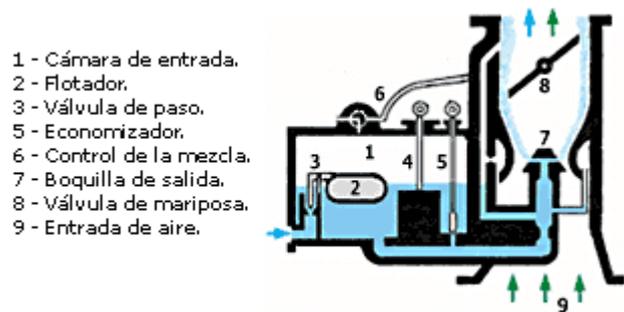


Fig.3.6.7 - Carburador.

Su funcionamiento es el siguiente: La gasolina llega a la cámara de entrada, manteniéndose un nivel constante en la misma gracias a una válvula movida por el flotador, la cual se encarga de abrir y cerrar el paso. El aire, succionado por los pistones en el ciclo de admisión, entra al carburador a través de un filtro de aire que elimina las partículas no deseadas; por la tobera de entrada, pasa a través de un estrechamiento o tubo [Venturi](#), donde su velocidad aumenta y su presión disminuye (ver [Bernoulli](#)) de forma proporcional al flujo de aire; este decrecimiento de la presión obliga al combustible a fluir por la boquilla, donde se pulveriza y se mezcla con el aire entrante. Cualquier incremento del flujo de aire causado por una mayor velocidad del motor o por una mayor abertura de la válvula de mariposa incrementará la presión diferencial y por tanto el flujo de combustible.

Por último, la mezcla pasa a través de la válvula de mariposa al colector de admisión y desde este a los cilindros (ciclo de admisión).

El ratio de volumen aire/combustible establecido debería ser mantenido a medida que el flujo se incrementa, pero existe una tendencia al enriquecimiento de la mezcla que se compensa con la inclusión de economizadores. Asimismo, para proveer un medio de enriquecer rápidamente la mezcla suelen contar con una bomba de aceleración. En el siguiente capítulo se detalla el dispositivo de control de la mezcla.

3.6.5 Inyección de combustible.

Los sistemas de inyección de gasolina ya estaban disponibles en motores aeronáuticos antes de la II Guerra Mundial, y han sido profusamente empleados en aviación, pero aunque el rendimiento de los motores con este sistema es excelente, el mayor coste comparado con el sistema de carburador ha limitado su aplicación.

Como su nombre indica, un motor de inyección inyecta directamente el combustible, durante el ciclo de admisión, en los cilindros o en la entrada de la válvula de admisión, mezclándose de esta manera con el aire. Este tipo de sistema requiere bombas de alta presión, una para todos los cilindros o una por cilindro (multibomba), una unidad de control de aire y combustible, un distribuidor de combustible e inyectores de descarga en cada cilindro, lo cual lo encarece respecto a los sistemas de carburador. Al igual que en los motores con carburador, el piloto controla el flujo de combustible ajustando el control de la mezcla.

La inyección de combustible presenta varias ventajas, en relación con los sistemas de carburador, que compensan su mayor costo y complejidad.

- Al no existir carburador no hay posibilidad que se produzca hielo en el mismo, aunque en ambos sistemas el hielo que entra por el conducto de admisión del aire puede bloquearlo.
- Mejor flujo de combustible.

- Respuesta más rápida del acelerador.
- Control exacto de la mezcla.
- Mejor distribución del combustible.
- Arranques más fáciles a bajas temperaturas.

La inyección de combustible presenta también algunas desventajas tales como:

- Es más difícil poner en marcha un motor caliente.
- Se forman tapones de vapor durante las operaciones en tierra en días calurosos.
- Es más difícil rearrancar un motor parado por falta de combustible.

3.6.6 Detonación.

Para aprovechar de forma eficiente toda la energía liberada por la combustión de la mezcla de aire y combustible en los cilindros, esta combustión debe producirse de una manera progresiva y no muy rápida. Pues bien, la detonación es la combustión espontánea, violenta y excesivamente rápida de esta mezcla. Este fenómeno se produce a causa de las altas relaciones de compresión que alcanza la mezcla dentro de los cilindros, lo cual puede provocar la detonación de dicha mezcla. El octanaje del combustible mide la capacidad antidetonante de este, de manera que a mayor número de octano mayor es la capacidad antidetonación del combustible, o lo que es lo mismo, mayor relación de compresión soporta. La detonación es un fenómeno no deseado, debido a que no aprovecha de forma eficiente la energía de la combustión y a que somete a los componentes del motor a esfuerzos estructurales que pueden dañarlo. La posibilidad de detonación aumenta con la potencia y depende de:

- Octanaje: A menor octanaje mayor riesgo de detonación.
- Riqueza de la mezcla: Las mezclas pobres aumentan la posibilidad de detonación.
- Temperatura: Cuanto mayor es la temperatura del aire de entrada mayor es el riesgo de detonación.
- Presión de admisión: A mayor presión de admisión mayor posibilidad de detonación.

La detonación se reconoce por un golpeteo intermitente y con sonido metálico en el motor, pérdida de potencia, y elevación anormal de la temperatura del motor.

Sumario:

- La función del sistema de combustible es proveer un medio de almacenarlo, transferirlo al motor, y mezclado con el aire pasarlo a los cilindros para su combustión.
- El sistema esta compuesto por depósitos, conductos, carburador o sistema de inyección, instrumentos de medida, y otros dispositivos tales como cebador (primer), mando de mezcla, bomba de combustible, etc.
- El combustible empleado en los motores de pistón es gasolina de aviación, interesando al piloto principalmente su octanaje. En los motores de turbina se utiliza queroseno.
- El octanaje define el poder antidetonante de un carburante en relación a una mezcla de hidrocarburos tomada como unidad base, y se expresa con un número denominado número de octano.
- La mayoría de los aviones tienen los depósitos de combustible en las alas, en lo que se conoce como "alas húmedas".
- Los depósitos tienen una abertura con su tapón de cierre, válvulas para drenarlos de agua e impurezas, y unas tomas de aire ambiente que evitan que se forme una depresión en la parte vacía del depósito.
- La cantidad de combustible contenida en cada depósito se muestra al piloto mediante unos indicadores en el cuadro de mandos.

- La alimentación de combustible desde los depósitos puede hacerse mediante gravedad (aviones con plano alto), o mediante el uso de bombas de combustible (aviones con plano bajo). En ambos casos, un selector permite abrir o cortar el paso de combustible, y además en algunos casos seleccionar el depósito de suministro.
 - Junto con la bomba de combustible principal, movida por el motor, suele existir una bomba auxiliar accionada eléctricamente por el piloto mediante un interruptor en la cabina. La presión del sistema de combustible se muestra mediante un indicador en el cuadro de mandos.
 - El primer o cebador es un dispositivo que aporta combustible, en los cilindros o en el colector de admisión, para ayudar al arranque del motor a bajas temperaturas.
 - La mezcla de aire y combustible en los cilindros puede lograrse mediante el uso de carburador o por medio de un sistema de inyección de combustible.
 - En el carburador, el combustible se mezcla con el aire a la entrada del colector de admisión, gracias al efecto Venturi provocado por un estrechamiento en el propio carburador.
 - El sistema de inyección, inyecta el combustible directamente en los cilindros o justamente en la entrada de las válvulas de admisión.
 - El sistema de carburador está más extendido debido a su mayor sencillez de construcción y por tanto su menor coste.
 - Se denomina detonación a la combustión espontánea de la mezcla de aire y combustible, debida sobre todo a la alta relación de compresión en los cilindros.
 - A mayor número de octano, mayor es la capacidad antidetonante del combustible.
-

SISTEMAS FUNCIONALES

3.7 COMBUSTIBLE (II).

Para completar la descripción del sistema de combustible, en este capítulo se detallan dos controles de gran importancia y una serie de recomendaciones a tener en cuenta con el combustible.

3.7.1 Control de la mezcla.

La mezcla de aire y combustible que entra en los cilindros debe estar dentro de unas proporciones adecuadas, pues tanto una mezcla con mucho aire y poco combustible como con mucho combustible y poco aire, no es eficiente ni produce el rendimiento adecuado del motor. Las relaciones de mezcla entre 7:1 y 22:1 representan el rango dentro del cual es posible la combustión, estando los valores normales entre 12:1 y 15:1. Por lo general, en los motores de pistón, la mejor eficiencia de operación se obtiene con una relación de 15:1 (15 partes de aire por 1 de combustible), pero los fabricantes diseñan el sistema para que, con el mando de mezcla en "rica", esta sea algo mas enriquecida (típicamente 12:1) que la ideal, con el objeto de reducir la posibilidad de detonación y ayudar a que no se eleve la temperatura del motor.

Los carburadores de los motores de aviación se ajustan normalmente para obtener la máxima potencia en el despegue. Por esta razón, se suelen calibrar midiendo la cantidad de combustible entregada con el control de la mezcla en posición de mezcla rica, con la presión a nivel del mar. Como la densidad del aire disminuye con la altura, esto supone que a medida que el avión asciende, aunque el volumen de aire que entra en los cilindros se mantenga constante su peso irá decreciendo. Si la cantidad de combustible (peso) dada por el carburador sigue siendo la misma, la mezcla tenderá a enriquecerse. Para compensar esta diferencia el piloto dispone de un mando de control de la mezcla.

Este mando, de palanca o de varilla, situado generalmente al lado de la palanca de gases, tiene un recorrido con dos posiciones extremas: "Full Rich " o "Rich" a secas, e "Idle Cut Off", pudiendo posicionarse el mando en los puntos máximos o en cualquier otro punto intermedio del recorrido. En la posición "Full Rich" se obtiene el máximo de mezcla mientras que "Idle Cut Off" solo debe emplearse para cortar el flujo de combustible y parar el motor.

El ajuste de la mezcla mediante este mando debe hacerse conforme a lo dictado por el constructor en el Manual de Operación del avión.

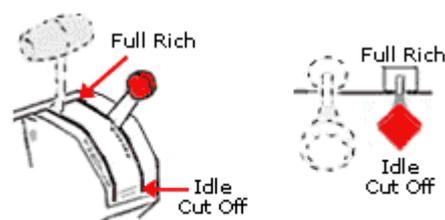


Fig.3.7.1 - Mando de control de la mezcla.

Como regla general, el mando de mezcla debe estar siempre en la posición "Rich" durante el despegue, ascenso, aterrizaje, y durante el circuito de tráfico. Algunos fabricantes simplifican esta cuestión abogando por mantener el mando en "Rich" por debajo de una cierta altitud (entre 3000 y 5000 pies) y solo empobrecer la mezcla por encima de la misma, aunque no se recomienda empobrecer la mezcla con el motor por encima del 75% de su potencia. En algunas ocasiones y según el aeroplano, se empobrece momentáneamente la mezcla para por ejemplo: evitar que se engrasen las bujías si se está mucho tiempo esperando permiso de la torre para el despegue (hay que ponerlo de nuevo en "Rich" para el despegue), calentar con más rapidez el motor antes de la prueba de motores si la temperatura es muy baja, o para arrancar con mas facilidad un motor que se sospecha "ahogado".

El manual del avión debe especificar el procedimiento para empobrecer la mezcla; no obstante sirva como norma general el siguiente: (1) poner el motor a unas r.p.m. constantes; (2) a continuación mover el mando de mezcla suavemente, empobreciéndola, hasta notar que las r.p.m. se incrementan ligeramente; en este punto se tiene el pico máximo de potencia según mezcla y si se siguiera empobreciendo la mezcla las r.p.m. caerían hasta llegar a parar el motor; (3) desde la posición de pico máximo, retornar un poco la palanca enriqueciendo la mezcla, hasta que sea perceptible un decrecimiento de las r.p.m. (entre 25 y 50 menos que las dadas en el pico máximo).

3.7.2 Efectos de mezcla inadecuada.

Una mezcla de aire y combustible demasiado rica (demasiado combustible para el peso de aire) puede provocar:

- Un consumo excesivo, lo cual significa un menor tiempo de vuelo y un menor radio de operación.
- Funcionamiento irregular del motor, lo cual puede llevar a que no desarrolle toda su potencia.
- Temperatura de operación del motor mas baja de lo deseable.
- Una mayor posibilidad de "engrasar" las bujías.

Por otra parte, una mezcla demasiado pobre (combustible escaso para el peso del aire) puede producir:

- Pérdida de potencia.
- El motor gira abruptamente y está sujeto a excesivas vibraciones.
- La temperatura del motor puede alcanzar niveles indeseables.
- La posibilidad de detonación se incrementa.

3.7.3 Cuidar el combustible.

Una de las principales causas de los accidentes de aviación, sobre todo en aviones ligeros, se debe a problemas con el combustible (agotamiento, mal filtrado, agua o impurezas en el mismo, etc.). Sin embargo es relativamente sencillo evitar estos problemas siguiendo una sencilla rutina en la inspección prevuelo y vigilando el consumo durante el propio vuelo. Aunque en el capítulo relativo a la inspección de vuelo se detallan los procedimientos a seguir, veamos algunos referentes al combustible:

- Asegurar que la cantidad cargada es suficiente. El consumo puede ser mayor al esperado; cabe la posibilidad de tener que aterrizar en un aeródromo distinto del previsto; un exceso de tráfico puede incrementar nuestro tiempo de vuelo; etc.. La norma exige que lleguemos a nuestro destino con combustible a bordo suficiente para al menos 30 minutos más de vuelo (VFR y vuelo diurno).
- Drenar los depósitos para comprobar que no queda agua o impurezas en el mismo y que efectivamente lo que hay allí dentro es combustible.
- Cerrar bien tapones y drenadores.
- Los indicadores de cantidad pueden estar estropeados o sufrir errores. Comprobar la cantidad contenida en los depósitos visualmente.
- Chequear el funcionamiento de la bomba auxiliar, si el avión dispone de este dispositivo.
- Calcular el consumo. La mayoría de las tablas de rendimiento de un avión proporcionan el consumo en galones a distintos regímenes de funcionamiento del motor.

Durante el vuelo, además de chequear los medidores de combustible, teniendo en cuenta el tiempo volado, hay dos cuestiones básicas a tener en cuenta:

- Si el avión dispone de selector de depósito, se debe ir alternando la alimentación de uno a otro cada cierto tiempo (p.ejemplo cambio cada 1/2 hora). Esperar a que se agote el combustible de un depósito para pasar al otro puede provocar fallos de motor.
- Al cambiar de altitud puede ser conveniente ajustar la mezcla para asegurarse que la proporcionada al motor es la adecuada.

3.7.4 Calefacción del carburador.

Uno de los motivos más comunes de que un motor falle, llegando a pararse si no se corrige la situación, es la formación de hielo dentro del carburador, razón por la cual es conveniente conocer las causas, los síntomas, y las condiciones que producen esta formación de hielo.

El súbito enfriamiento en el sistema de inducción del carburador, debido a la vaporización del combustible (en un 70%) y a la aceleración del aire y subsiguiente pérdida de presión en el Venturi (en el 30% restante), puede causar que la temperatura caiga hasta en 30°C por debajo de la del aire de entrada. Si la temperatura en el carburador cae por debajo de 0°C, bajo ciertas condiciones atmosféricas de humedad (esta es la palabra clave, "humedad"), las partículas de agua contenidas en el aire de entrada se precipitan en forma de hielo, habitualmente en las paredes del carburador cercanas a la boquilla de salida del combustible y en la válvula de mariposa. La acumulación de

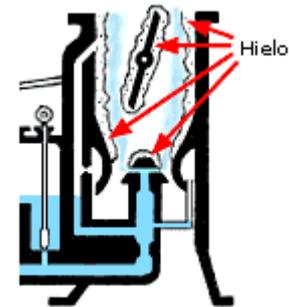


Fig.3.7.2 - Hielo en el carburador:

Las dos condiciones más importantes a tener presentes en cuanto a la posible formación de hielo en el carburador son: la TEMPERATURA del aire y su HUMEDAD RELATIVA. La temperatura del aire ambiente es importante, pero no porque sea necesario que esté por debajo de 0°C o cercana al punto de congelación, puesto que si la temperatura en el carburador cae hasta 30°, se puede producir congelación incluso en un ambiente relativamente caluroso (entre -10°C y 30°C). La humedad relativa es el factor más importante, considerándose posible la formación de hielo en el carburador con valores tan bajos como un 30% de humedad. Lógicamente, cuanto mayor sea el contenido de agua en la atmósfera, mayor es el riesgo de hielo en el carburador. En días secos o cuando la temperatura está muy por debajo del punto de congelación, la humedad del aire no suele generar hielo en el carburador, pero si la temperatura está entre -10°C y 30°C, y la humedad relativa es alta debemos tomar las precauciones necesarias para evitar su formación. Es necesario hacer hincapié en que no es necesario que la humedad sea visible (nubes, lluvia) para que sea posible la formación de hielo en el carburador. Conviene tener presente las recomendaciones dadas en el Manual de Vuelo de cada avión, porque algunos son más sensibles a este fenómeno que otros. Por ejemplo, las Cessna forman hielo en el carburador con más facilidad que las Piper.

El primer indicio de la formación de hielo en el carburador es un funcionamiento irregular del motor y una pérdida de potencia. En aviones propulsados por hélices de paso fijo, esto último se traduce en una caída de las r.p.m. en el tacómetro, mientras que con hélices de paso variable (de velocidad constante) se traduce en una caída de la presión del colector de admisión, porque debido a su naturaleza las r.p.m. se mantendrán constantes. A medida que se vaya formando más hielo en el carburador, el funcionamiento del motor se hará más irregular y la pérdida de potencia se hará mayor.

Para impedir la formación de hielo en el carburador o para eliminar el que se haya podido formar, los carburadores están equipados con calefactores (carburetor heat). Aunque su nombre parece sugerir el uso de alguna resistencia eléctrica o algo similar, en realidad al mover la palanca para activar la calefacción al carburador, lo único que hace el piloto es cambiar la entrada de aire desde el conducto normal (con filtro) a otra toma (sin filtro) que sirviéndose del calor del colector de escape calienta el aire. Este aire caliente debe derretir el hielo del carburador y mantener la temperatura en el mismo por encima del punto de congelación.

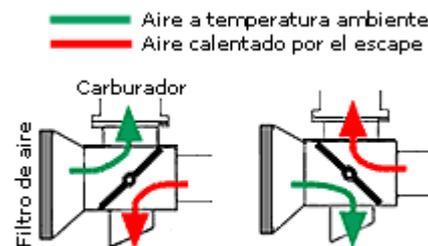


Fig.3.7.3 - Calefacción al carburador.

3.7.5 Uso de la calefacción al carburador.

La calefacción al carburador se puede utilizar como medida preventiva cuando se vuela en condiciones que pudieran provocar la formación de hielo en el carburador, y en todo caso cuando por el funcionamiento del motor o por las indicaciones de los instrumentos se tenga sospecha del suceso.

El hielo en el carburador se considera bastante improbable, aunque no imposible, con el motor operando por encima del 75% de su rendimiento, o sea en despegues y en ascensos; es más, generalmente no se recomienda utilizar calefacción al carburador con el motor operando por encima del 75% porque puede causar detonación. Puesto que activar la calefacción al carburador disminuye la potencia del motor aproximadamente un 9%, debido a la menor densidad del aire caliente, en cualquier situación donde se requiera toda la potencia, tal como despegue, ascenso, o motor y al aire en un aterrizaje, la calefacción al carburador debe estar desactivada.

La menor densidad del aire caliente, también produce un enriquecimiento de la mezcla, lo cual puede hacer necesario en determinados casos empobrecerla, para que el motor ruede más suavemente y para producir más calor en el motor que ayude a deshacer el hielo.

Aunque la palanca de calefacción al carburador tiene un recorrido entre sus posiciones de activado (hot) y desactivado (cold) es muy raro encontrar alguna recomendación de su uso en una posición intermedia. Lo normal en caso de hielo en el carburador, es activar el mando y mantenerlo en el máximo hasta tener la seguridad de que el hielo se ha eliminado. Si existe hielo en el carburador, al activar el mando las r.p.m. caerán inicialmente, debido a que la mezcla contiene partículas de agua procedentes del hielo derretido, pero poco a poco el motor irá recuperando sus r.p.m. normales.

Recomendaciones a tener en cuenta con el uso de la calefacción al carburador:

- No arrancar el motor con la calefacción al carburador puesta para evitar daños.
- Puesto que la entrada de aire caliente no tiene filtro, evitar la calefacción al carburador durante el rodaje, o el chequeo de este dispositivo en terrenos pedregosos o con tierra suelta.
- No emplear calefacción al carburador en despegues o ascensos.
- Si durante el descenso final en aterrizaje se pone calefacción al carburador, quitarla unos 100 pies antes de la recogida por si ha de frustrarse la toma (motor y al aire).
- Durante descensos prolongados, sobre todo en días húmedos, activar la calefacción al carburador de forma periódica. También conviene aplicar algo de potencia periódicamente para evitar el enfriamiento del motor.
- Si se sospecha hielo en el carburador, poner calefacción al mismo de forma inmediata. Cuando se tenga la certeza de que el hielo se ha deshecho, quitarla.

Sumario:

- La mezcla de aire y combustible que entra a los cilindros debe tener una proporción adecuada para producir un rendimiento eficiente y adecuado del motor.
- La combustión es posible en el rango de relaciones de mezcla entre 7:1 y 22:1, estando los valores normales comprendidos entre 12:1 y 15:1.
- La mejor eficiencia de operación se suele obtener con una relación de 15:1 (15 partes de aire por una de combustible), pero por diseño, es típico que mezcla sea algo mas enriquecida (12:1) para reducir la posibilidad de detonación.
- Los carburadores se ajustan para obtener su máxima potencia en el despegue, con una presión al nivel del mar. Como a medida que aumenta la altitud la densidad decrece, aunque el volumen de aire es el mismo su peso es menor, razón por la cual la mezcla tiende a enriquecerse.
- Para compensar esta tendencia, los aviones tiene un mando de control de mezcla. Este mando tiene una gama de posiciones entre una máxima (Full Rich) y una mínima (Idle Cut Off).
- En despegue, ascenso, circuito de tráfico y aterrizaje este mando debe estar en "Full Rich", y se suele recomendar una mezcla mas empobrecida por encima de una altitud determinada.
- Una mezcla demasiado rica puede provocar: consumo excesivo, funcionamiento irregular del motor, temperatura del motor algo baja, y mayor posibilidad de "engrasar" las bujías.
- Una mezcla demasiado pobre puede dar lugar a: pérdida de potencia, temperaturas demasiado altas en el motor, y mayor posibilidad de detonación.
- La mayor parte de los accidentes en aviación ligera tienen algo que ver con el combustible, por lo cual el piloto está obligado a seguir una serie de cautelas y recomendaciones en cuanto a la gestión del mismo.
- Un motivo muy común de que un motor falle llegando a pararse es la formación de hielo en el carburador.
- El súbito enfriamiento por la vaporización del combustible y la expansión del aire en el venturi puede provocar la formación de hielo en el carburador, aun en casos en que la temperatura ambiente no sea baja.
- Las claves de este fenómeno son la temperatura y la humedad, especialmente esta última. En condiciones atmosféricas de entre -10°C y 30°C con una humedad relativa del aire moderada o elevada, es posible la formación de hielo en el carburador.
- Para prevenir esta formación de hielo o eliminar el ya formado, se dispone en la cabina de mando de una palanca (carburator heat), que cambia la entrada de aire desde la toma normal (aire ambiente) a otra toma que sirviéndose del tubo de escape calienta el aire de entrada.
- La formación de hielo es improbable en días calurosos y secos, así como con el motor funcionando a un régimen por encima del 75% de su potencia.
- Los síntomas iniciales de hielo en el carburador son: un funcionamiento irregular del motor y con hélices de paso fijo una pérdida de rpm, o con hélices de paso variable una pérdida de presión de admisión.
- Como la calefacción al carburador disminuye la potencia, no debe utilizarse en situaciones en que se necesita toda: despegues, ascensos, o en la fase final de aterrizaje (por si ha de frustrarse la toma).
- No es conveniente tampoco su utilización con el motor a un régimen superior al 75% de su potencia, porque puede causar detonación.
- Aunque pueden darse varias posiciones de la palanca, lo normal es que se tenga en sus posiciones extremas (Off u On).
- En casos de sospecha de hielo en el carburador, activar la calefacción al mismo inmediatamente con la palanca en su posición máxima, y mantenerla hasta asegurar que el hielo se ha derretido.
- Al derretirse el hielo del carburador, este pasa a los cilindros en forma de gotas de agua, lo cual produce una pérdida de r.p.m. y un funcionamiento irregular del motor. Una vez corregida la situación, el motor girará de forma regular e irá recuperando r.p.m. Al desactivar entonces la calefacción al carburador, las r.p.m. deben volver a sus valores normales.

- Es conveniente seguir las recomendaciones de los fabricantes respecto a cuando y como emplear los mandos de calefacción al carburador y de mezcla de combustible.
-

SISTEMAS FUNCIONALES

3.8 LUBRICACIÓN Y REFRIGERACIÓN.

El objetivo de cualquier motor es producir movimiento a expensas de una fuente de energía externa. En los motores de combustión interna, según se ha visto en capítulos anteriores, esto se logra quemando combustible. Por naturaleza, un motor en funcionamiento implica una gran cantidad de fricción entre sus componentes móviles y una elevada temperatura debida a la combustión y a la propia fricción. La fricción, junto con el calor producido por la misma, puede provocar el agarrotamiento de los componentes y un rápido desgaste de los mismos, mientras que el calor residual de la combustión puede elevar tanto la temperatura que produzca la fusión de las piezas metálicas. En ambos casos, el efecto es la inutilización del motor. Para mantener fricción y calor en unos valores razonables, los motores disponen de sistemas de lubricación y de refrigeración.

3.8.1 Lubricación.

Recibe este nombre el método utilizado para evitar en lo posible el contacto directo entre dos piezas que se mueven una respecto a la otra, reduciendo la fricción, lo cual se consigue interponiendo una fina película de lubricante entre estas piezas. El sistema de lubricación tiene como función mantener y renovar de forma continua esta película, y además refrigerar mediante el propio lubricante las partes del motor a las que no puede acceder el sistema de refrigeración. Los lubricantes comúnmente empleados son aceites que provienen del refinado del petróleo, debiendo cumplir una serie de requisitos, principalmente relativos a su viscosidad, de acuerdo con la severidad de las condiciones de operación del motor.



Fig.3.8.1. - Lubricación.

Para determinar la viscosidad del aceite, se utilizan varios sistemas de números, de forma que cuanto menor sea el número más ligero es el aceite. La mayoría de los aceites contiene aditivos para reducir la oxidación e inhibir la corrosión, y los hay que abarcan distintos grados de viscosidad (multigrado). En cualquier caso el aceite utilizado debe corresponder siempre al grado y tipo determinado por el fabricante.

El depósito o sumidero del aceite (el cárter de los automóviles) está localizado en la parte baja del motor. Una bomba, accionada por el motor, cuya toma de entrada está sumergida en el depósito, toma el aceite y lo envía a presión, pasando por un filtro, a los elementos a lubricar mediante una serie de conductos internos del motor. Estos conductos, además de depositar el aceite en los sitios necesarios, se comunican con la mayoría de los ejes giratorios (cigüeñal, árbol de levas, etc.) y otros elementos (bielas, bulones de pistón, etc..) permitiendo su lubricación. Una vez cumplida su función, el aceite vuelve al depósito o sumidero por su propio peso.

Una válvula, regulada de fábrica, sirve para mantener la presión constante y para evitar que un exceso de presión dañe algún conducto o pieza. Por encima de una cierta presión, la válvula se abre para que el aceite causante de la sobrepresión vuelva al depósito en lugar de integrarse en el sistema de lubricación; una vez la presión tiene valores normales la válvula se cierra permitiendo al aceite circular por el sistema.

3.8.2 Monitorizando la lubricación.

Debido a la importancia de la lubricación en los motores, es de suma importancia chequear tres valores del aceite: cantidad, presión y temperatura. Si la presión del aceite es baja, este no llegará a todos los elementos a lubricar pudiendo dar lugar a gripajes; por el contrario si la presión es alta, puede haber fugas de aceite por roturas en las conducciones o un exceso de consumo, y en consecuencia dar lugar a gripajes por falta de aceite.

Si es la temperatura la que es baja, el aceite no tendrá la fluidez suficiente y dificultará el movimiento entre las piezas, pero si la temperatura es alta el aceite se vuelve demasiado fluido, pierde parte de su capacidad de lubricación y disminuye la presión del sistema.

Obviamente, salvo que se quiera realizar un número de circo, la cantidad solo se puede chequear en tierra, disponiéndose para ello, igual que en los automóviles, de una varilla graduada que se mete o saca a rosca del conducto en que está contenida. La monitorización de la presión y la temperatura se realiza por medio de los correspondiente indicadores en el cuadro de mandos.

Cada uno de estos indicadores consiste en un dial, graduado a veces, consistente en un arco con unas marcas de colores, sobre el cual una aguja muestra el valor de la medición. La aguja en el arco blanco indica que el aceite está por debajo de los valores normales de operación; el arco verde corresponde al rango de valores normales; en el arco amarillo los valores están por encima de los normales (precaución), y el arco rojo indica peligro en el sistema de lubricación.



Fig.3.8.2 - Indicadores de presión y temperatura de aceite.

En algunos aviones, se cuenta además con un testigo luminoso en el cuadro de mandos (OIL) el cual se enciende en caso de problemas en el sistema.

3.8.3 Refrigeración.

Debido a la incapacidad del motor para convertir en trabajo útil toda la energía liberada por la combustión, existe una gran cantidad de calor residual producto de dicha combustión, parte de la cual se elimina con los gases, quedando una parte que debe ser disipada para evitar un calentamiento excesivo del motor. De esa parte, una pequeña cantidad se transfiere al lubricante y la restante (hasta cierto límite) se disipa gracias al sistema de refrigeración.

Mientras que en casi todos los automóviles el exceso de temperatura se elimina gracias a un líquido refrigerante que circula a través del motor y se enfría en un radiador, la mayoría de los motores de los aviones ligeros están refrigerados por aire, porque esto evita cargar con el peso del radiador y el refrigerante, y que un fallo del sistema de refrigeración o la pérdida del líquido refrigerante provoquen una avería general del motor.

En el proceso de refrigeración por aire, este penetra en el compartimento del motor a través de aberturas en la parte frontal del avión. El aire no circula de forma aleatoria sino que gracias a la disposición del compartimento, es forzado a fluir rápidamente, sobre todo hacia los cilindros; unas finas aletas de metal en la parte exterior de los cilindros aumentan la tasa de transferencia de calor exponiendo mayor superficie metálica al aire en circulación; cumplida su función, el aire caliente sale de nuevo a la atmósfera.

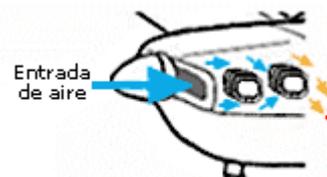


Fig.3.8.3 - Refrigeración por aire.

Las aleaciones ligeras utilizadas en la construcción de los motores modernos aportan una buena ayuda en el proceso de refrigeración.

Algunos aeroplanos tienen unos dispositivos conocidos como aletas de refrigeración (cowling flaps), mediante las cuales el piloto controla de forma manual la temperatura del motor en las distintas fases de vuelo. Si la temperatura es baja, el piloto puede cerrar las aletas restringiendo la circulación de aire; si por el contrario es alta, puede abrirlas para incrementar el flujo de aire de refrigeración.

Lo habitual es que en operaciones a baja velocidad y mucha potencia, tales como despegues y ascensos, las aletas se abran mientras que con alta velocidad y baja potencia, tal como en vuelo de crucero o descensos, las aletas se cierran.

3.8.4 Controlando la temperatura.

La operación de un motor con una temperatura superior a la esperada, puede causar un consumo excesivo de aceite, detonación y pérdida de potencia, y si la situación no se ataja puede producirse una avería grave en el motor lo cual conlleva poner en riesgo al avión y su tripulación. Aunque el problema principal con la temperatura proviene de un exceso de la misma, tampoco es conveniente que se mantenga por debajo de la adecuada porque resta eficiencia al motor.

Si el avión tiene un indicador de temperatura de los cilindros, el piloto dispondrá de forma directa e inmediata de información respecto a cambios de temperatura en el motor. En caso contrario, habrá de servirse del indicador de temperatura de aceite, el cual proporciona esta información de forma indirecta y con retraso. El indicador de temperatura de aceite se debe usar para determinar la temperatura del motor, solo si es el único medio disponible.

Operar el avión con alta potencia y baja velocidad, por ejemplo durante un ascenso prolongado, hace que la temperatura del motor se incremente; por el contrario, las operaciones a poca potencia y alta velocidad, por ejemplo un descenso rápido, la disminuyen. Es lógico, a mayor velocidad mayor flujo de aire de refrigeración y a menor potencia menor cantidad de calor a disipar. Conviene recordar los efectos de la mezcla sobre la temperatura del motor ([Ver 3.7](#)).

El piloto puede influir sobre la temperatura de las siguientes maneras:

- Actuando sobre las aletas de refrigeración. Abrir para disminuir la temperatura y cerrar para aumentarla.
- Cambiando de potencia. Más potencia implica mayor temperatura y menos potencia menor temperatura.
- Cambiando la velocidad. Supuesta la misma potencia, un aumento de la velocidad incrementa el flujo de aire y por tanto disminuye la temperatura. Por la misma razón, disminuir la velocidad aumenta la temperatura.
- Regulando la mezcla. Mezclas más ricas disminuyen la temperatura mientras que más pobres la aumentan.
- Cualquier combinación de lo anterior.

Sumario:

- El método de reducir la fricción entre dos piezas que se mueven juntas, interponiendo entre ambas una fina película de lubricante, recibe el nombre de lubricación.
- El sistema de lubricación tiene la función de proporcionar lubricación a las partes del motor que lo necesiten, y mantenerla en unos niveles adecuados.
- El lubricante suele ser aceite, derivado del refinado del petróleo. Las características y viscosidad del aceite se identifican mediante un sistema de números. Siempre debe utilizarse aceite del grado y tipo recomendado por el fabricante.
- Los tres valores a vigilar del aceite son: cantidad, presión y temperatura. La cantidad se chequea en la inspección prevuelo sirviéndose de una varilla graduada, y tanto la presión como la temperatura se vigilan por medio de sus correspondientes indicadores.
- Estos indicadores tienen un arco con códigos de colores (blanco, verde, amarillo y rojo) sobre el cual una aguja muestra el valor medido.

- Los motores deben contar con un sistema de refrigeración que disipe las elevadas temperaturas producto de la combustión, que en otro caso podrían producir graves averías al motor.
 - Los motores aeronáuticos normalmente se refrigeran por aire, debido a que ello elimina la necesidad de cargar con el radiador y el refrigerante, evitando además la posibilidad de que una avería del sistema o una fuga del refrigerante deje al motor sin refrigeración.
 - Gracias a la disposición del compartimento donde se aloja el motor, el aire que entra por las tomas frontales es dirigido principalmente hacia los cilindros, los cuales tienen unas aletas metálicas que al presentar mayor superficie a este aire aumentan la tasa de transferencia de calor al mismo.
 - Algunos aeroplanos disponen de unas aletas de refrigeración (cowl flaps) que permiten al piloto controlar el flujo de aire de refrigeración, abriéndolas o cerrándolas.
 - La operación del motor con alta potencia y baja velocidad incrementa la temperatura; por contra, con baja potencia y alta velocidad disminuye la temperatura.
 - El piloto puede influir sobre la temperatura: mediante las aletas de refrigeración (cowl flaps), aumentando o disminuyendo la potencia, incrementando o minorando la velocidad, regulando la mezcla, o cualquier posible combinación de todo esto.
-

SISTEMAS FUNCIONALES

3.9 TREN DE ATERRIZAJE Y FRENOS.

Se denomina tren de aterrizaje al conjunto de ruedas, soportes, amortiguadores y otros equipos que un avión utiliza para aterrizar o maniobrar sobre una superficie. Aunque por su denominación, el tren de aterrizaje parece sugerir una única función a este sistema, realmente cumple varias funciones: sirve de soporte al aeroplano, posibilita el movimiento del avión en superficie (incluyendo despegues y aterrizajes), y amortigua el impacto del aterrizaje. Las operaciones en superficie exigen del tren de aterrizaje capacidades de direccionamiento y frenado, y para amortiguar el aterrizaje debe ser capaz de absorber impactos de cierta magnitud.

3.9.1 Tipos de tren de aterrizaje.

Por empezar por algún sitio, en primer lugar veamos el sistema de tren de aterrizaje en función de la superficie en que vaya a desenvolverse el aeroplano. Bajo este particular punto de vista, se pueden clasificar en: trenes de rodadura (movimiento en tierra), trenes con flotadores (adaptados al agua) y trenes con esquíes (adaptados a la nieve). Algunos aviones son capaces de amerizar gracias a la forma de quilla de barco de la parte baja del fuselaje.

Estos sistemas no son incompatibles entre sí, o sea que un aeroplano puede disponer de flotadores o esquíes y además tener tren de rodadura. No es raro que los aviones que disponen de flotadores o esquíes tengan además su tren normal de rodadura para no limitar exclusivamente sus operaciones a un solo medio. En este último caso, lo habitual es que uno de los sistemas sea retráctil para no interferir con el otro.

Puesto que es inusual que los lectores de estas páginas, lo mismo que su autor, disfruten de la experiencia de amerizar o tomar con esquíes, nos ceñiremos al extendido y habitual tren de rodadura.

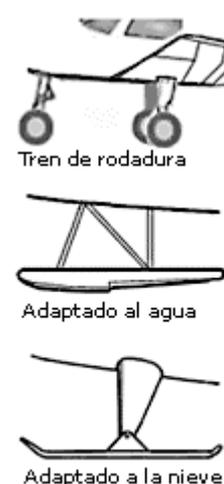


Fig.3.9.1 - Tipos de tren.

3.9.2 Tren de rodadura.

El tren de rodadura se compone de un tren principal, diseñado para soportar el peso del avión y absorber los impactos del aterrizaje, y una rueda secundaria que además de servir de apoyo estable al avión puede tener capacidad direccional.

El tren principal está formado por dos ruedas situadas lo mas cerca posible del centro de gravedad del avión, generalmente en el fuselaje a la altura del encastre de las alas o directamente debajo de las alas, disponiendo de amortiguadores hidráulicos, estructuras tubulares o planas (ballestas) o ambas cosas, para absorber el impacto del aterrizaje y las sacudidas cuando se rueda sobre terrenos accidentados.

La rueda direccional puede estar situada en la cola del aeroplano, lo cual no es muy frecuente, o lo que es más habitual, debajo del morro del avión.

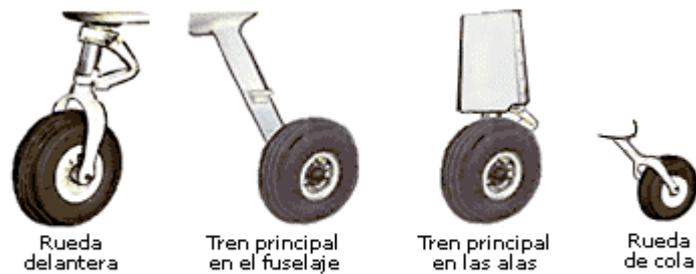


Fig.3.9.2 - Tipología de tren principal y ruedas direccionales.

Los dos tipos más comunes de tren de aterrizaje son: el tren de patín de cola y el tren tipo triciclo. El tren de patín de cola está compuesto de un tren principal y una rueda o patín de cola. Este tipo de tren, se montaba en aviones fabricados hace algunos años estando su uso limitado actualmente casi en exclusiva a aviones acrobáticos, o dedicados a la fumigación o a labores de extinción de incendios. En principio, en lugar de la rueda de cola se montaba un patín, lo cual dio nombre a este tipo de tren. La rueda de cola suele tener un radio de giro de entre 15° y 20° a cada lado.

El tren triciclo, se compone también de un tren principal, localizado en una posición algo más retrasada que el de patín de cola, y una rueda delantera situada bajo el morro del avión, la cual dispone de un dispositivo de amortiguación para evitar vibraciones durante la rodadura. Este tipo de tren es el más utilizado hoy en día por que tiene mejores características de operación en el suelo que el tipo de patín de cola: por su geometría, la visibilidad hacia adelante es mejor, y el despegue y la toma de tierra se realizan más fácilmente. El radio de giro de la rueda delantera suele estar entre 20° y 30°.

En algunos casos de patín de cola y casi siempre en el tren triciclo, la rueda de morro o de cola puede ser dirigida hacia un lado u otro mediante un sistema de cables y poleas conectados a los pedales que mueven el [timón de dirección](#). De esta manera, la rueda dirigible permite controlar la dirección del aeroplano durante las operaciones en el suelo, ayudando un poco la deflexión del timón de dirección. Los pedales están diseñados de manera que pisando en su parte inferior (pies abajo) se actúa sobre la rueda direccionable y el timón de dirección, y pisando en su parte superior (pies arriba) se actúa sobre el freno de la rueda correspondiente.

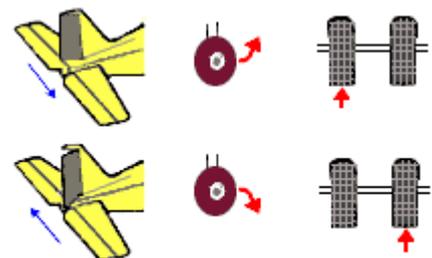


Fig.3.9.3 - Respuesta a los pedales.

Al principio cuesta un poco cogerles el tacto, pero a base de hacer eses durante la rodadura y un poco de práctica se acaba dominando.

3.9.3 Trenes fijos y retráctiles.

En la construcción de los primeros aviones, el tren de aterrizaje estaba anclado directamente al fuselaje o las alas. Esta disposición, genera una considerable [resistencia parásita](#), lo que se traduce en menor velocidad y mayor gasto de combustible para una potencia dada. Para mitigar este inconveniente, se desarrollaron sistemas que permiten la recogida del tren en unos habitáculos preparados al efecto, en el fuselaje o en las alas para el tren principal y en el fuselaje para la rueda de morro, los cuales se cierran con unas trampillas una vez el tren está retraído para no entorpecer la línea aerodinámica del aeroplano. Otra forma de amortiguar la resistencia parásita es dotar de carenados al tren fijo.

Bajo la óptica expuesta, los trenes se pueden clasificar en fijos y retráctiles. Los trenes fijos no necesitan de mayor explicación así que pasemos a detallar directamente los retráctiles.

Además del mecanismo de extensión/retracción, el tren retráctil cuenta, lo mismo que el tren fijo, con su sistema de amortiguación, frenos en las ruedas, etc. Como es muy peligroso que un tren extendido se retraiga de forma espontánea al tocar con el suelo, el sistema incluye además un dispositivo de bloqueo de las patas del tren cuando está extendido.

La extensión y retracción del tren se realiza de forma eléctrica o hidráulica, en respuesta al accionamiento de una palanca situada en el cuadro de mandos, la cual tiene una forma de rueda muy peculiar. Para extender el tren se baja la palanca, y para retraerlo se sube.

Unos indicadores luminosos al lado, encima o debajo de dicha palanca (uno por cada rueda) avisan si el tren está retraído o si se encuentra extendido y bloqueado. Si las luces están apagadas el tren está arriba; si lucen en verde el tren está extendido y bloqueado, y si alguna se muestra en rojo es que la pata correspondiente o no está extendida o no está bloqueada.

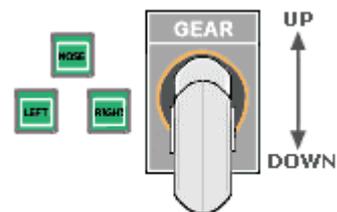


Fig.3.9.4 - Mando e indicadores de tren retráctil.

Algunos aviones disponen de un sistema manual que permite operar el tren mediante una manivela en caso de fallo del mecanismo. Los manuales de operaciones detallan los procedimientos a seguir en caso de fallo del tren, pero en general: (1) si el sistema es eléctrico revisar el breaker correspondiente; (2) si una luz no está encendida probar a poner en su lugar una de las que funcionan; (3) subir el tren y probar a bajarlo de nuevo; (4) bajar el tren mediante el sistema manual; (5) dar una pasada sobre la pista para que la torre compruebe visualmente si el tren está abajo, aunque esto no garantiza que el tren esté bloqueado, y (6) en último término prepararse para realizar un aterrizaje de emergencia.

Si la pata que falla es la delantera la situación no es muy mala aunque el aterrizaje exige buena pericia; si la pata que falla es una del tren principal la cosa es peor pues para tomar tierra en estas condiciones un piloto tiene que tener algo de funambulista; por último, si solo se ha extendido una pata, sea cual sea, lo menos peligroso es subir el tren y tomar tierra sin él.

Ni el tren puede extenderse por las buenas ni tampoco debe mantenerse abajo por encima de cierta velocidad, sino que debe respetarse el rango de velocidades indicado por el fabricante. No seguir esta recomendación puede suponer daños estructurales en el tren.

Para ahorrarnos el disgusto de aterrizar sin el tren desplegado, algunos aviones disponen de indicadores (sonoros, luminosos o ambos) que cuando se cortan gases por debajo de cierto límite avisan de que el tren no está desplegado y bloqueado, pues parten del supuesto de que esa baja potencia es el preámbulo del aterrizaje.

El tren retráctil tiene ventaja sobre el tren fijo en cuanto que al generar menos resistencia es posible obtener mayor velocidad y menor consumo de combustible; pero por contra su mecanismo exige mayores cuidados y es más costoso y delicado. Una regla lógica es que la posibilidad de averías de un sistema se incrementa en proporción al número de componentes de dicho sistema, y el tren de aterrizaje no se escapa a esta regla lógica. Al tener menos componentes y menos parámetros a tener en cuenta en su diseño, un tren fijo suele ser más robusto y fiable que un tren retráctil.

3.9.4 Frenos.

El sistema de frenos tiene como objetivo aminorar la velocidad del aeroplano en tierra, tanto durante la rodadura como en la fase final del aterrizaje, y por supuesto pararlo.

El dispositivo de frenado de los aviones consiste, lo mismo que en los automóviles, en un disco metálico acoplado a cada rueda, el cual se frena, y con el la rueda, al ser oprimido a ambos lados por unas pastillas de freno accionadas por un impulso hidráulico. El sistema de frenos de los aviones tiene dos características especiales: una, que solo dispone de frenos en el tren principal, nunca en las ruedas directrices; y dos, que cada rueda del tren principal (o conjunto de ruedas de un lado en trenes complejos) dispone de un sistema de frenado independiente.



Fig.3.9.5. - Freno de disco.

El sistema general se alimenta del líquido contenido en un recipiente común; desde este depósito unos conductos llevan el líquido a dos bombines (uno por sistema) situados en la parte superior de los pedales. Al presionar un pedal, el líquido contenido en el bombín de su lado es bombeado hacia la rueda correspondiente; otro bombín en la rueda recibe esta presión y empuja a las pastillas las cuales oprimen al disco metálico y frenan la rueda. Al presionar el otro pedal, sucede lo mismo con el sistema de ese lado, y obviamente al presionar los dos pedales se opera sobre ambos sistemas. Es notorio pues, que cada pedal actúa sobre los frenos de su lado, y que para actuar sobre los frenos debe pisarse la parte de arriba de los [pedales](#).

Este sistema de frenos independientes supone una ayuda para dirigir al aeroplano en tierra, pues aplicando freno a una u otra rueda el piloto puede reforzar el giro de la rueda directriz.

Para mantener el avión el avión frenado en el suelo, el sistema cuenta con un freno de aparcamiento (parking brake) que actúa sobre ambas ruedas. El mando de este freno varía de un avión a otro: puede ser un mando de varilla que teniendo los frenos pisados los bloca y se desactiva al volver a pisar los frenos (Cessna); una palanca que al tirar de ella bloca los frenos, con un botón para mantenerla en posición de bloqueo (Piper); un dial que al girarse hacia un lado activa este freno y hacia el otro lo desactiva (Tobago); etc...

Como en todos los demás sistemas, un buen uso de los frenos mejora la efectividad y alarga la vida de este sistema. Por ejemplo, en la carrera final del aterrizaje conviene dejar que el avión pierda algo de velocidad antes de aplicar los frenos, y al aplicar estos hacerlo por emboladas. Igualmente, hacer girar al avión sobre una rueda completamente frenada supone una tensión excesiva sobre las gomas de las ruedas.

Al principio del entrenamiento cuesta un poco acostumbrarse a este sistema de frenos, debido quizá a que los conductores de automóvil tenemos desarrollado el tacto del freno en el pie derecho pero no así en el izquierdo. Todavía recuerdo a la Piper Tomahawk (Tomasa para los amigos) de mis primeros vuelos haciendo eses por la pista al aplicarle más frenada a una rueda, luego a la otra para corregir, etc...

En el capítulo correspondiente al chequeo prevuelo se detallará como realizar la verificación del sistema de frenos.

Sumario:

- El tren de aterrizaje sirve de soporte al aeroplano, posibilita su movimiento sobre la superficie y amortigua el impacto del aterrizaje.

- Los trenes de aterrizaje se pueden clasificar en: trenes de rodadura, trenes con flotadores y trenes con esquíes. Algunos aviones amerizan gracias a la forma de quilla de barco de la parte baja del fuselaje.
 - El tren de rodadura se compone de un tren principal que soporta el peso del avión y absorbe los impactos del aterrizaje, y una rueda secundaria que sirve de apoyo estable al avión y normalmente tiene capacidad direccional.
 - El tren principal está formado por dos ruedas situadas lo más cerca posible del centro de gravedad del avión, en el fuselaje o debajo de las alas. La rueda direccional puede estar situada en la cola del aeroplano, o debajo del morro del avión. En el primer caso el tren se denomina de patín de cola, y en el segundo tren tipo triciclo.
 - Para controlar en tierra la dirección del aeroplano, el piloto hace girar la rueda direccional pisando sobre la parte inferior del pedal correspondiente. Giro a la derecha: pedal derecho; a la izquierda: pedal izquierdo.
 - Un tren fijo produce resistencia inducida, lo cual se traduce en menor velocidad y mayor consumo de combustible. Para paliar este efecto, los fabricantes optan por carenar el tren fijo, o dotar al aeroplano de tren retráctil.
 - La extensión y retracción del tren se efectúa en respuesta al accionamiento de una palanca con forma de rueda en el cuadro de mandos. Para extender el tren se baja la palanca, y para retraerlo se sube.
 - Un indicador luminoso informa de la posición del tren: retraído, o extendido y bloqueado. Si las luces están apagadas el tren está arriba; si están en verde el tren está extendido y bloqueado, y si alguna está en rojo la pata correspondiente o no está extendida o no está bloqueada.
 - En caso de fallo del mecanismo de extensión/retracción del tren, la mayoría de los aeroplanos disponen de un sistema manual que permite su operación.
 - Deben seguirse las recomendaciones del fabricante en cuanto a los rangos de velocidades dentro de los cuales puede extenderse el tren o mantener este extendido.
 - El sistema de frenos tiene la misión de aminorar la velocidad del aeroplano en tierra y en su caso pararlo.
 - Los frenos de los aviones son de disco, con dos características principales: solo tienen frenos las ruedas del tren principal, y cada rueda o conjunto de ruedas de un mismo lado tiene un sistema independiente.
 - Esta disposición permite un frenado diferencial (una rueda más que otra para ayudar en los giros) o normal (ambas ruedas con la misma intensidad).
 - Para frenar el avión se pisa sobre la parte superior de los pedales del timón de dirección.
 - La inmovilización del avión en el suelo se logra mediante un freno de aparcamiento (parking brake).
 - En el chequeo prevuelo se debe verificar el estado del tren de aterrizaje y los frenos.
-

SISTEMAS FUNCIONALES

3.10 CUIDADOS DEL MOTOR.

De las explicaciones dadas en capítulos [anteriores](#), es fácilmente deducible la extraordinaria importancia que tiene para el vuelo contar con un motor capaz de desarrollar toda su potencia y además exento de averías. Teniendo en cuenta que un motor aeronáutico típico de cuatro cilindros, tiene más de 250 elementos movibles y 70 fijos, podemos hacernos una idea de las posibilidades de que un fallo de cualquiera de estos componentes provoque una pérdida de potencia e incluso una parada de motor.

Afortunadamente, los avances conseguidos en el proceso de diseño y construcción, el alto grado de calidad de los componentes y el exhaustivo control de calidad de los mismos, hacen que los motores aeronáuticos utilizados hoy en día sean altamente eficientes y fiables. El que este alto grado de fiabilidad y eficiencia sea mantenido y duradero, dependerá en gran medida del correcto uso del motor por parte del piloto, ateniéndose a las recomendaciones dada por el constructor de la aeronave en el Manual de Operaciones.

Con independencia de que en cada capítulo se especifiquen los detalles concretos, relativos al motor, que correspondan al tema tratado, en este se intentan dar unas líneas generales en cuanto a su manejo. Ni que decir tiene que se supone que el motor está utilizando el combustible y aceite adecuados, y que el piloto conoce el manejo de los controles de potencia, mezcla y calefacción al carburador.

3.10.1 Arranque del motor.

A la hora de arrancar el motor, el hecho de que este se encuentre frío y que el aceite tardará unos segundos antes de llegar a todos los sitios, aumenta las posibilidades de que un manejo incorrecto le produzca daños, por lo que, sin perjuicio de lo que recomiende el fabricante, es conveniente tener en cuenta que:

- (1). Si el arranque del motor ha de hacerse sobre una superficie de tierra o pedregosa, aunque lo normal es que la [calefacción](#) al carburador este off debemos asegurarnos de ello, pues al pasar el aire directamente al carburador y no a través del filtro de aire podría absorberse piedras, tierra, etc...
- (2). Si al motor le cuesta arrancar, no se debe mantener el motor de arranque girando mas allá de 30" en cada intento, dejando pasar 1 o 2 minutos entre cada 2 intentos. De esta forma se evitan calentamientos y daños innecesarios al motor de arranque.
- (3). Una vez arrancado el motor, si existe luz de aviso para el motor de arranque chequear que está apagada, pues en caso contrario es que el motor de arranque sigue activo y resultará dañado. Apagar el motor en caso afirmativo.
- (4). El indicador de presión de aceite del motor debe marcar un valor normal de operación (arco verde) dentro de los 30" siguientes al arranque del motor; en caso contrario debemos apagarlo.
- (5). Tan pronto como el motor ha arrancado, se deben ajustar las r.p.m. a las dictadas por el fabricante del aeroplano, y así calentar el motor en la forma adecuada. Unas r.p.m. demasiado bajas se traducen en una inadecuada distribución del aceite, todavía perezoso; demasiado altas pueden causar un excesivo desgaste de las piezas que debido a sus tolerancias necesitan adquirir temperatura gradualmente.
- (6). En la prueba de motor previa al despegue, antes de poner el régimen de r.p.m. indicado para la prueba, es indispensable chequear que la [temperatura del aceite](#) tiene valores normales de operación (arco verde).

3.10.2 Ascensos y descensos.

Ascenso. En la mayoría de los aviones ligeros, el ascenso se realiza con alta potencia y una velocidad relativamente baja respecto de la de crucero. Puesto que normalmente el motor depende del flujo de aire exterior para su [refrigeración](#), cuanto más baja es la velocidad menos efectivo es el enfriamiento del motor. La velocidad normal de ascenso dada por el fabricante suele tener en cuenta, entre otras cosas, la necesidad de refrigeración del motor; pero hay dos velocidades, específicas para cada aeroplano: velocidad de mejor ángulo de ascenso y velocidad de mejor ascenso, que son habitualmente más bajas que la velocidad normal de ascenso y por tanto provocan una mayor temperatura en el motor. Estas velocidades deben utilizarse en los momentos y durante los periodos que sea necesario (despegue por ejemplo) pero retornando a la velocidad normal de ascenso en cuanto sea posible.

En el caso de motores diseñados para ascender aplicando toda la potencia hasta alcanzar la altitud de crucero, no se gana nada reduciendo la potencia de ascenso con la idea de salvaguardar el motor. El constructor ya tiene en cuenta las necesidades de refrigeración en las velocidades que recomienda. Por otra parte, en un avión equipado con [hélice de paso fijo](#), una velocidad mayor que la especificada puede causar que las r.p.m. del motor excedan las limitaciones para un ascenso sostenido con toda la potencia.

Conviene recordar que con [mezcla](#) empobrecida, el motor desarrolla más temperatura que con mezcla rica. Por esta razón, se suele recomendar que durante el ascenso la palanca de mezcla esté en posición "full rich".

Crucero. La velocidad de crucero está determinada por el fabricante para cada aeroplano, atendiendo a razones de seguridad, rendimiento, economía y duración de la vida del motor. Lo normal, es ajustar el motor a las r.p.m. indicadas por el constructor y que el avión desarrolle su velocidad, siempre, naturalmente, dentro de sus límites de operación ([ver 2.5](#)). Por encima de la potencia recomendada se consume más combustible y se calienta el motor más de lo necesario, y por debajo no se obtiene el rendimiento adecuado.

Descenso. Cuando se desciende con baja potencia o en planeo, y más todavía si se hace durante un periodo prolongado, el motor tiende a enfriarse rápidamente, incluso con temperaturas exteriores relativamente altas. Este enfriamiento provoca que la vaporización de combustible en el carburador no sea todo lo completa que se quiere, y que el aceite más frío se haga menos fluido. Si se necesita un súbito incremento de potencia, como en el caso de un motor y al aire, el motor puede no dar toda la respuesta requerida o sufrir daños si se ha enfriado en exceso. Aunque con una operación normal del aeroplano esto no debe producirse, algunos fabricantes recomiendan en caso de temperatura exterior baja, aplicar potencia de cuando en cuando durante un descenso prolongado, para mantener la temperatura del motor dentro de un rango razonable.

De todo lo expuesto, pudiera extraerse la sensación equivocada de que hay que estar continuamente pendiente del motor, su temperatura, presión de aceite, etc... No hay que descuidarse pero tampoco exagerar; si un buen conductor de automóvil debiera echar un vistazo de cuando en cuando al cuadro de instrumentos, con mayor razón un buen piloto debe efectuar un chequeo de los instrumentos de una forma regular. Como en cualquier otra actividad, a medida que se acumula experiencia más se desarrolla un cierto sentido que permite percibir si algo no funciona en la forma habitual (por ejemplo, si el motor suena de forma distinta).

Sumario.

- Aunque la tecnología actual permite fabricar motores aeronáuticos altamente fiables, un buen uso del motor por parte del piloto, ateniéndose a las especificaciones del Manual de Operación, aporta mayor fiabilidad y alarga la vida del motor, previniendo además la aparición de averías.

Al arrancar el motor, el hecho de que este se encuentre frío y que el aceite muy viscoso en ese momento tardará todavía unos segundos en lubricar correctamente, obliga al piloto a mantener especial atención en esta operación.

- De todas las precauciones a adoptar en el arranque del motor, la más importante es chequear que la presión de aceite alcanza valores normales antes de transcurridos 30" desde el arranque.
 - La refrigeración del motor por aire implica: a mayor velocidad mayor enfriamiento del motor y viceversa; por otra parte, cuanto mayor sea la potencia aplicada mayor será la temperatura del motor. Según esto, poca velocidad y mucha potencia supone más temperatura en el motor, mientras que poca potencia y mucha velocidad implican mayor enfriamiento.
 - El motor tiene una temperatura ideal de funcionamiento; por encima o por debajo de esta, no se obtiene el rendimiento adecuado, se producen esfuerzos innecesarios que desgastan prematuramente al motor, y en casos extremos pueden producirse averías.
 - Durante un ascenso, con poca velocidad y mucha potencia, el motor tiende a aumentar su temperatura; en descenso, con alta velocidad y poca potencia el motor tiende a enfriarse.
 - Seguir las velocidades y ajustes de potencia recomendado por el fabricante para todas las operaciones, es la mejor garantía para obtener el óptimo rendimiento y alargar la vida del motor.
-