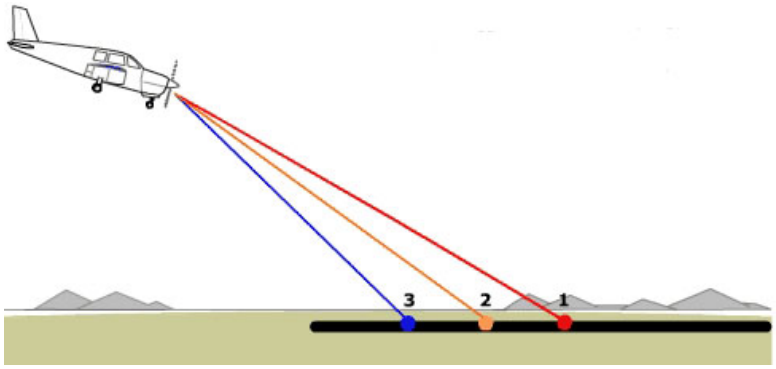
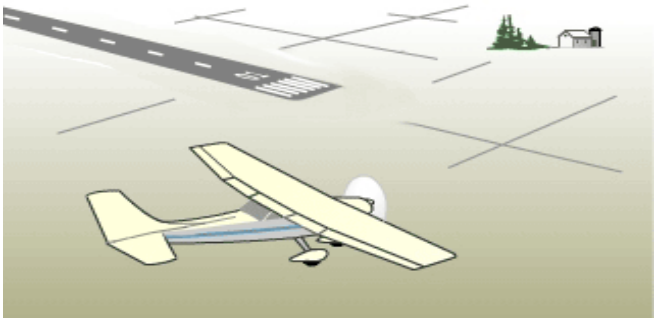


NOCIONES BASICAS DE VUELO



© Miguel Ángel Muñoz

INTRODUCCIÓN

En mi época de alumno, ya lejana, para obtener la licencia de piloto privado solo contaba con los manuales oficiales, que en mi opinión, compartida por otros alumnos y por los propios instructores, dejaban bastante que desear. Por otra parte, conseguir libros o manuales de aviación en España resultaba una tarea bastante decepcionante, había muy pocos y muy caros, situación que cuando escribo esto no ha mejorado mucho. Una vez obtenido el título de piloto privado, en un intento de profundizar algo más sobre lo aprendido, me dediqué a leer lo que caía en mis manos -que era poco- sobre este tema, a preguntar a mis instructores, a buscar referencias en Internet, y con este material y algunos libros que compré en un viaje a Canadá elaboraba mis propias notas. En esas estaba cuando se me ocurrió ¿porque no organizarlas en páginas web y hacerme mi propio manual? La siguiente pregunta vino sola: ¿porqué no ponerlas a disposición de todos? Este es el resultado.

Este "manual" que voy elaborando en algunos ratos libres, que son pocos, recoge mi interpretación de lo que he leído y preguntado, tamizado por mi poca experiencia y escaso conocimiento, con el único propósito de servir de ayuda a aquellas personas que tienen interés en conocer el pilotaje de aviones ligeros. Es **MUY IMPORTANTE** que el lector entienda que este "manual" no es bajo ningún concepto sustituto de una instrucción profesional, ni puede tomarse como sustituto de libros o manuales oficiales. Como se advierte en cualquier programa "freeware", el uso de la información aquí dada por parte de cualquier persona se realiza bajo su propia responsabilidad y riesgo.

En las páginas que siguen, se trata de explicar no solo lo que hacen los aviones, sino porqué lo hacen, y los procedimientos de vuelo de un avión. Con un pero: "nada en este mundo es perfecto", y desgraciadamente estas páginas **NO** son la excepción que confirma la regla. Por otra parte, no hay nada especial desde un punto de vista meramente informático, es más, he procurado hacerlas lo más sencillas posibles para facilitar su lectura a través de un medio como Internet, e incluso mejor, los capítulos pueden "bajarse" en formato pdf para imprimirlos y/o leerlos con mayor comodidad.

La construcción de estas páginas exige un tremendo esfuerzo por mi parte, a pesar de lo cual pongo voluntariamente este "manual" a disposición de la comunidad de amantes de la aviación sin ninguna clase de restricción para su uso personal y sin solicitar nada a cambio. Precisamente y para salvaguardar esta ausencia de restricciones es por lo que en ningún caso autorizo la utilización del "manual" con fines lucrativos y/o comerciales, ni su distribución, total o parcial, desde otros sitios web.

Una imagen vale más que mil palabras. Las contenidas en este "manual" solo tratan de mostrar visualmente la información escrita para hacerla más inteligible y didáctica; ello implica exagerar las medidas y proporciones para hacer hincapié en lo más relevante.

Este "manual" está estructurado en secciones tratando de seguir el mejor criterio a mi entender. Cada sección se subdivide a su vez en capítulos relacionados con el tema principal objeto de la sección. Aunque procuro hacerlo lo mejor posible, no estoy libre de cometer errores o de que en una revisión posterior crea que puede mejorarse algún capítulo concreto. No puedo comprometerme a realizar un seguimiento de versiones, todo lo más a mantener el contenido último.

© Miguel Ángel Muñoz

Dedicatoria:

A Blanca, que conociendo mi sueño de volar me empujó todo lo posible por que lo realizara, a mis dos hijos, que añadieron ilusión, y a mis nietos a los que espero contagiar mi pasión por el vuelo.

En especial, a todos aquellos que en cualquier lugar del mundo dedican tiempo y esfuerzo a la noble tarea de divulgar libremente los conocimientos. No me es posible mencionarlos a todos porque afortunadamente son muchos.

© Miguel Ángel Muñoz

PRINCIPIOS BASICOS

1 DESARROLLO DE LA SECCIÓN.

El objetivo perseguido en los capítulos correspondientes a esta sección, consiste en tratar de explicar una serie de conceptos elementales que permitan comprender al lector de estas páginas los fundamentos del vuelo. El apelativo "básico" lo es en sus acepciones de "base" y de "esencial". A continuación se expone un índice de lo tratado en cada uno de estos capítulos:

1.1 LA ATMOSFERA.
- 1.1.1 Presión atmosférica.
- 1.1.2 Temperatura del aire.
- 1.1.3 Densidad.
- 1.1.4 Atmósfera tipo.

1.2 PRINCIPIOS AERODINAMICOS.
- 1.2.1 Teorema de Bernouilli.
- 1.2.2 Efecto Venturi.
- 1.2.3 3ª Ley del Movimiento de Newton.
- 1.2.4 Porque vuelan los aviones.
- 1.2.5 Discutible.

1.3 FUERZAS QUE ACTUAN EN VUELO.
- 1.3.2 Factores que afectan a la sustentación.
- 1.3.3 Centro de presiones.
- 1.3.4 Peso.
- 1.3.5 Centro de gravedad.
- 1.3.6 Resistencia.
- 1.3.7 Control del piloto sobre la resistencia.
- 1.3.8 Empuje o tracción.

1.4 ESTRUCTURA DEL AVION.
- 1.4.1 Generalidades.
- 1.4.2 Las alas.

1.5 SUPERFICIES DE MANDO Y CONTROL.
- 1.5.1 Ejes del avión.
- 1.5.2 Superficies primarias.
- 1.5.3 Compensadores.
- 1.5.4 Superficies secundarias.

1.6 ESTABILIDAD.
- 1.6.1 Estabilidad estática.
- 1.6.2 Estabilidad dinámica.
- 1.6.3 Amortiguamiento vertical.
- 1.6.4 Amortiguamiento del alabeo.
- 1.6.5 Estabilidad longitudinal.
- 1.6.6 Estabilidad lateral.
- 1.6.7 Estabilidad direccional.

1.7 ANGULO DE ATAQUE.
- 1.7.1 El ángulo de ataque.
- 1.7.2 Relación con otros ángulos.
- 1.7.3 Angulo de ataque crítico.
- 1.7.4 Relación entre ángulo de ataque y velocidad.

 © M.A.Muñoz

1.8 LA PERDIDA.
1.8.1 Condiciones que afectan a la pérdida.
1.8.2 El factor de carga.
1.8.3 Diseños que atenúan la pérdida.
1.8.4 Síntomas de pérdida inminente.

1.9 GUIÑADA ADVERSA.
1.9.1 Causas que la producen.
1.9.2 Como corregirla.

1.10 CONTROL DE ALTURA Y VELOCIDAD.
1.10.1 Mando de gases.
1.10.2 Volante de control.

 © M.A.Muñoz

PRINCIPIOS BASICOS

1.1 LA ATMÓSFERA.

El objetivo de estos primeros capítulos es tratar de explicar de una manera sencilla y con conceptos básicos porqué vuela un avión; es decir porqué un ingenio mecánico (el avión) más pesado que el aire se desplaza a través de un medio concreto (el aire), y que fuerzas y leyes que las gobiernan son las que hacen esto posible.

Con la vista puesta en este objetivo, se detallan en este capítulo las propiedades, desde un punto de vista aerodinámico, del medio en que el avión se mueve: la atmósfera. En capítulos posteriores veremos sus características desde un punto de vista meteorológico, vientos, etc...

La atmósfera es la capa gaseosa que rodea la tierra, compuesta principalmente por una mezcla de gases (78% de nitrógeno, 21% de oxígeno y 1% de otros gases) que denominamos aire. A estos constituyentes hay que añadir el vapor de agua concentrado en las capas más bajas, cuya cantidad depende de las condiciones climatológicas y la localización geográfica, pudiendo variar entre el 0% y el 5%. A medida que aumenta el vapor de agua, los demás gases disminuyen proporcionalmente.
Este elemento gaseoso que denominamos aire, tiene muchas propiedades importantes, pero para poder explicar porque vuela un avión, en este momento interesa centrarse en las características básicas que definen su comportamiento como fluido: presión, temperatura y densidad. Como se verá a lo largo de varios capítulos, estos tres conceptos están intimamente relacionados y afectan de forma muy importante al vuelo.

1.1.1 Presión atmosférica.

Se define como presión a la cantidad de fuerza aplicada por unidad de superficie. De acuerdo con esta definición, presión atmosférica es la fuerza ejercida por la atmósfera sobre una unidad de superficie, fuerza que se debe al peso del aire contenido en una columna imaginaria que tiene como base dicha unidad.
La altura de esta columna y por tanto el peso del aire que contiene, depende del lugar en que nos encontremos. A nivel del mar la columna que tenemos encima es mayor que en la cumbre del Aneto, la cual es a su vez mayor que la que tendriamos en la cima del Everest.

Esta circunstancia indica que una primera cualidad del aire es que la presión decrece con la altura, "a mayor altura menor presión".

La magnitud de este decrecimiento es de 1 milibar por cada 9 metros de altura, o 1 pulgada por cada 1000 pies aprox. (1 mb por cada 9 mts. o 1" por cada 1000 ft).

Debido precisamente a esta propiedad, los aviones que vuelan por encima de una altitud determinada deben estar provistos de sistemas de presurización de la cabina de pasajeros.

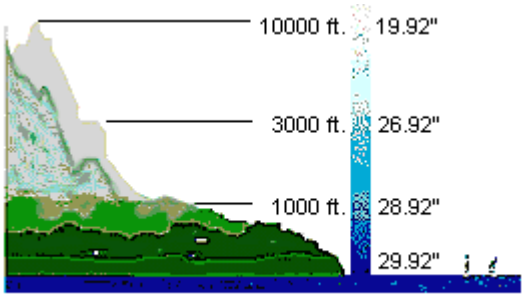


Fig.1.1.1 - La presión disminuye con la altura.

Para medir la presión atmosférica, se puede utilizar un barómetro de mercurio, un barómetro aneroide, o cualquier otro aparato más sofisticado; en los capítulos dedicados a instrumentación veremos que algunos instrumentos del avión basan su funcionamiento en la lectura de esta presión.
Las unidades normalmente empleadas en aviación son milibares (1 mb=10^3 dinas/cm^2) o pulgadas de mercurio (1 pulgada del barómetro de mercurio equivale aprox. a 34 milibares).

1.1.2 Temperatura del aire.

El calor del sol atraviesa la atmósfera sin elevar significativamente su temperatura, pero la Tierra sin embargo absorbe este calor, eleva su temperatura, y la cede gradualmente a las capas de aire en contacto con ella. En este ciclo continuo, cuanto más alejadas están las capas de aire de la tierra menos calor reciben de esta.

Debido a esto, una segunda cualidad del aire es que la temperatura disminuye con la altura, "a mayor altura menor temperatura".

La magnitud de este decrecimiento es de aproximadamente 6,5ºC cada 1000 metros, o lo que es igual 1,98ºC cada 1000 pies. Estas magnitudes son validas hasta una altura de 11000 mts. o 36.090 pies a partir de la cual la temperatura se considera constante a -56,5ºC.

Aunque las magnitudes dadas no se cumplen exactamente al no ser el aire un gas ideal, estos valores medios son los aceptados como indicativos del comportamiento del aire.

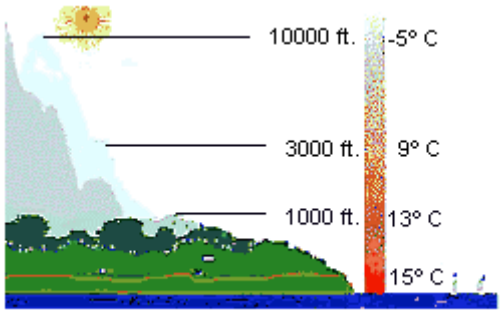


Fig.1.1.2 - La temperatura baja con la altura.

Si calentamos una masa de gas contenida en un recipiente, la presión que ejerce esta masa sobre el recipiente se incrementa, lo cual demuestra que hay una relación directa entre temperatura y presión. Así, la presión del aire cálido es mayor que la del aire frio. Al escuchar las predicciones meteológicas, asociamos ya de forma intuitiva altas presiones con calor y bajas presiones con frio.

1.1.3 Densidad del aire.

La densidad de cualquier cuerpo sea sólido, líquido o gaseoso expresa la cantidad de masa del mismo por unidad de volumen **(d=m/v)**. Esta propiedad en el aire es en principio mal asimilada por poco intuitiva, pues es cierto que la densidad del aire es poca si la comparamos con la del agua, pero es precisamente esta diferencia lo que hace el vuelo posible.

Si se comprime, una misma masa de gas ocupará menos volumen, o el mismo volumen alojará mayor cantidad de gas; es decir que la densidad aumenta o disminuye en relación directa con la presión. Puesto que la presión disminuye con la altura, según esta relación también lo hará la densidad, o sea que "a mayor altura menor densidad".

Sabemos además, que si se aplica calor a un cuerpo este se dilata y ocupa más volumen, de forma que en el mismo volumen habrá menos masa, o lo que es equivalente su densidad será menor. Así pues, al aumentar la temperatura del aire disminuye su densidad "a mayor temperatura menor densidad".

Se plantea ahora un dilema, porque si al aumentar la altura, por un lado disminuye la presión (disminuye la densidad) y por otro disminuye la temperatura (aumenta la densidad), ¿cómo queda la densidad?. Pues bien, influye en mayor medida el cambio de presión que el de temperatura, resultando que "a mayor altura menor densidad". En capítulos posteriores de detalla como afecta la densidad al rendimiento general del avión.

1.1.4 Atmósfera tipo.

La atmósfera tipo o atmósfera estándar, conocida como atmósfera ISA (International Standard Atmosphere), es una atmósfera hipotética basada en medidas climatológicas medias, cuyas constantes más importantes son:

- Unos valores en superficie al nivel del mar de:
  - Temperatura: 15ºC (59ºF).
  - Presión: 760 mm o 29,92" de columna de mercurio, equivalentes a 1013,25 mb por cm^2.
  - Densidad: 1,325 kg. por m^3.
  - Aceleración debido a la gravedad: 9,8 ms/$segundo^2$.
  - Velocidad del sonido: 340,29 ms/segundo.
- Un gradiente térmico de 1,98ºC por cada 1000 pies o 6,5ºC por cada 1000 mts.
- Un descenso de presión de 1" por cada 1000 pies, o 1 mb por cada 9 metros, o 110 mb por cada 1000 mts.

Esta atmósfera tipo definida por la OACI sirve como patrón de referencia, pero muy raramente un piloto tendrá ocasión de volar en esta atmósfera estándar.

De todos los valores anteriores, los más familiares en aviacion (en España) son: a nivel del mar una temperatura de 15ºC y una presión de 1013 mb. o 29.92", y una disminución de 2ºC de temperatura y 1" de presión por cada 1000 pies de altura.

Sumario:

- Las características básicas del aire como fluido son: presión, temperatura y densidad.
- Presión atmosférica es la fuerza que ejerce la atmósfera por unidad de superficie.
- Densidad del aire es la cantidad de masa del mismo por unidad de volumen.
- Presión, temperatura y densidad son inversamente proporcionales a la altura. A mayor altura, menor presión, menor temperatura y menor densidad.
- La densidad es también inversamente proporcional a la temperatura. A mayor temperatura menor densidad.
- La atmósfera tipo o estándar, conocida como atmósfera ISA, es una atmósfera hipotética basada en medidas climatológicas medias.

 © M.A.Muñoz

PRINCIPIOS BASICOS

1.2 PRINCIPIOS AERODINAMICOS.

Aerodinámica es la parte de la mecánica de fluidos que estudia los gases en movimiento y las fuerzas o reacciones a las que están sometidos los cuerpos que se hallan en su seno. A la importancia propia de la aerodinámica hay que añadir el valor de su aportación a la aeronáutica. De acuerdo con el *número de Mach* o velocidad relativa de un móvil con respecto al aire, la aerodinámica se divide en *subsónica* y *supersónica* según que dicho número sea inferior o superior a la unidad.

Hay ciertas leyes de la aerodinámica, aplicables a cualquier objeto moviéndose a través del aire, que explican el vuelo de objetos más pesados que el aire. Para el estudio del vuelo, es lo mismo considerar que es el objeto el que se mueve a través del aire, como que este objeto esté inmóvil y es el aire el que se mueve (de esta ultima forma se prueban en los túneles de viento prototipos de aviones).

Es importante que el piloto obtenga el mejor conocimiento posible de estas leyes y principios para entender, analizar y predecir el rendimiento de un aeroplano en cualesquiera condiciones de operación. Los aquí dados son suficientes para este nivel elemental, no pretendiéndose una explicación ni exhaustiva ni detallada de las complejidades de la aerodinámica.

1.2.1 Teorema de Bernoulli.

Daniel Bernoulli comprobó experimentalmente que "la presión interna de un fluido (líquido o gas) decrece en la medida que la velocidad del fluido se incrementa", o dicho de otra forma "en un fluido en movimiento, la suma de la presión y la velocidad en un punto cualquiera permanece constante", es decir que **p** + **v** = **k**.
Para que se mantenga esta constante **k**, si una partícula aumenta su velocidad **v** será a costa de disminuir su presión **p**, y a la inversa.

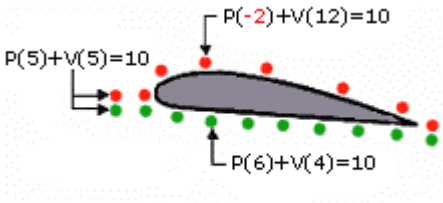


Fig.1.2.1 - Teorema de Bernoulli.

El teorema de Bernoulli se suele expresar en la forma $p+1/2dv^2 = constante$, denominándose al factor *p* presión estática y al factor $1/2dv^2$ presión dinámica.(1)

$$p + 1/2\ dv^2 = k; \qquad 1/2\ dv^2 = pd$$

p=presión en un punto dado. **d**=densidad del fluido. **v**=velocidad en dicho punto. **pd**=presión dinámica.

Enfocando este teorema desde otro punto de vista, se puede afirmar que en un fluido en movimiento la suma de la presión estática (**pe**) más la presión dinámica (**pd**), denominada presión total (**pt**) es constante: **pt**=**pe**+**pd**=**k**; de donde se infiere que si la velocidad de un fluido se incrementa, la presión estática disminuye.

Se puede considerar el teorema de Bernoulli como una derivación de la ley de conservación de la energía. El aire esta dotado de presión **p**, y este aire con una densidad **d** fluyendo a una velocidad **v** contiene energía cinética lo mismo que cualquier otro objeto en movimiento (**1/2 dv²**=energía cinética). Según la ley de la conservación de la energía, la suma de ambas es una constante: **p** + (**1/2dv²**) = **constante**. A la vista de esta ecuación, para una misma densidad (asumimos que las partículas de aire alrededor del avión tienen igual densidad) si aumenta la velocidad **v** disminuirá la presión **p** y viceversa.

En resumen, que si las partículas de aire aumentan su velocidad será a costa de disminuir su presión y a la inversa, o lo que es lo mismo: *para cualquier parcela de aire, alta velocidad implica baja presión y baja velocidad supone alta presión.*
Esto ocurre a velocidades inferiores a la del sonido pues a partir de esta ocurren otros fenómenos que afectan de forma importante a esta relación.



1.2.2 Efecto Venturi.

Otro científico, Giovanni Battista Venturi, comprobó experimentalmente que al pasar por un estrechamiento las partículas de un fluido aumentan su velocidad.

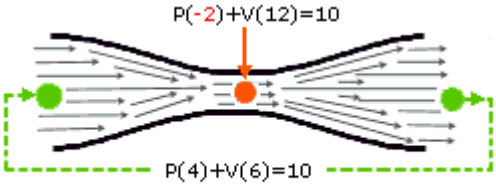


Fig.1.2.2 - Efecto Venturi.

1.2.3 3ª Ley del movimiento de Newton.

Para cada fuerza de acción hay una fuerza de reacción igual en intensidad pero de sentido contrario.

1.2.4 Porqué vuelan los aviones.

Un objeto plano, colocado un poco inclinado hacia arriba contra el viento, produce sustentación; por ejemplo una cometa. Un perfil aerodinámico, es un cuerpo que tiene un diseño determinado para aprovechar al máximo las fuerzas que se originan por la variación de velocidad y presión cuando este perfil se sitúa en una corriente de aire. Un ala es un ejemplo de diseño avanzado de perfil aerodinámico.

Veamos que sucede cuando un aparato dotado de perfiles aerodinámicos (alas) se mueve en el aire (dotado de presión atmosférica y velocidad), a una cierta velocidad y con determinada colocación hacia arriba (ángulo de ataque), de acuerdo con las leyes explicadas.

El ala produce un flujo de aire en proporción a su ángulo de ataque (a mayor ángulo de ataque mayor es el estrechamiento en la parte superior del ala) y a la velocidad con que el ala se mueve respecto a la masa de aire que la rodea; de este flujo de aire, el que discurre por la parte superior del perfil tendrá una velocidad mayor (efecto Venturi) que el que discurre por la parte inferior. Esa mayor velocidad implica menor presión (teorema de Bernoulli).

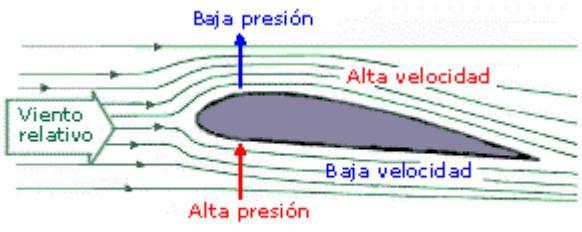


Fig.1.2.3 - Presión vs. Velocidad.

Tenemos pues que la superficie superior del ala soporta menos presión que la superficie inferior. Esta diferencia de presiones produce una fuerza aerodinámica que empuja al ala de la zona de mayor presión (abajo) a la zona de menor presión (arriba), conforme a la Tercera Ley del Movimiento de Newton.

Pero además, la corriente de aire que fluye a mayor velocidad por encima del ala, al confluir con la que fluye por debajo deflecta a esta última hacia abajo, produciéndose una fuerza de reacción adicional hacia arriba. La suma de estas dos fuerzas es lo que se conoce por fuerza de sustentación, que es la que mantiene al avión en el aire.

Como hemos visto, la producción de sustentación es un proceso continuo en el cual cada uno de los principios enumerados explican una parte distinta de este proceso. Esta producción de sustentación no es infinita, sino que como veremos en capítulos posteriores (1.7.3) tiene un límite.

1.2.5 Discutible.

A estas alturas y la vista de los ingenios mecánicos que vemos volar, cada vez más grandes y desarrollando mayores velocidades, se podría deducir que la mayoría de las cuestiones relativas a la aerodinámica son más que conocidas. Seguramente, a nivel de modelos y ecuaciones matemáticas así es, porque de otra forma no sería posible el espectacular desarrollo de la aeronáutica. Pero otra cuestión distinta es cuando se trata de ofrecer una visión desde el punto de vista de la física, al menos una visión facilmente comprensible para los que no poseemos los arcanos de esta ciencia.

Existen a este respecto al menos dos puntos de vista, a veces enfrentados entre sí y en ocasiones con virulencia, que reclaman para sí la explicación más coherente sobre el proceso de sustentación. Uno de ellos se apoya principalmente en el teorema de Bernoulli (baja presión encima del ala y alta presión debajo del ala) mientras que el otro se basa en las leyes de Newton (el flujo de aire deflectado hacia abajo "downwash" produce una reacción hacia arriba). Mi conocimiento de la física no llega a tanto, ni mucho menos, como para terciar en la polémica, pero lo que el sentido común me dicta, después de haber leido unos cuantos artículos al respecto, es que posiblemente se trate de puntos de vista distintos sobre un mismo proceso complejo.
Eso sí, estoy de acuerdo con los "newtonianos" en que la explicación "bernoulliana" de que el aire se acelera por encima del ala porque ha de recorrer mayor distancia (mismo tiempo de transición) y que por eso es necesario que la parte superior sea mas curvada que la inferior, no tiene ninguna base cientifica y es un absoluto error.

El tema es excitante pero excede el propósito de este "manual", no obstante, a los interesados en profundizar en el mismo les recomiendo visitar algunas de las páginas cuyos enlaces propongo en la sección de enlaces de interés.

Hay algunas teorías y explicaciones con respecto a la producción de sustentación que enfrentadas con los hechos y con pruebas realizadas resultan discutibles. Para evitar confusiones conviene contrastar algunos detalles.

Se mantiene a veces, que un ala produce sustentación debido a que la forma del perfil (curvado por arriba y plano por abajo) obliga al aire que pasa por encima del perfil a recorrer más distancia en el mismo tiempo que el que pasa por debajo, y eso solo puede hacerse, lógicamente, a mayor velocidad. Resulta atractivo ¿verdad?.

Esta teoría implica: primero, que es necesario que un perfil tenga diferencia de curvatura entre su parte superior e inferior, y segundo, que la parcela de aire dividida por el perfil recorre este por arriba y por abajo en el mismo tiempo para encontrarse en la parte posterior de dicho perfil. Sin embargo, en vuelo invertido la forma del perfil del ala es más curvada por abajo que por arriba y sigue produciendo sustentación, y hay aviones acrobáticos con alas de perfil simétrico (Pitts, Decathlon) que vuelan perfectamente, sin olvidar que otros perfiles simétricos (timones, estabilizadores, etc...) operan bajo los mismos principios aerodinámicos. Esto no parece concordar con la implicación primera ¿no?.

Por otro lado, las pruebas realizadas en túneles de viento muestran que la capa de aire que recorre la parte superior (a pesar de la mayor distancia) lo hace en un tiempo sensiblemente menor que la capa que recorre la parte inferior, además de que ambas no vuelven a coincidir en la parte posterior del perfil. ¿Adónde nos lleva esto?. A afirmarnos en que los principios reseñados de porqué vuela un avión son válidos, con independencia de la simetría o asimetría del perfil y de la diferencia de curvatura entre las superficies superior e inferior.

Por ejemplo, el ala usada por los hermanos Wright en su primer aeroplano era delgada, muy curvada y algo cóncava por la parte inferior. No tenía diferencia significativa de curvatura entre la parte superior e inferior y sin embargo producía sustentación debido a los mismos principios que las alas de hoy en día.



Fig. 1.2.4 - El Flyer de los Wright.

Si la sustentación dependiera únicamente de la forma del ala, puesto que esta forma no cambia con el vuelo, no habría forma de variar la sustentación; el aeroplano solo soportaría su peso a una velocidad determinada y además sería inestable e incontrolable. Veremos más adelante como el piloto regula la sustentación mediante el control del ángulo de ataque y la velocidad.

Para terminar, decir que los diseños de alas curvadas y con diferencia de curvatura entre la parte superior e inferior responden a razones eminentemente prácticas, pues estos perfiles mejoran la sustentación y tienen mejores características ante la pérdida (Ver 1.3.2)

Sumario:

- Según Bernoulli, alta velocidad implica baja presión y viceversa.
- Venturi demostró que un fluido al pasar por un estrechamiento es acelerado.
- A una fuerza de acción se le opone otra de reacción de igual intensidad pero de sentido contrario, dice la 3ª Ley del Movimiento de Newton.
- Un ala es muy efectiva cambiando la velocidad del aire: el que fluye por encima es acelerado mientras que el que fluye por debajo es retardado; incluso aunque el que pase por arriba tenga un camino más largo, alcanzará el borde de salida antes que el que pasa por abajo.
- La disminución de presión por encima del ala es mucho más pronunciada que el aumento de presión por debajo de la misma.
- Cada parcela de aire sufre un cambio temporal en su velocidad al ser incidida por el ala; al alcanzar el borde de salida tenderá a recuperar la velocidad del aire libre.
- Un ala moviéndose a través del aire produce un flujo circulatorio proporcional al ángulo de ataque y la velocidad con que incide sobre este aire. Este flujo circulatorio es más rápido por la parte superior que por la inferior del ala. La diferente velocidad produce diferente presión y esta presión diferencial produce sustentación.
- La deflexión hacia abajo del flujo de aire en el borde de salida del ala, produce una fuerza de reacción hacia arriba que también genera sustentación.
- Es deseable, pero no imprescindible, que la parte superior del ala sea más curvada que la parte inferior.

---

(1). Más exactamente el teorema de Bernoulli dice: "Cuando en un fluido ideal se produce una corriente estacionaria, a lo largo de la línea de corriente se produce la ecuación **$p + dgh + 1/2dv^2 = constante$**, siendo: **p** la presión en el punto considerado, **d** la densidad del fluido, **g** la aceleración de la gravedad, **h** la altura respecto a un nivel de referencia común a todos los puntos del fluido y **v** la velocidad del mismo".

PRINCIPIOS BASICOS

1.3 FUERZAS QUE ACTÚAN EN VUELO.

Sobre un aeroplano en vuelo actúan una serie de fuerzas, favorables unas y desfavorables otras, siendo una tarea primordial del piloto ejercer control sobre ellas para mantener un vuelo seguro y eficiente.
Aunque los expertos siguen debatiendo e investigando sobre aerodinámica, a nuestro nivel solo necesitamos conocer algunos conceptos fundamentales, empezando por las fuerzas que afectan al vuelo y sus efectos.

De todas las fuerzas que actúan sobre un aeroplano en vuelo, las básicas y principales porque afectan a todas las maniobras son cuatro: sustentación, peso, empuje y resistencia. Estas cuatro fuerzas actúan en pares; la sustentación es opuesta al peso, y el empuje o tracción a la resistencia.

Un aeroplano, como cualquier otro objeto, se mantiene estático en el suelo debido a la acción de dos fuerzas: su peso, debido a la gravedad, que lo mantiene en el suelo, y la inercia o resistencia al avance que lo mantiene parado. Para que este aeroplano vuele será necesario contrarrestar el efecto de estas dos fuerzas negativas, peso y resistencia, mediante otras dos fuerzas positivas de sentido contrario, sustentación y empuje respectivamente. Así, el empuje ha de superar la resistencia que opone el avión a avanzar, y la sustentación superar el peso del avión manteniéndolo en el aire.



Fig.1.3.1 - Fuerzas que actuan en vuelo.

1.3.1 Sustentación.

Es la fuerza desarrollada por un perfil aerodinámico moviéndose en el aire, ejercida de abajo arriba, y cuya dirección es perpendicular al viento relativo y a la envergadura del avión (no necesariamente perpendiculares al horizonte). Se suele representar con la letra **L,** inicial del término inglés Lift = Sustentación.



Fig.1.3.2 - Perpendicularidad de la sustentación.

Anteriormente hemos visto las leyes aerodinámicas que explican la sustentación; ahora veremos con detalle cuales son los factores que afectan a la misma, dando entrada de paso a algunos conceptos nuevos.

Actitud del avión. Este término se refiere a la orientación o referencia angular de los ejes longitudinal y transversal del avión con respecto al horizonte, y se especifica en términos de: posición de morro (pitch) y posición de las alas (bank); p.ejemplo: el avión esta volando con 5º de morro arriba y 15º de alabeo a la izquierda.

Trayectoria de vuelo. Es la dirección seguida por el perfil aerodinámico durante su desplazamiento en el aire; es decir es la trayectoria que siguen las alas y por tanto el avión.

Viento relativo. Es el flujo de aire que produce el avión al desplazarse. El viento relativo es paralelo a la trayectoria de vuelo y de dirección opuesta. Su velocidad es la relativa del avión con respecto a la velocidad de la masa de aire en que este se mueve.(1)



Fig.1.3.3 - Trayectoria de vuelo y viento relativo.

Es importante destacar que no debe asociarse la trayectoria de vuelo, ni por tanto el viento relativo, con la actitud de morro del avión; por ejemplo, una trayectoria de vuelo recto y nivelado puede llevar aparejada una actitud de morro ligeramente elevada.

Ángulo de incidencia. El ángulo de incidencia es el ángulo agudo formado por la cuerda del ala con respecto al eje longitudinal del avión. Este ángulo es fijo, pues responde a consideraciones de diseño y no es modificable por el piloto.(2)(3)



Fig.1.3.4 - Angulo de incidencia.

Ángulo de ataque. El ángulo de ataque es el ángulo agudo formado por la cuerda del ala y la dirección del viento relativo. Este ángulo es variable, pues depende de la dirección del viento relativo y de la posición de las alas con respecto a este, ambos extremos controlados por el piloto. Es conveniente tener muy claro el concepto de ángulo de ataque pues el vuelo está directa y estrechamente relacionado con el mismo.

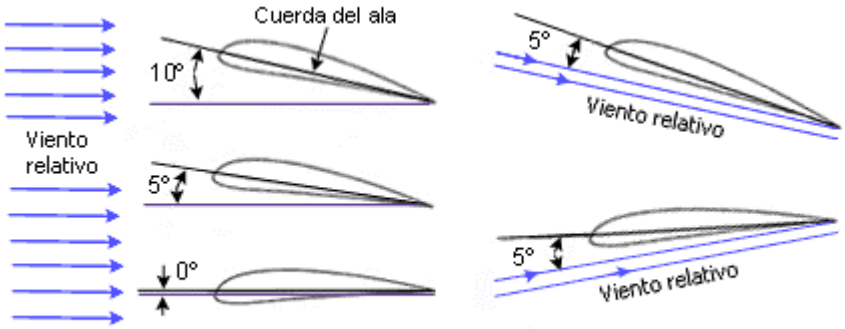


Fig.1.3.5 - Angulo de ataque y viento relativo.

Es importante notar que, tal como muestra la fig.1.3.5, el ángulo de ataque se mide respecto al viento relativo y no respecto de la línea del horizonte. Dada la importancia de este concepto, se profundiza en el mismo en el capítulo 1.7.

En la fig.1.3.6 se muestran distintas fases de un avión en vuelo, en cada una de las cuales podemos apreciar de una manera gráfica los conceptos definidos: la trayectoria; el viento relativo, paralelo y de dirección opuesta a la trayectoria, y la sustentación, perpendicular al viento relativo.



Fig.1.3.6 - La sustentación es perpendicular al viento relativo.

1.3.2 Factores que afectan a la sustentación.

La forma del perfil del ala. Hasta cierto límite, a mayor curvatura del perfil mayor diferencia de velocidad entre las superficies superior e inferior del ala y por tanto mayor diferencia de presión, o lo que es igual mayor fuerza de sustentación. No obstante no hay que confundirse pensando que es necesario que el ala sea curvada por arriba y plana o cóncava por abajo para producir sustentación, pues un ala con un perfil simétrico también la produce. Lo que ocurre es que un ala ligeramente curvada entra en pérdida con un ángulo de ataque mucho mayor que un ala simétrica, lo que significa que tanto su coeficiente de sustentación como su resistencia a la pérdida son mayores.

La curvatura de un ala típica moderna es solo de un 1% o un 2%. La razón por la cual no se hace más curvada, es que un incremento de esta curvatura requeriría una superficie inferior cóncava, lo cual ofrece dificultades de construcción. Otra razón, es que una gran curvatura solo es realmente beneficiosa en velocidades cercanas a la pérdida (despegue y aterrizaje), y para tener más sustentación en esos momentos es suficiente con extender los flaps.

La superficie alar. Cuanto más grandes sean las alas mayor será la superficie sobre la que se ejerce la fuerza de sustentación. Pero hay que tener en cuenta que perfiles muy curvados o alas muy grandes incrementan la resistencia del avión al ofrecer mayor superficie enfrentada a la corriente de aire. En cualquier caso, tanto la forma como la superficie del ala dependen del criterio del diseñador, que tendrá que adoptar un compromiso entre todos los factores según convenga a la funcionalidad del avión.

La densidad del aire. Cuanto mayor sea la densidad del aire, mayor es el número de partículas por unidad de volumen que cambian velocidad por presión y producen sustentación (factor **d** del teorema de Bernoulli).

La velocidad del viento relativo. A mayor velocidad sobre el perfil, mayor es la sustentación. La sustentación es proporcional al cuadrado de la velocidad (factor $\mathbf{v^2}$ del teorema de Bernoulli), siendo por tanto este factor el que comparativamente más afecta a la sustentación.

El ángulo de ataque. Si se aumenta el ángulo de ataque es como si se aumentara la curvatura de la parte superior del perfil, o sea el estrechamiento al flujo de aire, y por tanto la diferencia de presiones y en consecuencia la sustentación. No obstante como se verá más adelante, un excesivo ángulo de ataque puede provocar la entrada en pérdida.
En la fig.1.3.7 se ve de forma general como aumenta el coeficiente de sustentación (CL) con el ángulo de ataque hasta llegar al CL máximo, a partir del cual la sustentación disminuye con el ángulo de ataque. Los valores y la forma de la curva en la gráfica dependerán de cada perfil concreto.

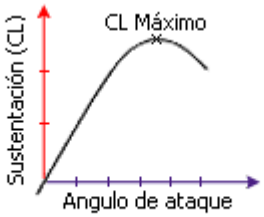


Fig.1.3.7 - Coeficiente de sustentación vs. Angulo de ataque.

En resumen, la sustentación creada por el ala está en función de:

- El coeficiente aerodinámico (Forma del perfil).
- La superficie alar.
- La densidad del aire.
- La velocidad del viento relativo.
- El ángulo de ataque.

La fórmula correspondiente sería: **L=CL*q*S** donde **CL** es el coeficiente de sustentación, dependiente del tipo de perfil y del ángulo de ataque; **q** la presión aerodinámica (*1/2dv²* siendo *d* la densidad y *v* la velocidad del viento relativo) y **S** la superficie alar.

Es obvio que el piloto solo puede tener influencia en la sustentación actuando sobre los factores velocidad y ángulo de ataque, pues el coeficiente aerodinámico y la superficie alar están predeterminadas por el diseño del avión, y la densidad del aire depende del estado de la atmósfera.
Más adelante se verá que el avión dispone de dispositivos hipersustentadores (flaps y slats) que accionados por el piloto modifican la curvatura del ala y la superficie alar, pero estos dispositivos están diseñados para posibilitar maniobras a baja velocidad (aterrizaje, despegue, etc.) más que para aumentar la sustentación a velocidades normales de operación.

1.3.3 Centro de Presiones.

Se denomina centro de presiones al punto teórico del ala donde se considera aplicada toda la fuerza de sustentación. La figura 1.3.8 muestra un ejemplo de distribución de presiones sobre un perfil moviendose en el aire. A efectos teóricos, aunque la presión actúa sobre todo el perfil, se considera que toda la fuerza de sustentación se ejerce sobre un punto en la línea de la cuerda (resultante).



Fig.1.3.8 - Centro de presiones.

La posición del centro de presiones se suele dar en % de la cuerda del ala a partir del borde de ataque.

A medida que aumenta o disminuye el ángulo de ataque se modifica la distribución de presiones alrededor del perfil, desplazandose el centro de presiones, dentro de unos límites, hacia adelante o atrás respectivamente.
El margen de desplazamiento suele estar entre el 25% y el 60% de la cuerda, y puesto que afecta a la estabilidad de la aeronave es conveniente que sea el menor posible.

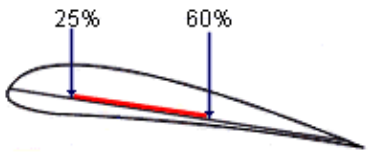


Fig.1.3.9 - Límites de desplazamiento del centro de presiones.

Mediante métodos empíricos se ha demostrado que a medida que se incrementa el ángulo de ataque, el Centro de Presiones se desplaza gradualmente hacia adelante. En un punto más allá del ángulo de ataque para vuelo ordinario, comienza a moverse hacia atrás de nuevo; cuando llega a un punto lo suficientemente atrás, el morro del avión cae porque el ala está en pérdida.

1.3.4 Peso.

El peso es la fuerza de atracción gravitatoria sobre un cuerpo, siendo su dirección perpendicular a la superficie de la tierra, su sentido hacia abajo, y su intensidad proporcional a la masa de dicho cuerpo. Esta fuerza es la que atrae al avión hacia la tierra y ha de ser contrarrestada por la fuerza de sustentación para mantener al avión en el aire.

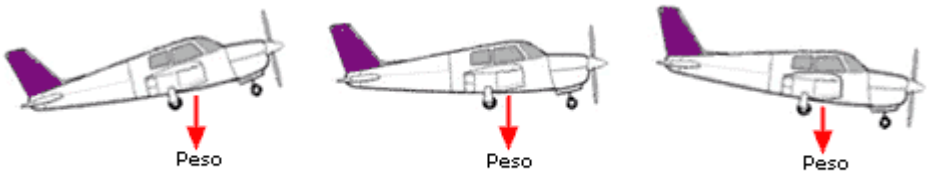


Fig.1.3.10 - Dirección y sentido del peso.

Dependiendo de sus características, cada avión tiene un peso máximo que no debe ser sobrepasado, estudiandose en un capitulo posterior como debe efectuarse la carga de un avión para no exceder sus limitaciones.

1.3.5 Centro de Gravedad.

Es el punto donde se considera ejercida toda la fuerza de gravedad, es decir el peso. El C.G es el punto de balance de manera que si se pudiera colgar el avión por ese punto específico este quedaría en perfecto equilibrio. El avión realiza todos sus movimientos pivotando sobre el C.G.

La situación del centro de gravedad respecto al centro de presiones tiene una importancia enorme en la estabilidad y controlabilidad del avión (Ver 1.6.5).

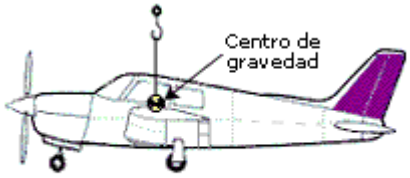


Fig.1.3.11 - Centro de gravedad

1.3.6 Resistencia.

La resistencia es la fuerza que impide o retarda el movimiento de un aeroplano. La resistencia actúa de forma paralela y en la misma dirección que el viento relativo, aunque también podríamos afirmar que la resistencia es paralela y de dirección opuesta a la trayectoria.

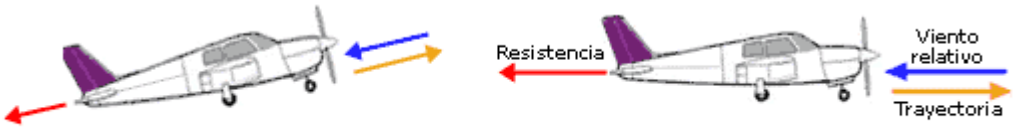


Fig.1.3.12 - Dirección y sentido de la resistencia.

Desde un punto de vista aerodinámico, cuando un ala se desplaza a través del aire hay dos tipos de resistencia: (a) resistencia debida a la fricción del aire sobre la superficie del ala, y (b) resistencia por la presión del propio aire oponiéndose al movimiento de un objeto en su seno. La resistencia por fricción es proporcional a la viscosidad, que en el aire es muy baja, de manera que la mayoría de las veces esta resistencia es pequeña comparada con la producida por la presión, mientras que la resistencia debida a la presión depende de la densidad de la masa de aire.
Ambas resistencias crean una fuerza proporcional al área sobre la que actúan y al cuadrado de la velocidad. Una parte de la resistencia por presión que produce un ala depende de la cantidad de sustentación producida; a esta parte se le denomina resistencia inducida, denominandose resistencia parásita a la suma del resto de resistencias.

La fórmula de la resistencia (en ingles "drag") tiene la misma forma que la de la sustentación: **D=CD*q*S** donde **CD** es el coeficiente de resistencia, dependiente del tipo de perfil y del ángulo de ataque; **q** la presión aerodinámica (*1/2dv²* siendo *d* la densidad y *v* la velocidad del viento relativo) y **S** la superficie alar.

La resistencia total del avión es pues la suma de dos tipos de resistencia: la resistencia inducida y la resistencia parásita.

Resistencia inducida. La resistencia inducida, indeseada pero inevitable, es un producto de la sustentación, y se incrementa en proporción directa al incremento del ángulo de ataque. Al encontrarse en la parte posterior del ala la corriente de aire que fluye por arriba con la que fluye por debajo, la mayor velocidad de la primera deflecta hacia abajo a la segunda haciendo variar ligeramente el viento relativo, y este efecto crea una resistencia. Este efecto es más acusado en el extremo del ala, pues el aire que fluye por debajo encuentra una vía de escape hacia arriba donde hay menor presión, pero la mayor velocidad del aire fluyendo por arriba deflecta esa corriente hacia abajo produciéndose resistencia adicional. Este movimiento de remolino crea vórtices que absorben energía del avión.



Fig.1.3.13 - Deflexión del flujo de aire.

Representadas de forma gráfica la sustentación y la resistencia, la fuerza aerodinámica se descompone en dos fuerzas: una aprovechable de sustentación y otra no deseada pero inevitable de resistencia (fig.1.3.14).

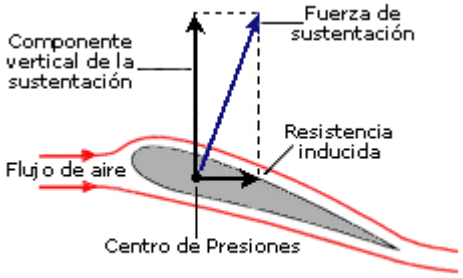


Fig.1.3.14 - Resistencia inducida.

De la explicación dada se deduce claramente que la resistencia inducida aumenta a medida que aumenta el ángulo de ataque. Pero si para mantener la misma sustentación ponemos más velocidad y menos ángulo de ataque, la resistencia inducida será menor, de lo cual deducimos que la resistencia inducida disminuye con el aumento de velocidad. La figura 1.3.15 nos muestra la relación entre la resistencia inducida, la velocidad, y el ángulo de ataque.

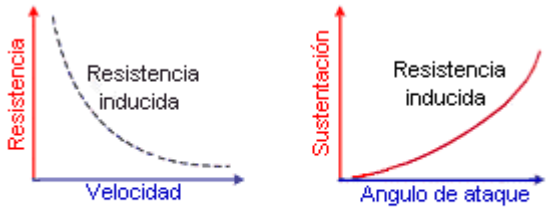


Fig.1.3.15 - Variación de la resistencia inducida con la velocidad y el ángulo de ataque.

En la resistencia inducida también tiene influencia la forma de las alas; un ala alargada y estrecha tiene menos resistencia inducida que un ala corta y ancha. (fig.1.4.2)

Resistencia parásita. Es la producida por las demás resistencias no relacionadas con la sustentación, como son: resistencia al avance de las partes del avión que sobresalen (fuselaje, tren de aterrizaje no retráctil, antenas de radio, etc.); entorpecimiento del flujo del aire en alas sucias por impacto de insectos o con formación de hielo; rozamiento o fricción superficial con el aire; interferencia del flujo de aire a lo largo del fuselaje con el flujo de las alas; el flujo de aire canalizado al compartimento del motor para refrigerarlo (que puede suponer en algunos aeroplanos cerca del 30% de la resistencia total); etc... También, la superficie total del ala y la forma de esta superficie afecta a la resistencia parásita; un ala más alargada presenta mayor superficie al viento, y por ello mayor resistencia parásita, que un ala más corta. Lógicamente, cuanto mayor sea la velocidad, mayor será el efecto de la resistencia parásita. La resistencia parásita aumenta con la velocidad.



Fig.1.3.16 - Resistencia parásita vs. Velocidad.

Si la resistencia inducida es un producto de la sustentación, y en la resistencia parásita tienen influencia la superficie alar y la forma del ala, es obvio que prácticamente todos los factores que afectan a la sustentación afectan en mayor o menor medida a la resistencia.

1.3.7 Control del piloto sobre la resistencia.

La resistencia inducida depende del ángulo de ataque. Por lo tanto el piloto puede reducir la resistencia inducida si para lograr más sustentación incrementa la velocidad en vez de incrementar el ángulo de ataque. A mayor velocidad menor resistencia inducida. (fig.1.3.15) El peso influye de forma indirecta en esta resistencia, puesto que a más peso más sustentación se necesita y por tanto mayor ángulo de ataque para mantener la misma velocidad. Disminuyendo el peso disminuye la resistencia inducida.

Por el contrario, la resistencia parásita se incrementa con la velocidad del avión (fig.1.3.16). La única forma que tiene el piloto para disminuirla es aminorar la velocidad, por que en lo demás, esta resistencia depende sobre todo del diseño del avión y el piloto no dispone apenas de capacidad de acción para modificarla (mantener las alas limpias, impedir la formación de hielo en las mismas, ...).

Si con el aumento de velocidad disminuye la resistencia inducida y se incrementa la resistencia parásita, tiene que haber un punto en que la suma de ambas (resistencia total) sea el menor posible. Este punto de velocidad viene tabulado por el fabricante en el manual del avión.



Fig.1.3.17 - Resistencia total

A baja velocidad la mayoría de la resistencia es inducida, debido al incremento del ángulo de ataque para producir suficiente sustentación para soportar el peso del avión. A medida que la velocidad sigue bajando, la resistencia inducida se incrementa rápidamente y la resistencia parásita apenas tiene influencia.
Por el contrario, a alta velocidad la resistencia parásita es la dominante mientras que la inducida es irrelevante.

Resumiendo:

- A mayor velocidad menor resistencia inducida.
- A mayor ángulo de ataque mayor resistencia inducida.
- A mayor velocidad mayor resistencia parásita.

1.3.8 Empuje o tracción.

Para vencer la inercia del avión parado, acelerarlo en la carrera de despegue o en vuelo, mantener una tasa de ascenso adecuada, vencer la resistencia al avance, etc... se necesita una fuerza: el empuje o tracción.
Esta fuerza se obtiene acelerando una masa de aire a una velocidad mayor que la del aeroplano. La reacción, de igual intensidad pero de sentido opuesto (3ª ley del movimiento de Newton), mueve el avión hacia adelante. En aviones de hélice, la fuerza de propulsión la genera la rotación de la hélice, movida por el motor (convencional o turbina); en reactores, la propulsión se logra por la expulsión violenta de los gases quemados por la turbina.

Esta fuerza se ejerce en la misma dirección a la que apunta el eje del sistema propulsor, que suele ser más o menos paralela al eje longitudinal del avión.



Fig.1.3.18 - Dirección y sentido de empuje.

Es obvio que el factor principal que influye en esta fuerza es la potencia del motor, pero hay otros elementos que también influyen como pueden ser la forma y tamaño de la hélice, octanaje del combustible, densidad del aire, etc. Se habla de potencia en C.V. en motores convencionales, y de kilos o libras de empuje en reactores.

Puesto que potencia es equivalente a energía por unidad de tiempo, a mayor potencia mayor capacidad de aceleración.

La potencia es el factor más importante a la hora de determinar la tasa de ascenso de un avión. De hecho la tasa máxima de ascenso de un avión no está relacionada con la sustentación sino con la potencia disponible descontada la necesaria para mantener un vuelo nivelado.

Notas:

Estas cuatro fuerzas están definidas respecto a tres sistemas de coordenadas diferentes: la sustentación y la resistencia están definidas en relación al viento relativo; el peso (gravedad) respecto al centro de la tierra, y el empuje con respecto a la orientación del aeroplano. Esta situación puede verse un poco más complicada porque por ejemplo el empuje y la resistencia tienen componentes verticales que se oponen al peso, mientras la sustentación tiene un componente horizontal.

Se puede pensar que las cuatro fuerzas están definidas de una manera anárquica, pero los conceptos y sus definiciones son los que son y además son correctos. Hay mucha historia e investigación sobre ellos, y son muy importantes al analizar situaciones complejas.

Pero no hay que alarmarse, dado que estos conceptos tienen una importancia relativa. En vuelo ordinario (no acrobático) exceptuando los giros, incluso en ascensos y descensos, los ángulos son generalmente pequeños, de manera que el empuje es aproximadamente horizontal, y los vientos relativos difieren de la horizontal solo en unos pocos grados, de forma que la resistencia es aproximadamente horizontal y la sustentación cercana a la vertical.

Simplificando: en vuelo recto y nivelado a velocidad constante las fuerzas que actúan hacia abajo se compensan con las que actúan hacia arriba, y las que actúan hacia delante se equilibran con las que actúan hacia atrás. Esto es cierto, se calculen como se calculen las contribuciones individuales de la sustentación, el peso, la resistencia y el empuje. Si una de estas fuerzas básicas cambia de magnitud haciendose mayor que la opuesta, el avión se moverá en la dirección de la fuerza mayor hasta un punto en que ambas estén de nuevo en equilibrio.

Por supuesto que la manera en que las fuerzas se compensan se refiere a un avión en vuelo; puede haber otros sistemas en que las fuerzas se compensen de forma diferente: por ejemplo, el peso de un avión de despegue vertical durante la maniobra de toma de tierra no convencional, se compensa con el empuje del motor.

Pequeñas paradojas: En un ascenso a baja velocidad y mucha potencia la sustentación es menor que el peso pero el empuje soporta parte de dicho peso. Suena raro ¿verdad? pero es técnicamente cierto. En un descenso a alta velocidad y baja potencia, la sustentación de nuevo es menor que el peso, pero en este caso la resistencia está soportando parte del peso. Estas paradojas son puros tecnicismos consecuencia de las definiciones de las cuatro fuerzas, pero no tienen ningún impacto en la técnica de pilotaje.

Sumario:

- Las cuatro fuerzas que actúan en vuelo son sustentación, peso, empuje y resistencia. Sustentación y empuje son favorables y opuestas a las desfavorables peso y resistencia.
- Generalizando, sustentación y peso son de componente vertical en tanto empuje y resistencia son de componente horizontal.
- La sustentación es perpendicular al viento relativo.
- Aunque la sustentación depende de varios factores, los primordiales son ángulo de ataque y velocidad.
- El coeficiente de sustentación es proporcional al ángulo de ataque hasta el CL máximo a partir del cual comienza a disminuir.
- Teóricamente, el centro de presiones es el punto del ala donde se supone ejercida la sustentación, y el centro de gravedad es el punto donde se concentra todo el peso del avión. La posición de uno respecto del otro tiene una gran importancia según veremos en capítulos posteriores.
- El peso es siempre perpendicular al centro de la Tierra.

- La resistencia es paralela y de la misma dirección que el viento relativo. Asimismo es paralela y de dirección opuesta a la trayectoria.
- La resistencia inducida es directamente proporcional al ángulo de ataque e inversamente proporcional a la velocidad.
- La resistencia parásita es directamente proporcional a la velocidad.
- La tracción o empuje se ejerce en la misma dirección que el eje de propulsión.
- Potencia es energía por unidad de tiempo; a mayor potencia mayor capacidad de aceleración.
- La tasa de ascenso depende de la potencia disponible descontada la necesaria para mantener un vuelo nivelado.

---

(1). En el apartado dedicado a la resistencia (1.3.6) se verá que debido a la resistencia inducida no es exactamente paralelo.

(2). La extensión de flaps por el piloto produce un cambio en la curvatura del ala y por añadidura en el ángulo de incidencia.

(3). Algunos aviones militares montan alas que permiten variar el ángulo de incidencia: alas de incidencia variable.

1.4 ESTRUCTURA DEL AVION.

En los capítulos anteriores se han descrito algunos aspectos del mundo en que se mueve el avión (la atmósfera), las leyes que explican el vuelo, las fuerzas que actúan sobre un avión en vuelo, etc. En este capítulo se especifican de una forma general cuales son los componentes estructurales de un avión y su nomenclatura, poniendo especial énfasis en su elemento distintivo: las alas.

1.4.1 Generalidades.

Fuselaje. Del francés "fuselé" que significa "ahusado", se denomina fuselaje al cuerpo principal de la estructura del avión, cuya función principal es la de dar cabida a la tripulación, a los pasajeros y a la carga, además de servir de soporte principal al resto de los componentes.
El diseño del fuselaje además de atender a estas funciones, debe proporcionar un rendimiento aceptable al propósito a que se destine el avión. Los fuselajes que ofrecen una menor resistencia aerodinámica son los de sección circular, elíptica u oval, y de forma alargada y ahusada.

Alas. Son el elemento primordial de cualquier aeroplano. En ellas es donde se originan las fuerzas que hacen posible el vuelo. En su diseño se tienen en cuenta numerosos aspectos: peso máximo a soportar, resistencias generadas, comportamiento en la pérdida, etc.. o sea, todos aquellos factores que proporcionen el rendimiento óptimo para compaginar la mejor velocidad con el mayor alcance y el menor consumo de combustible posibles.

Superficies de mando y control. Son las superficies movibles situadas en las alas y en los empenajes de cola, las cuales respondiendo a los movimientos de los mandos existentes en la cabina provocan el movimiento del avión sobre cualquiera de sus ejes (transversal, longitudinal y vertical). También entran en este grupo otras superficies secundarias, cuya función es la de proporcionar mejoras adicionales relacionadas generalmente con la sustentación (flaps, slats, aerofrenos, etc...).

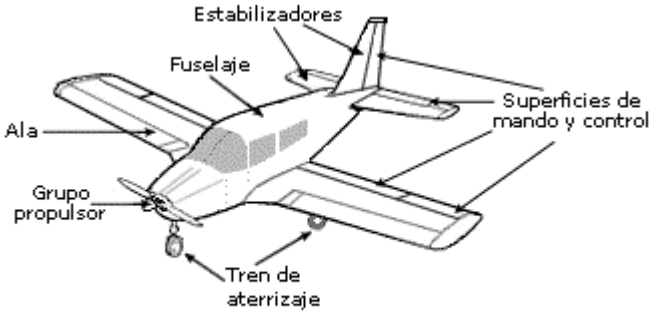


Fig.1.4.1 - Estructura genérica del avión.

Sistema estabilizador. Está compuesto en general por un estabilizador vertical y otro horizontal. Como sus propios nombres indican, su misión es la de contribuir a la estabilidad del avión sobre sus ejes vertical y horizontal.

Tren de aterrizaje. Tiene como misión amortiguar el impacto del aterrizaje y permitir la rodadura y movimiento del avión en tierra. Puede ser fijo o retráctil, y de triciclo (dos ruedas principales y una de morro) o patín de cola (dos ruedas principales y un patín o rueda en la cola). Hay trenes adaptados a la nieve (con patines) y al agua (con flotadores).

Grupo motopropulsor. Encargado de proporcionar la potencia necesaria para contrarrestar las resistencias del aparato, tanto en tierra como en vuelo, impulsar a las alas y que estas produzcan sustentación, y por último para aportar la aceleración necesaria en cualquier momento.

Este grupo puede estar constituido por uno o más motores; motores que pueden ser de pistón, de reacción, turbopropulsores, etc. Dentro de este grupo se incluyen las hélices, que pueden tener distintos tamaños, formas y número de palas.

Sistemas auxiliares. Resto de sistemas destinados a ayudar al funcionamiento de los elementos anteriores o bien para proporcionar más confort o mejor gobierno de la aeronave. Podemos mencionar por ejemplo, el sistema hidráulico, el eléctrico, presurización, alimentación de combustible, etc.

1.4.2 Las alas.

Los pioneros de la aviación tratando de emular el vuelo de las aves, construyeron todo tipo de artefactos dotados de alas articuladas que generaban corrientes de aire. Solo cuando se construyeron máquinas con alas fijas que surcaban el aire en vez de generarlo, fue posible el vuelo de máquinas más pesadas que el aire. Aunque veremos que hay alas de todos los tipos y formas, todas obedecen a los mismos principios explicados con anterioridad.

Por ser la parte más importante de un aeroplano y por ello quizá la más estudiada, es posiblemente también la que más terminología emplee para distinguir las distintas partes de la misma. A continuación se detalla esta terminología (fig.1.4.2).

Perfil. Es la forma de la sección del ala, es decir lo que veríamos si cortáramos esta transversalmente "como en rodajas". Salvo en el caso de alas rectangulares en que todos los perfiles ("rodajas") son iguales, lo habitual es que los perfiles que componen un ala sean diferentes; se van haciendo más pequeños y estrechos hacia los extremos del ala.

Borde de ataque. Es el borde delantero del ala, o sea la línea que une la parte anterior de todos los perfiles que forman el ala; o dicho de otra forma: la parte del ala que primero toma contacto con el flujo de aire.

Borde de salida. Es el borde posterior del ala, es decir la línea que une la parte posterior de todos los perfiles del ala; o dicho de otra forma: la parte del ala por donde el flujo de aire perturbado por el ala retorna a la corriente libre.

Extrados. Parte superior del ala comprendida entre los bordes de ataque y salida.

Intrados. Parte inferior del ala comprendida entre los bordes de ataque y salida.

Espesor. Distancia máxima entre el extrados y el intrados.

Cuerda. Es la línea recta imaginaria trazada entre los bordes de ataque y de salida de cada perfil.

Cuerda media. Como los perfiles del ala no suelen ser iguales sino que van disminuyendo hacia los extremos, lo mismo sucede con la cuerda de cada uno. Por tanto al tener cada perfil una cuerda distinta, lo normal es hablar de cuerda media.

Línea del 25% de la cuerda. Línea imaginaria que se obtendría al unir todos los puntos situados a una distancia del 25% de la longitud de la cuerda de cada perfil, distancia medida comenzando por el borde de ataque.

Curvatura. Del ala desde el borde de ataque al de salida. Curvatura superior se refiere a la de la superficie superior (extrados); inferior a la de la superficie inferior (intrados), y curvatura media a la equidistante a ambas superficies. Aunque se puede dar en cifra absoluta, lo normal es que se exprese en % de la cuerda.

Superficie alar. Superficie total correspondiente a las alas.

Envergadura. Distancia entre los dos extremos de las alas. Por simple geometría, si multiplicamos la envergadura por la cuerda media debemos obtener la superficie alar.

Alargamiento. Cociente entre la envergadura y la cuerda media. Este dato nos dice la relación existente entre la longitud y la anchura del ala (Envergadura/Cuerda media). Por ejemplo; si este cociente fuera 1 estaríamos ante un ala cuadrada de igual longitud que anchura. Obviamente a medida que este valor se hace más elevado el ala es más larga y estrecha.
Este cociente afecta a la resistencia inducida de forma que: a mayor alargamiento menor resistencia inducida.
Las alas cortas y anchas son fáciles de construir y muy resistentes pero generan mucha resistencia; por el contrario las alas alargadas y estrechas generan poca resistencia pero son difíciles de construir y presentan problemas estructurales. Normalmente el alargamiento suele estar comprendido entre 5:1 y 10:1.

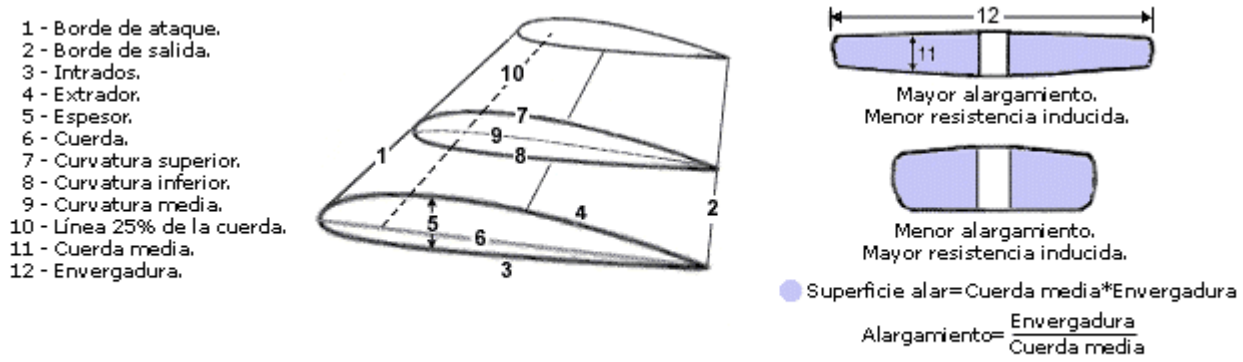


Fig.1.4.2 - Terminología general de los elementos del ala.

Flecha. Angulo que forman las alas (más concretamente la línea del 25% de la cuerda) respecto del eje transversal del avión. La flecha puede ser positiva (extremos de las alas orientados hacia atrás respecto a la raíz o encastre, que es lo habitual), neutra, o negativa (extremos adelantados). Para tener una idea más gráfica, pongamos nuestros brazos en cruz como si fueran unas alas; en esta posición tienen flecha nula, si los echamos hacia atrás tienen flecha positiva, y si los echamos hacia delante tienen flecha negativa.



Fig.1.4.3 - Flecha del ala.

Diedro. Visto el avión de frente, ángulo en forma de "V" que forman las alas con respecto al horizonte.
El ángulo diedro puede ser positivo, neutro, o negativo. Volviendo a nuestros brazos en cruz, en posición normal tenemos diedro neutro, si los subimos tienen diedro positivo y si los bajamos tienen diedro negativo.



Fig.1.4.4 - Angulos diedros.

Forma. Las alas pueden tener las formas más variadas: estrechándose hacia los extremos (tapered) o recta (straight), en la parte del borde de ataque (leading) o del borde de salida (trailing), o cualquier combinación de estas; en forma de delta, en flecha, etc. Si la velocidad es el factor principal, un ala "tapered" es más eficiente que una rectangular (straight) porque produce menos resistencia; pero un ala "tapered" tiene peores características en la pérdida salvo que tenga torsión (ángulo de incidencia decreciente hacia el borde del ala).

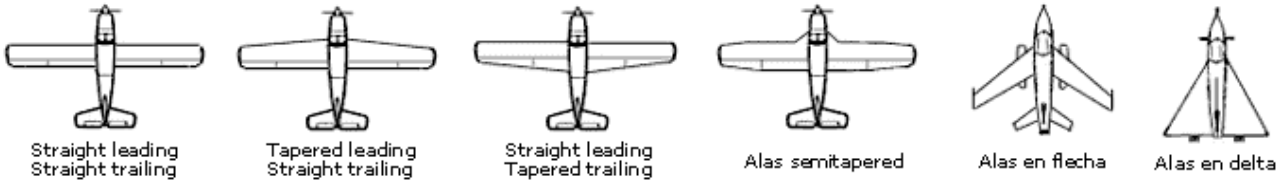


Fig.1.4.5 - Algunas formas de las alas.

Según la colocación de las alas en el fuselaje, los aviones son de plano alto, plano medio, o plano bajo. Asimismo, según el número de pares de alas, los aviones son monoplanos, biplanos, triplanos, etc.
También se distinguen alas de geometría fija (la gran mayoría), de geometría variable (que pueden variar su flecha), y alas de incidencia variable (que pueden variar su ángulo de incidencia). Estos dos últimos tipos son de aplicación casi exclusiva en aviones militares.
Las alas pueden estar fijadas al fuselaje mediante montantes y voladizos, con ayuda de cables, o estar fijadas sin montantes externos ni ayuda de cables (alas cantilever, también llamadas "ala en voladizo" o "ala en ménsula").



Fig.1.4.6 - Colocación y sujección al fuselaje.

Notas.

Como es natural, a medida que han ido pasando los años los diseños de las alas han ido sufriendo modificaciones, para adaptarse a nuevas necesidades. Las alas de aeroplanos antiguos tenían el extrados ligeramente curvado y el intrados prácticamente plano, con el máximo espesor en el primer tercio de la cuerda; con el tiempo, ambas superficies, intrados y extrados, experimentaron cambios en su curvatura en mayor o menor medida y el punto de máximo espesor se fué desplazando hacia atrás. Actualmente, los aviones suelen montar alas de flujo laminar. Los aviones supersónicos han sufrido cambios muchos más drásticos en los perfiles del ala, algunos incluso perdiendo la típica forma redondeada, y sus perfiles se han hecho simétricos.

En los diseños de las alas hay invertido mucho tiempo de investigación, de pruebas y errores, pero no existe el ala ideal. Las alas de cada aeroplano son producto de un compromiso de los diseñadores con las posibles combinaciones de factores (forma, longitud, colocación, etc.).

Además de adaptarse a las características, cualidades y uso para el que se diseña el aeroplano, su diseño las hará más o menos sensibles a las pérdidas, a la amortiguación de ráfagas de viento, a la estabilidad/inestabilidad, etc.

Sumario:

- Como en cualquier otro aparato, cada uno de los elementos estructurales de un avión está diseñado con la vista puesta en el conjunto, de forma que este cumpla con la mayor eficiencia posible el objetivo para el cual se construye.
- Los fuselajes de sección circular, elíptica u oval, y de forma alargada y ahusada ofrecen menor resistencia.
- Las alas son el elemento primordial del avión, pues en ellas es donde se genera la fuerza de sustentación.
- No existe el ala perfecta.
- El alargamiento del ala suele estar comprendido entre 5:1 y 10:1. A mayor alargamiento menor resistencia inducida.
- Hay una amplia panoplia de formas y disposiciones de las alas en un aeroplano.
- Las superficies de mando y control nos permiten dirigir la trayectoria de vuelo. Se mueven mediante los mandos correspondientes en la cabina.
- El sistema estabilizador está compuesto generalmente de un estabilizador horizontal y otro vertical.
- Además de posibilitar el movimiento y rodadura del avión, el tren de aterrizaje amortigua el contacto del avión con el suelo durante esta maniobra.
- El grupo motopropulsor esta constituido por uno o más motores, de hélice, de reacción, turbopropulsores, y en su caso las hélices, que tienen distintos tamaños, formas, y número de palas.
- Los sistemas de alimentación de combustible, eléctrico, presurización, hidráulico, etc. componen el grupo de sistemas funcionales.

 © M.A.Muñoz

1.5 SUPERFICIES DE MANDO Y CONTROL.

Además de que un avión vuele, es necesario que este vuelo se efectúe bajo control del piloto; que el avión se mueva respondiendo a sus ordenes. Los primeros pioneros de la aviación estaban tan preocupados por elevar sus artilugios que no prestaban mucha atención a este hecho; por suerte para ellos nunca estuvieron suficientemente alto y rápido como para provocar o provocarse males mayores.
Una de las contribuciones de los hermanos Wright fue el sistema de control del avión sobre sus tres ejes; su Flyer disponía de timón de profundidad, timón de dirección, y de un sistema de torsión de las alas que producía el alabeo.

Por otro lado, es de gran interés contar con dispositivos que, a voluntad del piloto, aporten sustentación adicional (o no-sustentación) facilitando la realización de ciertas maniobras.

Para lograr una u otra funcionalidad se emplean superficies aerodinámicas, denominándose primarias a las que proporcionan control y secundarias a las que modifican la sustentación.

Las superficies de mando y control modifican la aerodinámica del avión provocando un desequilibrio de fuerzas, una o más de ellas cambian de magnitud. Este desequilibrio, es lo que hace que el avión se mueva sobre uno o más de sus ejes, incremente la sustentación, o aumente la resistencia.

1.5.1 Ejes del avión.

Se trata de rectas imaginarias e ideales trazadas sobre el avión. Su denominación y los movimientos que se realizan alrededor de ellos son los siguientes:

Eje longitudinal. Es el eje imaginario que va desde el morro hasta la cola del avión. El movimiento alrededor de este eje (levantar un ala bajando la otra) se denomina alabeo (en ingles "roll"). También se le denomina eje de alabeo, nombre que parece más lógico pues cuando se hace referencia a la estabilidad sobre este eje, es menos confuso hablar de estabilidad de alabeo que de estabilidad "transversal".

Eje transversal o lateral. Eje imaginario que va desde el extremo de un ala al extremo de la otra. El movimiento alrededor de este eje (morro arriba o morro abajo) se denomina cabeceo ("pitch" en ingles). También denominado eje de cabeceo, por las mismas razones que en el caso anterior.

Eje vertical. Eje imaginario que atraviesa el centro del avión. El movimiento en torno a este eje (morro virando a la izquierda o la derecha) se llama guiñada ("yaw" en ingles). Denominado igualmente eje de guiñada.

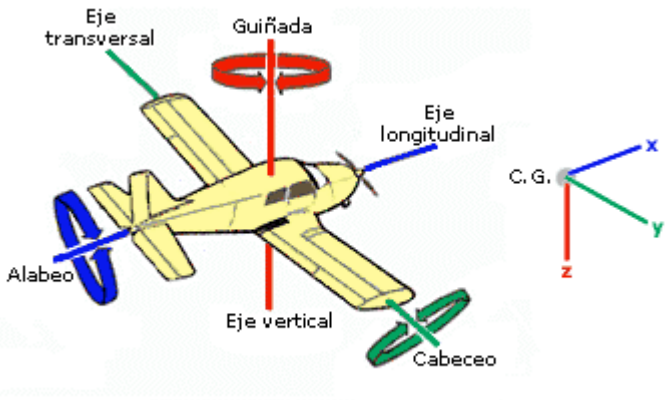


Fig.1.5.1 - Ejes del avión y movimientos sobre ellos.

En un sistema de coordenadas cartesianas, el eje longitudinal o de alabeo sería el eje "x"; el eje transversal o eje de cabeceo sería el eje "y", y el eje vertical o eje de guiñada sería el eje "z". El origen de coordenadas de este sistema de ejes es el centro de gravedad del avión.

1.5.2 Superficies primarias.

Son superficies aerodinámicas movibles que, accionadas por el piloto a través de los mandos de la cabina, modifican la aerodinámica del avión provocando el desplazamiento de este sobre sus ejes y de esta manera el seguimiento de la trayectoria de vuelo deseada.

Las superficies de control son tres: alerones, timón de profundidad y timón de dirección. El movimiento en torno a cada eje se controla mediante una de estas tres superficies. La diferencia entre un piloto y un conductor de aviones es el uso adecuado de los controles para lograr un movimiento coordinado. Veamos cuales son las superficies de control, como funcionan, y como las acciona el piloto.

Alerones. Palabra de origen latino que significa "ala pequeña", son unas superficies móviles, situadas en la parte posterior del extremo de cada ala, cuyo accionamiento provoca el movimiento de alabeo del avión sobre su eje longitudinal. Su ubicación en el extremo del ala se debe a que en esta parte es mayor el par de fuerza ejercido.
El piloto acciona los alerones girando el volante de control ("cuernos") a la izquierda o la derecha, o en algunos aviones moviendo la palanca de mando a la izquierda o la derecha.

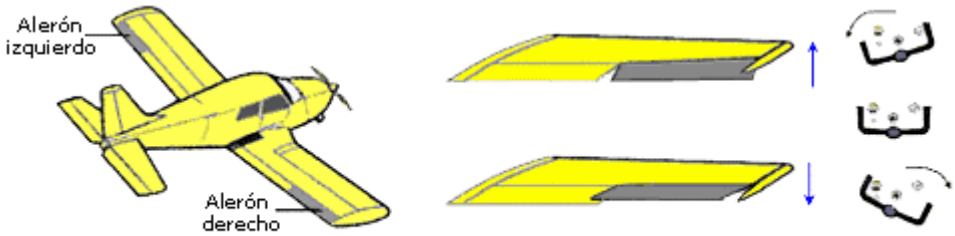


Fig.1.5.2 - Alerones y mando de control.

Funcionamiento: Los alerones tienen un movimiento asimétrico. Al girar el volante hacia un lado, el alerón del ala de ese lado sube y el del ala contraria baja, ambos en un ángulo de deflexión proporcional a la cantidad de giro dado al volante. El alerón arriba en el ala hacia donde se mueve el volante implica menor curvatura en esa parte del ala y por tanto menor sustentación, lo cual provoca que ese ala baje; el alerón abajo del ala contraria supone mayor curvatura y sustentación lo que hace que ese ala suba. Esta combinación de efectos contrarios es lo que produce el movimiento de alabeo hacia el ala que desciende.

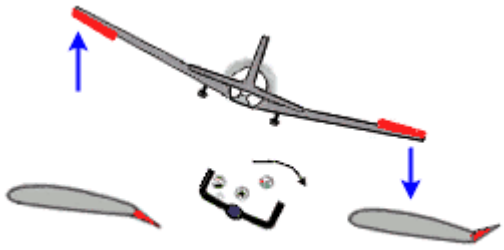


Fig.1.5.3 - Funcionamiento de los alerones.

Supongamos por ejemplo que queremos realizar un movimiento de alabeo a la derecha: giramos el volante a la derecha; el alerón del ala derecha sube y al haber menos sustentación esa ala desciende; por el contrario, el alerón abajo del ala izquierda provoca mayor sustentación en esa ala y que esta ascienda.

Timón de profundidad. Es la superficie o superficies móviles situadas en la parte posterior del empenaje horizontal de la cola del avión. Aunque su nombre podría sugerir que se encarga de hacer elevarse o descender al avión, en realidad su accionamiento provoca el movimiento de cabeceo del avión (morro arriba o morro abajo) sobre su eje transversal.

Obviamente, el movimiento de cabeceo del avión provoca la modificación del ángulo de ataque; es decir que el mando de control del timón de profundidad controla el ángulo de ataque.
En algunos aviones, el empenaje horizontal de cola es de una pieza haciendo las funciones de estabilizador horizontal y de timón de profundidad.
El timón de profundidad es accionado por el piloto empujando o tirando del volante o la palanca de control, y suele tener una deflexión máxima de 40º hacia arriba y 20º hacia abajo.

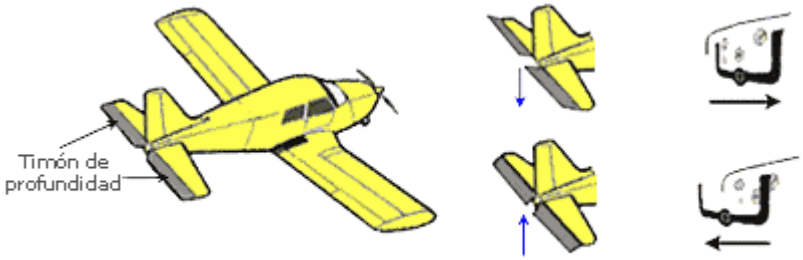


Fig.1.5.4 - Timón de profundidad y mando de control.

Funcionamiento: Al tirar del volante de control, esta superficie sube mientras que al empujarlo baja -en algunos aviones se mueve la totalidad del empenaje horizontal. El timón arriba produce menor sustentación en la cola, con lo cual esta baja y por tanto el morro sube (mayor ángulo de ataque). El timón abajo aumenta la sustentación en la cola, esta sube y por tanto el morro baja (menor ángulo de ataque). De esta manera se produce el movimiento de cabeceo del avión y por extensión la modificación del ángulo de ataque.

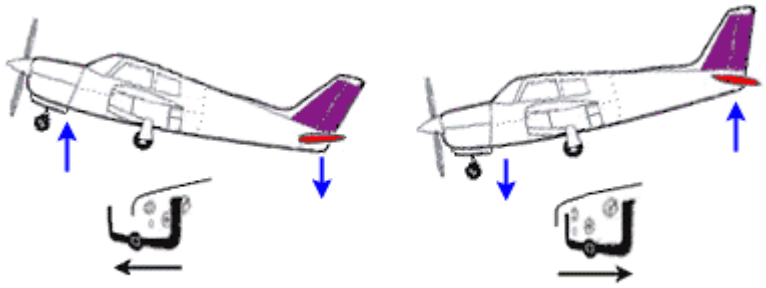


Fig.1.5.5 - Funcionamiento del timón de profundidad.

Timón de dirección. Es la superficie móvil montada en la parte posterior del empenaje vertical de la cola del avión. Su movimiento provoca el movimiento de guiñada del avión sobre su eje vertical, sin embargo ello no hace virar el aparato, sino que se suele utilizar para equilibrar las fuerzas en los virajes o para centrar el avión en la trayectoria deseada. Suele tener una deflexión máxima de 30º a cada lado.
Esta superficie se maneja mediante unos pedales situados en el suelo de la cabina.

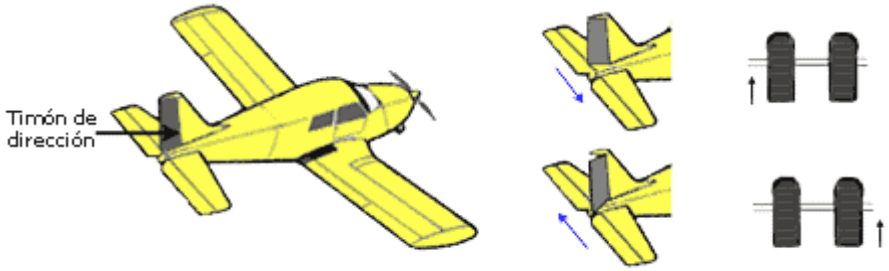


Fig.1.5.6 - Timón de dirección y pedales de control.

Funcionamiento: Al pisar el pedal derecho, el timón de dirección gira hacia la derecha, provocando una reacción aerodinámica en la cola que hace que esta gire a la izquierda, y por tanto el morro del avión gire (guiñada) hacia la derecha. Al pisar el pedal izquierdo, sucede lo contrario: timón a la izquierda, cola a la derecha y morro a la izquierda.

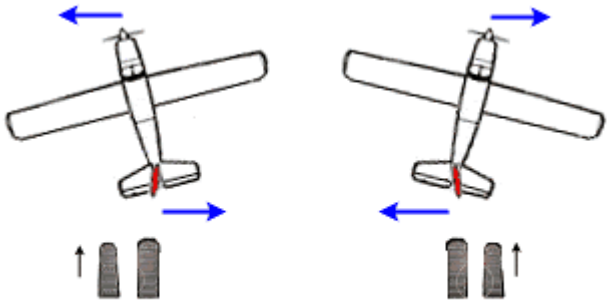


Fig.1.5.7 - Funcionamiento del timón de dirección.

El manejo de los mandos de control, según se ha visto es bastante intuitivo:

- Alabeo a la derecha -> volante a la derecha.
- Alabeo a la izquierda -> volante a la izquierda.
- Morro abajo (menor ángulo de ataque) -> empujar el volante.
- Morro arriba (mayor angulo de ataque) -> tirar del volante.
- Guiñada a la derecha -> pedal derecho.
- Guiñada a la izquierda -> pedal izquierdo.

Al basarse los mandos de control en principios aerodinámicos, es obvio que su efectividad será menor a bajas velocidades que a altas velocidades. Es conveniente tener esto en cuenta en maniobras efectuadas con baja velocidad.
El que las superficies de control estén lo más alejadas posible del Centro de Gravedad del avión no es casualidad, sino que debido a esta disposición su funcionamiento es más efectivo con menor movimiento de la superficie y menos esfuerzo.
Normalmente, en cada movimiento del avión se emplea más de uno de estos controles para que este movimiento sea coordinado.

1.5.3 Compensadores.

El piloto consigue la actitud de vuelo deseada mediante los mandos que actúan sobre las superficies de control, lo cual requiere un esfuerzo físico por su parte; imaginemos un vuelo de un par de horas sujetando los mandos y presionando los pedales para mantener el avión en la posición deseada.
Para evitar este esfuerzo físico continuado, que podría provocar fatiga y falta de atención del piloto, con el consiguiente riesgo, el avión dispone de compensadores. Estos son unos mecanismos, que permiten que las superficies de control se mantengan en una posición fijada por el piloto, liberándole de una atención continuada a esta tarea.
Aunque no todos los aviones disponen de todos ellos, los compensadores se denominan según la función o superficie a la que se aplican: de dirección, de alabeo, o de profundidad.

1.5.4 Superficies secundarias.

Es posible disminuir la velocidad mínima que sostiene a un avión en vuelo mediante el control de la capa límite, modificando la curvatura del perfil, o aumentando la superficie alar. Las superficies que realizan una o más de estas funciones se denominan superficies hipersustentadoras.

Las superficies primarias nos permiten mantener el control de la trayectoria del avión, las secundarias se utilizan en general para modificar la sustentación del avión y hacer más fáciles muchas maniobras. Las superficies secundarias son: flaps, slats y spoilers o aerofrenos.

Flaps. Los flaps son dispositivos hipersustentadores, cuya función es la de aumentar la sustentación del avión cuando este vuela a velocidades inferiores a aquellas para las cuales se ha diseñado el ala. Situados en la parte interior trasera de las alas, se deflectan hacia abajo de forma simétrica (ambos a la vez), en uno o más ángulos, con lo cual cambian la curvatura del perfil del ala (más pronunciada en el extrados y menos pronunciada en el intrados), la superficie alar (en algunos tipos de flap) y el ángulo de incidencia, todo lo cual aumenta la sustentación (y también la resistencia).

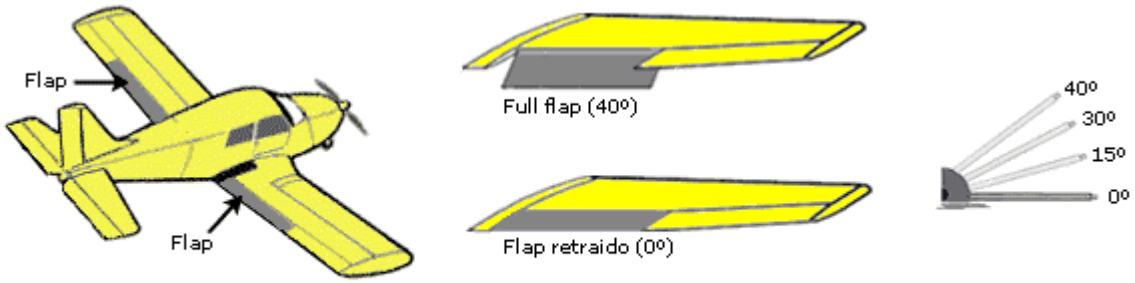


Fig.1.5.8 - Flaps y ángulos de extensión.

Se accionan desde la cabina, bien por una palanca, por un sistema eléctrico, o cualquier otro sistema, con varios grados de calaje (10º, 15º, etc..) correspondientes a distintas posiciones de la palanca o interruptor eléctrico, y no se bajan o suben en todo su calaje de una vez, sino gradualmente. En general, deflexiones de flaps de hasta unos 15º aumentan la sustentación con poca resistencia adicional, pero deflexiones mayores incrementan la resistencia en mayor proporción que la sustentación.
En la figura se representan unas posiciones y grados de calaje de flaps como ejemplo, pues el número de posiciones de flaps así como los grados que corresponden a cada una de ellas varía de un avión a otro.

Hay varios tipos de flaps: sencillo, de intrados, flap zap, flap fowler, flap ranurado, flap Krueger, etc...

- Sencillo. Es el más utilizado en aviación ligera. Es una porción de la parte posterior del ala.
- De intrados. Situado en la parte inferior del ala (intrados) su efecto es menor dado que solo afecta a la curvatura del intrados.
- Zap. Similar al de intrados, al deflectarse se desplaza hacia el extremo del ala, aumentando la superficie del ala además de la curvatura.
- Fowler. Idéntico al flap zap, se desplaza totalmente hasta el extremo del ala, aumentando enormemente la curvatura y la superficie alar.
- Ranurado. Se distingue de los anteriores, en que al ser deflectado deja una o más ranuras que comunican el intrados y el extrados, produciendo una gran curvatura a la vez que crea una corriente de aire que elimina la resistencia de otros tipos de flaps.
- Krueger. Como los anteriores, pero situado en el borde de ataque en vez del borde de salida.



Fig.1.5.9 - Distintos tipos de flaps.

Los flaps únicamente deben emplearse en las maniobras de despegue, aproximación y aterrizaje, o en cualquier otra circunstancia en la que sea necesario volar a velocidades más bajas que con el avión "limpio".

Los efectos que producen los flaps son:

Aumento de la sustentación.
Aumento de la resistencia.
Posibilidad de volar a velocidades más bajas sin entrar en pérdida.
Se necesita menor longitud de pista en despegues y aterrizajes.
La senda de aproximación se hace más pronunciada.
Crean una tendencia a picar.
En el momento de su deflexión el avión tiende a ascender y perder velocidad.

Slats. Son superficies hipersustentadoras que actúan de modo similar a los flaps. Situadas en la parte anterior del ala, al deflectarse canalizan hacia el extrados una corriente de aire de alta velocidad que aumenta la sustentación permitiendo alcanzar mayores ángulos de ataque sin entrar en pérdida.
Se emplean generalmente en grandes aviones para aumentar la sustentación en operaciones a baja velocidad (aterrizajes y despegues), aunque también hay modelos de aeroplanos ligeros que disponen de ellos.

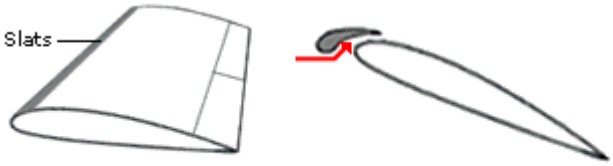


Fig.1.5.10 - Slats.

En muchos casos su despliegue y repliegue se realiza de forma automática; mientras la presión ejercida sobre ellos es suficiente los slats permanecen retraídos, pero cuando esta presión disminuye hasta un determinado nivel (cerca de la velocidad de pérdida) los slats de despliegan de forma automática. Debido al súbito incremento o disminución (según se extiendan o replieguen) de la sustentación en velocidades cercanas a la pérdida, debemos extremar la atención cuando se vuela a velocidades bajas en aviones con este tipo de dispositivo.

Spoilers o aerofrenos. Al contrario que los anteriores, el objetivo de esta superficie es disminuir la sustentación del avión. Se emplean sobre todo en reactores que desarrollan altas velocidades y sirven para frenar el avión en vuelo, perder velocidad y facilitar el aterrizaje, ayudar a frenar en tierra, y en algunos aviones como complemento de los alerones para el control lateral y los virajes en vuelo.

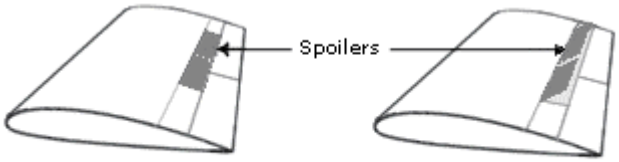


Fig.1.5.11 - Spoilers o aerofrenos.

Las superficies secundarias (flaps, slats, spoilers) siempre funcionan en pareja y de forma simétrica, es decir el accionamiento del mando correspondiente provoca el mismo movimiento (abajo o arriba) de las superficies en las dos alas (excepto en los movimientos de los spoilers complementando a los alerones).

Al afectar a la sustentación, a la forma del perfil, y a la superficie alar, el que funcione una superficie y no su simétrica puede suponer un grave inconveniente. Asimismo, tienen un límite de velocidad, pasada la cual no deben accionarse so pena de provocar daños estructurales.

Ha habido accidentes de aviones comerciales debido al despliegue inadvertido de alguna de estas superficies en vuelo, lo cual ha llevado a mejorar los diseños, incorporando elementos que eviten su accionamiento a velocidades inadecuadas.

En los aviones comerciales, todos estas superficies (primarias y secundarias) se mueven por medios eléctricos e hidráulicos. La razón es obvia; su envergadura hace que las superficies de control sean mayores; están más alejadas de los mandos que las controlan, y además soportan una presión mucho mayor que en un avión ligero. Todo esto reunido hace que se necesite una fuerza extraordinaria para mover dichas superficies, fuerza que realizan los medios mencionados.

Sumario:

- Los tres ejes de movimiento del avión son: longitudinal, lateral o transversal y vertical.
- Se llama alabeo al movimiento sobre el eje longitudinal, más propiamente llamado eje de alabeo.
- Cabeceo se denomina al movimiento sobre el eje transversal, también llamado eje de cabeceo.
- La guiñada es el movimiento sobre el eje vertical o eje de guiñada.
- Los alerones producen el movimiento de alabeo debido a la diferencia de sustentación producida por su movimiento asimétrico. Están situados en la parte posterior del extremo del ala, y se accionan girando a un lado u otro el volante o palanca de mando.
- El timón de profundidad, situado en el empenaje horizontal de cola, provoca el movimiento de cabeceo cuando el piloto tira o empuja el volante de control.
- El movimiento de cabeceo del avión provoca la modificación del ángulo de ataque. El mando de control del timón de profundidad es el mando de control del ángulo de ataque.
- La guiñada es producida por el movimiento del timón de dirección, situado en el empenaje vertical de cola, al accionarse los pedales de control.
- Los compensadores facilitan el mantenimiento del avión en una posición y trayectoria determinadas.
- Las superficies secundarias afectan generalmente a la sustentación del avión, por lo cual también se denominan superficies hipersustentadoras (flaps y slats).
- En estas superficies secundarias se incluyen los flaps, slats, spoilers o aerofrenos, etc.
- Las superficies secundarias se emplean únicamente en las maniobras de despegue y aterrizaje, o cuando por otra razón es necesario mantener una baja velocidad.
- Las superficies secundarias funcionan por pares y de forma simétrica, y tienen un límite de velocidad a partir del cual no deben desplegarse so pena de provocar su rotura.

1.6 ESTABILIDAD.

La palabra equilibrio (equilibrium) es muy antigua, y tiene la misma raíz que el nombre de la constelación Libra (representada en el zodiaco por una balanza), que debe su nombre a la circunstancia de que en los equinoccios la duración del día y de la noche es la misma, y que en tiempos de Hiparco el equinoccio de otoño se presentaba cuando el sol se proyectaba en esa constelación (hoy se proyecta en Virgo).

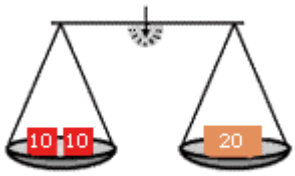


Fig.1.6.1 - Balance

El equilibrio define el estado de un cuerpo o sistema cuando la resultante de las fuerzas que actúan sobre el es nula.

Según la 1ª Ley del Movimiento de Newton, un cuerpo en reposo tiende a estar en reposo, y un cuerpo en movimiento tiende a permanecer en movimiento en línea recta salvo que se le aplique una fuerza externa.
Un cuerpo que no esté acelerando ni decelerando se dice que está en equilibrio: un avión aparcado está en equilibrio; en vuelo recto y nivelado a velocidad constante está en equilibrio; en ascenso o descenso recto a velocidad constante también está en equilibrio. Ahora bien, en un giro a velocidad y altura constante no está en equilibrio puesto que el avión está acelerando hacia el centro del giro.

1.6.1 Estabilidad estática.

Por estabilidad se entiende la respuesta de un sistema cuando se le mueve de una posición de equilibrio.
En nuestro caso, la estabilidad que nos interesa es la capacidad del avión para recobrar una posición de equilibrio después de sufrir una perturbación que la haya modificado (turbulencia, ráfaga de viento, etc…).
La estabilidad se clasifica en tres tipos: positiva, neutra y negativa. La figura 1.6.2 representa esta clasificación por medio de tres ruedas de bicicleta en estado de equilibrio.

Estabilidad **positiva** significa que si un sistema es desplazado de su posición de equilibrio, genera fuerzas tendentes a volver a la posición inicial. Tomemos la rueda de la izquierda en la figura 1.6.2 la cual tiene un contrapeso abajo. Si aplicamos una fuerza que la haga girar en uno u otro sentido esta rueda tratará de volver a su posición inicial.

Estabilidad **neutra** se da cuando un sistema desplazado de su posición de equilibrio no genera ninguna fuerza y permanece equilibrado en esta nueva posición. Si giramos hacia uno u otro lado la rueda del centro de la figura, esta rueda se quedará en equilibrio en la nueva posición en que la dejemos.

Estabilidad **negativa** es cuando un sistema desplazado de su posición de equilibrio genera fuerzas que tienden a desplazarlo aún más. Si movemos algo la rueda de la derecha de la figura, que tiene un contrapeso arriba, esta se irá desplazando cada vez más de la posición de equilibrio inicial.

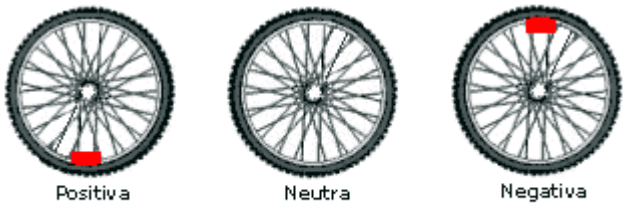


Fig.1.6.2 - Tipos de estabilidad.

Estos ejemplos nos muestran además, que la cantidad de fuerza a aplicar para sacar a un objeto de su posición de equilibrio, mantener el equilibrio en otra posición diferente, o recuperar la posición de equilibrio inicial, es muy diferente según el tipo de estabilidad. Volviendo al ejemplo de las ruedas de bicicleta, para sacarlas de su posición de equilibrio habrá que ejercer cierta fuerza en la rueda de la izquierda, menos fuerza en la rueda del medio, y menos todavía en la rueda de la derecha. Para retornarlas a su posición anterior, habrá que ejercer muy poca fuerza en la rueda de la izquierda (pues tratará de volver ella sola), algo más en la rueda del medio, y bastante más en la de la derecha.

De acuerdo con lo explicado, un avión será **ESTABLE** si separado de su posición de equilibrio tiende a recuperarla; **NEUTRO** si separado de su posición de equilibrio permanece en esa nueva posición sin alejarse más ni volver a la posición inicial, e **INESTABLE** si separado de su posición de equilibrio tiende a alejarse de ella cada vez más. Parece obvio que un aeroplano debería tener estabilidad positiva, quizá neutra, pero en ningún caso negativa.

En un sistema multidimensional debemos considerar la estabilidad para cada uno de sus ejes por separado.

Por ejemplo consideremos un huevo sobre una mesa: un huevo ideal tiene estabilidad neutra respecto a su eje de simetría, es decir que es libre de girar sobre dicho eje. Sin embargo tiene estabilidad positiva respecto de los otros ejes, puesto que si lo tumbamos hacia cualquier lado tenderá a recuperar su posición original.

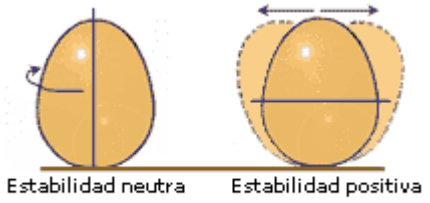


Fig.1.6.3 - Estabilidad según los ejes.

En un avión, que también es un sistema multidimensional, la estabilidad se refiere a cada uno de los tres ejes de movimiento del mismo: longitudinal, lateral y vertical (1.5.1).

1.6.2 Estabilidad dinámica.

Sucede que las fuerzas tendentes a recuperar la posición de equilibrio pueden ser tan grandes que fuercen al sistema a ir más allá de la posición inicial. En el ejemplo anterior, al soltar el huevo que habíamos tumbado en la mesa, este irá más allá de su posición de equilibrio inicial oscilando a uno y otro lado, cada vez con menor intensidad, hasta recuperar el equilibrio plenamente. Pues bien, estabilidad dinámica es la propiedad que amortigua estas oscilaciones haciéndolas cada vez menores en intensidad.

Un sistema posee estabilidad dinámica si el movimiento del sistema produce una fuerza que se opone a ese movimiento. La rueda central de la figura 1.6.2 apenas tiene estabilidad dinámica, pues si la hacemos girar estará girando bastante tiempo debido a que la única fuerza que se opone a este movimiento es la fricción del aire.

También la estabilidad dinámica puede ser positiva, neutra, o negativa; positiva cuando las oscilaciones se amortiguan cada vez más hasta pararlas; neutra cuando no se amortiguan; y negativa cuando se van haciendo cada vez mayores.

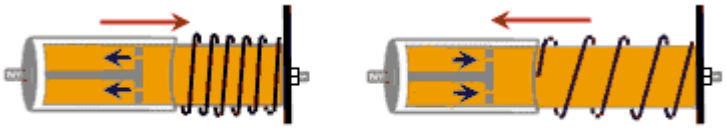


Fig.1.6.4 - Amortiguador hidráulico.

La figura 1.6.4 puede servirnos de modelo para diferenciar ambos tipos de estabilidad. El muelle es un ejemplo de estabilidad *estática* positiva, pues cuando se le estire o comprima, tratará de volver a su posición de equilibrio, eso si oscilando a uno y otro lado hasta encontrarla.

El amortiguador, es un ejemplo de estabilidad *dinámica* positiva. Al comprimirse, el aceite que contiene es obligado a pasar hacia arriba a través de unos pequeños agujeros, suavizando este movimiento. Pero cuando el muelle tienda a recuperar la posición inicial, el aceite en la parte de arriba será forzado a pasar hacia abajo a través de los mismos agujeros, suavizando de nuevo el movimiento y las oscilaciones. En cualquiera de los dos casos, la dificultad del aceite para pasar de uno a otro lado debido a su viscosidad es la fuerza que se opone al movimiento del amortiguador.

La estabilidad estática se refiere a las fuerzas que se desarrollan dependiendo de la posición del sistema, mientras que la estabilidad dinámica se refiere a las que se desarrollan en función de la velocidad. En el caso del muelle este reacciona cuando se le saca de su posición, mientras el amortiguador crea una fuerza que es proporcional al movimiento del aceite.

Cuando un sistema tiene estabilidad estática positiva pero no suficiente estabilidad dinámica (amortiguación) surgen las oscilaciones.

Una mala interpretación de la estabilidad, hace que al hablar de estabilidad refiriéndose a un avión se piense en este volando recto y nivelado. Realmente la estabilidad se refiere a cualquier posición de equilibrio: aparcado, en vuelo recto y nivelado a velocidad constante, en descenso o ascenso a velocidad constante, etc...

1.6.3 Amortiguamiento vertical.

El propósito de este apartado es examinar como responde el avión a los movimientos exclusivamente verticales, y explicar como (salvo en situación cercana a la pérdida) resiste eficazmente estos movimientos.

Normalmente un aeroplano está en equilibrio, todas sus fuerzas están en balance, pero para conocer como el avión mantiene este equilibrio vamos a centrarnos en el escenario expuesto en la figura 1.6.5.

Inicialmente el avión está volando recto y nivelado, las fuerzas verticales están en equilibrio. Pero en un momento dado hay un cambio súbito en este equilibrio, por ejemplo se corta el viento que teníamos de frente y la pérdida de velocidad provoca que la sustentación sea menor que el peso. Esto debería provocar que el avión entrase en una trayectoria descendente, y puesto que estas fuerzas seguirían desequilibradas, cada vez más rápidamente. Sin embargo no es esto lo que ocurre, pues tan pronto como las alas inciden hacia abajo con una velocidad apreciable *el ángulo de ataque es diferente*. Sabemos que el ángulo de ataque es el formado por la cuerda del ala y el viento relativo; no hemos cambiado nuestra actitud y la cuerda del ala sigue la misma línea, pero el viento relativo ha cambiado de dirección, viene de delante y *abajo*. Esto supone que tenemos mayor ángulo de ataque luego mayor sustentación, y este extra equilibrará de nuevo las fuerzas verticales. Pero un mayor ángulo de ataque también implica una mayor resistencia, la cual equilibra la tendencia a acelerar. El resultado sería una trayectoria descendente *no acelerada*.

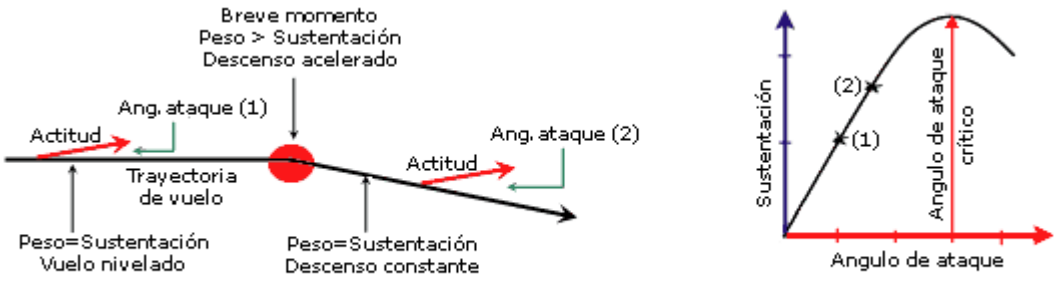


Fig.1.6.5 - Desarrollo del amortiguamiento vertical.

Este amortiguamiento vertical responde a la reacción inicial del avión, pues hay una segunda reacción (1.6.5) que provoca que el avión trate de volver a la trayectoria inicial.

El fuerte amortiguamiento vertical es la razón por la cual se asume siempre que la sustentación es igual al peso. Si las fuerzas estuvieran desequilibradas el avión debería acelerar hacia arriba o abajo hasta que un nuevo ángulo de ataque las equilibrara, pero en la práctica el balance se realiza tan rápidamente que la diferencia entre el peso y la sustentación no es apreciable.

No obstante, esta capacidad de amortiguamiento no debería ser tomada por el piloto como una garantía, pues tal como muestra la fig.1.6.6 pudiera suceder que el nuevo ángulo de ataque exceda el ángulo de ataque crítico y nos haga entrar en pérdida. En este caso no solo no se incrementa la sustentación sino que disminuye con la pérdida, por lo que las fuerzas se desequilibran más todavía y el avión entra en un descenso acelerado.

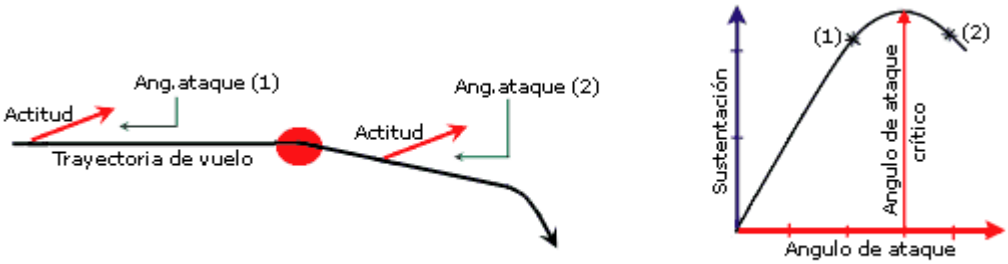


Fig.1.6.6 - Pérdida de amortiguamiento vertical.

1.6.4 Amortiguamiento del alabeo.

Antes hemos visto como el avión responde al desequilibrio de las fuerzas puramente verticales. Ahora consideraremos como responde al desequilibrio de fuerzas que causa el giro sobre el eje de alabeo, para lo cual nos serviremos de la situación planteada en la fig.1.6.7. Como en el caso anterior, inicialmente estamos en vuelo recto y nivelado y con las fuerzas equilibradas. Pero supongamos que toda la carga que llevamos se mueve repentinamente al mismo lado del avión, provocando un súbito desequilibrio del peso a soportar por cada ala. Aunque el morro del avión se mueve hacia delante en la misma trayectoria, el ala con menor peso se mueve adelante y *arriba* disminuyendo su ángulo de ataque, mientras que el ala con mayor peso se mueve adelante y *abajo* aumentando su ángulo de ataque. El ala con ángulo de ataque disminuido minora su sustentación, en tanto el ala con el ángulo de ataque incrementado aumenta su sustentación; de esta manera cada ala equilibra el diferente peso que soporta con diferente cantidad de sustentación.

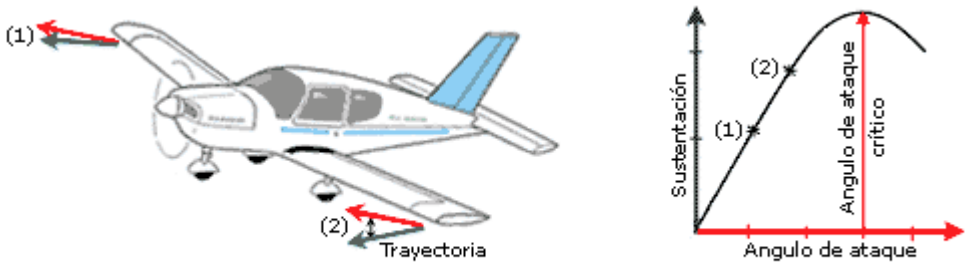


Fig.1.6.7 - Desarrollo del amortiguamiento al alabeo.

Como en el caso del amortiguamiento vertical, puede suceder que el ala que aumenta su ángulo de ataque exceda el ángulo de ataque crítico y entre en pérdida, con lo cual no solo no aumenta su sustentación sino que la disminuye cada vez más. Las fuerzas aerodinámicas no se oponen al movimiento sino que lo amplifican.
Esta situación es mucho más peligrosa que la pintada anteriormente, y es precisamente la forma en que se entra en una barrena, un ala que sobrepasa el ángulo de ataque crítico y otra que no.

Este amortiguamiento es crucial para el vuelo, por lo que los diseñadores lo enfatizan en sus modelos. Para ello diseñan las alas con un ángulo de incidencia decreciente hacia la punta (torsión), o dando distinta curvatura a cada perfil del ala, o ambas cosas. De esta forma, todas las secciones del ala contribuyen por igual a la sustentación y al amortiguamiento vertical, pero la sección de ala más cercana al fuselaje contribuye menos al amortiguamiento al alabeo que la sección del extremo del ala. Así, cuando el ala entera alcance su máximo coeficiente de sustentación, la raíz estará en pérdida pero los extremos no, aportando una cantidad considerable de amortiguación al alabeo.

1.6.5 Estabilidad longitudinal.

La estabilidad longitudinal, se refiere al movimiento del avión sobre su eje transversal (morro arriba/abajo) y es la más importante porque determina en gran medida las características de cabeceo del mismo, particularmente las relativas a la pérdida. Lo confuso de esta definición se debe a la denominación de los ejes del avión, tal como se comentó en el apartado 1.5.1. Es menos farragoso hablar de estabilidad sobre el eje de cabeceo.

De todas las características que afectan al balance y controlabilidad del avión, la de mayor importancia es la estabilidad longitudinal. Es bastante inseguro y poco confortable que un avión muestre tendencia a encabritarse o picar, cuando nuestra atención se encuentra ocupada en otra cosa.

Aunque es difícil obtener un grado exacto de estabilidad longitudinal para todas las condiciones de vuelo, es esencial conseguir un compromiso aceptable para que el vuelo sea seguro y confortable. La estabilidad longitudinal del avión esta resuelta primariamente por el estabilizador horizontal de cola (fig.1.6.8). Puesto a propósito en la parte más alejada de las alas, este estabilizador aerodinámico genera las fuerzas necesarias para contrarrestar el efecto de fuerzas externas. Al ser la parte más alejada del centro de gravedad cualquier fuerza, por pequeña que sea, ejercida sobre este dispositivo tendrá un gran efecto de corrección (mayor par de fuerza).

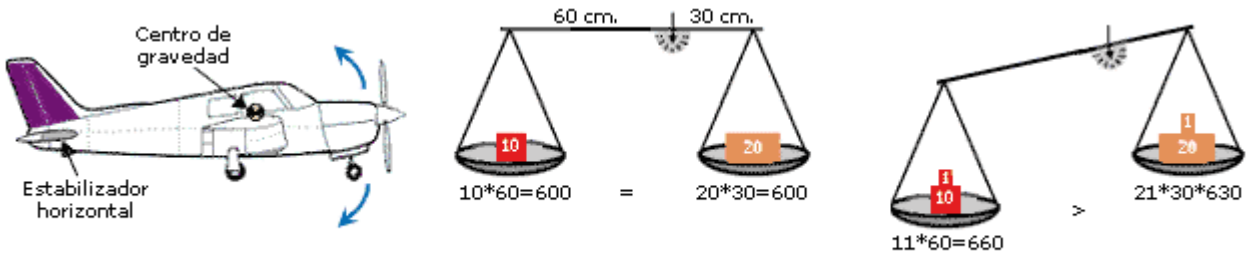


Fig.1.6.8 - Estabilizador horizontal y efecto del par de fuerza.

En la fig.1.6.8 tenemos una ¿balanza? con los brazos desiguales; en la parte izquierda está en equilibrio (600=600) mientras que a la derecha observamos el distinto par de fuerza ejercido si le añadimos 1 kg. a cada platillo (660>630).

Si una racha de viento nos levanta el morro del avión, es porque viene por debajo de nuestra trayectoria de vuelo y afectará tanto a las alas como a la cola del avión. Este cambio del viento relativo supone un incremento del ángulo de ataque (más sustentación), más acusado en la cola debido a su mayor distancia al centro de gravedad (como en la ¿balanza? de brazos desiguales), la cual se levantará volviendo a poner el morro con la actitud anterior y disminuyendo el ángulo de ataque de las alas.
Si la racha viene por arriba habrá menos ángulo de ataque, y el déficit de sustentación más acusado en la cola hará que esta baje volviendo a poner el avión en equilibrio.

Decalaje. Para mejorar las características de pérdida (Ver 1.8.3), normalmente los aviones se diseñan de manera que el estabilizador horizontal de cola tiene menor ángulo de incidencia que las alas. Esta diferencia de ángulos de incidencia entre superficies aerodinámicas recibe el nombre de decalaje. Veamos con un ejemplo el desarrollo de la estabilidad longitudinal explicado, incluyendo esta característica de diseño.

En la fig.1.6.9 se muestra un avión con decalaje=2º. Supongamos pues, que estamos volando con un ángulo de ataque de 3º en las alas y 1º en el estabilizador (imagen izquierda) y nos alcanza una ráfaga que viene 1º por debajo de nuestra trayectoria (imagen derecha). Esto supone, que aunque nuestra actitud de vuelo no ha cambiado, las alas tienen ahora 4º de ángulo de ataque y el estabilizador horizontal 2º, que se traduce en un incremento de la sustentación en las alas del 50% y del 100% en el estabilizador horizontal, caso similar al efecto de agregar 1 kg. en cada platillo de la balanza del ejemplo anterior.



Fig.1.6.9 - Desarrollo de la estabilidad longitudinal.

El mayor incremento de sustentación en la cola junto con el mayor par de fuerza, hará que esta se eleve y baje el morro del avión, recobrándose una posición de equilibrio. Los números de la figura representan superficies (3 y 6), distancias al centro de gravedad (12 y 2) y ángulos de ataque (1º, 2º, 3º y 4º).

A la vista de este funcionamiento, es fácil comprender que la situación del centro de gravedad del avión con respecto al centro aerodinámico es lo que ejerce mayor influencia sobre su estabilidad longitudinal, aunque también influyen los cambios de velocidad, potencia, actitud, etc...(fig.1.6.10).

Si el C.G. y el C.A. están en el mismo plano, el avión tiene estabilidad neutra pues ambas fuerzas tienen el mismo punto de aplicación; si el C.G. esta adelantado con respecto al C.A. el avión es estable y tenderá a picar (morro abajo), y por último si el C.G. esta retrasado con respecto del C.A. el avión es inestable y tiende a encabritarse (morro arriba).



Fig.1.6.10 - Estabilidad longitudinal en función del C.A. y del C.G.

La mayoría de los aviones tienen el Centro de Gravedad adelantado con respecto al Centro Aerodinámico.
El Centro de Gravedad de cada avión viene tabulado por el fabricante, lo mismo que sus límites de desplazamiento, la carga máxima permitida, etc... y es imperativo, para un óptimo control y estabilidad del aeroplano, que el Centro de Gravedad se mantenga dentro de los límites permitidos por su diseñador, pues lo contrario puede provocarnos serios problemas en el control y estabilidad del avión. En el capítulo dedicado a la carga y centrado del avión se explica con mayor detalle los efectos del centro de gravedad desplazado respecto del centro aerodinámico.

Se malinterpreta la estabilidad longitudinal al pensar en un avión estable con respecto al horizonte, lo cual es además una cualidad poco deseable; un avión debe ser longitudinalmente estable a distintos ángulos de ataque.

Merece la pena mencionar, aunque sea brevemente, lo siguiente: tanto el flujo de aire que desplaza la hélice, como el que fluye hacia abajo por el borde de salida del ala inciden sobre la cola del avión afectando a la estabilidad longitudinal. Al extender flaps, el flujo del borde de salida se hace más pronunciado, e incide sobre el estabilizador horizontal de forma distinta según la situación de los planos del avión. Si el avión es de plano bajo, este flujo incidirá sobre la parte inferior del estabilizador haciendo que la cola suba y el morro baje; si el avión es de plano alto incidirá sobre la parte superior del estabilizador, bajando la cola y haciendo subir el morro.

1.6.6 Estabilidad lateral.

La estabilidad lateral se refiere a la mostrada por el avión sobre su eje longitudinal. Un avión que tiende a volver a su posición de alas niveladas después de que una ráfaga de viento levante o baje una de ellas se dice que es lateralmente estable. Nuevamente, sería menos confuso de entender si se habla de estabilidad sobre el eje de alabeo.

La estabilidad lateral del avión viene proporcionada básicamente por el diseño en ángulo diedro de las alas, por el cual los extremos de las alas están en un plano más alto que la parte anclada al fuselaje. El efecto estabilizador de este diseño, ocurre cuando un ala es bajada súbitamente por una ráfaga de aire y debido a ello el avión se desliza sobre esa ala. Este deslizamiento produce un aumento del ángulo de ataque del ala bajada con respecto del ala que está más alta; este incremento produce sustentación adicional en el ala bajada haciendo que esta suba y recupere el equilibrio.



Fig.1.6.11 - Desarrollo de la estabilidad lateral.

1.6.7 Estabilidad direccional.

La estabilidad direccional concierne al movimiento del avión sobre el eje vertical. Si el eje longitudinal del aeroplano tiende a seguir la trayectoria de vuelo, bien en vuelo recto o en giros, se dice que es direccionalmente estable. más claro de comprender si hablamos de estabilidad sobre el eje de guiñada.

El elemento que proporciona estabilidad direccional al avión es el estabilizador vertical de cola, que tiene el mismo funcionamiento aerodinámico que los demás estabilizadores. Si una racha de viento alcanza al avión por un costado, el mayor par de fuerza ejercido por el estabilizador vertical hará que la cola trate de orientarse hacia la ráfaga, moviendo el morro al lado contrario y recuperando de esta forma la trayectoria.

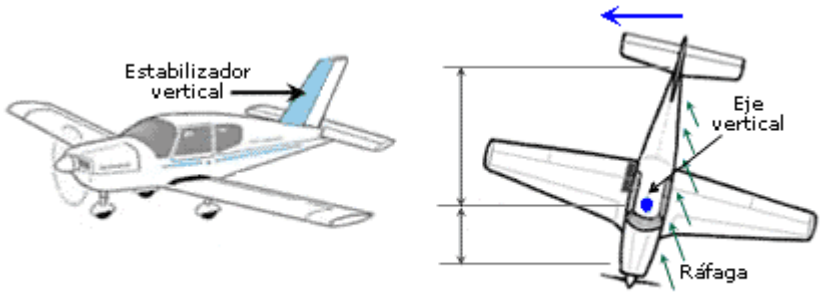


Fig.1.6.12 - Estabilizador vertical y estabilidad direccional.

Notas:

Aunque se ha invertido un gran cantidad de tiempo, dinero y esfuerzo para diseñar aviones que mantengan un estado de equilibrio, el piloto debe ser capaz de interrumpir ese equilibrio para maniobrar el avión. Supongamos que estamos en vuelo recto y nivelado; si deseamos hacer un giro debemos actuar sobre los mandos correspondientes, con lo cual rompemos una situación de equilibrio para ir a otra posición distinta; lo mismo si queremos subir, bajar o volver de nuevo a vuelo recto y nivelado.

De lo visto en este capítulo, se deduce que un aeroplano estable es fácil de volar; ahora bien esto no significa que el piloto deba depender enteramente de la estabilidad del avión para volver a la condición de vuelo original. Incluso en los aeroplanos más estables, se requiere el uso de los controles de vuelo para retornar a la actitud de vuelo deseada.

Un avión bien diseñado requiere menos esfuerzo para controlarlo. Un avión tendrá un tipo de estabilidad según la función para la cual se ha diseñado. Si es estable se comportará con nobleza aun a costa de presentar esfuerzo en los mandos, ya que tratará de volver a su posición de equilibrio; por el contrario, un avión inestable tendrá un comportamiento nervioso ya que cualquier movimiento sacará al avión con facilidad de su posición de equilibrio, característica esta que lo hace idóneo para el vuelo acrobático.

Sumario:

- Equilibrio es el estado de un cuerpo o sistema cuando la resultante de las fuerzas que actúan sobre él es nula.
- Estabilidad es la respuesta de un sistema cuando se le mueve de una posición de equilibrio.
- En un sistema multidimensional debemos considerar la estabilidad para cada uno de sus ejes por separado.
- Hay dos tipos de estabilidad: estabilidad estática, denominada habitualmente estabilidad sin más, y estabilidad dinámica o amortiguamiento.
- La estabilidad puede ser positiva, negativa o neutra.
- Cuando un sistema tiene estabilidad estática positiva pero no suficiente estabilidad dinámica (amortiguación) surgen las oscilaciones.
- La estabilidad en un avión se refiere a cada uno de los tres ejes del mismo: longitudinal, lateral y vertical.
- Un avión tiene una gran capacidad de amortiguamiento vertical.
- El amortiguamiento al alabeo es crucial para el vuelo, y su desarrollo se consigue dándole "torsión" a las alas. En este diseño el ángulo de incidencia va decreciendo de la raíz del ala hacia el extremo.
- Los estabilizadores funcionan bajo los mismos principios aerodinámicos que las alas.
- La estabilidad longitudinal del avión esta resuelta primariamente por el estabilizador horizontal de cola.
- Recibe el nombre de decalaje la diferencia de ángulos de incidencia entre superficies aerodinámicas.
- La situación del centro de gravedad del avión con respecto al centro aerodinámico tiene una gran influencia sobre la estabilidad longitudinal.
- Un avión debe ser estable longitudinalmente a distintos ángulos de ataque, no respecto al horizonte.
- El diseño en ángulo diedro de las alas es el que básicamente proporciona estabilidad lateral al avión.
- El elemento que proporciona estabilidad direccional al avión es el estabilizador vertical de cola.

1.7 ÁNGULO DE ATAQUE.

En este capítulo se detalla con más profundidad un concepto fundamental en aviación, el ángulo de ataque, cuya definición ya vimos en el capítulo 1.3. En dicho capítulo se definía el ángulo de ataque como el ángulo agudo formado por la cuerda del ala y la dirección del viento relativo, o sea, el ángulo con el cual el aire incide sobre las alas.

1.7.1 El ángulo de ataque.

El ángulo de ataque es quizá uno de los conceptos más usados e importantes en aviación, debido a que muchos de los números críticos relativos al rendimiento del avión están íntimamente relacionados con el ángulo de ataque.

- La pérdida ocurre con un determinado ángulo de ataque.
- El mejor ángulo de ascenso es un ángulo de ataque.
- La mejor velocidad de ascenso se da con un ángulo de ataque concreto.
- El mejor ratio de planeo ocurre con un ángulo de ataque determinado.
- Cuando se compensa en profundidad el avión, en realidad se está seleccionando un ángulo de ataque.
- La tasa de descenso más baja en planeo ocurre con un ángulo de ataque particular.

En un sentido real, el ángulo de ataque afecta a casi todo: cambiando el ángulo de ataque el piloto controla la sustentación, la velocidad, la resistencia... El ángulo de ataque controla directamente la distribución de presiones arriba y abajo del ala.

Aunque la densidad del aire, la superficie alar, los factores de velocidad, etc... hacen variar la sustentación y la resistencia de la misma manera en cualquier perfil aerodinámico, la variación de sustentación y resistencia con distintos ángulos de ataque es una característica propia de cada uno de estos perfiles. El gráfico de la fig.1.7.1 muestra un ejemplo de la variación de los coeficientes de sustentación y resistencia en función del ángulo de ataque, para un perfil concreto.

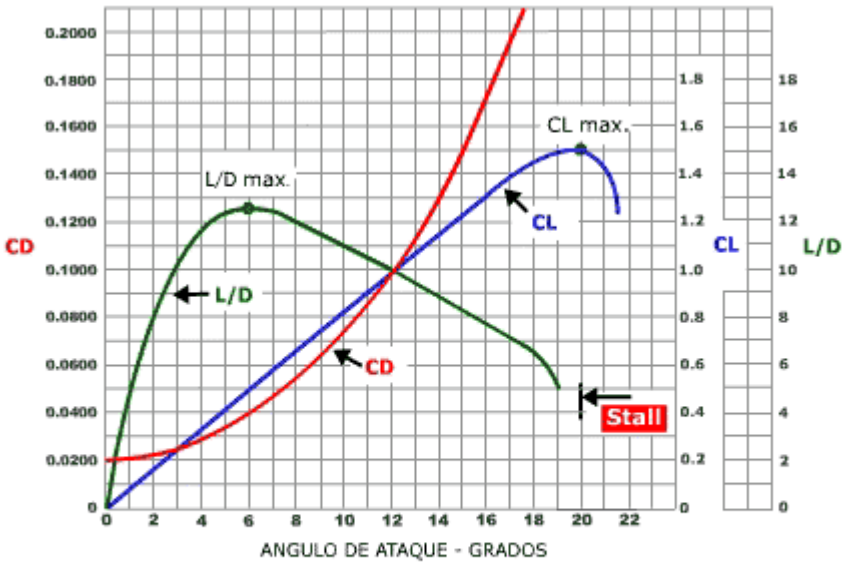


Fig.1.7.1 - Variación de sustentación y resistencia s/ángulo de ataque.

1.7.2 Percepción del ángulo de ataque.

Los hermanos Wright tenían un único instrumento en su primer aeroplano, un indicador del ángulo de ataque. Este consistía en un simple palo que sobresalía hacia adelante en el borde de ataque del ala, con una tira de tela en la punta; la tira se alineaba con el viento relativo, sirviendo el palo como referencia y también como sostén de la tira en una región de aire no alterada por el ala. El ángulo entre la tira y el palo indicaba el ángulo de ataque.



Fig.1.7.2 - Indicador de ángulo de ataque.

Sin embargo, hoy en día muchos aviones no tienen ningún instrumento que dé una indicación directa del ángulo de ataque. Aunque parezca extraño, muchos aviones de línea que tienen sensores de ángulo de ataque, no tienen dispositivos que den esa información a la tripulación, solo al piloto automático. Por eso, desde el primer contacto con el avión los instructores insisten en que el alumno perciba la actitud del avión (morro arriba, morro abajo, morro nivelado) por referencias visuales, como una forma de percibir de manera indirecta el ángulo de ataque.

A pesar de esta carencia, debemos ser capaces de mantener el ángulo de ataque que llevamos en cada momento mediante:

a. Nuestras percepciones: debemos acostumbrarnos a reconocer las posiciones de morro, fijarnos en la posición de las alas, tomar referencias con partes del aeroplano, etc. La idea de controlar la actitud del avión mientras se mira fuera es muy importante. Es común encontrar estudiantes que vuelan bien mirando al frente, pero que descontrolan la actitud del avión cuando miran a los lados; esto les hace complicado mirar si hay otros tráficos o encontrar los puntos de una ruta. Además, siempre existe la posibilidad de que uno o más instrumentos se averíen y tengamos que controlar el ángulo de ataque basándonos en nuestras sensaciones.
b. El indicador de velocidad, que nos da la mejor información sobre el ángulo de ataque.

Una regla que proporcionan algunos instructores para reconocer "grosso modo" el ángulo de ataque es: "*si el avión tiene una actitud de morro arriba y está ascendiendo el ángulo de ataque es bajo, pero con esa misma actitud si el avión está descendiendo el ángulo de ataque es alto*". Esta aseveración es cierta, pero !cuidado! porque es incompleta, por ejemplo podemos estar descendiendo con una actitud de morro abajo y sin embargo tener un ángulo de ataque alto.



Fig.1.7.3 - ¿reconocimiento? del ángulo de ataque por la actitud y el variómetro.

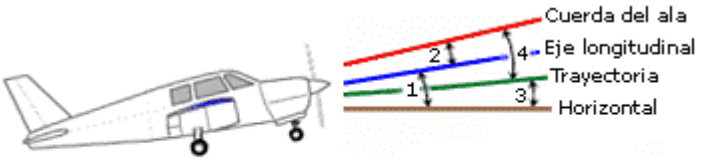
Debemos tener claro que aunque la actitud del avión (morro arriba, abajo o nivelado) y el ángulo de ataque están relacionados, no son lo mismo. La actitud se mide respecto al horizonte, el ángulo de ataque respecto a la dirección del viento relativo. En cualquier situación donde el viento relativo no es horizontal debemos ser precavidos.

1.7.3 Relación con otros ángulos.

A pesar de la dificultad de percibir el ángulo de ataque, hay otros ángulos relacionados con el mismo que nos ayudan a percibirlo. Estos son: ángulo de actitud, de incidencia, y de ascenso/descenso. La fórmula que relaciona estos ángulos es la siguiente:

Actitud^{o} + Incidencia^{o} = Ataque^{o} + Ascenso^{o}

Quizá el caso más sencillo sea el vuelo recto y nivelado a velocidad constante; la actitud es 0º, el ángulo de ascenso es 0º y el ángulo de ataque es igual al ángulo de incidencia.



Actitud^{o} (1) + Incidencia^{o} (2) = Ascenso^{o} (3) + Ataque^{o} (4)

Fig.1.7.4 - Relaciones entre ángulos.

Normalmente el ángulo de incidencia es constante, por lo que el ángulo de ataque depende solo de la actitud y la dirección de vuelo (ascenso/descenso). Si los instructores insisten durante las lecciones prácticas en que aprendamos a percibir y controlar la actitud del avión, se debe precisamente a que de esta manera percibimos y controlamos indirectamente el ángulo de ataque, tal como se ha explicado.
Sin embargo, en las maniobras con flaps (despegue y aterrizaje) se ha de tener en cuenta que desplegarlos tiene el efecto de incrementar la incidencia en varios grados. Al aumentar uno de los valores de la izquierda de la fórmula (incidencia), o minoramos el otro valor (actitud) para seguir manteniendo la igualdad, o la suma de la derecha (ataque + ascenso) aumentará en la misma cantidad. Resumiendo: la percepción del ángulo de ataque por la actitud habitual en vuelo cambia cuando se tienen los flaps extendidos, y este cambio de percepción es mayor cuanto mayor es el grado de deflexión de los flaps.

1.7.4 Cambiando el ángulo de ataque.

En 1.5.2 vimos como el volante de control provoca el movimiento de cabeceo del avión (morro arriba o abajo). Este movimiento de cabeceo hace variar el ángulo de ataque; o sea que el ángulo de ataque se controla mediante el volante de control. En el capítulo 1.1.10 veremos el efecto que tiene la variación del ángulo de ataque sobre la velocidad y la altura.

Para realizar un cambio en el ángulo de ataque, simplemente levante o baje el morro del aeroplano actuando sobre el volante de control. Una vez conseguida la actitud adecuada para el nuevo ángulo de ataque, libere un poco la presión y mueva el compensador hasta notar que no es necesario ejercer fuerza sobre el volante, lo que se llama "volar sin manos".

Si un aeroplano es desplazado del ángulo de ataque para el cual está compensado, por ejemplo por una ráfaga de aire, intentará volver a su posición de equilibrio, pero no lo conseguirá inmediatamente sino que oscilará hasta encontrarla. Estas oscilaciones son suaves y pueden corregirse fácilmente actuando sobre el volante de control. En aire no turbulento Vd. puede compensar el avión y dejarlo solo, pero si el aire es turbulento provocará bastantes oscilaciones y tendrá que intervenir sobre los mandos de forma más frecuente.

Aunque el compensador ahorra esfuerzo y facilita el trabajo, no es un procedimiento adecuado iniciar un cambio de actitud, velocidad o ángulo de ataque con el compensador, pues ello provocará un montón de oscilaciones. Haga los cambios mediante el volante de control y una vez conseguidos, actúe sobre el compensador para deshacerse de la presión sobre los mandos.

Conclusión: La forma mejor y más simple para que un avión vuele con un ángulo de ataque constante es compensarlo y dejarlo solo. Un aeroplano, por su propia estructura y diseño, está compensado para un ángulo de ataque definido. Los estudiantes primerizos, tienen la sensación equivocada de que ha de desarrollarse una gran habilidad y estar interviniendo en los mandos continuamente para mantener el aparato bajo control.

Otra sensación equivocada de los aspirantes a piloto, es que hay que mantener los controles firmemente sujetos, hasta el punto de que algunos bajan de las clases prácticas con los nudillos blancos. Producto de este "agarrotamiento" en los mandos, es que cada vez que se mira a algún lugar que no sea al frente, el avión realiza un movimiento incontrolado; si el piloto mira hacia atrás, tira a la vez de los mandos y el avión se encabrita; si mira a un lado y abajo, allá que va el avión, etc. Un piloto experimentado sujeta ligeramente los mandos y los mueve con suavidad y firmeza.

1.7.5 Angulo de ataque crítico.

Se denomina ángulo de ataque crítico a aquel que produce la mayor sustentación y a partir del cual un aumento del ángulo de ataque no se traduce en un incremento de la sustentación.

Sabemos que la sustentación se produce por la diferencia de presiones entre las partes superior e inferior del ala, más la reacción hacia arriba que produce la acción del flujo de aire deflectado hacia abajo en el borde de salida del ala. A medida que se incrementa el ángulo de ataque la diferencia de presiones es mayor debido a que presentamos a la corriente de aire una mayor curvatura; además, al ser mayor el ángulo del aire deflectado en el borde de salida, mayor es la reacción hacia arriba, por tanto tenemos más sustentación (y también más resistencia). Pero este proceso no es infinito. Cuando el ángulo de ataque excede el ángulo crítico comienza a disminuir la sustentación hasta producirse la entrada en pérdida.



Fig.1.7.5 - Angulo de ataque crítico.

El gráfico de la fig.1.7.4 muestra que el coeficiente de sustentación (**CL**) es una función sencilla del ángulo de ataque, y como este coeficiente va aumentando con el ángulo de ataque hasta un punto (ángulo de ataque crítico) a partir del cual comienza a disminuir. Cada perfil tiene su propio ángulo de ataque crítico.

1.7.6 Relación entre ángulo de ataque y velocidad.

En 1.3.2 vimos la fórmula de la sustentación (**L=CL*q*S**) donde **CL** es el coeficiente de sustentación, directamente proporcional al ángulo de ataque; **q** la presión aerodinámica (***1/2dv²*** donde ***d*** es la densidad y ***v*** la velocidad del viento relativo) y **S** la superficie alar. Como en vuelo normal la sustentación es siempre muy cercana al peso y puesto que la superficie alar es invariable (salvo que se extiendan flaps), la fórmula anterior podría escribirse:

Sustentación (L) = Coeficiente de sustentación (CL)* 1/2dv² (q)

La igualdad reflejada en esta fórmula pone de relieve que:

1. En la sustentación total producida **L** los principales ingredientes son la velocidad y el ángulo de ataque, relacionados de forma que,
2. Para mantener una misma cantidad de sustentación, si la velocidad **v** disminuye, el coeficiente de sustentación **CL** (que depende del ángulo de ataque) debe incrementarse y viceversa, tal como muestra el gráfico de la fig.1.7.6.



Fig.1.7.6 - Velocidad vs. Coef.sustentación.

Puesto que los gráficos de las figuras 1.7.5 y 1.7.6 tienen en común el coeficiente de sustentación, combinando ambos vemos la correspondencia existente entre velocidades y ángulos de ataque, tal como se muestra en la fig.1.7.7; a mayor coeficiente de sustentación mayor ángulo de ataque y menor velocidad; cuando este coeficiente ha alcanzado su máximo la velocidad está en el mínimo; este mínimo es la velocidad de pérdida (Vs).

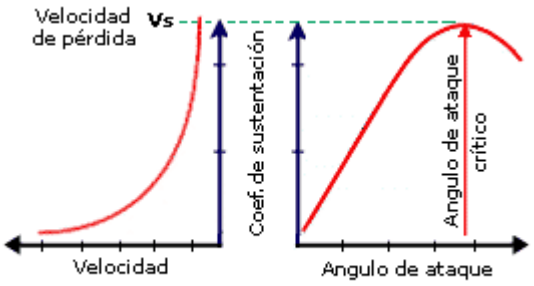


Fig.1.7.7 - Velocidad vs. Ángulo de ataque.

¡OJO!. Este gráfico solo trata de mostrar la relación entre velocidad y ángulo de ataque, y asume condiciones estándar en cuanto a sustentación necesaria y a los factores que afectan a la velocidad (densidad, etc...). Por ejemplo, en condiciones de mayor necesidad de sustentación, como por ejemplo en un viraje cerrado, la curva de velocidad se desplazaría hacia la izquierda (la velocidad de pérdida es mayor).

Una idea intuitiva que podemos extraer tanto de la fórmula anterior como de este último gráfico, es que altas velocidades implican bajos ángulos de ataque mientras que bajas velocidades implican ángulos de ataque altos. Teniendo en cuenta que el factor velocidad, **v** en la fórmula, interviene elevado al cuadrado, se comprende que volar con velocidades muy bajas (ver 5.10) implica un coeficiente de sustentación (**CL**) muy elevado, o sea ángulos de ataque muy pronunciados.

Si a un coeficiente de sustentación determinado le corresponde un ángulo de ataque y una velocidad concreta, podemos afirmar que para una misma cantidad de sustentación, a cada ángulo de ataque le corresponde una velocidad del indicador y viceversa, lo cual nos corrobora que el indicador de velocidad es realmente un buen indicador del ángulo de ataque. Con una excepción: hay un amplio rango de ángulos de ataque cercanos al ángulo critico que producen el mismo coeficiente de sustentación, circunstancia que se observa en las fig.1.7.5 y 1.7.7 donde vemos que la curva se hace casi plana en las cercanías del ángulo de ataque critico. Estos ángulos corresponden a velocidades muy cercanas a la velocidad de pérdida.

En casi todos los regímenes de vuelo, incluyendo especialmente la aproximación final, el indicador de velocidad nos da la mejor información sobre el ángulo de ataque. Pero durante la recogida en el aterrizaje, estamos en velocidades cercanas a la pérdida y este indicador no nos dice nada que necesitemos conocer.

1.7.7 Notas.

En el rango de ángulos de ataque correspondientes a vuelo normal (entre unos 3º y 10º) sucede que:

- El coeficiente de sustentación es proporcional al ángulo de ataque.
- El coeficiente de resistencia inducida es proporcional al cuadrado del ángulo de ataque.
- El coeficiente de resistencia parásita es esencialmente constante.

Con ángulos de ataque más altos, lo anterior deja de tener validez. El coeficiente de resistencia parásita aumenta muy rápidamente, y el de resistencia inducida se incrementa algo, no hay en estos casos razones de proporcionalidad.

Sumario:

- El ángulo de ataque es el ángulo agudo formado por la cuerda del ala y la dirección del viento relativo.
- La variación de la sustentación y la resistencia con el ángulo de ataque es propia de cada perfil aerodinámico. Lo mismo el ángulo de ataque crítico.
- Actitudº + Incidenciaº = Ataqueº + Ascenso.
- Angulo de ataque crítico es aquel que produce la mayor sustentación y a partir del cual un aumento del ángulo de ataque no se traduce en un incremento de la sustentación.
- El coeficiente de sustentación es un ratio que mide básicamente la efectividad del ala para convertir la presión aerodinámica en sustentación; es un número dimensional y no tiene unidad de medida. Se compone de un valor fijo según el tipo de perfil (coeficiente aerodinámico) más otro variable con el ángulo de ataque. Este coeficiente aumenta con el ángulo de ataque hasta llegar al CL máximo a partir del cual comienza a disminuir.
- Un ala típica puede tener un coeficiente de sustentación de alrededor de 1.5 sin extender flaps; es muy difícil conseguir un coeficiente mayor de 2.5 incluso con flaps extendidos.
- El coeficiente de sustentación (**CL**) es una función simple del ángulo de ataque.
- En la sustentación total producida los principales ingredientes son la velocidad y el ángulo de ataque.
- Para la misma sustentación, si la velocidad disminuye el coeficiente de sustentación debe incrementarse y viceversa.
- Para una misma cantidad de sustentación, a cada ángulo de ataque le corresponde una velocidad y viceversa.
- El indicador de velocidad es el dispositivo que mejor información nos da sobre el ángulo de ataque, excepto en velocidades cercanas a la pérdida.
- La aseveración "con una actitud de morro arriba si el avión está ascendiendo el ángulo de ataque es bajo y si esta descendiendo el ángulo de ataque es alto" es cierta, pero !ojo! incompleta.
- Por su estructura y diseño, si se compensa un avión para un ángulo de ataque específico, este debe mantenerlo sin necesidad de estar haciendo correcciones continuamente.
- Sujetar los mandos con suavidad y firmeza. El volante de control además de servirnos para efectuar modificaciones en el ángulo de ataque debe servirnos para "sentir" los cambios de ángulo de ataque.

1.8 LA PÉRDIDA.

En este capítulo veremos como se produce una situación que, no controlada y según en que circunstancias se produzca, puede entrañar un alto riesgo para la integridad física de los pasajeros y del aparato: la pérdida.

Qué es la pérdida. La pérdida (en inglés stall) es el efecto provocado por la incapacidad del ala para seguir produciendo sustentación, y se produce cuando el avión vuela con un ángulo de ataque mayor que el ángulo de ataque crítico. No hay nada mágico en el ángulo de ataque crítico, la sustentación no cae a cero, es más, en este punto es donde se alcanza el coeficiente máximo de sustentación. Lo que sucede es que pasado este ángulo critico disminuye la sustentación y la resistencia se incrementa dando lugar a la entrada en pérdida.

Como se produce. Para tener una idea de como se produce la pérdida físicamente, veamos primero unos conceptos sencillos sobre fluidos:

Flujo laminar. Es un flujo en el cual el fluido puede ser considerado que se mueve en capas uniformes denominadas *laminas.*

Flujo turbulento. En este tipo de flujo las láminas fluyen desorganizadas, tanto en su dirección como en su velocidad. En el espacio libre el flujo no interactua con los objetos, pero si un objeto está cercano al flujo del fluido, interactua con el mismo cambiando sus características de velocidad como veremos seguidamente.

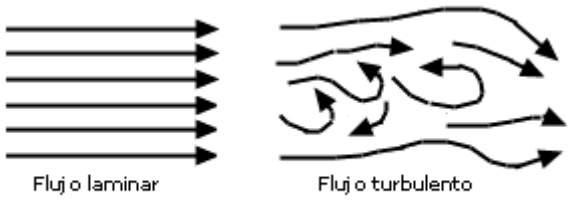


Fig.1.8.1 - Flujo laminar vs. Flujo turbulento.

El flujo puede permanecer laminar en tanto las laminas no interactuan lo suficiente para causar movimientos secundarios entre ellas, pero en caso contrario la mezcla libre y aleatoria de las láminas hacen el flujo turbulento.

El flujo puede cambiar de laminar a turbulento en base a:

1) Un cambio en la velocidad del flujo.
2) Alteraciones del propio flujo
3) Rugosidad de la superficie sobre la que fluye.
4) Los gradientes de presión. Cuando la presión estática decrece con la distancia a lo largo del flujo, las alteraciones en el flujo se amortiguan; cuando esta presión aumenta, las alteraciones se amplifican. La reducción de presión estática en la sección delantera del ala ayuda a mantener el flujo laminar. (1.8.3)
5) Otros factores: densidad del fluido (P), su velocidad (V), la longitud (L=cuerda del ala en este caso) y el coeficiente de viscosidad (u), que los ingenieros relacionan en un número dimensional llamado número de Reynolds **R=(PVL)/u**.

Cuando un fluido fluye sobre una superficie, debido a la fricción, la capa más cercana a la superficie se detiene completamente. Encima de esta capa se forman otras, cada una de las cuales tiene menos fricción que la anterior y por tanto mayor velocidad. Así hasta que a partir de una capa concreta no hay fricción y las capas tienen la velocidad libre del fluido.

Al conjunto de capas que van desde la que tiene velocidad cero (la más cercana al ala) hasta la que tiene velocidad libre se le llama capa límite, y a la distancia entre la primera y la última espesor de la capa límite.

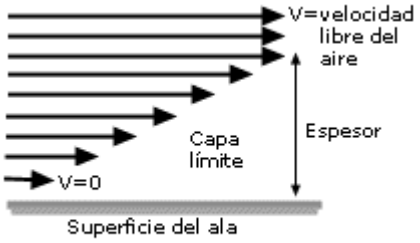


Fig.1.8.2 - Capa límite.

El espesor de la capa límite suele aumentar a medida que el fluido se mueve a lo largo de la superficie. La cantidad de este aumento depende de la viscosidad del fluido, la velocidad del flujo, la suavidad/rugosidad de la superficie, y la forma de esta.

A la capa límite cuyo flujo es laminar se le suele llamar capa límite laminar que a veces se abrevia como capa laminar, mientras que si el flujo es turbulento la capa recibe el nombre de capa límite turbulenta, abreviada como capa turbulenta.

Cuando la capa límite comienza a fluir por el borde de ataque del ala lo hace en forma de capa laminar, pegada al ala y muy fina; pero a medida que fluye hacia el borde de salida esta capa se va haciendo capa turbulenta, más separada del ala y con más grosor.

Mientras la capa es laminar, se mantiene pegada al ala y produce sustentación, pero al convertirse en turbulenta aumenta su separación del ala y no produce sustentación. El punto en el cual la capa laminar se va convirtiendo en turbulenta e incrementa su grosor se denomina "transición a turbulencia" o "transición de capa límite".

Ya estamos en condiciones de saber como entra en pérdida un ala. Con moderados ángulos de ataque el flujo de aire sigue el contorno de la superficie del ala y el punto de transición a turbulencia se mantiene cercano al borde de salida (1); pero a medida que el ángulo de ataque se incrementa (2), el flujo de aire tiene mayor dificultad para seguir el contorno del ala debido al intenso cambio de dirección y el punto de transición se va desplazando hacia el borde de ataque (3); cuando el ángulo de ataque es mayor que el ángulo crítico, el punto de transición está tan adelantado que apenas hay capa laminar y casi toda es turbulenta (4). En ese momento la presión diferencial se ha reducido y la resistencia se ha incrementado, hasta el punto de que no hay sustentación suficiente para soportar el peso del aeroplano y el ala entra en pérdida.

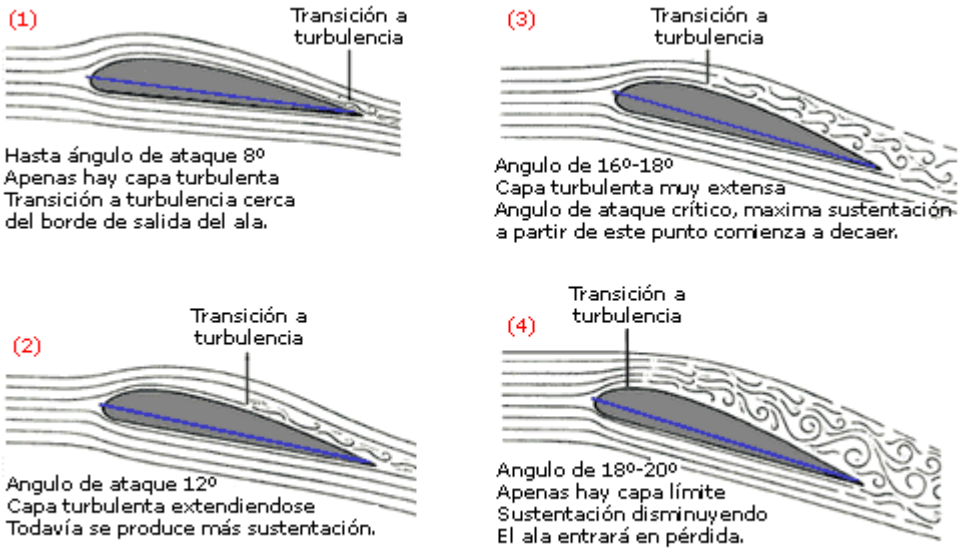


Fig.1.8.3 - Incremento del ángulo de ataque y entrada en pérdida.

Porqué se produce. La pérdida es un fenómeno exclusivamente aerodinámico que se produce por un excesivo ángulo de ataque. Conviene recordar que el ángulo de ataque está formado por la cuerda del ala y la dirección del viento relativo, la cual no tiene porqué coincidir con la dirección a la que apunta el morro del avión.

Velocidad de pérdida. Según vimos anteriormente, los aviones no tienen normalmente indicadores de ángulo de ataque pero si indicador de velocidad, que nos da una buena información sobre el ángulo de ataque; por eso se habla de velocidades de pérdida y como tales vienen tabuladas en los manuales. En estos, el constructor indica la velocidad que corresponde al ángulo de ataque que provoca la entrada en pérdida, según el grado de alabeo y el peso del avión.

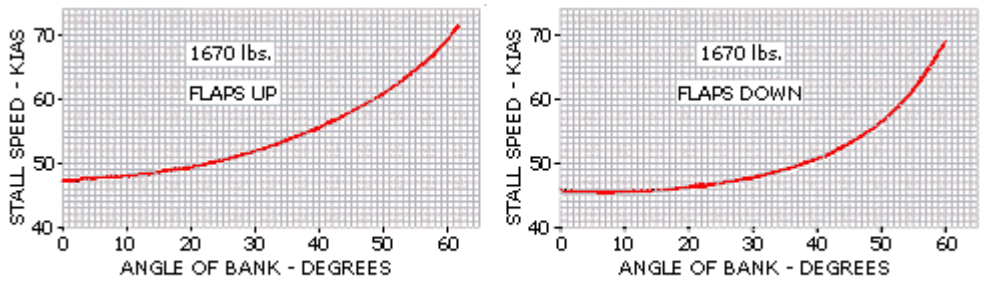


Fig.1.8.4 - Velocidad de pérdida vs. Angulo de alabeo.

La velocidad que corresponde al ángulo de ataque que provoca la entrada en pérdida para cada una de estas situaciones, aumentada en un 5% a 10%, se denomina velocidad de pérdida.

1.8.1 Condiciones que afectan a la pérdida.

El peso del avión. Las velocidades de pérdida tabuladas por el fabricante son para un peso determinado del avión, es decir que por debajo de esa velocidad un avión con el peso dado entra en pérdida. Pero si el peso es mayor, la entrada en pérdida se producirá antes pues antes se dará el déficit de sustentación. En definitiva, al aumentar el peso del avión este entrará en pérdida a una velocidad con la cual no hubiera entrado con un peso inferior.

La densidad del aire. Si el aire es menos denso se produce menos sustentación y por tanto se entra antes en pérdida. Por la misma razón cuanto mayor sea la altura (menor densidad) antes se entrará en pérdida.

La configuración del avión. Los dispositivos hipersustentadores (flaps o slats) aumentan la sustentación del avión, con lo cual la velocidad de entrada en pérdida con ellos extendidos es menor que con el avión "limpio" (dispositivos sin extender).

El factor de carga. Se detalla a continuación.

1.8.2 El factor de carga.

El factor de carga es la relación que existe entre la carga total soportada por las alas y el peso bruto del avión con su contenido (Carga soportada / Peso bruto del avión = Factor de Carga).

Como el peso se debe a la fuerza de la gravedad, el factor de carga se suele expresar en términos de relación con ella: en "g". Así un factor de carga de 3 "ges" significa que la carga sobre la estructura del avión es de 3 veces su peso actual. Por ejemplo: si el avión pesa 1000 kg. se está soportando una carga de 3000 kg. (1000*3=3000).

Este factor puede ser positivo o negativo. Es positivo (g positiva) cuando la fuerza es hacia abajo, y es negativo (g negativa) cuando es hacia arriba; en las g positivas el peso del piloto aumenta quedando "pegado" al asiento, mientras que en las g negativas el peso disminuye y el piloto "flota" en el asiento.

El factor de carga es importante por dos razones: Por la sobrecarga estructural impuesta a las alas, que pueden llegar a romperlas, y porque la velocidad de pérdida se incrementa en proporción al factor de carga.

Durante el vuelo, las alas del aeroplano deben soportar todo el peso de este; en la medida en que se mueva a una velocidad constante y en vuelo recto, la carga impuesta sobre las alas es constante (1g) y un cambio de velocidad en esta situación no produce cambios apreciables en el factor de carga. Pero si el cambio es de trayectoria, hay una carga adicional al peso del avión, más acusada si este cambio se hace a alta velocidad y bruscamente. Esta carga adicional se debe a la fuerza centrífuga, que es la fuerza de inercia que se manifiesta en todo cuerpo cuando se le obliga a variar de dirección (horizontal o vertical).
Por tanto cualquier cambio de trayectoria del avión implica en mayor o menor medida una fuerza centrífuga que incrementa el factor de carga. Cualquier fuerza aplicada a un avión que lo saque de su trayectoria produce tensión sobre su estructura, el total del cual es el factor de carga.

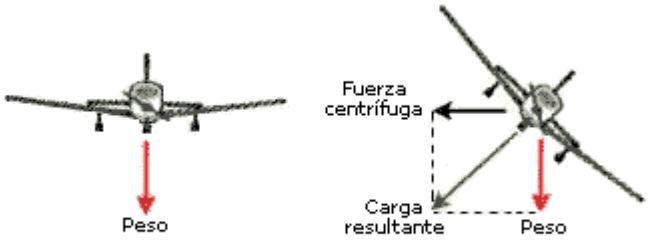


Fig.1.8.5 - Factor de carga.

El factor de carga en vuelo recto. Si en vuelo recto y nivelado se tira bruscamente del volante o palanca de control hacia atrás, el avión se encabritará (morro hacia arriba) y entrará en una trayectoria de curva hacia arriba lo cual incrementa el factor de carga.

El factor de carga en los virajes. En cualquier avión, a cualquier velocidad, si se mantiene una altitud constante durante un giro coordinado, el factor de carga para un determinado grado de alabeo es el mismo.

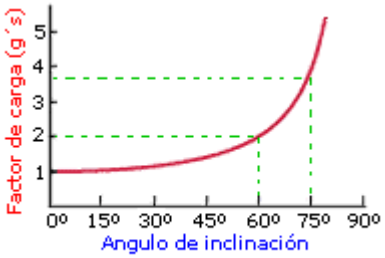


Fig.1.8.6 - Factor de carga en virajes.

La figura revela un factor importante en los virajes: el factor de carga se incrementa tremendamente a partir de un alabeo de 50º. Es importante recordar que las alas deben producir sustentación igual al factor de carga pues de otra manera sería imposible mantener la altitud.

Aunque un avión puede ser alabeado a 90º, un giro a altitud constante con esta inclinación es imposible matemáticamente para aviones convencionales. A algo más de 80º el factor de carga supera los 6 Gs que es generalmente el límite estructural en aviones diseñados para vuelo *acrobático*.

Para aviones convencionales ligeros el máximo alabeo en un giro a altura constante es de 60º. Un incremento de 10º supone 1 G de carga adicional, que pone al aeroplano muy cerca del punto de tensión que puede provocarle daños estructurales.

Factor de carga en turbulencias. Aunque los aviones están diseñados para soportar ráfagas de considerable intensidad, la aceleración impuesta por estas supone un incremento del factor de carga, particularmente sobre las alas. Este incremento es proporcional a la velocidad del avión. Por eso en condiciones de turbulencia moderada o extrema conviene reducir la velocidad del avión a la velocidad de maniobra especificada por el fabricante.

Relación entre el factor de carga y la pérdida. La velocidad de pérdida se incrementa en un factor igual a la raíz cuadrada del factor de carga; es decir que si un avión tiene una velocidad normal de pérdida de 50 kts, entrará en pérdida a 100 kts si se le aplica un factor de carga de 4g (50*V¯4=100). Por ejemplo, sabemos que en un giro de 60º el peso del avión se duplica (2g), y por tanto la velocidad necesaria para producir sustentación se multiplica por V¯2, es decir por 1.4142; si en vuelo normal el avión entra en pérdida a 65 kts, en un giro de 60º entraría en pérdida a 92 kts (65*1.4142).
El aumento de la velocidad de pérdida debe ser tenido muy en cuenta en maniobras donde el factor de carga sufre un gran incremento (giros cerrados, espirales, etc.). Por la misma razón, no debe hacerse tampoco una pérdida intencionada por encima de la velocidad recomendada, ni efectuar movimientos bruscos a alta velocidad, p.ejemplo: levantar el morro de forma súbita.

Categorías. Todos los aeroplanos están diseñados cumpliendo unos requerimientos de esfuerzo, en función del uso que se vaya a hacer del mismo. La clasificación según estos requisitos se denomina categorías. Para obtener su certificación por las autoridades competentes, el esfuerzo estructural (factor de carga) debe ser conforme a los estándares prescritos. Las categorías y el máximo factor de carga para cada una de ellas son las siguientes (según la F.A.A):

- Normal : 3.8 G.
- Utility : 4.4 G.
- Acrobatic : 6 G.

1.8.3 Diseños que atenúan la pérdida.

Para mantener la capa laminar fluyendo sobre la superficie del ala tanto como sea posible, se ha desarrollado el tipo de ala de flujo laminar. Este diseño está relacionado con el punto de transición. El ala de flujo laminar es a veces más fina que una convencional, el borde de ataque es más puntiagudo y la sección más cercana al mismo simétrica, pero lo más importante de todo, el punto de máximo espesor está mucho más atrás que en un ala convencional. La distribución de presiones es mucho más uniforme y el flujo de aire es acelerado muy gradualmente desde el borde de ataque al punto de máximo espesor.

No es deseable que el extremo del ala entre en pérdida lo primero, sobre todo si el extremo de un ala entra en pérdida antes que el otro, lo cual no es infrecuente. En un ala con buena característica de pérdida, la raíz (pegada al fuselaje) debe entrar en pérdida antes que el extremo. Este tipo de pérdida decrece la tendencia al alabeo e incrementa el control lateral en las cercanías de la pérdida (Ver 1.6).
Para conseguir este efecto, las alas se diseñan con ángulo de incidencia decreciente hacia los extremos ("torsión"), lo que retarda la entrada en pérdida de estos con respecto a la raíz del ala, o insertando una tira "strip" de metal en el borde de ataque más cercano a la raíz del ala, de forma que cuando se alcanza un determinado ángulo de ataque, la tira rompe el flujo de aire haciendo que la raíz entre en pérdida antes que el extremo del ala.

Otra buena característica es que al entrar en pérdida el morro caiga abajo, lo cual nos ayudará en la recuperación. Esto se consigue dando al estabilizador horizontal de cola un ángulo de incidencia mucho menor que a las alas (decalaje). De esta manera cuando un excesivo ángulo de ataque deja las alas sin sustentación suficiente, la cola sigue teniendo sustentación, haciendo que el avión caiga de morro y sea más fácil la recuperación de la pérdida.

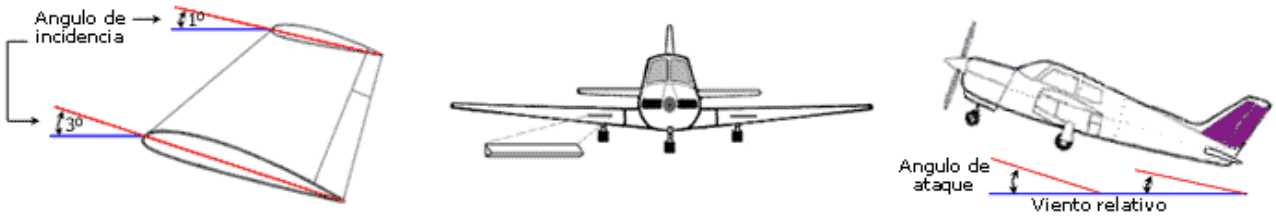


Fig.1.8.7 - Diseños con buena característica de pérdida.

Además de la resistencia a la pérdida, en el diseño de las alas hay que tener también en cuenta el factor de carga a soportar, y llegar a un compromiso de manera que el ala entre en pérdida antes de que sobrepase el factor de carga máximo, puesto que es preferible tener un avión en pérdida (que es recuperable) que sin alas (que es irrecuperable).

Efecto de los flaps. Al extender los flaps se cambia la curvatura del perfil del ala (Flaps 1.5.3) lo cual produce unos efectos ya conocidos (Efecto que producen los flaps 1.5.3). Pero además, la parte del ala donde están instalados vuela con mayor ángulo de incidencia y por tanto con mayor ángulo de ataque, que la parte del ala sin flaps. A consecuencia de esto, la sección del ala con flaps debe entrar en pérdida antes que el resto del ala. Esta es la razón por la cual los fabricantes colocan los flaps en la raíz del ala.
Puede parecer paradójico, pero es 100% cierto que aunque la sección de ala con flap es intrínsecamente más resistente a la pérdida, entrará en pérdida antes que el resto del ala.

1.8.4 Síntomas de pérdida inminente.

Ya se ha dicho que puesto que la gran mayoría de aviones no tienen ningún indicador que informe al piloto del ángulo de ataque, el indicador de velocidad es el que mejor información proporciona al respecto. Este indicador debe ser la primera guía para reconocer la posibilidad de entrada en pérdida. Pero además, otros sintomas de que el avión está próximo a entrar en pérdida son:

- Un progresivo decrecimiento en la efectividad de los mandos, especialmente timón de profundidad y alerones. Los mandos de estas superficies de control se vuelven blandos y perezosos.
- Bataneo (zarandeo) de la celula debido al flujo de aire turbulento en las alas.
- Señal acústica y/o luminosa del indicador de aviso de pérdida. Estos dispositivos se activan normalmente merced a una aleta metálica insertada en el borde de ataque del ala. El flujo normal de aire mantiene esta aleta abajo, pero en la proximidad de la pérdida, el cambio del flujo de aire la desplaza hacia arriba, cerrando un contacto eléctrico que activa los avisadores acústicos y/o luminosos de la cabina.
- Estos indicios se producen antes de la entrada efectiva en pérdida. Muchos perfiles entran en pérdida con un ángulo de ataque de 18-20º, de manera que los sintomas se producen alrededor de los 17-18º.



Fig.1.8.8 - Avisador de pérdida.

En el capítulo correspondiente de la sección de maniobras, se explica como practicar pérdidas y la recuperación de las mismas.

Notas:

En las tablas y gráficos de los manuales de operación, los fabricantes indican las velocidades de pérdida para un peso, configuración, y grados de alabeo (factor de carga) determinados (la fig.1.8.4 es un ejemplo). Sin embargo, a pesar de que la densidad del aire es un factor que afecta a la sustentación no se menciona en dichas tablas, y esto tiene una explicación. Como veremos en el capítulo de instrumentación correspondiente, el indicador de velocidad es básicamente un medidor de presión. La presión que mueve la aguja de este indicador es la misma que la que mantiene las alas del avión en vuelo, es decir que este indicador no mide la velocidad del avión con respecto al suelo sino la velocidad aerodinámica ($1/2dv^2$), así que la variación de densidad que afecta a la sustentación afecta por igual al indicador de velocidad. El indicador de velocidad nos está haciendo un favor al funcionar así, y a este respecto debemos confiar en él puesto que hace por nosotros las correcciones adecuadas debido a los cambios de densidad. De modo que cuando el fabricante especifica velocidades de pérdida ya tiene en cuenta este detalle, y se refiere a valores dados por la lectura de este instrumento (IAS=Indicated Airspeed).

Sumario:

- La pérdida se produce en el ángulo de ataque crítico, que es el punto en el cual un incremento de ángulo de ataque no se traduce en un aumento de la sustentación.
- La sustentación no cae a cero en la pérdida. De hecho el coeficiente de sustentación tiene su valor máximo en la pérdida.
- En la pérdida, apenas hay capa laminar, casi toda es turbulenta.
- La velocidad de pérdida es la que corresponde al ángulo de ataque que provoca la entrada en pérdida, más un margen de seguridad del 5% a 10%.
- La velocidad de pérdida no es un valor único; varía con el peso del avión, la densidad del aire, la configuración del avión y el factor de carga.
- El factor de carga tiene una enorme influencia en la pérdida. La velocidad de pérdida se incrementa en un factor igual a la raíz cuadrada del factor de carga.
- Las velocidades de pérdida tabuladas por los fabricantes se refieren a situaciones estándar. Si la situación real es diferente, la velocidad de pérdida también es diferente.
- El amortiguamiento vertical en la pérdida cae a cero. Si el avión está bien diseñado, la raíz del ala entrará en pérdida antes que el extremo, y quedará un poco de amortiguamiento al alabeo.
- Igualmente, un buen diseño implica que en situaciones normales aunque las alas entren en pérdida, la cola del avión no lo hará.
- Un hecho muy importante es que si el avión no está en pérdida, tampoco entrará en barrena.
- En función del factor de carga soportado, los aviones son de categoría: Normal, Utility y Acrobatic.
- La velocidad de pérdida con flaps extendidos es menor que con ellos retraídos.

1.9 GUIÑADA ADVERSA.

Recordemos que guiñada es el movimiento que realiza el avión en torno a su eje vertical. (1.5.1)
Cualquier movimiento de guiñada del avión, independientemente del origen, que tenga un efecto contrario al deseado por el piloto se denomina guiñada adversa. Para contrarrestar su efecto y mantener el control direccional del avión el piloto actúa sobre el timón de dirección por medio de los pedales. (Fig.1.5.7)

1.9.1 Causas que la producen.

Son varias las causas que producen la guiñada adversa, pero la mayoría están producidas por el efecto de la hélice:

Efecto tuerca. El motor hace girar la hélice en un sentido, asi que según la 3ª Ley de Newton, la totalidad del avión intentará girar en el sentido opuesto (acción-reacción). Como en la inmensa mayoría de los aviones la hélice gira en el sentido de las agujas del reloj (visto desde la cabina), la fuerza de reacción se ejercerá sobre el lado izquierdo del avión en sentido contrario al giro de la hélice. Además, en condiciones de alta potencia mientras el avión está en el suelo (carrera de despegue), este efecto hace que la rueda izquierda soporte más peso que la derecha, lo cual aporta más fricción, más resistencia y aumente la tendencia a guiñar a la izquierda.

Este efecto tuerca es apenas perceptible en vuelo recto y nivelado con velocidad de crucero.

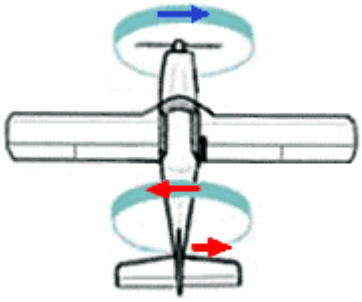


Fig.1.9.1 - Efecto tuerca.

Debe tenerse en cuenta que el efecto tuerca no causa directamente la guiñada. El efecto tuerca causa el intento de giro del avión y este causa la guiñada. En el diseño del avión, esta guiñada no deseada se neutraliza a veces dándole al ala izquierda un ángulo de incidencia ligeramente mayor y por tanto algo más de sustentación.

Estela de la hélice. Recibe este nombre la masa de aire desplazada hacia atrás por la hélice, cuyo tamaño es el de un cilindro de aproximadamente el diámetro de la hélice. Esta estela recibe un movimiento rotatorio en la misma dirección del giro de la hélice. El resultado es que la estela incide solo sobre un lado de superficies del avión tal como el estabilizador vertical, lo cual empuja a este hacia la derecha y hace que el avión guiñe a la izquierda.
Por otro lado, si el avión es de plano bajo, la estela de la hélice incide sobre la parte inferior del ala izquierda empujándola hacia arriba, mientras que en el ala derecha incide sobre su parte superior empujándola hacia abajo. Este efecto amortigua en parte el mayor peso sobre la rueda izquierda provocado por el efecto tuerca visto antes. Si el avión es de plano alto el efecto es el contrario.

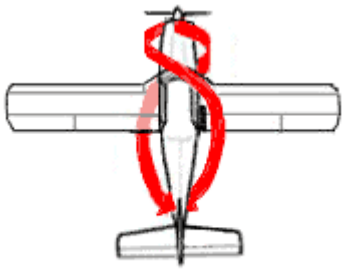


Fig.1.9.2 - Estela de la hélice.

 © M.A.Muñoz

Para compensar esta guiñada, algunos diseñadores desplazan ligeramente respecto del eje longitudinal, el estabilizador vertical, la dirección de empuje del motor, o ambos.

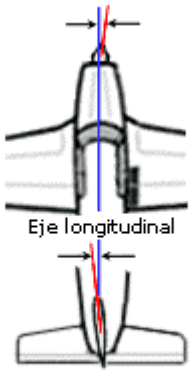


Fig.1.9.3 - Diseños que reducen la guiñada adversa.

Empuje asimétrico. Este efecto es apenas perceptible en aviones normales y se hace algo más acusado cuando se vuela con grandes ángulos de ataque y con alta potencia. Supongamos un avión con actitud de morro arriba pero volando horizontal; en este caso, la pala derecha de la hélice (vista desde la cabina) se mueve hacia abajo y un poco hacia adelante respecto de la dirección de vuelo, mientras que la pala izquierda se mueve hacia arriba y un poco hacia atrás. La pala derecha tiene algo más de velocidad relativa que la izquierda lo cual produce un efecto de guiñada a la izquierda. Al empuje asimétrico también se le denomina factor "P".

Precesión giroscópica. Cuando a un objeto girando en el espacio se le aplica una fuerza, el objeto reacciona como si la fuerza se aplicara en la misma dirección pero en un punto desplazado 90º de donde se aplica la fuerza. Es como reacciona una peonza (o similar) girando cuando se le pone un dedo en un lado (Ver 2.2.2).
La masa de aire desplazada por la hélice girando a gran velocidad es susceptible de precesionar. Así cuando levantamos, bajamos, desplazamos a la derecha o la izquierda, el morro del avión, tenemos precesión giroscópica sobre la hélice y su estela, lo cual da lugar a guiñada adversa.

Resistencia en los alerones. Este efecto, al contrario que los otros no está provocado por la hélice. Sabemos como funcionan los alerones: un ala sube debido a que tiene más sustentación por el alerón abajo mientras que la otra baja al tener menos sustentación por el alerón arriba. Ahora bien, el ala que sube tiene más sustentación pero también más resistencia inducida, mientras que la que baja tiene menos sustentación pero también menos resistencia inducida. Por tanto un ala tendrá ligeramente más velocidad que la otra lo cual dará lugar a guiñada adversa.
Algunos constructores, ponen remedio a este efecto mediante una deflexión diferencial de los alerones, de manera que el alerón que baja lo haga con un ángulo menor que el que sube y compense algo la mayor resistencia inducida del ala con el alerón abajo.

1.9.2 Como corregirla.

Puesto que el timón de dirección es el mando de guiñada (Ver 1.5.2), para corregir la guiñada adversa basta con aplicar este mando en sentido contrario y en proporción suficiente, es decir, presionar el pedal del lado contrario a la guiñada adversa. En la mayoría de las ocasiones esta guiñada no deseada se produce hacia el lado izquierdo, por lo que lo habitual es aplicar pie derecho para corregirla.

Notas:

La guiñada adversa producida por la hélice, se incrementa en proporción directa a la potencia, velocidad y el ángulo de ataque. En situaciones de alta potencia, poca velocidad y alto ángulo de ataque este efecto es mucho más pronunciado (despegues, ascensos, etc).
La guiñada producida por la resistencia en los alerones es más acusada en situaciones de velocidad reducida o cuando se aplica gran cantidad de deflexión (o abruptamente) a los alerones

---

Sumario:

- El movimiento de guiñada no provocada por el piloto se denomina guiñada adversa.
- La mayoría de los efectos de guiñada adversa se producen por el movimiento de la hélice.
- Este efecto se hace más acusado con baja velocidad y alta potencia del motor.
- La guiñada adversa se corrige pisando el pedal del lado contrario a la guiñada (pie contrario).
- En casi todos los casos que se produce este efecto, el avión suele guiñar a la izquierda.

© M.A.Muñoz

1.10 CONTROL DE ALTURA Y VELOCIDAD.

Cuando se pilota un aeroplano, es fundamental: (1) controlar la velocidad y (2) controlar la altitud.

Esto sería fácil si el avión tuviera unos controles ideales, de manera que moviendo uno cambiara la velocidad *sin cambiar de altitud,* o moviendo otro cambiara la altitud *sin cambiar de velocidad.* Pero este tipo de controles en un avión es un sueño imposible en la práctica, así que veamos como los controles *reales* afectan a la velocidad y la altitud de un avión *real*.

Existe una controversia, clásica entre pilotos, sobre que mando en la cabina controla primariamente la velocidad y cual la altitud. Unos dicen que el volante ("cuernos") controla la altitud y el mando de gases la velocidad. Otros sugieren justamente lo contrario: que el volante controla la velocidad y el mando de gases la altitud. ¿Quién afirma lo correcto?. Ninguno, porque cualquiera de las dos afirmaciones supondría que los aviones tienen un mando que controla exclusivamente la altitud *y nada más*, y otro que controla *únicamente* la velocidad. No existe un avión con unos controles así.

La única respuesta cierta es que:

- El volante de mando controla la actitud de morro del avión y por extensión el ángulo de ataque.
- El mando de gases controla la potencia. Esta potencia se puede utilizar para superar la resistencia, para acelerar, o para ascender.
- Ni uno ni otro controla la altitud o la velocidad de forma independiente.

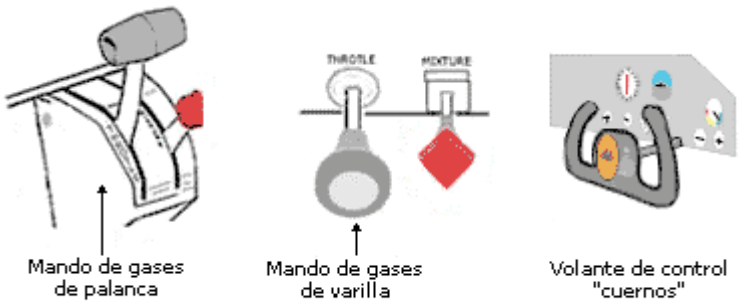


Fig.1.10.1 - Mando de gases y volante de control.

En general, un piloto que intenta controlar velocidad y altitud por separado acaba por no controlar o una u otra, o ninguna, siendo la velocidad casi siempre la que sale peor parada, tornándose a veces tan baja que se corre el riesgo de entrar en pérdida.

En vuelo recto y nivelado, algo tan simple como cambiar de velocidad manteniendo la misma altitud supone una secuencia de ajustes en *ambos* mandos. Podemos aprender a hacer estos ajustes de dos maneras: una a base de prueba y error hasta descubrir cual es la forma correcta, y otra mejor y más sencilla: sabiendo como responde el avión al movimiento de los mandos para que esta secuencia sea obvia y comprendida, lo que hará nuestro vuelo más fácil y seguro. Intentemos esto último.

1.10.1 Mando de gases.

El mando de gases controla la potencia, así de simple. Se requiere potencia para:

- Mantener el empuje suficiente para vencer la resistencia.
- El ascenso requiere más potencia que el vuelo recto y nivelado.
- Para acelerar el avión en la misma trayectoria se necesita más potencia que en vuelo no acelerado.

Con el avión compensado en vuelo recto y nivelado y una potencia moderada, si aplicamos más gases sucede una cosa muy curiosa: el avión no acelera (en muchos aviones incluso decelera ligeramente) sino que levanta ligeramente el morro y comienza a ascender. Esto es algo nuevo para los aspirantes a piloto: si en un automóvil piso el acelerador (aumento la potencia) y este acelera ¿porque en un avión no?.
Por la sencilla razón de que mientras un automóvil solo puede transformar el aumento de energía en sentido horizontal (acelerando), un avión puede transformarla en sentido horizontal o en sentido vertical (ascendiendo), y debido a su concepción aerodinámica el avión transforma *precisamente* este incremento de energía en sentido horizontal: ascendiendo. Obviamente, el movimiento contrario de este mando (quitar gases) no hace que el avión decelere (la velocidad incluso aumenta ligeramente) sino que baje algo el morro y descienda.

Fijándonos en el gráfico de la fig.1.10.2, que muestra un ejemplo de relación entre potencia y tasa de ascenso, observamos que para una misma velocidad, p.ejemplo 85 nudos, con el 65% de potencia aplicada la tasa de ascenso es nula, mientras que con el 80% de potencia la tasa de ascenso es positiva; es decir, que si volamos recto y nivelado a 85 nudos, al aumentar la potencia del 65% al 80% sin cambiar de velocidad, el avión ascenderá con una tasa determinada. De la misma manera, recto y nivelado a 110 nudos, reducir la potencia del 80% al 65% supone una tasa de ascenso negativa; el avión descenderá. Podemos imaginar el abrir gases como tirar de la curva del gráfico hacia arriba, mientras que cortarlos es como dejarla caer.

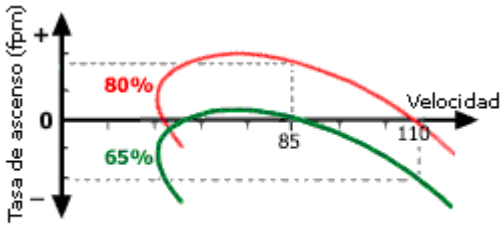


Fig.1.10.2 - Tasa de ascenso s/potencia aplicada.

Aumentar la potencia hace que el avión ascienda mientras que reducirla hace que descienda. Este es el comportamiento aerodinámico normal y natural del mando de gases. Se puede afirmar entonces que "el mando de gases es el mando de control primario sobre la altura". La tasa de ascenso o descenso (en pies por minuto "fpm") es proporcional al aumento o disminución de potencia realizado.

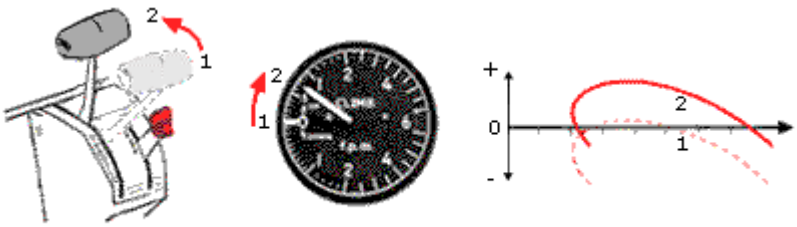


Fig.1.10.3 - Efecto de aumentar potencia (abrir gases).



Fig.1.10.4 - Efecto de disminuir potencia (cortar gases).

1.10.2 Volante de control.

En el capítulo 1.5.2 vimos como actúa el volante de control sobre el timón de profundidad: al tirar hacia atrás de este mando o empujarlo hacia adelante, varía la sustentación en la cola y ello provoca el movimiento de cabeceo del avión. Por lo tanto, al mover el volante de control: (1) *la actitud de morro del avión cambia.*

Si la actitud de morro es distinta, el avión estará incidiendo el viento relativo con un ángulo diferente. Tenemos pues que además: (2) *cambia el ángulo de ataque.*

El cambio del ángulo de ataque afecta a la resistencia (1.3.6) y la velocidad (1.7.4). Un mayor ángulo de ataque supone más resistencia y menos velocidad, y viceversa. Esto implica que además: (3) *cambia la velocidad.*

Estas respuestas, que constituyen el efecto primario e inmediato del avión al movimiento del volante de control, permiten afirmar que "el volante de control ejerce el control principal sobre la velocidad", aunque este mando no es *exactamente un control de velocidad*. Para ganar velocidad hay que empujar el volante hacia delante (disminuir el ángulo de ataque) y para perderla hay que tirar del volante hacia atrás (aumentar el ángulo de ataque). El aumento o disminución de velocidad dependerá de la cantidad de movimiento impuesto a este control. La fig.1.10.5 muestra el efecto primario de tirar del volante de control; lógicamente el movimiento contrario, empujar el volante de control, provocará el efecto contrario.

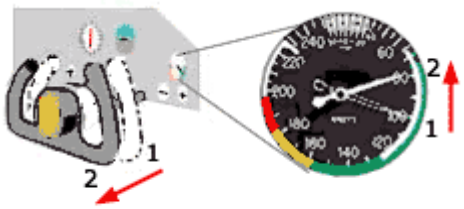


Fig.1.10.5 - Efecto primario de tirar de "cuernos".

Memoricemos la afirmación anterior, aunque con ciertas reservas. Hemos cambiado la relación de fuerzas y esto hace cambiar la velocidad, cierto. Pero también hemos cambiado los parámetros principales que afectan a la sustentación (ángulo de ataque y velocidad) y esto tiene efectos secundarios.

Para comprender mejor estos efectos secundarios, veamos que sucede cuando tiramos del volante de control sin cambiar la potencia:

- Se acentúa la actitud de morro arriba y aumenta el ángulo de ataque.
- La velocidad disminuye, el avión decelera. Este es el efecto primario.
- Primer efecto secundario: debido al incremento del ángulo de ataque el avión ascenderá.
- Segundo efecto secundario:
  - Si los nuevos parámetros son más eficientes el avión sigue ascendiendo.
  - Si son menos eficientes el avión entrará en descenso.

En la fig.1.10.6 tenemos un ejemplo de este efecto secundario. Volamos a 90 nudos con la potencia puesta al 75% (1) y tiramos de "cuernos"; el efecto primario consiste en reducir la velocidad, por ejemplo hasta 70 nudos, y elevarse un poco (2); como los nuevos parámetros son más eficientes el avión entrará en ascenso con una tasa constante. Volvemos a tirar de "cuernos; de nuevo la velocidad decrece, por ejemplo hasta 53 nudos, y ascendemos unos pies, pero ahora los nuevos parámetros son menos eficientes y el avión entrará en un descenso constante (3).

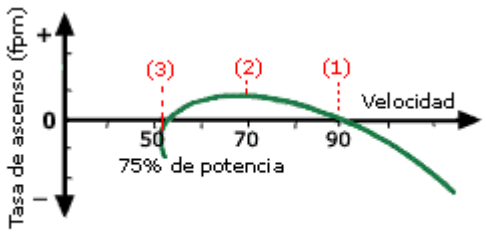


Fig.1.10.6 - Efecto secundario de tirar de "cuernos".

Si el volante de mando controla la velocidad pero provoca efectos secundarios en la altura, un cambio de velocidad *manteniendo la altura* requerirá mover el volante de control y además ajustar el mando de gases.

Entonces, que sentido tiene la controversia sobre que mando controla que cosa?. Tiene y mucho. La noción de que el volante de control es el mando de arriba/abajo puede ser muy peligrosa. Veamos cual es la razón.

La mayoría del tiempo de vuelo se consume en régimen de crucero, recto, nivelado y con una potencia adecuada. En este régimen, es factible recuperar unos pies de altura tirando del volante de control únicamente. El avión perderá velocidad (efecto primario) y ascenderá. Una vez a la altura deseada se empuja el volante de control y el avión volverá paulatinamente a la velocidad inicial. No hay mayores problemas en esta forma de actuar, y es usual por la comodidad que supone tocar solo un mando. En el caso de la figura 1.10.6 es como estar volando a 90 nudos y ascender unos pies a 70 nudos para después recuperar la velocidad inicial.

Pero hay otra parte. Supongamos ahora que la velocidad que tenemos es baja, únicamente unos nudos por encima de la velocidad de pérdida. Con la noción de que el volante de control es el mando de arriba/abajo, si tiramos del mismo ascenderemos unos pies como antes (efecto secundario) pero a costa de minorar tanto la velocidad (efecto primario) que tras ese pequeño ascenso el avión entra en un rápido descenso, o incluso peor, entra en pérdida. Esta reacción tiene un nombre: "globo", y se da con cierta frecuencia en la recogida durante el aterrizaje, como pueden confirmar los aspirantes a piloto. A pocos pies sobre la pista se tira de cuernos en exceso, el avión se frena, asciende unos pies y entonces cae rápidamente.

En la fig.1.10.7 vemos esto reflejado. Estamos volando a 68 nudos con una potencia algo baja, y tiramos de cuernos (1); como siempre, la velocidad decrece, p.ejemplo hasta 52 nudos, y ascendemos unos pies. Pero con esta nueva velocidad entramos en descenso, o lo que es peor, en pérdida (2).

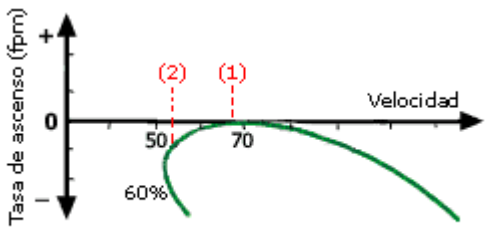


Fig.1.10.7 - Efecto secundario de tirar de "cuernos".

La peligrosidad de la noción del volante de control como mando de arriba/abajo, se acentúa especialmente durante el despegue y el aterrizaje, porque en ambos casos además de tener al avión con poca velocidad se está a baja altura y puede ser que no haya opción a recuperar una pérdida.

Parece que la cuestión está muy clara. Pero no debe estarlo tanto cuando se siguen produciendo accidentes por pérdida/barrena. Si quiere tener una pérdida/barrena garantizada tire de "cuernos" un poco, luego más, y más. Si por el contrario tiene apego a su seguridad, en velocidades bajas mire el indicador de velocidad antes de tirar de "cuernos".

No es habitual, pero pudiera suceder que se quiera perder altura actuando sobre el volante de control. Cuidado, que podemos rebasar la velocidad máxima del avión.

En un capítulo posterior veremos como actuar sobre estos mandos para: (1) acelerar/decelerar sin cambiar de altitud; (2) ascender/descender sin cambiar de velocidad, y (3) perder/ganar altitud y velocidad a la vez.

Sumario:

- El volante de control es el mando primario sobre la velocidad.
- Para ganar velocidad se hace picar el avión empujando este volante hacia adelante, mientras que para reducirla se levanta el morro tirando hacia atrás del volante de control.
- La velocidad perdida/ganada depende de la cantidad de movimiento sobre los "cuernos".
- El mando de gases es el mando primario sobre la altura.
- Para ganar altura se abren más gases, y para perderla se cortan gases.
- La tasa de ascenso o descenso (en pies por minuto "fpm") es proporcional a la cantidad de potencia incrementada/disminuida respectivamente.
- Se pueden ganar unos pies actuando solo sobre el volante de control, siempre y cuando se tenga potencia y velocidad suficiente para asumir temporalmente la pérdida de velocidad.
- En situaciones normales, la forma más sencilla de controlar velocidad y altitud consiste en obtener la velocidad deseada mediante el volante de control, compensar el avión para esta velocidad, y sin mover el volante de control actuar sobre los gases para controlar la altitud.

INSTRUMENTACIÓN

2 DESARROLLO DE LA SECCIÓN.

Esta sección está dedicada a los instrumentos básicos de un aeroplano. Prácticamente todos los aviones cuentan con estos instrumentos, más o menos modernizados tecnológicamente, puesto que son imprescindibles para volar de forma eficiente y segura. El conocimiento de este instrumental es absolutamente necesario para el piloto.
Existen más instrumentos que los presentados en esta sección. No obstante, parece más didáctico incluirlos según el sistema al cual correspondan (p.ejemplo: el indicador de RPM se incluye en el capítulo sistema motor) o según su funcionalidad (p.ejemplo: VOR, ADF, etc... se detallan en la sección de navegación).

El proposito perseguido a la hora de mostrar el "despiece" de los instrumentos es el de proporcionar al lector una mejor comprensión de su funcionamiento. Con la velocidad que avanza la tecnología, es muy posible que estos "despieces" estén obsoletos antes de publicarse, sin embargo los principios de funcionamiento siguen siendo los mismos o al menos similares. No prestar mucha atención a los detalles de los "despieces" sino a como y porqué funcionan los instrumentos.

2.1 GENERALIDADES.

2.2 INSTRUMENTOS BÁSICOS DE VUELO.
- 2.2.1 Sistema de pitot y estática.
- 2.2.2 Propiedades giroscópicas.

2.3 ALTÍMETRO.
- 2.3.1 Principios de operación.
- 2.3.2 Construcción.
- 2.3.3 Lectura del altímetro.
- 2.3.4 Presiones referenciales.
- 2.3.5 Calaje del altímetro.
- 2.3.6 Tipos de altitud.

2.4 VARIÓMETRO.
- 2.4.1 Principios de operación.
- 2.4.2 Construcción.
- 2.4.3 Lectura del variómetro.
- 2.4.4 Errores de lectura.

2.5 ANEMÓMETRO.
- 2.5.1 Principios de operación.
- 2.5.2 Construcción.
- 2.5.3 Lectura del anemómetro.
- 2.5.4 Nomenclatura de velocidades.
- 2.5.5 Códigos de colores.

2.6 INDICADOR DE ACTITUD.
- 2.6.1 Construcción.
- 2.6.2 Lectura.

2.7 INDICADOR DE DIRECCIÓN.
- 2.7.1 Construcción.
- 2.7.2 Lectura.

 © M.A.Muñoz

2.8 INDICADOR DE VIRAJE Y COORDINACIÓN.
- 2.8.1 Velocidad angular de viraje.
- 2.8.2 Indicador de viraje.
- 2.8.3 Lectura del indicador de viraje.
- 2.8.4 Coordinador de viraje o bola.
- 2.8.5 Resbale y derrape.

2.9 BRÚJULA.
- 2.9.1 Magnetismo.
- 2.9.2 Construcción.
- 2.9.3 Declinación.
- 2.9.4 Errores en la lectura de la brújula.
- 2.9.5 Indicador de dirección y brújula.

 © M.A.Muñoz

INSTRUMENTACIÓN

2.1 GENERALIDADES.

Una de las cosas que más sorprenden a los no iniciados en esta pasión de volar, es la cantidad de "relojes", indicadores, palancas e interruptores que hay en la cabina de un avión. A pesar de que en este aspecto los aviones normalmente empleados en instrucción básica son "espartanos", comparados con los aviones comerciales, la primera vez que se asoma uno a la cabina se tiene la sensación de no poder "digerir" todo aquello.

Un poco de ánimo. Hay casi más botones en un programa informático de uso "doméstico" que en la cabina de un avión de los empleados habitualmente en instrucción. Personalmente, llevo volando desde hace unos 4 años, y se me hace más sencillo aprender a manejar los botones y palancas de los aviones en que he volado, que los botones de los programas informáticos actuales, a pesar de llevar en esta otra faceta más de 30 años.

Un poco de ayuda. La disposición de los instrumentos en el panel tiene una disposición estándar, establecida por la OACI, de forma que permita una lectura rápida y eficaz de todos ellos, y para facilitar a los pilotos el paso de un tipo de avión a otro. Además, esta disposición permite realizar un chequeo "cruzado" de instrumentos con relativa facilidad.

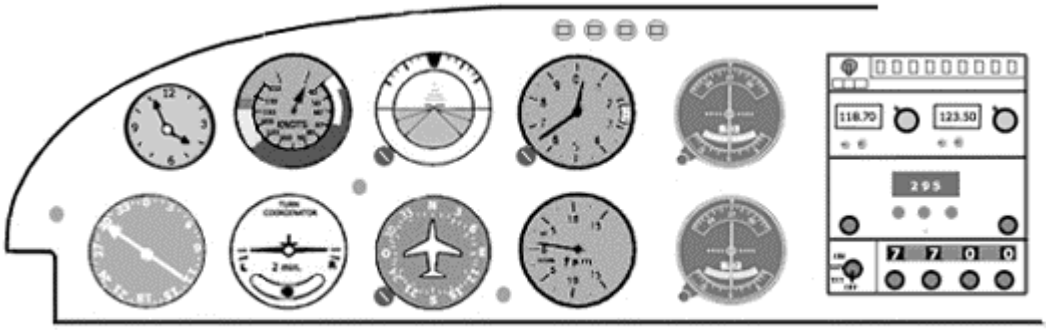


Fig.2.1.1 - Disposición de instrumentos en el panel de control.

Los instrumentos a bordo proporcionan a la tripulación la información adecuada para la vigilancia y control del rendimiento del avión, el funcionamiento de sus sistemas y su posición en el espacio. El piloto debe aprender a interpretar esta información, reconocer su mal funcionamiento, si existe posibilidad o no de reparación en vuelo, y que posibles limitaciones pueden surgir en caso de fallo.

Por razones didácticas, es necesario agrupar o clasificar de alguna manera estos instrumentos. La mayoría de los libros y manuales de instrucción suelen clasificar los instrumentos por su función: instrumentos de vuelo, de navegación, de motor, de otros sistemas, etc...

En los siguientes capítulos de esta sección, veremos los instrumentos básicos de vuelo. Los instrumentos de ayuda a la navegación y los relativos a cada uno de los sistemas se explicarán en sus correspondientes secciones.

Sumario:

- La disposición de los instrumentos en el panel tiene una distribución estándar.
- Los instrumentos sirven al piloto para vigilar y controlar el rendimiento del avión, el funcionamiento de los sistemas, y su posición en el espacio.
- Los instrumentos se suelen clasificar por su función: de vuelo, de navegación, de motor, etc...

INSTRUMENTACIÓN

2.2 INSTRUMENTOS BÁSICOS DE VUELO.

Los instrumentos básicos de vuelo son aquellos que nos informan de la altura y velocidad del avión, su actitud con respecto al suelo sin necesidad de tomar referencias, si está en ascenso, descenso o nivelado, y en que dirección vuela.

Estos instrumentos básicos, salvo la brújula, se suelen dividir en dos grupos: los que muestran información basándose en las propiedades del aire (anemómetro, altímetro, y variómetro) y los que se basan en propiedades giroscópicas (indicador de actitud, indicador de giro/viraje, e indicador de dirección). Cada uno de estos instrumentos tiene su capítulo correspondiente dentro de esta sección, pero antes es conveniente comprender que se entiende por propiedades del aire y propiedades giroscópicas.

2.2.1 Sistema de pitot y estática.

Como veremos en el capitulo correspondiente a cada uno de ellos, los instrumentos basados en las propiedades del aire realmente miden presiones, absolutas o diferenciales, que convenientemente calibradas, nos ofrecen traducidas en forma de pies de altura, pies por minuto, o nudos de velocidad. El sistema de pitot y estática es el que se encarga de proporcionar las presiones a medir, y los instrumentos conectados a este sistema son: altímetro, variómetro y anemómetro.

Para su correcto funcionamiento, estos instrumentos necesitan que se les proporcione la presión estática, la presión dinámica, o ambas. Estos dos tipos de presión definen los componentes principales de este sistema: el dispositivo de recogida de presión de impacto (pitot) y sus conducciones, y el dispositivo que recoge la presión estática con sus respectivas conducciones.

En los aeroplanos antiguos, la recogida de ambas presiones se realizaba en un mismo dispositivo (pitot), pero hoy en día lo habitual es que ambas fuentes estén separadas.

El tubo de pitot. Consiste en un tubo sencillo u otro dispositivo similar, de tamaño no muy grande, que suele estar montado, enfrentado al viento relativo, en el borde de ataque o debajo del ala, aunque en ciertos aeroplanos está colocado en el morro del avión o en el estabilizador vertical. Esta localización le pone a salvo de perturbaciones o turbulencias causadas por el movimiento del avión en el aire. Este dispositivo, tiene un pequeño agujero en la punta para recoger la presión de impacto, que debe permanecer siempre libre de cualquier impureza (insectos, etc..) que lo obstruya. Suele tener un pequeño orificio en la parte de abajo para facilitar su limpieza.

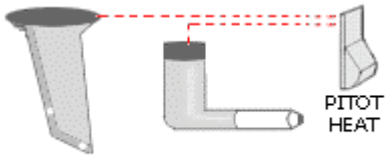


Fig.2.2.1 - Tipos de tubo pitot.

No es recomendable soplar este tubo para limpiarlo, pues esto podría causar daño a los instrumentos.

Cuenta también con una resistencia, accionable con un interruptor desde la cabina (pitot heat), que al calentarse impide la creación de hielo cuando se vuela en condiciones atmosféricas que propician su formación. Siempre que se vaya a entrar en condiciones de humedad visible, es conveniente conectar la calefacción del pitot para prevenir la formación de este hielo, y una vez desaparecidas estas condiciones, desconectarla para evitar desgastes y falsas indicaciones debido a la temperatura.

Las tomas estáticas. Como su propio nombre indica, toman la presión del aire libre en que se mueve el avión. Son unos orificios, protegidos por alguna rejilla o similar, que normalmente están situados en el fuselaje porque es donde sufren menos perturbaciones. Lo usual es que estas tomas sean dobles, una a cada lado del fuselaje, y sus conducciones se conecten en forma de Y en una sola para compensar posibles desviaciones, sobre todo en los virajes ceñidos en que una toma recibe mayor presión estática que otra.
Estas tomas, salvo en aviones capaces de volar en zonas de muy baja temperatura, no necesitan de protección antihielo debido a su ubicación. Igual que el tubo pitot deben mantenerse limpias de impurezas.

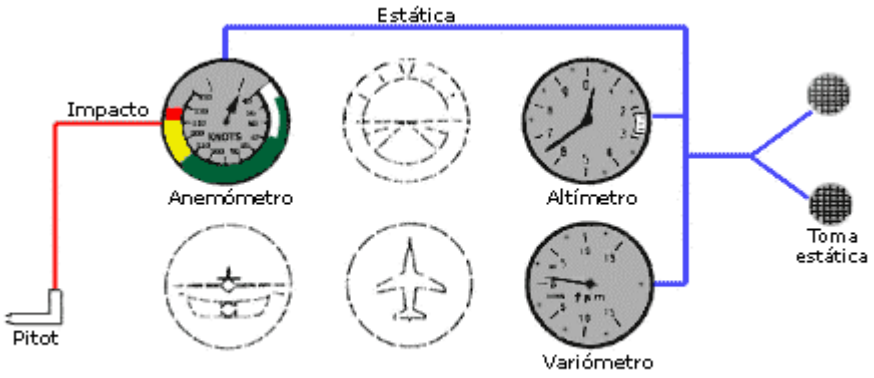


Fig.2.2.2 - Sistema de pitot y estática.

2.2.2 Propiedades giroscópicas.

Un giróscopo es un aparato en el cual una masa que gira velozmente alrededor de su eje de simetría, permite mantener de forma constante su orientación respecto a un sistema de ejes de referencia. Cualquier cuerpo sometido a un movimiento de rotación acusa propiedades giroscópicas, por ejemplo una peonza. Las propiedades giroscópicas fundamentales son: rigidez en el espacio y precesión.

La rigidez en el espacio se puede explicar por la 1ª Ley del Movimiento de Newton, que dice: "Un cuerpo en reposo tiende a estar en reposo, y un cuerpo en movimiento tiende a permanecer en movimiento en línea recta, salvo que se le aplique una fuerza externa". Siempre y cuando tenga suficiente velocidad, la fuerza de inercia que genera la peonza la hace girar erguida incluso si inclinamos la superficie sobre la cual gira, ofreciendo una gran resistencia a los intentos de volcarla o forzar su inclinación.

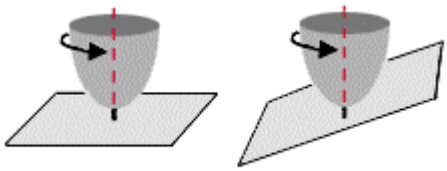


Fig.2.2.3 - Rigidez en el espacio.

La segunda propiedad -precesión- es la respuesta del objeto cuando se le aplica una fuerza deflectiva en algún borde. Volviendo a la peonza, es la reacción de esta cuando en su rápido giro la tocamos en uno de sus bordes. El resultado de esta reacción es como si el punto de aplicación de la fuerza estuviera desplazado 90º en el sentido de giro del objeto. La precesión es inversamente proporcional a la velocidad de giro (a mayor velocidad menor precesión) y directamente proporcional a la cantidad de fuerza de deflexión aplicada.

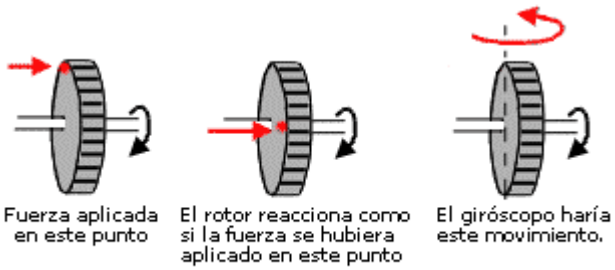


Fig.2.2.4 - Precesión giroscópica.

A la hora de fabricar un giróscopo, se procura que el elemento giratorio este construido con un material pesado o de muy alta densidad, con su masa repartida de forma uniforme y que además rote a gran velocidad con el mínimo posible de resistencia por fricción.

Este elemento giratorio se monta sobre un sistema de ejes que confieren al giróscopo distintos grados de libertad de movimientos, siendo el más comúnmente utilizado el denominado montaje universal, en el cual el giróscopo es libre de moverse en cualquier dirección sobre su centro de gravedad. Un giróscopo de este tipo se dice que tiene tres planos o tres grados de libertad.

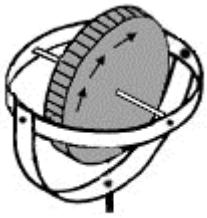


Fig.2.2.5 - Giróscopo.

Debido a sus cualidades, los giróscopos proporcionan unos planos fijos de referencia, planos que no deben variar aunque cambie la posición del avión. Gracias a esto, el piloto dispone de instrumentos que le proporcionan la posición espacial del avión con respecto a distintos ejes o planos de referencia. Estos instrumentos son: indicador de actitud también llamado "horizonte artificial", indicador de giro y virajes denominado también "bastón y bola", e indicador de dirección.

El rápido movimiento giratorio del rotor de los giróscopos se puede obtener por vacío o por un sistema eléctrico. En algunos aviones todos los giróscopos se activan con el mismo sistema (vacío o eléctrico); en otros, el sistema de vacío opera sobre el indicador de actitud y el indicador de dirección mientras el indicador de viraje es operado por el sistema eléctrico.
El sistema de vacío o succión se logra por medio de una bomba movida por el motor, cuya capacidad y tamaño dependerá de la cantidad de giróscopos del avión. Mediante este vacío se insufla una corriente de aire sobre los alabes del rotor que hace que este gire velozmente como una turbina.

La presión de vacío o succión necesaria para el buen funcionamiento de los instrumentos suele variar entre 4" y 5". En el panel de instrumentos se dispone de un indicador que muestra la cantidad de succión de este sistema. Una baja succión durante un periodo extendido de tiempo puede indicar un fallo del regulador de vacío, suciedad en el sistema o un escape en el mismo. Si el sistema falla por cualquier razón el indicador tiende a caer a cero, y los instrumentos que se nutren de este sistema fallarán. El problema es que el efecto es gradual y puede no ser notado por el piloto durante algún tiempo.



Fig.2.2.6 - Indicador de succión.

El sistema de giro-succión solo es utilizable por debajo de 30.000 pies y con temperaturas por encima de -35ºF por lo cual los aviones comerciales que vuelan por encima de esa altitud suelen estar equipados con giróscopos eléctricos.

Sumario:

- Los instrumentos básicos de vuelo, excepto la brújula, se clasifican en instrumentos basados en las propiedades del aire e instrumentos basados en giróscopos.
- El altímetro, el variómetro y el anemómetro se basan en las propiedades del aire.
- El indicador de actitud, el indicador de viraje y el indicador de dirección se basan en giróscopos.
- El sistema de pitot y estática provee las presiones necesarias, por medio del pitot y las tomas estáticas, a los instrumentos conectados a este sistema.
- Las principales propiedades giroscópicas son: rigidez en el espacio y precesión.
- Los giróscopos suelen constar de un rotor hecho de un material pesado y con su masa bien equilibrada, montado sobre un sistema de ejes que le confieren varios grados de libertad.
- Los rotores de los giróscopos se hacen girar por succión, eléctricamente, o por ambos medios.
- Un medidor ubicado en el panel de instrumentos indica el estado del sistema de succión.

 © M.A.Muñoz

2.3 ALTÍMETRO.

El altímetro muestra la altura a la cual está volando el avión. El hecho de que sea el único aparato que indica la altitud del aeroplano hace del altímetro unos de los instrumentos más importantes. Para interpretar su información, el piloto debe conocer sus principios de funcionamiento y el efecto de la presión atmosférica y la temperatura sobre este instrumento.



Fig.2.3.1 - Altímetro.

2.3.1 Principios de operación.

El altímetro es simplemente un barómetro aneroide que, a partir de las tomas estáticas, mide la presión atmosférica existente a la altura en que el avión se encuentra y presenta esta medición traducida en altitud, normalmente en pies. Su principio de operación se basa en una propiedad de la atmósfera vista en el capítulo 1, "la presión disminuye con la altura".

2.3.2 Construcción.

El altímetro consiste en una caja cilíndrica, dentro de la cual hay una o más cápsulas aneroides hechas con una fina capa de metal, por ejemplo cobre, a modo de membranas herméticas, y taradas con una presión estándar. Una toma conectada al sistema de estática permite la entrada de la presión atmosférica dentro de la caja, presión que aumenta o disminuye conforme el avión desciende o asciende respectivamente. Así pues, la diferencia de presión entre la caja y el interior de las cápsulas aneroides, provoca que estas últimas se dilaten o contraigan, movimiento que, adecuadamente calibrado, se transmite mecánicamente a un sistema de varillas y engranajes que hacen moverse las agujas del altímetro.

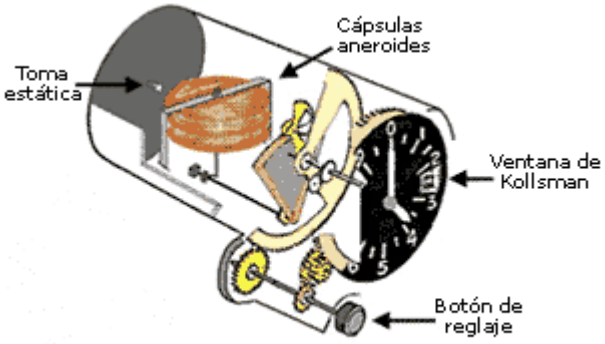


Fig.2.3.2 - Construcción del altímetro.

El frontal visible del altímetro consta de una esfera con un dial numerado, unas agujas indicadoras, y una ventanilla de calibración entre los números 2 y 3 (ventana de Kollsman) que se ajusta con un botón giratorio situado en el lateral.

Este tipo de altímetro sencillo es el modelo habitual en los aeroplanos ligeros, pero hay altímetros más precisos y sofisticados. Algunos presentan la información en forma digital; otros tienen un dispositivo que mediante procedimientos electrónicos codifica la altitud y la transmite a los radares de las estaciones en tierra (torres y centros de control); otros han sustituido el sistema de varillas y engranajes por dispositivos electrónicos; etc.

2.3.3 Lectura del altímetro.

Generalmente, el dial está graduado con números que van de 0 a 9 en el sentido de las agujas del reloj, con divisiones intermedias de 20 en 20 pies. Aunque su lectura no debería presentar ninguna dificultad, se debe prestar atención a la forma en que se muestra la altitud, debido a que puede hacerse mediante agujas (dos o tres), mediante contadores, o de forma mixta. Si el altímetro tiene dos agujas, que es lo habitual en aviones ligeros, la menor indica miles de pies y la mayor centenas de pies; una indicación en forma de cuña es visible a altitudes por debajo de 10000 pies e invisible por encima de esa altitud. Si tiene tres agujas, la más pequeña indica decenas de miles, la intermedia miles y la mayor centenas de pies. Si el altímetro presenta la altura solo mediante agujas indicadoras, se deben leer estas de menor a mayor tamaño, como un reloj.



Fig.2.3.3 - Lectura del altímetro de dos agujas.

2.3.4 Presiones referenciales.

Según hemos visto, el altímetro presenta en unidades de altitud los cambios de presión de la atmósfera real respecto a la presión según la atmósfera tipo con que están calibradas las cápsulas aneroides. Con esta premisa, este instrumento solo mostraría la altitud correcta si los valores atmosféricos coincidieran con los de la atmósfera tipo. Pero como es bastante improbable que las condiciones reales coincidan con las estandar, además de que estas condiciones cambian continuamente y son distintas de un lugar a otro, el altímetro sería poco fiable y el vuelo se haría arriesgado si no fuera por la posibilidad de ajustarlo y compensarlo para situaciones no estándar.

Este ajuste se hace mediante el botón de reglaje, que permite seleccionar una presión de referencia que se irá mostrando en la ventanilla de calibración a medida que se gira el botón. La escala mostrada en esta ventana puede estar graduada en milibares, en pulgadas de mercurio o ambas. Al seleccionar una presión de referencia, en realidad se está ajustando la marcación de las agujas a la dilatación que en ese momento tienen las cápsulas aneroides en condiciones de atmósfera real. Un simil: para que un reloj marque la hora correcta, primero hay que ponerlo en hora, es decir ajustar las manillas con la maquinaria que las mueve, en base a la hora real.

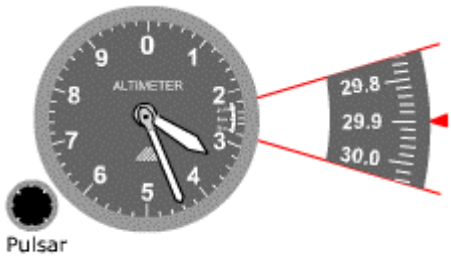


Fig.2.3.4 - Calaje del altímetro.

Y ahora una buena pregunta ¿como sabemos que presión de referencia seleccionar en el altímetro?.

La mayoría de los aeródromos y todas las estaciones de seguimiento en tierra disponen de aparatos que miden la presión atmosférica. Puesto que la altura de la estación es fija, aplicando una sencilla regla (la presión decrece 1" por cada 1000 pies o 110 milibares por cada 1000 metros) "deducen" la presión al nivel del mar; cuando un piloto establece contacto, se le comunica esta presión deducida.

Los distintos tipos de presión referencial que podemos colocar en la ventanilla del altímetro son:

QNH. Presión al nivel del mar deducida de la existente en el aeródromo, considerando la atmósfera con unas condiciones estándar, es decir sin tener en cuenta las desviaciones de la temperatura real con respecto a la estándar. Esta presión de referencia es la más utilizada por los pilotos (al menos en España) y normalmente las torres de control y las estaciones de seguimiento nos darán la presión QNH.
La utilidad de esta presión de referencia se debe a que en las cartas de navegación y de aproximación a los aeródromos, las altitudes (de tráfico, de circuito con fallo de radio, obstáculos, balizas, etc...) se indican respecto al nivel del mar. Con esta presión de referencia, al despegar o aterrizar el altímetro debería indicar la altitud real del aeródromo.

QNE. Presión estándar al nivel del mar. Por encima de una determinada altitud denominada de transición (normalmente 6000 pies) los reglamentos aéreos establecen que todos los aviones vuelen con la misma presión de referencia.
Esta presión, 29,92" o 1013 milibares, es la correspondiente a la atmósfera tipo al nivel del mar. De esta manera, cualquier cambio en las condiciones atmosféricas afectan por igual a todos los aviones, garantizando la altura de seguridad que los separa.

QFE. Presión atmosférica en un punto de la corteza terrestre. No utilizada en la práctica, al menos en España. Si calamos el altímetro con la presión QFE que nos dé un aeródromo, este marcará 0 al despegar o aterrizar en el mismo.

QFF. Presión al nivel del mar, deducida de forma similar a la QNH pero teniendo en cuenta los gradientes de presión y temperatura reales en vez de los de la atmósfera estándar. Prácticamente no se utiliza.

2.3.5 Calaje del altímetro.

Una vez calado el altímetro con el QNH al despegar de un aeródromo, es razonable pensar que las condiciones atmosféricas no cambiarán mucho en un determinado radio de vuelo, pero esto no garantiza nada y mucho menos a medida que nos alejamos del aeródromo. Por ello, es sensato mantener una altura suficiente que permita sortear los obstáculos en nuestra ruta con seguridad.

Este hecho es más relevante todavía si volamos de una zona de altas presiones o temperaturas a otra zona de bajas presiones o temperaturas. Se debe tener en cuenta que:

- Con una misma presión de referencia ajustada en el altímetro, al volar de un lugar cálido a otro más frío, en este último lugar el altímetro marcará una altitud mayor que la real de vuelo. El mismo efecto se produce al volar de una zona de altas presiones a otra de bajas presiones. Volar de un sitio frío a otro más cálido, o de una zona de bajas presiones a otra de altas presiones produce el efecto inverso.
- Con el altímetro calado a 29,92" o 1013 mb., si la presión real es baja el altímetro marcará más altura que la real, y si la presión es alta el altímetro marcará de menos.
- Con ese mismo calaje, si la temperatura es menor que la estándar el altímetro marcará más altura que la real y si la temperatura es mayor marcará menos.
- La regla nemotécnica a tener presente es muy sencilla: En una zona de baja o menor temperatura o presión volamos más bajo de lo indicado; en una de alta o mayor temperatura o presión volamos más alto.

BAJA / MENOR: volamos más bajo; ALTA / MAYOR: volamos más alto.

Por ejemplo, tal como muestra la fig.2.3.5, supongamos el altímetro calado en el despegue con un QNH de 30.22" que supone altas presiones en ese área. Se sube a una altitud de 3000 ft. y trás un tiempo de vuelo el avión se aproxima a un destino afectado por bajas presiones. Si el piloto no cambia el calaje del altímetro, este interpreta (como siempre) la presión más baja del lugar como mayor altitud y por tanto, señala una altura mayor (3000 ft.) que la real del avión sobre el nivel medio del mar (2000 ft.) lo cual puede comprometer el sortear obstáculos además de que puede resultar peligroso encontrarnos con otros aviones, o que otros aviones se encuentren con nosotros, a una altura inesperada debido a la distinta calibración de los altímetros. Recuerde el dicho: "Desde alto a bajo, mira debajo".



Fig.2.3.5 - Ajuste del altímetro a los cambios QNH en distintas áreas.

Para mayor seguridad en vuelo, a lo largo de una ruta se debe usar el ajuste de altímetro QNH que corresponda a la estación más cercana en un radio de 100 millas.

Cuando el altímetro está calado con QNH, en las comunicaciones con estaciones o torres de aeropuertos hablamos de altitudes de vuelo (4500 pies, 5000 pies, ...).

Existe una determinada altitud, denominada **altitud de transición**, que es actualmente de 6000 pies en todos los aeropuertos españoles excepto en Granada que es de 7000, por encima de la cual se debe calar el altímetro con QNE. Con esta presión de referencia en el altímetro se habla de niveles de vuelo. El nivel de vuelo es la altitud marcada por el altímetro sin las dos cifras finales (7500 pies = Nivel 75; 10000 pies = Nivel 100...).

La línea de 6000 pies llamada altitud de transición cuando se está en ascenso, se denomina **nivel de transición** en descenso. Por debajo del nivel de transición lo apropiado es ajustar el altímetro con el QNH.



Fig.2.3.6 - Altitud y Nivel de transición.

2.3.6 Tipos de altitud.

Debido al funcionamiento del altímetro y a las diferentes presiones de referencia que se pueden poner, se entiende por altitud a la distancia vertical existente entre el avión y un punto o nivel de referencia. Puesto que hay varios niveles de referencia también hay varios tipos de altitud. Las altitudes habitualmente definidas en los manuales son:

- Altitud indicada. Es la leída directamente del altímetro. Si está calado con el QNH, la altitud indicada será aproximadamente igual a la altitud del avión sobre el nivel medio del mar (MSL).
- Altitud verdadera. O altitud real, es la altitud real sobre el nivel del mar. La altitud de aeropuertos, montañas, obstáculos, etc.. en las cartas se dan en altitud verdadera.
- Altitud absoluta. Distancia vertical real entre el avión y la tierra.
- Altitud de presión. Altitud leída del altímetro calado con QNE.

- Altitud de densidad. Altitud de presión corregida con la desviación de temperatura no estándar. Conocer la altitud de densidad es necesario para determinar cuánta pista es necesaria para despegar y aterrizar, así como la velocidad de ascenso, sobre todo en días calurosos y húmedos en aeropuertos con una altitud considerable sobre el nivel medio del mar.
- Altitud determinada por radar. Los aviones comerciales están equipados con radioaltímetros que indican la altitud absoluta, la cual sirve a los pilotos para determinar la altitud de decisión en las fases finales de aproximación y aterrizaje, especialmente cuando el techo y la visibilidad son bajos.

Notas:

Cuando se vuela sobre terreno de altas montañas, ciertas condiciones atmosféricas pueden causar que el altímetro indique una altitud de hasta 1000 pies mayor que la realidad; en estos casos conviene ser generoso con los márgenes de seguridad que nos concedamos.

La contracción/expansión de las cápsulas aneroides sigue el ritmo del cambio de presión según la atmósfera tipo, por lo que ajustar el altímetro con una presión de referencia NO significa que este compense automáticamente las posibles irregularidades atmosféricas a cualquier altura, particularmente los cambios de temperatura no estándar.

Sumario.

- El altímetro es un barómetro que muestra los cambios de presión traducidos en altitud, normalmente pies.
- Su funcionamiento se basa en la propiedad de que la presión atmosférica es inversamente proporcional a la altura: "a mayor altura menor presión y viceversa"
- La presión recibida por el altímetro proviene de las tomas estáticas.
- Las cápsulas aneroides del altímetro se expanden/contraen en función de los cambios de presión, transmitiendo estos cambios a un sistema de varillas y engranajes que mueven los indicadores de altitud.
- La altitud se puede presentar de diversas maneras: agujas, digital, contadores, etc...
- En la ventanilla de Kollsman se muestra la presión de referencia seleccionada con el botón de ajuste, en pulgadas de mercurio, milibares, o ambas.
- Las presiones referenciales más utilizadas son: QNH y QNE.
- Hay varios tipos de altitud según la presión referencial utilizada: altitud indicada, altitud verdadera, altitud absoluta, altitud de presión, altitud de densidad, ... Las usadas normalmente son la altitud indicada y la altitud de presión.
- Cuando se vuela de una zona de alta presión o temperatura a otra zona de baja presión o temperatura, en esta última zona el avión vuela más bajo de lo que marca el altímetro. Recordar "de alto a bajo mira debajo".
- Si el vuelo es de una zona de baja a otra de alta, en esta última el avión está volando más alto de lo que indica el altímetro.
- La regla nemotécnica es: BAJA/MENOR: volamos más bajo; ALTA/MAYOR: volamos más alto.
- La altura de transición en la mayoría de los aeropuertos españoles es de 6000 pies.
- Por encima de la altitud de transición se ajusta el altímetro con QNE. Por debajo del nivel de transición se ajusta con el QNH.
- Con presión QNH en el altímetro se habla de altitudes de vuelo; con QNE se habla de niveles de vuelo.
- El calaje del altímetro no implica que este compense las irregularidades atmosféricas a cualquier nivel de vuelo.
- En las cercanías de los aeródromos, donde el tráfico se hace más intenso, el que todos los aviones vuelen con alturas referenciadas a la misma calibración del altímetro incrementa la seguridad aeronáutica.

2.4 VARIÓMETRO.

El variómetro o indicador de velocidad vertical muestra al piloto dos cosas: a) si el avión está ascendiendo, descendiendo, o vuela nivelado; b) la velocidad vertical o régimen, en pies por minuto (f.p.m), del ascenso o descenso. Este instrumento también se denomina abreviadamente VSI (Vertical Speed Indicator).



Fig.2.4.1 - Variómetro.

2.4.1 Principios de operación.

El principio de funcionamiento de este aparato, similar al del altímetro, está basado en la contracción/expansión de un diafragma o membrana debido a la diferencia de presión entre el interior y el exterior de la misma. Aunque este instrumento funciona por presión diferencial, únicamente necesita recibir la presión estática.

2.4.2 Construcción.

Este instrumento consiste en una caja hermética, salvo un pequeño orificio calibrado en fábrica que la conecta al sistema de estática. Dentro de esta caja hay una membrana o diafragma acoplado a unas varillas y engranajes que amplifican su movimiento y lo transmiten a la aguja indicadora. Este diafragma recibe también la presión atmosférica desde el sistema de estática.

Cuando el aeroplano está en el suelo o en vuelo nivelado, la presión dentro de la membrana y la existente en la caja son iguales y la aguja debe marcar cero si el instrumento está bien calibrado. Pero cuando el avión asciende o desciende, la membrana acusa inmediatamente el cambio de presión (altura) mientras que en la caja este cambio se produce gradualmente debido a la toma por el orificio calibrado. Esta diferencia de presión hace que la membrana se dilate o contraiga, movimiento que a través del sistema de varillas y engranajes se transmite a la aguja indicadora.
En otros casos, la presión solo incide en el interior de la membrana y se transmite a la caja por el orificio calibrado, situado en este caso en la membrana. El funcionamiento es el mismo; la membrana acusa el cambio de presión de forma inmediata en tanto en la caja se percibe gradualmente a través del orificio de la membrana.



Fig.2.4.2 - Modelo de variómetro.

En la medida que el avión continúe en ascenso o descenso seguirá existiendo diferente presión entre el interior y el exterior de la membrana y esto se reflejará en la aguja indicadora; pero al nivelar el avión las presiones tenderán a igualarse y la aguja deberá marcar cero.

2.4.3 Lectura del variómetro.

El variómetro tiene una única aguja sobre un dial con una escala que comienza en cero en la parte central de la izquierda. Su lectura es muy sencilla e intuitiva: las marcas por encima del cero indican ascenso, las situadas por debajo descenso, y el cero vuelo nivelado. En aviones ligeros, la escala suele estar graduada con cada marca representando una velocidad de ascenso o descenso de cien pies por minuto (100 f.p.m.), hasta un máximo de 2000 f.p.m.



Fig.2.4.3 - Indicaciones del variómetro.

2.4.4 Errores de lectura.

Los cambios súbitos de la posición de morro, maniobras de viraje bruscas, o el vuelo en aire turbulento pueden producir falsas presiones estáticas que hagan las indicaciones del instrumento erróneas o inexactas.

Tal como está construido, este instrumento lleva implícito un retraso en la indicación exacta del número de pies por minuto de ascenso o descenso, retraso que puede llegar a ser de hasta 9 segundos; la indicación de subida o bajada es sin embargo inmediata. Por esta razón no debe utilizarse el VSI como referencia principal de vuelo nivelado, pues cuando el avión comience a ascender o descender, el VSI indicará inicialmente el cambio en la dirección correcta, pero tardará algunos segundos en detectar la tasa real de ascenso o descenso. Perseguir la aguja del VSI para mantener un vuelo nivelado es como meter el avión en una montaña rusa.

En caso de fallo en las tomas de presión estática por formación de hielo, obturación, etc... los instrumentos conectados a este sistema darán lecturas erróneas. Si el avión no dispusiera de tomas de emergencia o estuvieran también estropeadas, se puede romper el cristal de uno de estos instrumentos, normalmente el variómetro, para proveer al sistema de una toma de presión estática alternativa.
En estas circunstancias, las indicaciones del variómetro son contrarias, indicando ascenso cuando se desciende y descenso cuando se asciende; el resto de instrumentos darán lecturas ligeramente más altas y con retraso.

Sumario:

- El variómetro es un instrumento sensible a la presión que indica la tasa o régimen de ascenso/descenso del avión en pies por minuto.
- Su funcionamiento está basado en la contracción/expansión de un diafragma o membrana por la diferencia de presión entre el interior y el exterior de la misma.
- Aunque este aparato funcione por presión diferencial, solo necesita recibir la presión estática.
- Mientras que los cambios de presión (altura) se acusan en la membrana de forma inmediata, en la caja se perciben gradualmente por un pequeño orificio calibrado.

- El movimiento de contracción/expansión se transmite por varillas y engranajes a la única aguja indicadora del instrumento.
- Esta aguja se mueve sobre un dial con una escala que comienza a partir de cero en el lado izquierdo del frontal del aparato.
- Cada marca de la escala suele representar cien pies por minuto (100 f.p.m.), de ascenso si las marcas están por encima de cero, o de descenso si están por debajo.
- Puede haber errores de lectura por maniobras bruscas o aire turbulento.
- Aunque se produce un retraso en la indicación de la tasa exacta de ascenso/descenso, la indicación de si el aeroplano asciende o desciende es inmediata.
- En caso de avería en el sistema de estática, romper el cristal del variómetro proporciona al avión una toma de presión estática de emergencia.
- En la circunstancia anterior, el variómetro da indicaciones contrarias y los demás instrumentos dan lecturas con retraso y más altas.

2.5 ANEMÓMETRO.

El indicador de velocidad aerodinámica o anemómetro es el instrumento que indica la velocidad relativa del avión con respecto al aire en que se mueve. Normalmente muestra esta velocidad en millas terrestres por hora "m.p.h.", nudos "knots" (1 nudo=1 milla marítima por hora), o en ambas unidades.

Este instrumento es uno de los más importantes, quizá el que más, debido a que en casi todas las operaciones de vuelo el ingrediente común es el parámetro velocidad.

En los manuales de operación no hay casi ninguna maniobra que no refleje una velocidad a mantener, a no sobrepasar, recomendada, etc.. además de que la mayoría de los números, críticos y no tan críticos, con los que se pilota un avión se refieren a velocidades: velocidad de pérdida, de rotación, de mejor ascenso, de planeo, de crucero, de máximo alcance, de nunca exceder, etc..



Fig.2.5.1 - Anemómetro.

2.5.1 Principios de operación.

El anemómetro es en realidad y básicamente un medidor de presión, que transforma la presión diferencial en unidades de velocidad. La diferencia entre la presión total proporcionada por el tubo de pitot (**Pe**+**Pd**) y la presión estática (**Ps**) dada por las tomas estáticas, es la presión dinámica (**Pe**+**Pd**-**Pe**=**Pd**), que es proporcional a $\mathbf{1/2dv^2}$.

2.5.2 Construcción.

Similar a los otros instrumentos basados en las propiedades del aire, consta de una caja dentro de la cual hay una cápsula barométrica conectada, mediante varillas y engranajes, a una aguja indicadora.
La cápsula barométrica esta conectada a la toma de pitot, manteniendo en su interior la presión de impacto o total proporcionada por dicha toma, mientras que a través de un orificio en la caja se hace llegar a esta la presión existente en las tomas estáticas.
Esta diferencia de presión entre el interior y el exterior de la cápsula aneroide hace que esta se dilate o contraiga, movimiento que calibrado adecuadamente se transmite mediante varillas y engranajes a la aguja indicadora.

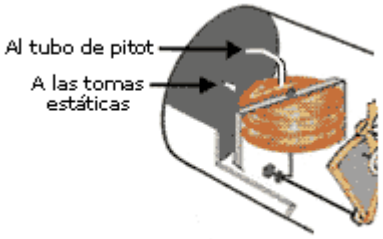


Fig.2.5.2 - Construcción anemómetro.

En el suelo y con el avión parado, la presión de impacto y la estática son iguales y por lo tanto este instrumento marcará cero. Pero con el avión en movimiento, en el suelo o en el aire, la presión de impacto será mayor que la presión en las tomas estáticas; esto hará que el diafragma del anemómetro se expanda según la diferencia entre ambas presiones y mueva la aguja del indicador en proporción a esta diferencia.
En la medida que el avión acelere o decelere, el aumento o disminución de la presión diferencial hará que la aguja indique el incremento o disminución de velocidad.

El frontal visible de este instrumento, consta básicamente de una esfera con una escala numerada, una aguja indicadora, y alrededor de la escala numerada unas franjas de colores. Algunos tienen además unas ventanillas graduadas y un botón giratorio de ajuste. más adelante, en este mismo capítulo, se explica el significado de esta escala de colores, y para que sirve y como se maneja el botón de ajuste.

2.5.3 Lectura del anemómetro.

La lectura del anemómetro es muy sencilla: una aguja marca directamente la velocidad relativa del avión en la escala del dial. Algunos anemómetros tiene dos escalas, una en m.p.h. y otra en nudos; se puede tomar como referencia una u otra, pero poniendo cuidado para no confundirse de escala. Por ejemplo, si queremos planear a 70 nudos y nos equivocamos de escala, planeamos realmente a 70 m.p.h., velocidad sensiblemente inferior a la deseada.

Conviene resaltar que el anemómetro mide la velocidad *relativa* del avión respecto al aire que lo rodea NO respecto al suelo. La velocidad respecto al suelo dependerá del viento en cara o en cola que tenga el avión, y de la velocidad de dicho viento. La velocidad indicada por el anemómetro se relaciona solo indirectamente con la velocidad del avión respecto al suelo.

Hay dos fenómenos que influyen en la medición del anemómetro: la densidad del aire y su velocidad. Una indicación de *x* nudos puede ser debida a una velocidad alta combinada con una baja densidad del aire, pero también puede ser indicada por una velocidad menor en un aire más denso. Esto debe ser tenido en cuenta para conocer la velocidad real, pero no en lo referente a las velocidades de maniobra; respecto a estas no es necesario hacer correcciones por densidad a distintas altitudes, el indicador lo hace por nosotros; fiemosnos del indicador de velocidad. Las velocidades de maniobra (pérdida, mayor ángulo de ascenso, rotación, etc.) se refieren a velocidades leídas en el anemómetro **.**

2.5.4 Nomenclatura de velocidades.

La mayoría de los manuales de operación utilizan una nomenclatura de velocidades, que derivan, como no, de las correspondientes siglas en ingles. En algunos casos estas siglas están precedidas por la letra K de "knots - nudos", como por ejemplo KIAS para la velocidad IAS.

Velocidad Indicada - IAS (Indicated Airspeed): Es la velocidad leída directamente del anemómetro. Las velocidades de despegue, ascenso, aproximación y aterrizaje se basan en la IAS. La velocidad indicada disminuye con la altura, debido a que al disminuir la densidad del aire con la altitud el número de partículas que impactan en el tubo pitot es menor, efecto que es más apreciable en aviones que operan a grandes altitudes.

Velocidad Calibrada - CAS (Calibrated Airspeed): Es la IAS corregida por el error de instalación. Puede haber un pequeño error en la tara o calibración del aparato en fábrica o en la instalación del anemómetro. Este error no es mayor de 1 o 2 nudos, y el piloto no comete un gran error considerando la CAS igual a la IAS. De hecho, los manuales suelen asumir que este error es cero y por tanto IAS y CAS son iguales.

Velocidad Verdadera - TAS (True Airspeed): Es la velocidad corregida por el error de densidad. El sistema está construido teniendo en cuenta la densidad estándar del aire al nivel del mar. Pero volando a una altitud distinta, la densidad también es distinta y por tanto la medición ya no es tan precisa. Se puede calcular la TAS a partir de un computador de vuelo, aunque algunos anemómetros llevan incorporada un pequeño calculador que indica en una ventanilla esta velocidad. En la fig.2.5.1, se muestra en la parte superior del instrumento una ventanilla en la cual aparece un dial movible sobre una pequeña escala de temperaturas. Moviendo el dial con el botón giratorio hasta que queden enfrentadas la altitud con la temperatura exterior, se muestra la TAS en la ventanilla de la parte inferior del instrumento. Una regla para computar la TAS aproximadamente consiste en añadirle a la velocidad indicada un 2% de esta velocidad por cada 1000 pies de altura. Por ejemplo: con una velocidad IAS de 80 nudos a 4000 pies calcularíamos una TAS de 86.4 nudos (80 + (2*4)% de 80).

2.5.5 Códigos de colores.

Para recibir la certificación de la F.A.A. los aviones fabricados a partir de 1945 que tengan un peso de hasta 12500 lbs. (5670 kg), deben contar con un anemómetro conforme con un sistema de marcas de colores estándar. Este sistema de marcas de colores permite al piloto determinar a simple vista ciertas limitaciones de velocidad que son importantes para manejar el avión con seguridad. Las marcas de colores y su traducción a velocidades IAS son las siguientes:

Arco verde - Velocidades de operación normal del avión. El extremo inferior de este arco corresponde a la velocidad de pérdida con el avión limpio, peso máximo y sin motor (*Vs1*). El extremo superior marca el límite de la velocidad normal de operación (*Vno*). En este rango de velocidades el avión no tendrá problemas estructurales en caso de turbulencias moderadas.

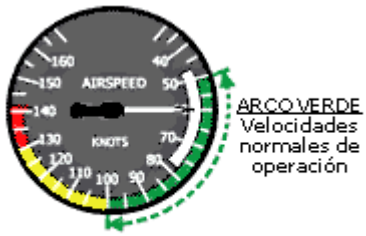


Fig.2.5.3 - Arco verde anemómetro.

Arco blanco - Velocidades de operación con flaps extendidos, o velocidades a las cuales se pueden extender los flaps sin sufrir daños estructurales. El extremo inferior de este arco corresponde a la velocidad de pérdida con los flaps extendidos, peso máximo y sin motor (*Vs0*). El extremo superior indica la velocidad límite de extensión de los flaps (*Vfe*). Los flaps deben deflectarse **únicamente** en el rango de velocidades del arco blanco.

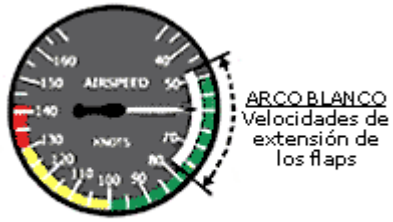


Fig.2.5.4 - Arco blanco anemómetro.

Arco amarillo - Margen de precaución. A estas velocidades solo se puede volar en aire no turbulento y aún así no deben realizarse maniobras bruscas que podrían dañar el avión.

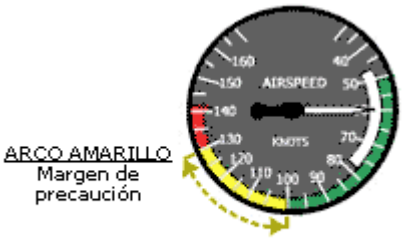


Fig.2.5.5 - Arco amarillo anemómetro.

Arco rojo - Velocidad máxima de vuelo del avión en aire no turbulento (*Vne*). Esta velocidad no debe ser nunca rebasada por el avión ni siquiera en aire sin turbulencias so pena de producirle daños estructurales.



Fig.2.5.6 - Arco rojo anemómetro.

Las limitaciones de velocidad en los arcos amarillo y rojo se deben al factor de carga, cuyo valor varía en proporción a la velocidad del avión. A velocidades moderadas, la fuerza de sustentación máxima es solo ligeramente mayor que la necesaria para soportar el peso del aeroplano. En este caso, el factor de carga no puede hacerse excesivo, incluso si el avión encuentra ráfagas de intensidad severa o se mueven bruscamente los controles, porque el avión entrará en pérdida antes de que esto suceda.
Pero a altas velocidades, la capacidad de sustentación del ala es tan grande que un súbito movimiento de los controles o una ráfaga fuerte puede incrementar el factor de carga más allá de los límites soportados y hacernos perder o dañar un ala. Recordemos que es preferible una situación de pérdida, que es recuperable, que sin un ala que es irrecuperable. Esta relación entre velocidad y seguridad es la causa de las limitaciones marcadas por los arcos amarillo y rojo del indicador de velocidad.

Notas:

En el capítulo 1.7 se afirma que la mayoría de los números críticos de un avión están *relacionados* con el ángulo de ataque, y que la mejor información sobre el ángulo de ataque nos la da el anemómetro. Esto podría dar lugar a pensar en el anemómetro como el sustituto de un indicador de ángulo de ataque inexistente.
Por otro lado, a primera vista puede parecer que el anemómetro es un instrumento "incompleto": para conocer el ángulo de ataque sería preferible un instrumento específico, además de que no informa directamente de la velocidad respecto al suelo. Veamos algunas razones de porqué este instrumento mide la velocidad relativa y no otra cosa.

Como vimos en 1.7.4, la presión que mueve la aguja del indicador es la misma presión aerodinámica que mantiene las alas, según la fórmula de la sustentación. Por su construcción, cualquier variación de esta presión aerodinámica debida a la densidad o la fuerza del viento se reflejará automáticamente en este instrumento. El indicador de velocidad nos hace por tanto un favor al medir la velocidad relativa y no la velocidad per se, pues nos permite realizar la misma maniobra (p.ejemplo despegar) con una velocidad de anemómetro específica con independencia de la densidad del aire, fuerza del viento, etc... Conocer la presión que mantiene al avión en el aire (en forma de velocidad) es más importante que conocer la velocidad del avión respecto al suelo.

Imaginemos por un momento que este instrumento midiera la velocidad respecto al suelo. Para lograr una velocidad aerodinámica que sustente al avión, tendríamos que conocer y calcular en cada momento la densidad del aire y la fuerza del viento, y esperar que de un minuto al siguiente no cambie la fuerza de este viento y recalcular. Parece mucho más complicado y arriesgado que seguir la velocidad del anemómetro ¿no?.

Sumario.

- El anemómetro indica la velocidad relativa del avión con respecto al aire en que se mueve.
- El anemómetro es un medidor que transforma la presión diferencial en unidades de velocidad.
- Para su medición necesita de la presión de impacto del tubo de pitot y de la presión estática.
- La diferencia entre ambas presiones hace que la cápsula aneroide del aparato se dilate o contraiga, movimiento que se transmite por medio de varillas y engranajes a la aguja indicadora.
- El frontal visible consta de una esfera con una escala numerada, la aguja indicadora, y alrededor de la escala numerada unas franjas de colores.
- Algunos tienen además unas ventanillas graduadas y un botón giratorio de ajuste para computar la TAS.
- La velocidad indicada por el anemómetro se relaciona solo indirectamente con la velocidad del avión respecto al suelo.
- Las velocidades de maniobra se refieren a velocidades leídas en el anemómetro**.**
- Las velocidades de operación normal del avión son las comprendidas en el arco verde.
- El arco blanco es el rango de velocidades de operación con flaps.
- El arco amarillo indica precaución; volar en este rango únicamente si no hay turbulencias en el aire.
- La velocidad del arco rojo no debe ser nunca rebasada por el avión so pena de producirle daños estructurales.

 © M.A.Muñoz

2.6 INDICADOR DE ACTITUD.

El indicador de actitud, también llamado horizonte artificial, es un instrumento que muestra la actitud del avión respecto al horizonte. Su función consiste en proporcionar al piloto una referencia inmediata de la posición del avión en alabeo y profundidad; es decir, si está inclinado lateralmente, con el morro arriba o abajo, o ambas cosas, con respecto al horizonte. La incorporación del horizonte artificial a los aviones ha sido fundamental para permitir el vuelo en condiciones de visibilidad reducida o nula.



Fig.2.6.1 - Horizonte artificial.

Este instrumento opera en base a una propiedad giroscópica, concretamente la de rigidez en el espacio. (2.2.2)

2.6.1 Construcción.

El horizonte artificial consta de un giróscopo de rotación horizontal montado sobre un sistema de ejes que le confieren tres grados de libertad (montaje universal), dentro de una caja hermética. Este giróscopo tiene fijada una esfera visible, con una barra horizontal de referencia a la altura del eje de giro, por encima de la cual la esfera es de color azul (cielo) y por debajo marrón (tierra).
Este aparato está conectado al sistema de succión, necesario para producir la corriente de aire que incide sobre los alabes del rotor y hace girar este a unas 16.000 r.p.m. aproximadamente.

En el frontal de la caja, se fija un dial de presentación con un avioncito en miniatura y una escala graduada en el semicírculo superior. Las marcas de esta escala están separadas de 10º en 10º entre 0º y 30º, con unas marcas más anchas representando 30º, 60º y 90º. En algunos indicadores, la escala graduada se encuentra en la esfera del giróscopo.

Este instrumento puede contar también con unas marcas horizontales por encima y por debajo de la barra del horizonte, como referencias de la actitud de cabeceo del avión, marcas que suelen indicar 5º, 10º, 15º y 20º de morro arriba o abajo.

Adosado a la caja se encuentra un botón giratorio de ajuste del avioncito.

Cuando el avión se incline hacia un lado u otro, suba o baje el morro, o cualquier otro movimiento combinado, la caja y su dial con el avioncito en miniatura realizará el mismo movimiento. Pero por la propiedad de rigidez en el espacio, el giróscopo debe permanecer siempre paralelo al horizonte, y con él su esfera visible con la barra horizontal. De esta manera se proporciona al piloto la referencia del horizonte y la actitud del avión respecto al mismo. La relación del avión miniatura con el horizonte de referencia es la misma que la del avión con el horizonte real.

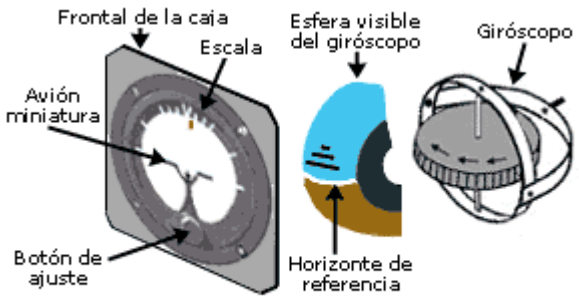


Fig.2.6.2 - Componentes del horizonte artificial.

2.6.2 Lectura.

Al comportarse visualmente igual que el horizonte real, no exige al piloto esfuerzo para su interpretación; no obstante conviene tener en cuenta algunos detalles.

En primer lugar, y mediante el botón giratorio de ajuste, con el avión recto y nivelado, el piloto debe alinear las alas del avión en miniatura con la barra que representa el horizonte artificial para tener una referencia inicial. Un ajuste más fino se puede hacer teniendo en cuenta la carga y centrado de la misma en el avión. Se ha de tener en cuenta que el indicador de actitud no refleja directamente si el aeroplano está en vuelo recto y nivelado o ascendiendo o descendiendo; lo único que hace es indicar la posición del avión con respecto al horizonte. Por ejemplo, con el avión cargado en la parte trasera, su actitud de vuelo recto y nivelado será con el morro un poco más alto de lo normal; con esta actitud de morro arriba el horizonte queda un poco por debajo, lo cual debe traducirse en poner el avioncito por encima del horizonte de referencia.

La escala graduada del semicírculo superior representa los grados de alabeo del avión y la lectura de la cantidad en si mismo no debe ofrecer problemas. Pero en algunos instrumentos, la escala se mueve en dirección opuesta a la cual el avión está realmente alabeando y esto puede confundir a los pilotos en cuanto a determinar hacia donde se está produciendo el alabeo. En estos casos, la escala solo debe ser utilizada para controlar el número de grados de alabeo, determinandose la dirección por la posición de las alas del avión miniatura con respecto al horizonte de referencia.

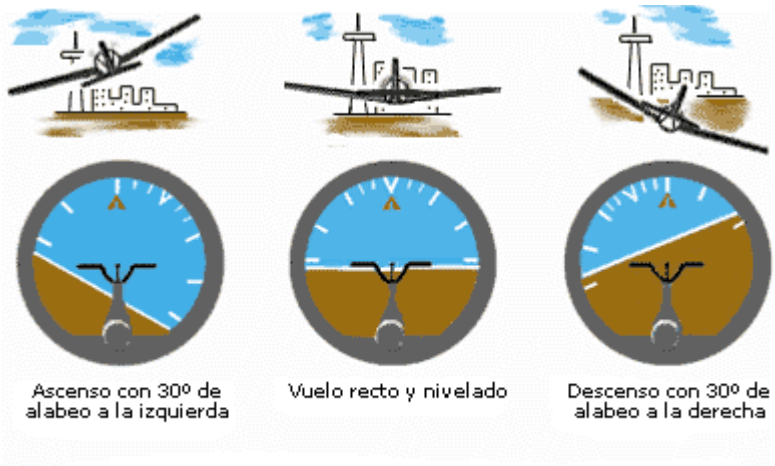


Fig.2.6.3 - Interpretación del horizonte artificial.

Sumario.

- El horizonte artificial es un instrumento que muestra la actitud del avión respecto al horizonte.
- Proporciona al piloto una referencia inmediata de la posición del avión en alabeo y profundidad.
- Este instrumento opera en base a la propiedad giroscópica de rigidez en el espacio.
- El horizonte artificial consta de un giróscopo de rotación horizontal que tiene fijada una esfera visible con una barra horizontal de referencia a la altura del eje de giro. La rotación del giróscopo la proporciona el sistema de succión.
- El frontal de la caja tiene un avión en miniatura y una escala graduada en el semicírculo superior, y adosado a la caja se encuentra un botón giratorio de ajuste de este avioncito.
- Al comportarse visualmente igual que el horizonte real, no exige al piloto esfuerzo para su interpretación.
- El botón giratorio de ajuste sirve para colocar el avión miniatura en una posición de referencia respecto a la línea que representa el horizonte.
- La escala graduada del semicírculo superior representa la cantidad de grados de alabeo, y hay que tener presente que aunque la lectura de grados sea correcta, en algunos instrumentos la escala se mueve al contrario que el alabeo real con lo que puede confundir al piloto.
- En cualquier caso, el avión en miniatura nos indica de forma veraz hacia donde se efectúa el alabeo.

 © M.A.Muñoz

2.7 INDICADOR DE DIRECCIÓN.

También llamado direccional giroscópico o direccional, este instrumento proporciona al piloto una referencia de la dirección del avión, fácilitándole el control y mantenimiento del rumbo.

El desplazamiento de un lugar a otro en avión, se realiza a través de una ruta aérea previamente elaborada, la cual se compone de uno o más tramos, en los cuales para llegar de un punto al siguiente ha de seguirse una determinada dirección o rumbo, es decir, el piloto debe "navegar" a través del aire para seguir esa ruta.

Antes de la aparición del indicador de dirección, los pilotos navegaban sirviéndose de la brújula, y a la vista de las proezas narradas, con bastante eficiencia. Pero la brújula es un instrumento que puede dar lugar a numerosos errores, exigiendo mucha atención y una lectura adecuada, pues son muchos los efectos que alteran su funcionamiento y dan lugar a interpretaciones erróneas. Por ejemplo, no es muy fácil realizar un giro con precisión en base a la brújula, particularmente si el aire es turbulento.

Sin embargo, el indicador de dirección es inmune a las causas que hacen dificultosa la lectura de la brújula, lo que le hace el instrumento adecuado para mantener el control direccional del avión o su rumbo, pues sus indicaciones son más precisas y fiables que las de la brújula. Este instrumento proporciona una indicación de dirección estable y relativamente libre de errores.

Su funcionamiento se basa en la propiedad de rigidez en el espacio que tienen los giróscopos (Ver 2.2.2).



Fig.2.7.1 - Indicador de dirección.

2.7.1 Construcción.

Este instrumento consiste en un giróscopo cuyo eje de rotación es vertical, acoplado al cual se encuentra una rosa de rumbos graduada de 0º a 359º. La caja del instrumento tiene incrustado en su frontal visible un pequeño avión montado verticalmente cuyo morro siempre apunta al rumbo del avión. Asimismo, dispone de un botón giratorio para ajustar el rumbo.

Al efectuar un cambio de dirección, la caja del instrumento se mueve al unísono con el avión, pero el giróscopo debido a su rigidez en el espacio continua manteniendo la posición anterior. Este desplazamiento relativo de la caja respecto del eje vertical del rotor se transmite a la rosa de rumbos, haciéndola girar de forma que muestre en todo momento el rumbo, enfrentado al morro del avión de miniatura.

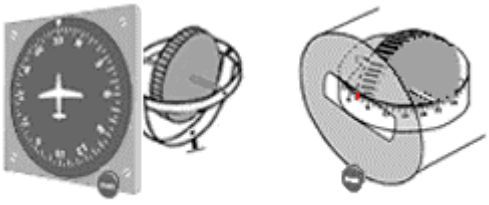


Fig.2.7.2 - Indicadores de dirección.

Hay otro tipo de indicadores de dirección, que en lugar de la rosa de rumbos giratoria disponen de una carta de rumbos circular, dispuesta en forma horizontal, que muestra en una ventanilla el rumbo, de forma parecida a como se muestra en la brújula. Cuando el aeroplano gira sobre su eje vertical, la carta de rumbos mantiene el eje marcando el nuevo rumbo.

La rosa de rumbos está graduada en incrementos de 5 grados, con números cada 30 grados, y en algunos casos los puntos cardinales indicados por **N**(orte), **S**(ur), **E**(ste) y **W**(est=Oeste).

2.7.2 Lectura.

La lectura de este instrumento es muy sencilla y no tiene dificultades; la dirección del avión se muestra enfrentada a una marca frente al morro del pequeño avión, o en su caso con una marca en la ventanilla.

No obstante, se ha de tener en cuenta lo siguiente: Este instrumento precesiona, es decir se desajusta, y además no tiene cualidades magnéticas por lo que no detecta por si solo la posición del norte magnético. Por ambas razones, el piloto debe chequearlo periódicamente con la brújula y ajustarlo si es necesario mediante el botón giratorio, especialmente tras realizar maniobras bruscas o giros prolongados. Este ajuste debe hacerse siempre con el avión en vuelo recto y nivelado y con la brújula estable.



Fig.2.7.3 - Lectura del indicador de dirección.

Algunos indicadores de dirección más avanzados tienen instalados unos sistemas de sincronización automática con la brújula, o con las líneas de flujo magnético terrestre, pero no suelen instalarse en aviones ligeros.

Notas:

Lo expuesto anteriormente podría llevarnos a pensar que el indicador de dirección es un sustituto de la brújula y esto sería incorrecto por varias razones: el indicador de dirección no está libre por completo de errores y al no regirse por principios magnéticos no detecta el norte magnético. Lo que aporta el direccional realmente es comodidad para el piloto, pues le permite mantiene el control direccional apoyándose principalmente en el indicador de dirección, eso sí, ajustando este instrumento de una forma periódica con la lectura de la brújula.

Por otra parte, al ser un instrumento más sofisticado y con varios elementos mecánicos es más susceptible de averiarse que la brújula, con lo que esta última puede servir además como indicador de dirección de emergencia.

Sumario.

- El direccional proporciona al piloto una referencia constante de la dirección del avión.
- Sus indicaciones son más precisas y fiables que las de la brújula.
- Alineado con la brújula proporciona una indicación exacta y estable del rumbo magnético del avión.
- Su funcionamiento se basa en la propiedad de rigidez en el espacio de los giróscopos.
- Esta compuesto de un giróscopo de rotación vertical y una rosa de rumbos giratoria.
- El rumbo se lee en la marca vertical enfrentada al morro del avión miniatura, y en algunos giróscopos más antiguos en una ventanilla similar a la de la brújula.
- Puesto que este instrumento precesiona, debe ser ajustado de forma regular con la lectura de la brújula.
- El ajuste con la brújula debe realizarse siempre con el avión recto y nivelado.

2.8 INDICADOR DE VIRAJE/COORDINACIÓN.

Este aparato consta realmente de dos instrumentos independientes ensamblados en la misma caja: el indicador de viraje y el indicador de coordinación de viraje.

Este fue uno de los primeros instrumentos usados por los pilotos para controlar un aeroplano sin referencias visuales al suelo o al horizonte. El indicador de viraje tenía la forma de una gruesa aguja vertical o "bastón" y el indicador de coordinación consistía en una bola dentro de un tubo, recibiendo por ello la denominación de "bola". Al conjunto del instrumento se le denominaba "bastón y bola".
Hoy en día el indicador de viraje tiene la forma del perfil de un avión en miniatura, y el indicador de coordinación sigue teniendo la misma presentación mediante una bola. El instrumento en su conjunto recibe el nombre de coordinador de giro (turn coordinator), aunque la denominación coloquial "bastón y bola" se sigue empleando de forma indistinta, puesto que ambos instrumentos muestran la misma información pero de forma diferente.

Como casi siempre, la nomenclatura es amplia, a veces confusa y no siempre acertada. Al indicador de viraje también se le denomina indicador de inclinación, indicador de giro, o "bastón". Al indicador de coordinación de giro, se le denomina a veces inclinómetro, indicador de resbales y derrapes, indicador de desplazamiento lateral, o "bola".



Fig.2.8.1 - Indicador de viraje y coordinación.

2.8.1 Velocidad angular de viraje.

Por velocidad angular de viraje o ratio de viraje se entiende el número de grados por segundo que gira el avión sobre un eje vertical imaginario. Si para realizar un giro de 90º se tardan 30 segundos, la velocidad angular o ratio de viraje es de 3º por segundo (90º/30"=3º p/segundo).

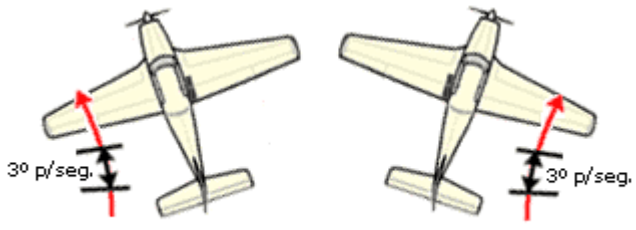


Fig.2.8.2 - Velocidad angular o ratio de viraje.

2.8.2 Indicador de viraje.

El indicador de viraje, en forma de avión miniatura o de "bastón", muestra si el avión está girando, hacia que lado lo hace y cual es la velocidad angular o ratio del viraje.

Otra función del indicador de viraje consiste en servir como fuente de información de emergencia en caso de avería en el indicador de actitud (horizonte artificial), aunque este instrumento no dé una indicación directa de la actitud de alabeo del avión. Conviene tener claro que el horizonte artificial señala la inclinación (alabeo) del avión en grados mientras que el bastón indica en grados el régimen de viraje: son dos cosas distintas.

Su funcionamiento se basa en la propiedad giroscópica de precesión (Ver 2.2.2).

Este instrumento esta constituido por un giróscopo, cuyo rotor es accionado por el sistema de vacío (girosucción) o eléctricamente. El giróscopo se monta por lo general en un ángulo de 30º, de forma semirígida, lo cual le permite girar libremente sobre los ejes lateral y longitudinal, pero teniendo restringido el giro alrededor del eje vertical.

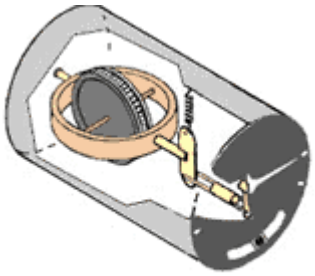


Fig.2.8.3 - Coordinador de viraje.

Un muelle acoplado al giróscopo mantiene a este vertical cuando no se le aplica ninguna fuerza deflectiva. En algunas ocasiones, este muelle es ajustable para permitir la calibración del instrumento para una determinada tasa de giro. Adicionalmente, un mecanismo de amortiguación impide las oscilaciones excesivas del indicador.

Cuando el aeroplano gira alrededor de su eje vertical, la deflexión aplicada al giróscopo hace que este precesione, lo cual se traduce en el movimiento del indicador, es decir que el avión en miniatura que aparece en el dial del instrumento se ladee hacia la izquierda o hacia la derecha. A medida que la tasa de giro se incrementa también lo hace la fuerza de precesión. Cuanto más rápido sea el viraje, mayor será la precesión y el ladeo del avión miniatura.



Fig.2.8.4 - Funcionamiento del indicador de viraje.

En el díal del instrumento, además del avión miniatura o el bastón, hay una marca central vertical en el caso del bastón o dos marcas centrales horizontales en el caso del coordinador, y en ambos casos una marca a cada lado con las letras **L** (Left=Izquierda) y **R** (Right=Derecha) respectivamente. Si el avión gira a la izquierda, el bastón se desplazará hacia la marca de la izquierda (L) o el avioncito se ladeará hacia la marca de ese lado; si el viraje es a la derecha, sucederá lo mismo respecto a la marca de la derecha (R).

Hay dos tipos de indicador de viraje: de 2 minutos y de 4 minutos. Esto quiere decir que un giro de 360º requiere 2 minutos para completarse, o lo que es lo mismo el avión gira a una tasa de 3º por segundo (360º/120 segundos). De la misma manera, en el indicador de 4 minutos, la tasa de giro sería de 1,5º por segundo (360º/240 segundos).

2.8.3 Lectura del indicador de viraje.

Cuando las alas del avión en miniatura se alinean con las pequeñas líneas junto a la "L" ("izquierda") o la "R" ("derecha"), esto significa que el avión tiene una velocidad angular de viraje estándar, que suele ser de 3º por segundo (en un coordinador de viraje de 2 minutos); como se ha dicho antes, esto implica que el avión realizará un giro de 360º grados en 2 minutos, o de 180º en 1 minuto, etc...

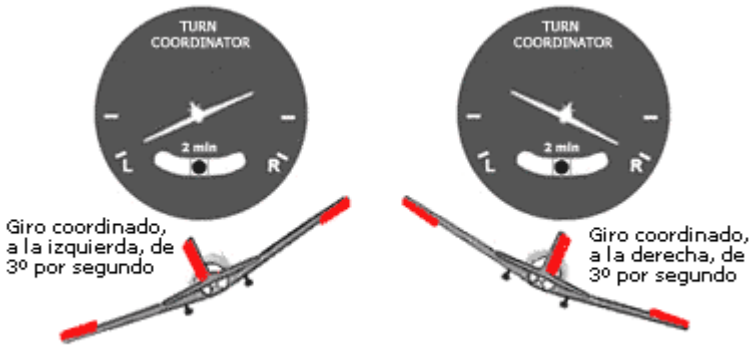


Fig.2.8.5 - Lectura del indicador de viraje.

Para mantener un giro coordinado a una tasa determinada, se requiere un ángulo de alabeo que dependerá de la velocidad. Obviamente, no es lo mismo realizar un giro de 3º por segundo a una velocidad de 90 nudos que a una velocidad de 200 nudos. Para mantener una misma velocidad angular o tasa de viraje, a mayor velocidad del avión mayor será el ángulo de alabeo requerido.
Por esta razón, el régimen normalizado de viraje en aviones ligeros suele ser de 2 minutos (3º por segundo) mientras que en aviones grandes o que desarrollan altas velocidades, el régimen normalizado suele ser de 4 minutos (1,5º por segundo) para evitar precisamente ángulos de alabeo demasiado pronunciados. Otro detalle a tener en cuenta, es que la inercia y la fuerza centrífuga en un avión de 300 Tm. es muchísimo mayor que en un avión de 1 Tm. lo que significa que el primero tiene mayores dificultades para mantener tasas de viraje elevadas.

2.8.4 Coordinador de viraje o bola.

La dirección de movimiento de un avión no es necesariamente la misma a la cual apunta su eje longitudinal, o lo que es lo mismo, el morro del avión. Es más, los aviones disponen de mandos separados e independientes para controlar la dirección de vuelo (alerones) y el punto adonde enfila el morro del avión (timón de dirección).

Para hacer un viraje, el piloto alabea el avión hacia el lado al cual quiere virar, mediante los alerones, y acompaña este movimiento girando el timón de dirección hacia ese mismo lado, presionando el pedal correspondiente. De este modo trata de poner al avión en una nueva dirección y mantener el eje longitudinal alineado con ella, lo que se llama un viraje coordinado. Si el piloto actuara sobre un solo mando, el avión trazaría la curva, penosamente, pero la acabaría trazando.

Si al actuar sobre ambos mandos, la cantidad de movimiento sobre uno de ellos es relativamente mayor o menor al movimiento dado al otro, el avión no hará un giro coordinado sino que girará "resbalando" o "derrapando", es decir su eje longitudinal apuntará a un punto desplazado de la dirección de movimiento. *Si el viraje es coordinado, el morro del avión apunta a la dirección de giro; si derrapa o resbala, apunta a un lugar desplazado de esta dirección.*

El instrumento que nos muestra la calidad del giro, es decir, si es coordinado, si el avión "derrapa", o si "resbala" es el coordinador de viraje o bola, lo cual le hace una referencia fundamental para la coordinación de los controles que intervienen en el giro (alerones y timón de dirección).

Esta parte del instrumento, consiste en un tubo transparente de forma curvada, que contiene en su interior un líquido, normalmente queroseno, y una bola negra de ágata o acero, libre de moverse en el interior de dicho tubo. El fluido del tubo actúa como amortiguador asegurando el movimiento suave y fácil de la bola.

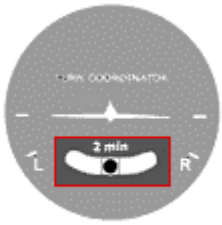


Fig.2.8.6 - "Bola"

La curvatura del tubo es tal que en posición horizontal la bola tiende a permanecer en la parte más baja del tubo. Dos líneas verticales en esta parte del tubo ayudan a determinar cuando la bola está centrada.

La bola, lo mismo que el avión, está sometida a la fuerza de la gravedad y a la fuerza centrífuga provocada por el giro. En un giro coordinado, ambas fuerzas están compensadas y la bola debe permanecer en el centro del tubo, entre las dos líneas de referencia verticales. Pero si el giro no es coordinado las fuerzas no están balanceadas y la bola se desplazará a uno u otro lado del tubo, en la dirección de la fuerza mayor (gravedad o centrífuga). La bola sirve pues como indicador de balance de estas dos fuerzas, mostrándonos de forma visual la coordinación o descoordinación en el uso de los mandos.

2.8.5 Resbale y derrape.

Resbale. Si la bola cae hacia el lado del viraje, el avión está resbalando. La fuerza de la gravedad es mayor que la fuerza centrífuga. El régimen de viraje es demasiado bajo para la inclinación dada, o la inclinación es excesiva para ese régimen. Para corregir un resbale, hay que aumentar el régimen de viraje (más presión sobre el pedal del lado del viraje) o disminuir el ángulo de alabeo (menos deflexión en los alerones), o ambas cosas.

Derrape. Si la bola se mueve hacia el lado contrario al viraje, el avión está derrapando. La fuerza centrífuga es mayor que la gravedad. El régimen de viraje es demasiado alto para el alabeo dado, o el alabeo es insuficiente para ese régimen. Para corregir un derrape, se debe disminuir el régimen de viraje (menos presión sobre el pedal del lado del viraje) o aumentar el ángulo de alabeo (más deflexión en los alerones), o ambas cosas.

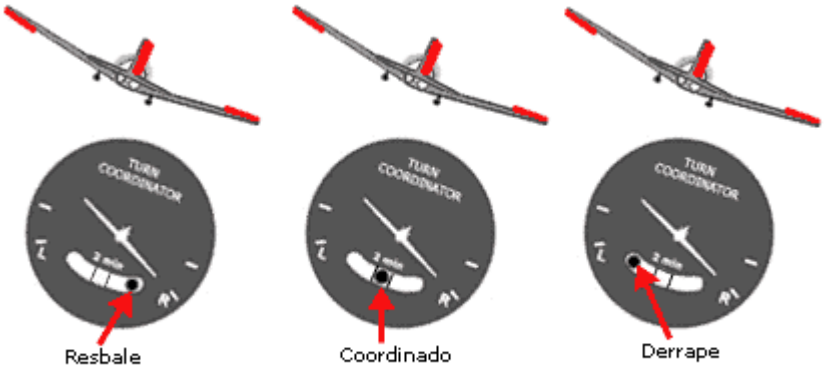


Fig.2.8.7 - La "bola" indica la calidad del viraje.

Es importante para el piloto, comprender que la bola debe mantenerse centrada en todo momento, tanto en los giros como en vuelo recto y nivelado, salvo que se desee realizar un resbale intencionado. Si la bola no está centrada, el avión no está volando eficientemente.

Para corregir un resbale o un derrape, una buena regla consiste en "pisar la bola", es decir aplicar presión al pedal del lado al cual está desplazada la bola.

Sumario:

- El indicador de viraje y coordinación consta de dos instrumentos: el indicador de viraje o "bastón" y el indicador de coordinación o "bola".
- El instrumento en su conjunto recibe el nombre de coordinador de giro o "bastón y bola".
- El indicador de viraje muestra si el avión está girando, hacia que lado lo hace y la velocidad angular del viraje.
- Velocidad angular es el número de grados por segundo que gira el avión sobre un eje vertical imaginario.
- El funcionamiento del indicador de viraje se basa en la propiedad giroscópica de precesión.
- Hay dos tipos de indicador de viraje: de 2 minutos y de 4 minutos. El régimen normalizado para cada uno de ellos es de 3º por segundo (360º/120") o de 1,5º por segundo (360º/240").
- Un giro coordinado, con una tasa de viraje específica, requiere un ángulo de alabeo que depende de la velocidad con que se realice este viraje.
- En un viraje coordinado el morro del avión apunta a la dirección de giro; en un derrape o resbale no.
- La bola indica la relación entre el ángulo de alabeo y la tasa de viraje, o sea que indica la "calidad" del giro, es decir, cuando el avión mantiene un ángulo de alabeo adecuado para la tasa de viraje dada.
- En un resbale, el régimen de viraje es demasiado bajo para la inclinación dada, o la inclinación es excesiva para ese régimen.
- En un derrape el régimen de viraje es demasiado alto para el alabeo dado, o el alabeo es insuficiente para ese régimen.
- La regla a seguir para corregir un resbale o un derrape es "pisar la bola".

2.9 BRÚJULA.

La brújula, también llamada compás magnético, es un instrumento que al orientarse con las líneas de fuerza del campo magnético de la tierra, proporciona al piloto una indicación permanente del rumbo del avión respecto al Norte magnético terrestre. Este instrumento es la referencia básica para mantener la dirección de vuelo.



Fig.2.9.1 - Brújula.

En el capítulo 2.7 se detalla otro instrumento que proporciona también una referencia de la dirección de vuelo del avión, el indicador de dirección. Esta ¿duplicidad? o ¿ambiguedad? de instrumentos podría hacer surgir dudas en cuanto a cual de ellos es más fiable, o que ventajas e inconvenientes presenta uno respecto al otro. Antes de entrar en estas cuestiones, es necesario que conozcamos que es y como funciona la brújula.

2.9.1 Magnetismo.

Puesto que la brújula opera en base a principios magnéticos, primero unos principios básicos sobre esta fuerza.
El magnetismo es la fuerza de atracción o repulsión que se produce en algunas sustancias, especialmente aquellas que contienen hierro y otros metales como níquel y cobalto, fuerza que es debida al movimiento de cargas eléctricas. (1)

Cualquier objeto, por ejemplo una aguja de hierro, que exhibe propiedades magnéticas recibe el nombre de magneto o imán. Un imán tiene dos centros de magnetismo donde la fuerza se manifiesta con mayor intensidad, llamados polo Norte y polo Sur, dandose la circunstancia que polos del mismo signo se repelen mientras que polos de distinto signo se atraen. Unas líneas de fuerza magnética fluyen desde un polo hacia el otro, curvandose y rodeando al imán, denominandose campo magnético al área cubierta por estas líneas de fuerza.



Fig.2.9.2 - Imanes.

Si un imán se rompe, cada una de las piezas tendrá sus propios polo Norte y Polo Sur. Es imposible aislar un único polo con independencia de lo pequeños que sean los fragmentos. La posibilidad de la existencia de un único polo o monopolo está sin resolver y los experimentos en este sentido no han dado resultado.

Magnetismo terrestre. El fenómeno del magnetismo terrestre se debe a que toda la Tierra se comporta como un gigantesco imán. Aunque no fue hasta 1600 que se señaló esta similitud, los efectos del magnetismo terrestre se habían utilizado mucho antes en las brújulas primitivas. El nombre dado a los polos de un imán (Norte y Sur) se debe a esta similitud.

Un hecho a destacar es que los polos magnéticos de la Tierra no coinciden con los polos geográficos de su eje. Las posiciones de los polos magnéticos no son constantes y muestran ligeros cambios de un año para otro, e incluso existe una pequeñísima variación diurna solo detectable con instrumentos especiales.

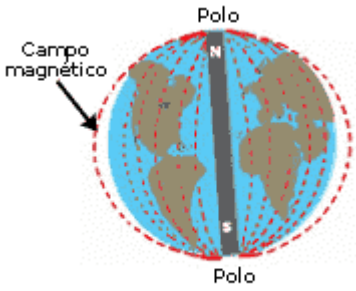


Fig.2.9.3 - Magnetismo terrestre.

El funcionamiento de la brújula se basa en la propiedad que tiene una aguja imantada de orientarse en la dirección norte-sur magnética de la tierra.

2.9.2 Construcción.

Este instrumento está formado por una caja hermética, en cuyo interior hay una pieza formada por dos agujas de acero magnetizadas alrededor de las cuales se ha ensamblado una rosa de rumbos. Este conjunto se apoya a través de una piedra preciosa, para minimizar rozamientos, sobre un eje vertical acabado en punta, de forma que su equilibrio sea lo más estable posible. La caja suele estar llena de un líquido no acido, normalmente queroseno, para reducir las oscilaciones, amortiguar los movimientos bruscos, aligerar el peso de la rosa de rumbos, y lubricar el punto de apoyo.

La rosa de rumbos está graduada de 5º en 5º, con marcas más grandes cada 10º, y cada 30º un número sin el cero final. Las orientaciones de los cuatro puntos cardinales se representan con sus iniciales (**N**=North, **S**=South, **E**=East, **W**=West).



Fig.2.9.4 - Componentes de una brújula.

En el frontal visible de la caja, un cristal, en el cual se ha pintado o grabado una marca o línea de fe, hace posible la lectura de los rumbos. En muchas ocasiones, la brújula dispone de una pequeña lámpara para poder realizar lecturas nocturnas.

2.9.3 Declinación.

Como se ha dicho anteriormente, el Norte geográfico y el Norte magnético no coinciden, hay una ligera diferencia. Puesto que las cartas de navegación indican el rumbo *geográfico,* se hace indispensable conocer y corregir esta diferencia.

Se denomina **declinación** a la diferencia angular entre el norte magnético y el norte geográfico. La declinación es *Este* cuando el norte magnético está al este del norte geográfico, y es *Oeste* cuando el norte magnético está al oeste del norte geográfico. En España la declinación es Oeste.

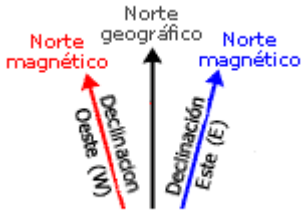


Fig.2.9.5 - Declinación.

Una vez obtenido el rumbo geográfico, se calcula el rumbo magnético: si la declinación de la zona es Este debe restarse el valor de la declinación; si la declinación es Oeste debe sumarse. Por ejemplo, si la declinación es de 5º Oeste, para volar a un lugar en el rumbo geográfico 210º hay que mantener un rumbo magnético de 210º+5º=215º.

Si la declinación es Este : Rumbo magnéticoº = Rumbo geográficoº - declinaciónº
Si la declinación es Oeste: Rumbo magnéticoº = Rumbo geográficoº + declinaciónº

La declinación varía de un lugar a otro. Dado que las variaciones no son muy grandes, se suele asumir una misma declinación para zonas geográficas próximas (p.ejemplo la Península Ibérica, uno o más Estados en EE.UU, etc...).

2.9.4 Errores en la lectura de la brújula.

La brújula está sujeta a errores provocados por la aceleración, la desaceleración y la curvatura del campo magnético terrestre en especial en altas latitudes. También suele oscilar, converger o retrasarse en los virajes y su lectura es especialmente difícil durante turbulencias o maniobras.

Los errores de tipo físico se deben principalmente a la fricción del liquido sobre la rosa de rumbos, a la falta de amortiguación de este líquido, o porque el propio líquido forma remolinos debido a turbulencias o maniobras bruscas. Estas circunstancias provocan balanceos y oscilaciones en la brújula que dificultan su lectura.

Con independencia de los errores físicos, lo que más complica la navegación con la brújula son los errores de tipo magnético. Estos se conocen como errores debidos a la inclinación (viraje) y a la aceleración o desaceleración.

Error de inclinación o viraje: Las líneas de fuerza del campo magnético terrestre tienen un componente vertical que es 0 en el Ecuador pero que constituyen el 100% de la fuerza total en los Polos. Esta tendencia de la brújula a inclinarse hacia abajo por efecto de la atracción magnética, produce en los virajes el siguiente comportamiento:

- Volando en un rumbo Norte, si se realiza un giro hacia el Este o el Oeste, la indicación inicial de la brújula se retrasará o indicará un giro hacia el lado contrario. Este desfase se va aminorando de manera que al llegar al rumbo Este u Oeste no existe error.
- Si se hace un giro hacia el Sur desde cualquier dirección, a medida que nos vamos aproximando al Sur la brújula se adelanta e indica un rumbo más al Sur que el real. Para sacar al avión en el rumbo deseado, el giro debe ser terminado con una indicación de la brújula pasado dicho rumbo.

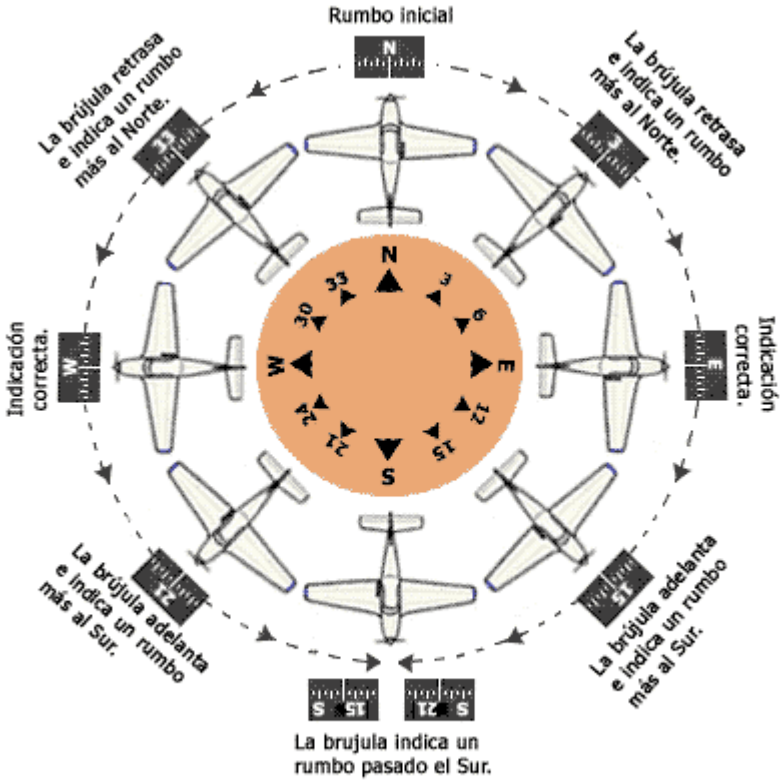


Fig.2.9.6 - Errores de viraje hacia rumbos Sur.

- Volando en un rumbo Sur, al realizar un giro al Este o el Oeste, la brújula se adelanta e indica un rumbo más allá al realmente seguido. Este adelanto también se va aminorando de forma que al llegar al rumbo Este u Oeste tampoco existe error.
- Si se hace un giro hacia el Norte desde cualquier dirección, cuando nos vamos aproximando al Norte la indicación de la brújula es de un rumbo más atrás del real. Para sacar al avión en el rumbo deseado, el giro debe ser terminado con una indicación de la brújula anterior a dicho rumbo.

Los errores de viraje se producen en rumbos Norte y Sur siendo prácticamente nulos en rumbos Este y Oeste. La cantidad de grados de retraso o adelanto es máxima en rumbos Norte (0º) y Sur (180º), y esta cantidad depende del ángulo de alabeo usado y de la latitud de la posición del aeroplano.
Como colofón a las explicaciones anteriores, podríamos concluir que el error de viraje produce que en el semicírculo Norte de la rosa de rumbos la brújula gire más despacio que el avión e indique rumbos retrasados; igual en rumbos Este y Oeste indicando rumbos correctos, y más deprisa en el semicírculo Sur indicando rumbos adelantados.



Fig.2.9.7 - Errores de viraje.

La regla nemotécnica para sacar al avión del viraje en rumbo correcto es:
Norte (**N**O me paso) **S**ur (**S**i me paso)

Error de aceleración/deceleración: Debido a su montaje pendular, cuando se cambia de velocidad acelerando o decelerando, la brújula se inclina sobre su pivote y esta inclinación provoca que las agujas imantadas no coincidan correctamente con las líneas magnéticas terrestres. Este error es más aparente en los rumbos Este y Oeste, siendo prácticamente nulo en rumbos Norte y Sur.

- Cuando un avión manteniendo un rumbo Este u Oeste acelera o asciende, la brújula indicará en principio como si se estuviera virando al Norte. Cuando decelera o desciende, la brújula indica un viraje al Sur.

La regla nemotécnica es **ANDS**
(**A**celera/Asciende=**N**orte, **D**ecelera/Desciende=**S**ur)

Importante: La descripción de estos errores corresponde a latitudes del hemisferio Norte. En el hemisferio Sur los errores se producen a la inversa.

2.9.5 Indicador de dirección y brújula.

Ahora que hemos visto como funciona la brújula, como está construida y cuales son los posibles errores en sus indicaciones, tenemos suficiente criterio para resolver las cuestiones planteadas al inicio de este capítulo.

El indicador de dirección, como se explica en el capítulo 2.7, es un instrumento más sofisticado y fiable que la brújula, pero sus indicaciones se basan en un referente proporcionado por el piloto (calaje del indicador de dirección), el cual se sirve de la brújula para este menester. Desde este punto de vista, ambos instrumentos ni son excluyentes entre sí ni existe duplicidad de funcionamiento entre ambos, realmente son complementarios.

Aunque el indicador de dirección también se desajusta, la brújula, como hemos visto en este capítulo, es susceptible de ciertos errores, produciendo además lecturas erróneas en presencia de campos magnéticos o por oscilaciones en turbulencias, cosa que no sucede con el indicador de dirección. Por otro lado, la brújula es muy sencilla en su construcción y se basa en propiedades inmutables lo cual la hace casi inmune a las averías, en tanto el indicador de dirección es más complejo y depende del funcionamiento del sistema de succión, lo cual deja a este último en inferioridad de condiciones a este respecto.

Supongamos por un momento que por alguna razón hemos calado mal el indicador de dirección y carecemos de brújula. ¿Como sabemos la dirección en la cual volamos?. Tendríamos que servirnos de referencias en la tierra que conociéramos previamente, lo cual no deja de ser una opción bastante enojosa, o lo que es más posible, estaríamos literalmente perdidos.

Conclusión: Normalmente, debido a la inestabilidad de las indicaciones de la brújula, se vuela por referencia al indicador de dirección, calando este periódicamente con las lecturas de la brújula en vuelo recto y nivelado. Pero como todos los aparatos, el indicador de dirección puede estropearse. En ese caso un buen piloto no tendrá problemas, navegará sirviendose de la brújula; un mal piloto estará perdido.

Sumario.

- La brújula es la referencia básica para mantener la dirección de vuelo.
- Al orientarse con el campo magnético terrestre proporciona una indicación permanente del rumbo del avión.
- Un imán tiene dos centros de magnetismo donde la fuerza se manifiesta con mayor fuerza. Estos centros se denominan polo Norte y polo Sur.
- La tierra se comporta como un imán gigantesco, aunque sus polos magnéticos no coinciden exactamente con sus polos geográficos.
- La diferencia angular entre los polos magnético y geográfico recibe el nombre de declinación.
- La declinación es Este si el Norte magnético está al Este del Norte geográfico. Es Oeste si el Norte magnético está al Oeste geográfico.
- El rumbo magnético se calcula sumando o restando la declinación al rumbo geográfico según que esta sea Oeste o Este respectivamente.
- La brújula está sujeta a errores, debidos principalmente a las características del campo magnético terrestre. Estos errores se denominan de viraje y de aceleración/desaceleración.
- Los errores de viraje se producen en rumbos Norte y Sur siendo inexistentes en rumbos Este y Oeste, y los errores de aceleración se producen en rumbos Este y Oeste siendo inapreciables en rumbos Norte y Sur.
- El error de viraje hace que la brújula gire más despacio que el avión en el semicírculo Norte de la rosa de los rumbos, iguale en rumbos Este y Oeste, y más deprisa en el semicírculo Sur.
- La regla nemotécnica para sacar el avión del viraje en el rumbo deseado es: **N**orte=**N**o me paso, **S**ur=**S**i me paso.
- Regla ANDS en errores de aceleración: **A**celera/**A**sciende=**N**orte; **D**ecelera/**D**esciende=**S**ur.
- El indicador de dirección es más fiable que la brújula, pero el piloto necesita de esta última para calar este indicador y como recurso en caso de fallo del indicador de dirección.
- Lo normal es volar atendiendo al indicador de dirección, calando este frecuentemente con las indicaciones de la brújula, tomadas en vuelo recto, nivelado y no acelerado.

---

(1). Debido a que los electrones tienen carga eléctrica y un movimiento de giro, pueden ser considerados como cargas eléctricas en movimiento. En muchos átomos todos los electrones están apareados en un mismo nivel de energía; los electrones de cada par tienen giros opuestos y sus campos magnéticos se cancelan, pero en algunos átomos hay más electrones que giran en un sentido que en otro, resultando un campo magnético neto del átomo en su conjunto.

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.

 © M.A.Muñoz

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.

 © M.A.Muñoz

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.

 © M.A.Muñoz

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.

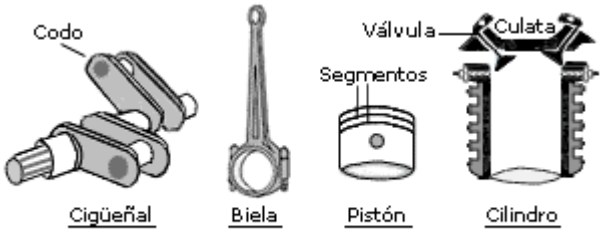


Fig.3.1.1 - Componentes de un motor de pistón.

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,...

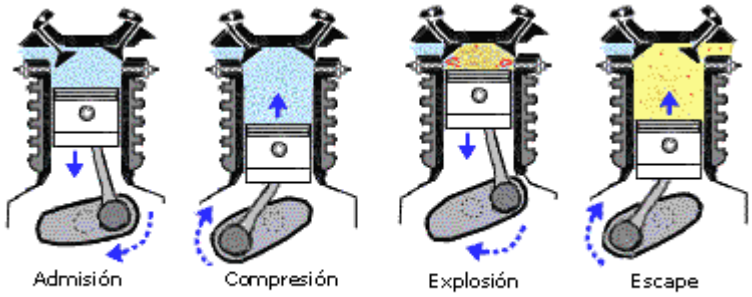


Fig.3.1.2 - Los cuatro tiempos de un motor de explosión.

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.

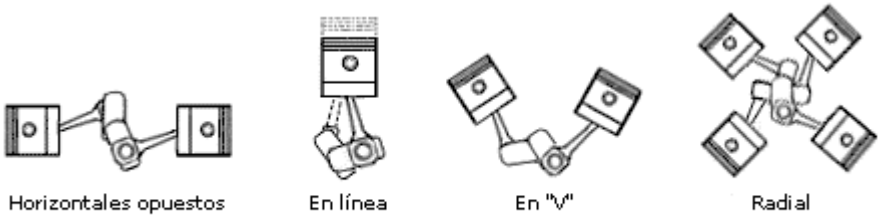


Fig.3.1.3 - Tipos de motor segun colocación de los cilindros.

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 helicoptero, 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.

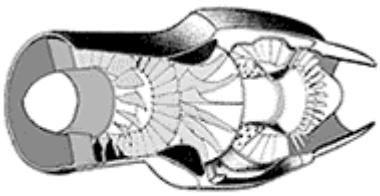


Fig.3.1.4 - Turbina de gas.

La combustión provoca la expansión violenta de los gases producidos, en forma de chorro de alta presión, temperatura (hasta 1500º 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 expele 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 liquido 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.

 © M.A.Muñoz

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.

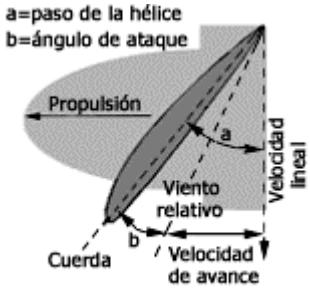


Fig.3.2.2 - Angulos de la hélice.

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.

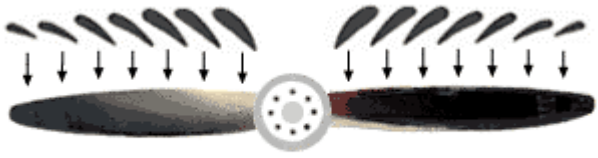


Fig.3.2.3 - Perfiles y ángulos de incidencia.

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.

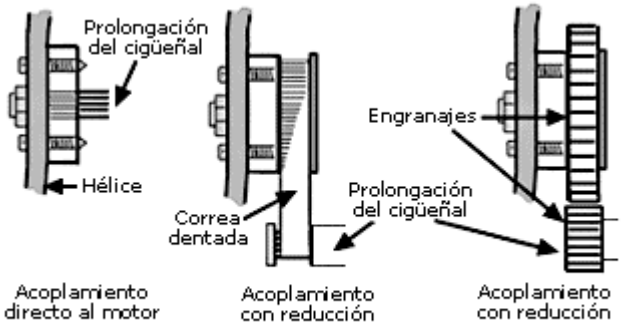


Fig.3.2.4 - Acoplamientos de hélice de paso fijo.

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.

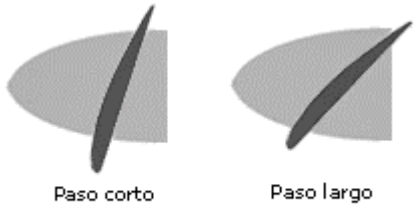


Fig.3.2.5 - Hélice de paso variable.

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.

 © M.A.Muñoz

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.

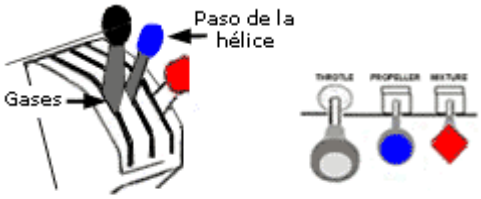


Fig.3.3.1 - Mandos de la propulsión.

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.

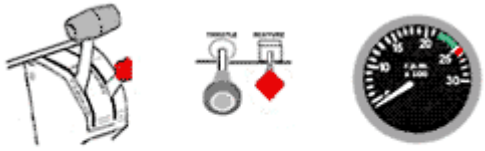
El indicador de presión de admisión, es un barómetro que mide la presión de la mezcla aire-combustible en el colector de admisión o múltiple, y la muestra en unidades de pulgadas de mercurio. Este indicador, inexistente en aviones con hélice de paso fijo, informa al piloto de la potencia del motor: a 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.

 © M.A.Muñoz

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.

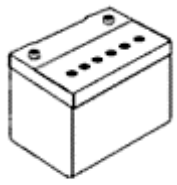


Fig.3.4.1 - Batería.

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.

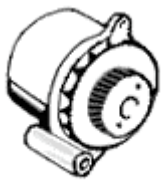


Fig.3.4.2 - Alternador.

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, encargandose 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.



Fig.3.4.3 - 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.

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.

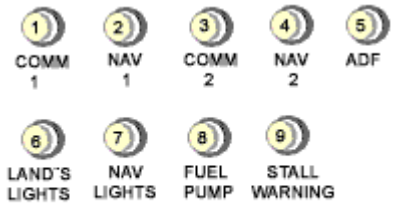


Fig.3.4.5 - Circuit breakers.

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 sobremanera el cableado.
Puesto que los generadores producen corriente continua y los alternadores corriente alterna, el sistema está provisto de los correspondientes conversores, de corriente contínua 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 dá 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 al 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.

 © M.A.Muñoz

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 las 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 capacitador.
Cuando el rotor magnético, accionado por el movimiento del motor, gira, induce en el primario una corriente que carga el capacitador; el ruptor interrumpe el circuito del primario cuando la corriente inducida alcanza su máximo valor, y el campo magnético alrededor del primario colapsa. El capacitador 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.

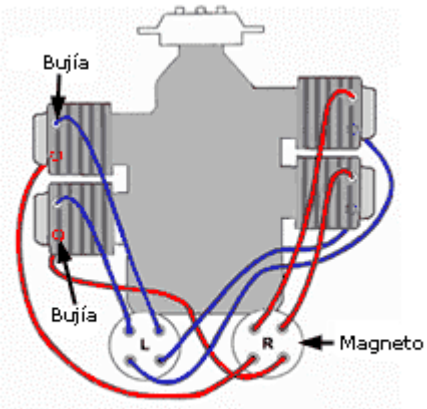


Fig.3.5.1 - Sistema de encendido doble.

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 su propios medios (explosiones en los cilindros), el piloto suelta la llave, la cual vuelve automauticamente 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.

 © M.A.Muñoz

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...

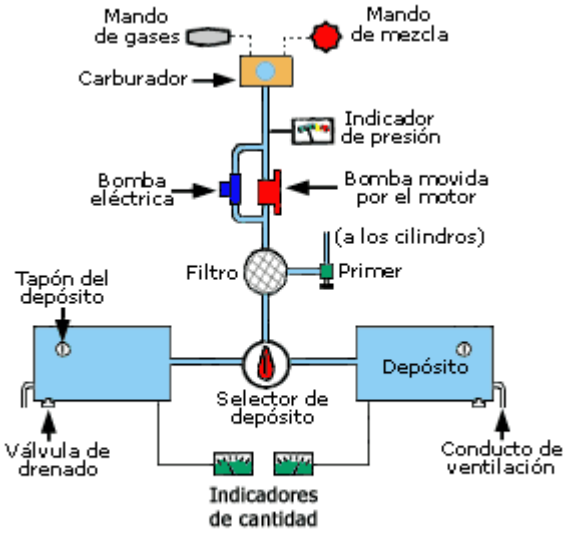


Fig.3.6.1 - Esquema de sistema de combustible.

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 refino 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 refino 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.

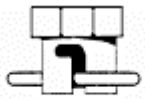


Fig.3.6.2 - Válvula de drenado.

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 aeroplanos 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 deposito 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.

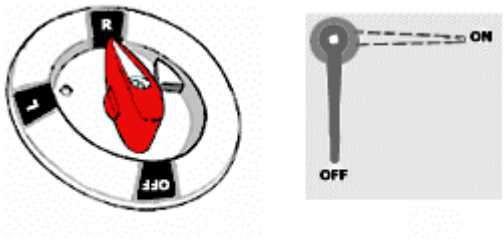


Fig.3.6.5 - Selectores de depósito.

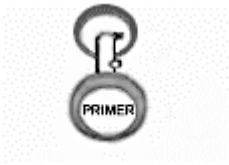


Fig.3.6.6 - Primer.

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...

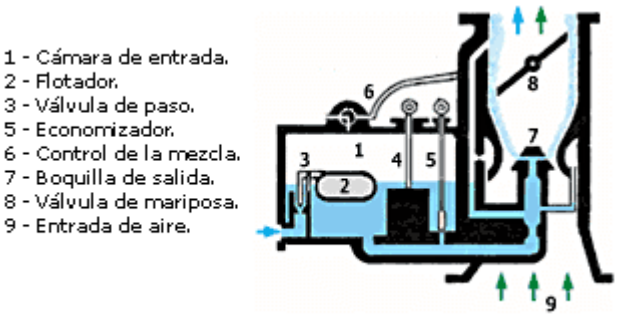


Fig.3.6.7 - Carburador.

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.

 © M.A.Muñoz

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.

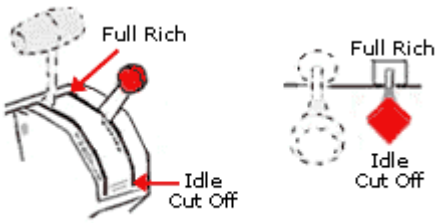


Fig.3.7.1 - Mando de control de la mezcla.

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 30ºC por debajo de la del aire de entrada. Si la temperatura en el carburador cae por debajo de 0ºC, 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

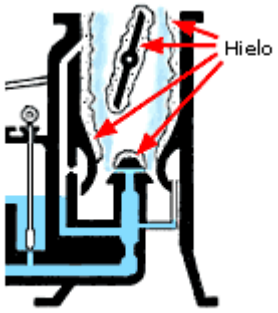


Fig.3.7.2 - Hielo en el carburador.

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 0ºC o cercana al punto de congelación, puesto que si la temperatura en el carburador cae hasta 30º, se puede producir congelación incluso en un ambiente relativamente caluroso (entre -10ºC y 30ºC). 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 mas 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 (carburator 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.

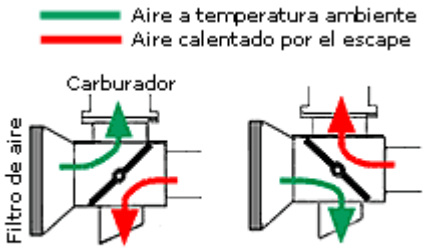


Fig.3.7.3 - Calefacción al carburador.

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 mas 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 parase 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 -10ºC y 30ºC 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.

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 refino 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.

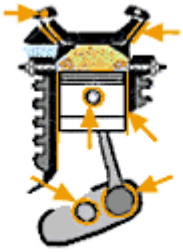


Fig.3.8.1. - Lubricación.

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.

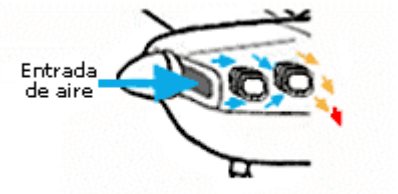


Fig.3.8.3 - Refrigeración por aire.

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 (cowl 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 cierren.

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 refino 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.

 © M.A.Muñoz

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.

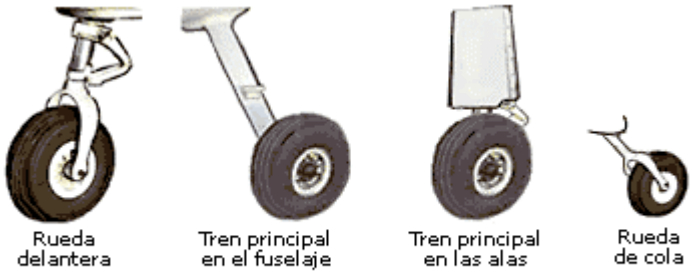


Fig.3.9.2 - Tipología de tren principal y ruedas direccionales.

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 15º y 20º 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 porque 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 20º y 30º.

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.

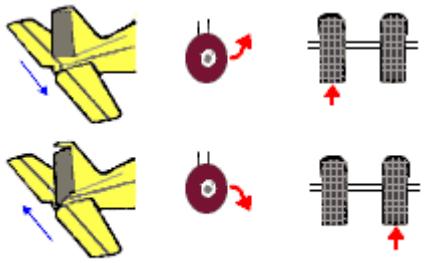


Fig.3.9.3 - Respuesta a los pedales.

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 espontanea 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 esta retraído o si se encuentra extendido y blocado. Si las luces están apagadas el tren está arriba; si lucen en verde el tren está extendido y blocado, y si alguna se muestra en rojo es que la pata correspondiente o no está extendida o no está blocada.

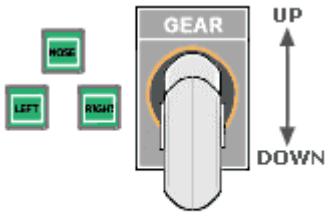


Fig.3.9.4 - Mando e indicadores de tren retractil.

Algunos aeroplanos 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 blocado, 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 aeroplanos 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 blocado, 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 pié 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 blocado. Si las luces están apagadas el tren está arriba; si están en verde el tren está extendido y blocado, y si alguna está en rojo la pata correspondiente o no está extendida o no está blocada.
- 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.

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 mas 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 optimo rendimiento y alargar la vida del motor.

PREVUELO

4 DESARROLLO DE LA SECCIÓN.

Como su propio nombre (prevuelo) indica, los capítulos de esta sección trata de algunas de las tareas previas al despegue del avión, que no son pocas. He creido conveniente incluir también un capítulo destinado a aquellas personas que desean pilotar un aeroplano, o simplemente darse el placer de volar en uno de ellos, pero por alguna causa no han dado todavía ese paso. En ese mismo capítulo se incluyen unos consejos para el primer vuelo como estudiante piloto. El contenido de esta sección es el siguiente:

4.1 BAUTISMO Y PRIMER VUELO.
- 4.1.1 Bautismo de vuelo.
- 4.1.2 Primer vuelo.

4.2 CARGA Y CENTRADO DEL AVION (I).
- 4.2.1 Control del peso.
- 4.2.2 Efectos del sobrepeso.
- 4.2.3 Limitaciones de peso.

4.3 CARGA Y CENTRADO DEL AVION (II).
- 4.3.1 Centro de gravedad y balance.
- 4.3.2 Desplazamiento lateral del c.g.
- 4.3.3 Centro de gravedad retrasado.
- 4.3.4 Centro de gravedad adelantado.

4.4 CALCULOS DE CARGA Y CENTRADO.
- 4.4.1 Definiciones y términos.
- 4.4.2 Cálculos básicos de Peso y Balance.
- 4.4.3 Cálculos basados en gráficos.
- 4.4.4 Cálculos basados en tablas.

4.5 RENDIMIENTO (PERFORMANCE).
- 4.5.1 Efecto de la densidad.
- 4.5.2 Altitud de presión y de densidad.
- 4.5.3 Otros factores.
- 4.5.4 Uso de tablas de rendimiento.

4.6 CHEQUEO PREVUELO.
- 4.6.1 Preparación de cabina.
- 4.6.2 Inspección exterior.

4.7 PUESTA EN MARCHA.
- 4.7.1 Antes de arrancar.
- 4.7.2 Arranque.
- 4.7.3 Después de arrancar.

4.8 RODAJE (TAXIING).
- 4.8.1 Rodaje previo al despegue.
- 4.8.2 Superficies de maniobra.
- 4.8.3 Uso de los controles en el rodaje.
- 4.8.4 Rodaje tras el aterrizaje.

 © M.A.Muñoz

4.9 PRUEBA DE MOTORES.
- 4.9.1 Prueba de motores.
- 4.9.2 Chequeo de magnetos.
- 4.9.3 Más chequeos.
- 4.9.4 Briefing de despegue.
- 4.9.5 Antes de despegar.

4.10 ESTELA TURBULENTA.
- 4.10.1 Como se produce.
- 4.10.2 Como evitarla.

 © M.A.Muñoz

PREVUELO

4.1 BAUTISMO Y PRIMER VUELO.

Hay muchos y buenos pilotos de aeroplanos que no conocen exactamente como funciona este, lo mismo que hay buenos interpretes de piano que no necesitan saber como está fabricado. ¿Quiere esto decir que saber porqué el avión hace lo que hace es estéril?. No, ni mucho menos. Un buen piloto es aquel que ha desarrollado unos buenos hábitos de pilotaje y los interioriza como propios, jugando la teoría un papel muy importante como base de este desarrollo. Conocemos por ejemplo como y porqué se produce una pérdida, pero si de repente sufrimos una nuestro cerebro no estará para teorías, posiblemente incluso se bloquee; una buena práctica será la que nos saque de esta situación sin sufrir sobresaltos. El principal objetivo de la instrucción de vuelo es este, desarrollar en el alumno unos buenos hábitos de pilotaje, sirviéndose de los conocimientos teóricos como base.
Puede leerse libros de aviación, manuales, teorías, estas páginas u otras, lo que le parezca mas adecuado. Mi experiencia personal me permite recomendarlo, pues creo que mi técnica de pilotaje ha mejorado, dentro de lo que cabe, gracias a mi mejor conocimiento sobre la materia. Pero solo sacará el mejor provecho de todo ello si se sube a un avión y practica con un instructor hasta que los buenos hábitos de pilotaje sean como una segunda naturaleza.

4.1.1 Bautismo de vuelo.

Obtener un título de piloto, ya sea de avioneta, ultraligero, velero, globo aerostático, y creo incluso que de escobas si hubiera, supone realizar un curso que en España no es barato precisamente. Y si alguien se hace piloto no creo que sea para presumir sino para poder volar. Y las horas de vuelo tampoco son una bagatela. Esto no es motivo para privarse de un sueño, pues con seguridad nos gastamos más dinero en cosas superfluas y muchas escuelas solo exigen un pequeño desembolso inicial y luego se paga a medida que se vuela, pero si para tomarse las cosas con cautela. Si ninguna persona en sus cabales se tira a una piscina sin comprobar antes si hay agua, porque no probar la sensación del vuelo antes de comprometerse. En la mayoría de los aeródromos seguro que hay una escuela, cuando no varias, que por una módica cantidad proporciona un bautismo de vuelo a cargo de un instructor.

En otro orden de cosas, conozco algunas personas que cuando les menciono mi afición (mas bien pasión) me proponen les dé un paseo en avioneta. Son de esas cosas que mucha gente quiere hacer pero no lo hace. A todos ellos suelo responderles lo mismo: les acompaño al aeródromo, les presento a los instructores, y por el mismo dinero que cuesta una buena cena les proporcionan un bautismo de vuelo, incluyendo a su pareja, un amigo, una amiga, etc.. Si se tiene el gusanillo o el capricho de volar, porqué no darse el placer de un vuelo cuando se pueda.

4.1.2 Primer vuelo.

El primer vuelo como alumno debiera incluir poca instrucción como tal, pues la excitación del vuelo y la falta de concentración del estudiante impide que pueda asimilar normalmente las primeras enseñanzas. El instructor no debe pretender del alumno que entienda y comprenda todo lo que le explica, es más, un exceso de instrucción puede producir confusión y agobio en el alumno. Una duración de poco más de media hora es suficiente para el primer vuelo; más corto no da para nada y mayor duración no aporta mucho porque el estado emocional del alumno le hace impermeable a las explicaciones.
Que el instructor comente al alumno que todas las cosas aparentemente complicadas que realiza las hará él con toda normalidad a medida que avance la instrucción, puede fomentar en el estudiante un espíritu positivo de aprendizaje y confianza. En este primer contacto con el avión, el rol del estudiante debe ser el de un observador, siendo lo más importante que comience a acostumbrarse a la sensación del vuelo y a la apariencia del mundo desde el aire.

Dentro de los límites de la seguridad, se debe consentir al alumno que maneje los mandos de vuelo libremente, aprovechando para darle unas nociones básicas sobre movimientos y actitudes del avión.

El alumno debe hacer lo posible por sentirse relajado y a gusto, disfrutar del vuelo y de la vista del mundo que conoce, desde otra perspectiva. Este primer vuelo puede resultar una nueva experiencia de lo más interesante, proporcionando sensaciones hasta ahora desconocidas. Familiarícese con ellas y disfrútelas.
Mentalícese y sea positivo. ¿Quién no recuerda los apuros sufridos aprendiendo a conducir un automóvil, y sin embargo con el tiempo este se maneja con toda naturalidad?. Como en toda actividad, lo que ahora parece complicado o difícil, se irá haciendo cada vez más fácil a medida que progrese la instrucción.
No debe dejarse sin preguntar todo aquello que ofrezca alguna duda, no solo en este vuelo sino como norma general. La voz del instructor debe ser claramente audible y comprensible; en caso contrario dígaselo. No caiga en el extremo de querer absorber todos los conocimientos a marchas forzadas; todas las enseñanzas son graduales y cada nuevo conocimiento se comprende mejor apoyándose en lo aprendido anteriormente.

El alumno ocupa el asiento desde el cual a partir de ahora pilotará el aeroplano, y puede que el instructor incluya en este primer vuelo alguna práctica relajada de rodaje y actitudes y movimientos del avión.
Como alumno, mantenga sus manos suavemente en los mandos de control (cuernos) y los pies apoyados en los pedales pero sin presionarlos. De esta forma, puede sentir los movimientos que realiza el instructor. Este, posiblemente enfatizará que no es necesario realizar grandes movimientos en los mandos, sino que por el contrario, estos han de ser pequeños y suaves. Quizá incluso demuestre al alumno como se pilota un avión sin necesidad de aferrarse a los mandos; que en su manejo, un movimiento firme no supone brusquedad ni está reñido con la suavidad.
Esta lección debe ser aprendida para siempre: con los mandos no solo controlamos el avión sino que además a través de ellos percibimos su pulso.
Posiblemente, el instructor indique la situación de algún lugar conocido o pregunte al alumno si reconoce donde se encuentra. Su intención es ir acostumbrando al alumno a orientarse en el espacio y a familiarizarse con algunos lugares próximos al lugar donde se vaya a realizar la instrucción futura.

Es importante en este primer vuelo que el avión esté bien compensado y elegir un día con buen tiempo.

No debe uno desanimarse si a lo largo del entrenamiento el instructor parece agobiarnos con preguntas a las cuales no somos capaces de responder. Unicamente trata de desarrollar criterio propio en el alumno, criterio que le será muy necesario cuando comience a volar solo.

El alumno comparte la responsabilidad del instructor en cuanto a observar si hay otros aviones maniobrando en las cercanías o que se dirigen hacia ellos. En caso afirmativo debe hacérselo saber al instructor porque es posible que este no se haya percatado dado que no tiene ojos en la nuca ni puede ver todo.

Desde este momento y a lo largo de todo el proceso de aprendizaje, es muy importante dejar claro como se produce la transferencia del mando del avión. La frase con la cual el instructor indica que toma el mando, por ejemplo "mío el avión", debe ser concisa y dicha con voz suficientemente clara y audible.

Sumario:

- El principal objetivo de la instrucción de vuelo es desarrollar en el alumno unos buenos hábitos de pilotaje, sirviéndose de los conocimientos teóricos como base.
- Antes de comprometerse en algún curso, es recomendable y cuesta poco tomar un bautismo de vuelo.
- El primer vuelo tiene más de toma de contacto y observación por el alumno que de instrucción formal.
- Es bueno que el alumno comience a acostumbrarse a las sensaciones en un medio nuevo para él.
- Comience a sentirse relajado y a gusto, disfrute del vuelo, aprenda que el avión se controla mediante movimientos cortos y suaves.
- No dude en preguntar, pero sea paciente. Todas las enseñanzas son graduales y cada nuevo conocimiento se comprende mejor apoyándose en lo aprendido anteriormente.
- Sobre todo, prepárese para desarrollar unos buenos hábitos de pilotaje que pasen a ser como una segunda naturaleza.
- El instructor no lo ve todo, por lo que el alumno debe ayudar a observar si hay otros aviones en el área de maniobras que pueden suponer riesgo de colisión.
- Desde este momento, debe quedar claro como se produce la transferencia de control del avión, mediante una frase concisa dicha en tono alto y claro, por ejemplo "mío el avión".

 © M.A.Muñoz

4.2 CARGA Y CENTRADO DEL AVION (I).

De las cuatro fuerzas fundamentales que actúan sobre un avión (ver 1.3), hemos visto con cierto detalle a lo largo de los capítulos anteriores, distintos aspectos que afectan principalmente a tres de ellas: sustentación, resistencia, y empuje o tracción, quedando por detallar con un poco más de profundidad la restante: el peso.
Esta fuerza no tiene menor importancia que las otras ni mucho menos, de hecho si no existiera los aeroplanos no tendrían razón de ser; es más, el peso es uno de los mayores problemas a resolver a la hora de diseñar un aeroplano. A lo largo de este capítulo y el siguiente se abordan los dos aspectos fundamentales del peso en relación con el vuelo: su cantidad y la distribución del mismo en el aeroplano.

4.2.1 Control del peso.

Retomando algunos conceptos conocidos, el peso es la fuerza de atracción gravitatoria ejercida de forma perpendicular a la superficie de la tierra (más exactamente al centro de la tierra), con un sentido hacia abajo y con una intensidad proporcional a la masa del cuerpo sobre el cual se ejerce. Esta fuerza gravitatoria atrae continuamente al avión hacia la tierra, por lo cual ha de ser contrarrestada por la fuerza de sustentación para mantener al avión en vuelo.



Fig.4.2.1 - Peso del avión.

Ahora bien, la cantidad total de sustentación producida por un aeroplano no es infinita, sino que está limitada por el diseño del ala, el ángulo de ataque, la velocidad y la densidad del aire. Si la sustentación tiene un límite, es lógico deducir que el peso, fuerza opuesta, también debe tenerlo, pues en caso contrario la sustentación podría ser insuficiente para contrarrestar el peso y mantener al aparato en vuelo.

Por otra parte, un avión se diseña en función del uso al cual está destinado, carga, deportivo, fumigación, militar, transporte de pasajeros, etc.. No hay mas que mirar las diferencias entre un caza y un avión comercial. Cada diseño específico, supone pues tener en cuenta una serie de factores, fruto de lo cual se establecerá el mejor compromiso entre los componentes del aeroplano. Pues bien, un factor fundamental a tener en cuenta es el peso, pues aunque los constructores tratan de hacer los aeroplanos lo más ligeros posible, sin sacrificar seguridad ni robustez, el peso supone una limitación por su influencia sobre:

- Los elementos estructurales que deben soportar dicho peso, principalmente las alas.
- El rendimiento y capacidad de maniobra del avión, que está en función del peso del mismo.
- La estabilidad o inestabilidad del aeroplano.
- La cantidad de sustentación a generar, que como sabemos es limitada.

Por todas estas razones, el fabricante limita la capacidad máxima de carga y la distribución de la misma en el aeroplano, siendo responsabilidad del piloto al mando de cualquier avión, comprobar que la carga del mismo es acorde con las especificaciones dadas por el constructor. Para realizar dicha comprobación, el piloto debe asegurarse, que el peso está por debajo del límite máximo y que el Centro de Gravedad está dentro del rango de límites especificados.

4.2.2 Efectos del sobrepeso.

El piloto de un avión debe ser plenamente consciente de las consecuencias que un exceso de peso puede acarrear sobre su persona y sobre el aparato. Cada avión tiene unos límites que si se sobrepasan resultan en un rendimiento sensiblemente inferior al que tendría en condiciones normales, pudiendo incluso dar lugar a un desastre. El primer aviso de este pobre rendimiento debido al sobrepeso suele darse durante el despegue, que no es desde luego el mejor momento para que el piloto y el avión se encuentren con problemas.

Algunas de las deficiencias de rendimiento más importantes producidas en un avión sobrecargado son:

- Se necesita mayor velocidad de despegue.
- La carrera de despegue se hace mas larga y se necesita por tanto más longitud de pista.
- La tasa de ascenso se reduce y puede ser comprometido salvar obstáculos.
- El techo máximo de operación del avión es más bajo.
- La distancia máxima alcanzable es más corta.
- La velocidad de crucero es menor.
- La capacidad de maniobra del avión se empobrece.
- Posibilidad de daños estructurales volando en áreas turbulentas.
- La entrada en pérdida del avión se produce con una velocidad mayor que en condiciones normales.
- La velocidad de planeo y aterrizaje se incrementa.
- Se necesita más longitud de pista en el aterrizaje.
- El esfuerzo sobre el tren de aterrizaje es mayor.
- La capacidad de frenada se reduce.
- etc...

Es muy importante resaltar que aunque los constructores dejan unos márgenes de seguridad, los límites dados por los mismos deben respetarse escrupulosamente. Pero no caigamos en el error de creer que con no exceder el peso máximo es suficiente, pues hay otros factores que afectan al rendimiento del avión (día caluroso y húmedo, pista cuesta arriba, aeródromo a mucha altitud, etc...) que rebajan los límites de seguridad y que combinados con un exceso de peso pueden hacer del vuelo algo impredecible. Es obligación del piloto conocer y reducir los factores que afectan al rendimiento del avión, y aunque obviamente no puede reducir la altura del aeródromo o cambiar las condiciones climatológicas, si puede reducir el peso transportado, el número de pasajeros o la cantidad de combustible repostado, y en último caso desistir de realizar el vuelo.

Para simplificar los cálculos derivados del peso del avión, los constructores de aviones ligeros suelen incluir entre otros en el Manual de Vuelo, ejemplos de cartas de carga, gráficos precalculados, etc... que en general son adecuados y suficientes para un uso general por los pilotos privados, aunque no obstante y puesto que es su responsabilidad, el piloto debe conocer los principios básicos de estos cálculos y aplicarlos por si mismo llegado el caso (capítulo 4.4).
En la imagen 4.2.2 se muestra como ejemplo un gráfico obtenido de un Manual de Vuelo de un avión determinado, el cual especifica la velocidad de pérdida en función del peso bruto total, y según la extensión de flaps.

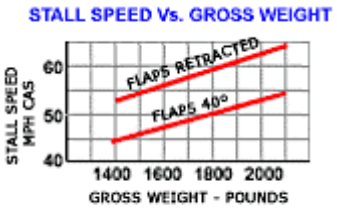


Fig.4.2.2 - Ejemplo de gráfico.

4.2.3 Limitaciones de peso.

Para mantener el rendimiento y las características de vuelo para las cuales ha sido diseñado el aeroplano, este debe volar siempre con el peso y la posición del Centro de Gravedad dentro de los límites dictados por el fabricante. A continuación se detalla la nomenclatura de los pesos máximos que suelen especificarse en los Manuales de Vuelo, dejando para al capítulo próximo lo relativo a la posición del Centro de Gravedad.

Peso máximo de despegue. En ingles Maximum Takeoff Weight (MTOW), es el peso máximo aprobado para el aeroplano al comienzo de la carrera de despegue, peso que no debe nunca excederse. Este dato es un límite no una garantía, así que a la hora de evaluar el despegue han de tenerse en cuenta otros factores que pueden influir en el mismo y obligarnos quizá a disminuir el peso del avión. Salvo que la situación sea muy clara, conviene consultar en las tablas del Manual de Vuelo el peso máximo y la longitud de pista necesaria para el despegue en las condiciones actuales. Si es necesario, habrá que disminuir el peso del avión y si no queda mas remedio suspender el vuelo.

Peso máximo de aterrizaje. En ingles Maximum Landing Weight (MLW), es el peso máximo aprobado que puede tener el avión a la hora de aterrizar. Este límite depende principalmente de la resistencia estructural del tren de aterrizaje. Además de contar con la limitación al peso del avión para aterrizar, debemos contar como siempre con otros factores que influyen en la toma. En aviones ligeros no es frecuente, pero en caso de aviones pesados, debe tenerse en cuenta además las características de la pista en cuanto a peso que soporta, dato que se incluye en las cartas de aproximación.

Peso máximo sin gasolina. En ingles Maximum Zero Fuel Weight (MZFW), es el peso máximo aprobado para el avión descontado el combustible. La razón de este límite viene dada por el efecto de contrapeso que ejerce el combustible en los depósitos del ala a las cargas impuestas sobre las mismas por ráfagas o turbulencias. Con este límite se reduce la posibilidad de un fallo estructural en las alas.

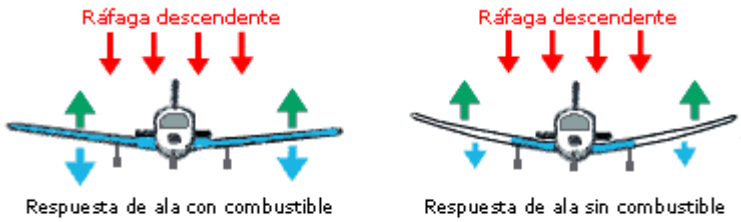


Fig.4.2.3 - Respuesta del ala a una ráfaga en avión con sobrepeso.

Mientras que el cálculo del peso en aviones comerciales se realiza atendiendo a cifras medias, dada la imposibilidad de pesar por ejemplo el pasaje, en aviones ligeros el computo debe realizarse en base a los pesos reales. El peso máximo permitido nunca puede excederse; si por algún medio se carga combustible adicional, el peso en exceso debe ser balanceado minorando el peso del pasaje o del equipaje.

Sumario:

- Los aviones se diseñan con el propósito de obtener un rendimiento determinado, dentro de unos límites de peso en cuanto a cantidad y distribución del mismo dentro del aeroplano.
- Es responsabilidad del piloto al mando del avión, comprobar que la carga del mismo está dentro de los límites impuestos por el fabricante.
- Un exceso de peso produce un rendimiento del aeroplano por debajo del que tendría dentro de los límites de peso para el cual ha sido diseñado. Este exceso puede dar lugar incluso a un desastre.

- Las deficiencias de rendimiento por sobrepeso puede hacer crítico el despegue de un aeroplano, el despeje de obstáculos, la capacidad de ascenso, o la velocidad de pérdida, entre otras muchas.
- Es conveniente recordar que las limitaciones dadas por el fabricante son eso mismo, limites, en ningún caso garantías. Por tanto deben tenerse en cuenta otros factores que afectan al rendimiento y capacidad de maniobra del aeroplano.
- Normalmente, los gráficos y tablas precalculadas que incluye el fabricante en el Manual de Vuelo son suficientes para un uso general en aviación ligera. No obstante, el piloto debe conocer como efectuar los cálculos relativos a peso y su distribución pues es su responsabilidad.
- Peso máximo al despegue (MTOW) es el peso límite que puede tener un avión al comenzar la carrera de despegue.
- Peso máximo de aterrizaje (MLW) es el peso máximo que puede tener el avión al tomar tierra, debido a la limitación de resistencia estructural del tren de aterrizaje.
- Peso máximo sin gasolina, también denominado cero fuel (MZFW), es el peso máximo que puede tener un avión descontado el combustible de las alas. Esta limitación se debe al efecto de contrapeso que ejerce el combustible ubicado en las alas, y persigue limitar el posible daño estructural impuesto a las alas por un excesivo factor de carga.
- Recordemos de nuevo, un automóvil también tiene límites, pero un buen conductor no solo lo mantiene dentro de esos límites sino que adapta la carga transportada, la velocidad y todos los demás parámetros de conducción al estado de la carretera y a la situación meteorológica (lluvia, nieve, viento, etc...).

4.3 CARGA Y CENTRADO DEL AVION (II).

En el capítulo anterior se ha abordado el control del peso del avión, sus limitaciones, y los efectos que tiene sobre el vuelo rebasar dichos límites, todo ello desde un punto de vista cuantitativo, es decir en cuanto a cantidad de peso del avión, mencionando muy de pasada otro aspecto: su distribución. Aunque es importante observar las limitaciones de peso dadas por el fabricante del aeroplano en cuanto a cantidad, más importante es aún si cabe atenerse a las limitaciones en cuanto a su distribución, dado que el mismo peso según se coloque en uno u otro lugar ejercerá mayor o menor efecto de palanca. Aunque un aeroplano mantenga el peso dentro de los límites, una inadecuada distribución del mismo puede acarrear graves consecuencias, tal como veremos a lo largo de este capítulo.

4.3.1 Centro de Gravedad y Balance.

El Centro de Gravedad (en adelante c.g.) es el punto de un cuerpo en el cual se considera ejercida la fuerza de gravedad que afecta a la masa de dicho cuerpo, es decir, donde se considera ejercido el peso (ver 1.3.5).

El c.g. es a su vez el centro de balance o centro de equilibrio. Si se colgara al avión por ese punto, este quedaría suspendido en perfecto equilibrio. Asimismo, como el avión es libre de moverse en cualquier dirección, todos sus movimientos los realiza pivotando sobre el c.g.
Como es natural, el c.g. no es necesariamente un punto fijo, sino que su posición, más hacia un lado o hacia otro o más adelante o hacia atrás, está en función de la distribución del peso en el aeroplano. Los límites a esta posición están fijados, para distintos pesos, en el Manual de Vuelo por el constructor.



Fig.4.3.1 - Centro de gravedad y equilibrio.

La importancia de la situación del c.g. viene dada por su carácter determinante en cuanto a la estabilidad y seguridad del aeroplano. Un avión con su c.g. dentro de los límites tabulados es manejable, responde a los mandos en la forma prevista y vuela por tanto con seguridad, mientras que el desplazamiento del c.g. mas allá de dichos límites puede volverlo inmanejable poniendo a sus ocupantes en grave riesgo. Por esta razón, el piloto tiene la responsabilidad de no exceder el límite de peso y además que el c.g. resultante de la distribución del mismo permanezca dentro de los límites impuestos si no quiere verse envuelto en situaciones muy comprometidas. En la fig.4.3.2 se muestra un avión y los puntos de aplicación de las fuerzas de sustentación y peso (Centro de presiones o sustentación y Centro de gravedad - Ver capítulo 1.3). Este avión es estable longitudinalmente debido a la disposición adecuada de su peso, tal como se refleja en la balanza de la figura.



Fig.4.3.2 - Fuerzas ejercidas en un avión balanceado.

A efectos de carga y centrado, la localización del c.g. del avión se realiza por su posición relativa respecto a dos ejes del avión: eje lateral (de un extremo a otro de las alas) y eje longitudinal (de la cola al morro), aunque tiene mucha más importancia su desplazamiento a una posición adelantada o retrasada sobre el eje longitudinal que su posición desplazada a la izquierda o la derecha sobre el eje lateral.

4.3.2 Desplazamiento lateral del c.g.

Debido a que el balance lateral es relativamente fácil de controlar, salvo casos muy exagerados lo cual no es habitual, y a que el control longitudinal es mucho más crítico, en los manuales y libros de vuelo no suele hacerse referencia a la posición lateral del c.g. y aunque esta no suele calcularse, es prudente que el piloto conozca sus efectos. Un avión mal balanceado lateralmente, implica mayor actuación sobre el alerón del lado más cargado, incrementa la resistencia, y produce menores eficiencia y rendimiento, lo cual se traduce en mayor gasto de combustible y menor radio de acción. También, la inclinación hacia el lado de mayor peso hace un poco más trabajoso el despegue y el aterrizaje. Para paliar estos efectos, las medidas normalmente recomendadas son muy elementales: tratar de equilibrar los pesos a ambos lados y consumir el combustible de los depósitos en las alas por igual (cambio de depósito de forma regular).

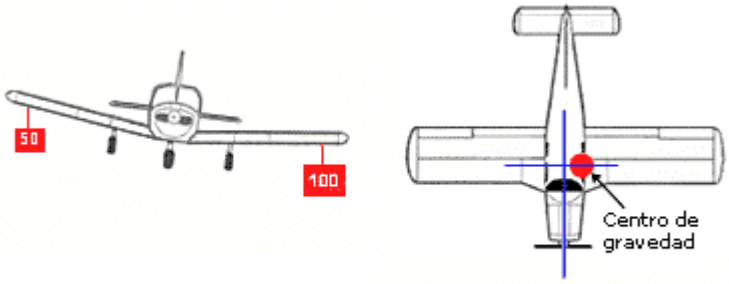


Fig.4.3.3 - Centro de gravedad desplazado lateralmente.

A continuación veamos los efectos de un c.g. excesivamente retrasado o adelantado, para cuya mejor comprensión es conveniente dar un repaso a algunos conceptos ya vistos, principalmente en el apartado 1.6.5. Según ese apartado, la estabilidad longitudinal se refiere al movimiento del avión sobre su eje transversal o eje de cabeceo (morro arriba/abajo). Esta estabilidad está principalmente resuelta por el estabilizador horizontal de cola, puesto a propósito en la parte más alejada de las alas para acentuar el efecto de palanca, estabilizador que suele tener menor ángulo de incidencia que las alas (decalaje). Con estos conceptos en mente veamos las consecuencias de un centro de gravedad fuera de límites: excesivamente retrasado o adelantado.

4.3.3 Centro de gravedad retrasado.

Si la carga en el avión (pasaje, equipaje, carga, etc..) está distribuida de forma que el c.g. resulta en una posición por detrás del límite posterior dado por el fabricante, el avión tenderá a caer de cola, y por tanto a elevar el morro (encabritarse). Debido al efecto palanca, esta tendencia se incrementa conforme aumenta el desplazamiento del c.g.

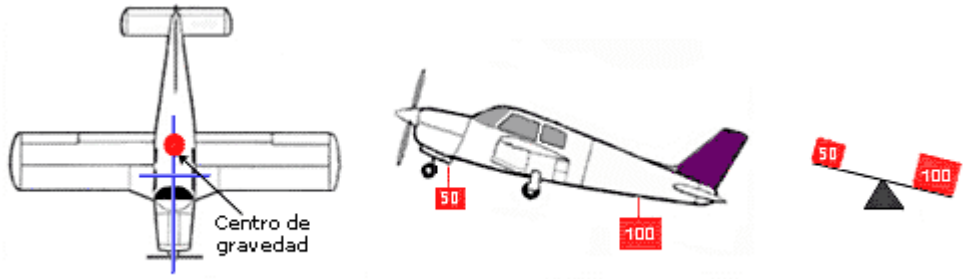


Fig.4.3.4 - Centro de gravedad retrasado = avión pesado de cola.

El centro de gravedad retrasado puede producir los siguientes efectos:

1. En el despegue, el avión tiende a rotar prematuramente y si se le consiente puede suceder que volvamos a la pista bruscamente porque la velocidad sea insuficiente o una pequeña ráfaga nos robe unos nudos.
2. Una vez despegado, el avión intentará ascender, si no se le corrige, con un ángulo de ataque excesivo y por tanto una velocidad menor que la de mejor ascenso o de mejor ángulo de ascenso. Se puede entrar en pérdida.
3. Una vez en el aire, la cola estará volando con un ángulo de ataque superior al normal, puede incluso que con un decalaje negativo, o sea mayor ángulo de ataque en la cola que en las alas (Fig.4.3.5). Esto obliga al piloto a intervenir sobre los mandos constantemente pues el avión se vuelve inestable y difícil de controlar al no tener ninguna estabilidad longitudinal.
4. La posición de vuelo del avión implica que la misma potencia del motor desarrolla menos velocidad.
5. El anormal ángulo de ataque de la cola incrementa el peligro de pérdida en todas las maniobras, sobre todo si se vuela en aire turbulento. Y si se produce una pérdida nos encontraremos con la peor de las posibles. En una pérdida normal, las alas entran en pérdida pero la cola sigue volando; el morro cae facilitando la recuperación que hace el piloto empujando el volante de control (morro abajo). Pero en este otro tipo de pérdida, la cola está volando con mayor ángulo de ataque que las alas lo cual hace perfectamente posible que la cola entre en pérdida lo primero. El morro en vez de caer !sube! lo que garantiza que las alas entren en pérdida *después* que la cola. Mal asunto, tenemos al avión con perdida en las alas y en la cola. Intentar bajar el morro (levantar la cola) incrementa el ángulo de ataque en la cola lo cual acentúa la pérdida en esta. Muy posiblemente no tardaremos en entrar en una barrena prácticamente irrecuperable.
6. Suponiendo, que es mucho suponer, que hayamos logrado mantener al avión en vuelo, aterrizarlo en estas condiciones requiere habilidad. A la hora de la recogida, o se hace esta muy delicadamente o al tirar de cuernos se corre el riesgo de que la cola se hunda más de lo debido elevando el morro más de la cuenta, y el globo sobre la pista esta servido.

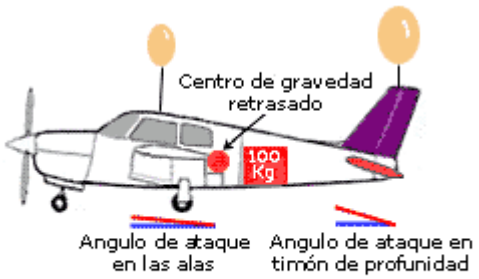


Fig.4.3.5 - Angulo de ataque excesivo en cola -decalaje negativo-

4.3.4 Centro de gravedad adelantado.

La localización del c.g. por delante del límite anterior establecido por el constructor, produce un avión pesado de morro, lo cual significa que avión tiende a subir la cola y bajar el morro. Para que el avión esté balanceado la cola puede estar volando con un ángulo de ataque negativo. Esta situación puede producir que:

1. Se necesita un gran esfuerzo para levantar el morro y el timón de profundidad solo es efectivo a gran velocidad.
2. En el despegue, el avión necesitará más longitud de pista hasta que el timón de profundidad sea efectivo para levantar el morro del avión.
3. La tendencia a picar del avión puede acentuarse si se extienden flaps.
4. La estabilidad no suele ser problemática. El avión tiene una gran cantidad de decalaje y será muy estable. Salvo en situaciones extremas el avión puede volar normalmente, hasta el momento de aterrizar.
5. Al hacer la recogida del aterrizaje, cuando se tire del volante de control ("cuernos") para elevar el morro, bajando por tanto la cola, el ángulo de ataque de esta se hace tan negativo que puede entrar en pérdida. Pero ojo, un ángulo de ataque negativo significa sustentación negativa, y a medida que la pérdida se incrementa menor sustentación negativa se tiene, o sea que la cola empieza a subir bajando el morro. Se necesita habilidad para aterrizar un avión en estas condiciones.
6. Un pequeño truco que puede ayudar a aterrizar el avión consiste en tener al avión con algo de potencia en la recogida. El aire movido por el motor incidiendo en la cola del avión puede darle algo más de control y retrasar la pérdida en la cola.
7. En caso de realizar motor y al aire, puede hacerse dificultoso levantar el morro del avión.

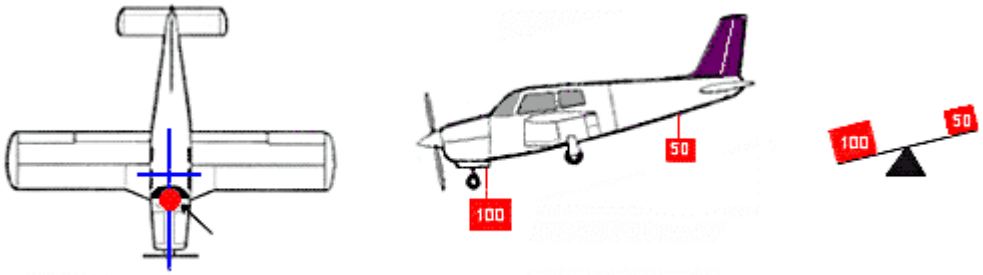


Fig.4.3.6 - Centro de gravedad adelantado = avión pesado de morro.

De las dos situaciones planteadas, c.g. retrasado o adelantado, la peor sin duda es la de un c.g. retrasado, peor incluso que excederse en el peso máximo admitido. No obstante, aun teniendo esto en cuenta, no hay que descuidarse con los límites de peso y balance del avión. Los constructores de aviones ya hacen las suficientes pruebas para poner los límites de peso y posición del c.g. tan amplios como sea posible en función de las características de vuelo para las cuales se ha diseñado el avión. No hay ninguna razón para que ampliemos los márgenes por nuestra cuenta.
El centro de sustentación del aeroplano debe estar siempre muy cerca del centro de gravedad pues en caso contrario el avión no estará en equilibrio.

Sumario:

- Es muy importante respetar las limitaciones de peso en cuanto a cantidad y más aún si cabe en cuanto a su distribución.
- Una inadecuada distribución del peso puede acarrear graves consecuencias incluso aunque la cantidad de peso se mantenga dentro de los límites.
- El Centro de Gravedad es el punto en el cual se considera ejercida la fuerza de gravedad, es decir, donde se considera ejercido el peso.

- Este punto es también el centro de equilibrio y balance alrededor del cual pivota el avión en todos su movimientos.
- La posición del c.g. varia lateral y/o longitudinalmente en función de la distribución del peso. Los límites a esta posición están fijados por el constructor.
- La importancia de la situación del c.g. proviene de su influencia en la estabilidad y seguridad del aeroplano. Si la situación del c.g. está fuera de los límites impuestos el avión puede ser inmanejable e incontrolable, poniendo al aparato y sus ocupantes en una situación de grave riesgo.
- A efectos de carga y centrado, la localización del c.g. del avión se realiza por su posición relativa respecto a los ejes lateral y longitudinal del avión. Por su mayor importancia, la mayoría de los manuales solo hacen referencia a la posición del c.g. respecto al eje longitudinal (c.g. retrasado o adelantado).
- Aunque no es crítico, un avión mal balanceado lateralmente supone mayor trabajo para el alerón del lado más cargado, incrementa la resistencia, produce menores eficiencia y rendimiento y hace más trabajoso el despegue y el aterrizaje.
- Para paliar los efectos anteriores, simplemente se recomienda tratar de equilibrar el peso a ambos lados y consumir el combustible de los depósitos en las alas por igual (cambio de depósito de forma regular).
- Una posición del c.g. por detrás del límite posterior dado hace al avión pesado de cola. Además, debido al efecto palanca esta tendencia se incrementa conforme aumenta el desplazamiento del c.g. El centro de gravedad retrasado puede producir: tendencia a rotar prematuramente en el despegue; dificultad para mantener el mejor ángulo o la mejor velocidad de ascenso; al volar la cola con mayor ángulo de ataque que las alas el avión se hace inestable y difícil de controlar; no hay respuesta de amortiguamiento a las ráfagas verticales; se incrementa el peligro de pérdida en cualquier maniobra, muy complicada de recuperar al entrar en pérdida la cola antes que las alas; a la hora de aterrizar, la tendencia a hundirse de la cola requiere una gran habilidad en la recogida.
- Si el c.g. está localizado por delante del límite dado, el avión se vuelve pesado de morro pudiendo dar lugar a: la necesidad de ejercer un gran esfuerzo para levantar el morro; el timón de profundidad solo es efectivo a gran velocidad; se necesita mayor longitud de pista en despegue; la tendencia a picar del avión se incrementa con la extensión de flaps; la recogida en el aterrizaje puede poner la cola volando con ángulo de ataque negativo y que esta entre en pérdida; frustrar el aterrizaje y hacer motor y al aire puede hacerse complicado.
- El c.g. retrasado presenta mayores dificultades al vuelo que una posición adelantada. En cualquier caso, es obligación del piloto mantener el c.g. dentro de los límites impuestos por el constructor.

4.4 CALCULOS DE CARGA Y CENTRADO.

Una vez visto en los capítulos anteriores las razones por las cuales un aeroplano debe tener su carga y centro de gravedad dentro de los límites estipulados, veamos como se realizan los cálculos para realizar tal comprobación. Estos cálculos son muy sencillos, pues únicamente se trata de conocer el peso total del avión, agregando a su peso en vacío los pesos parciales de lo que transporta, y el total de fuerza de palanca ejercida, en función del peso de cada elemento a transportar y su distancia a una referencia dada.

4.4.1 Definiciones y términos.

Para realizar el cálculo de comprobación de carga y centrado es necesario en primer lugar familiarizarse con los términos y definiciones comúnmente empleados a este efecto. Aunque se procura utilizar la terminología más extendida en la jerga aeronáutica, puede ocurrir que en algunos manuales de vuelo, libros, etc.. se utilicen términos algo distintos aunque equivalentes.

Peso en vacío (Empty Weight). Es el peso del aeroplano incluyendo el equipamiento fijo de fábrica, el combustible no utilizable (que queda en los conductos tras agotarle), y la cantidad de aceite y líquido hidráulico máximos para tener al avión totalmente operativo. A veces, se considera que el peso del aceite y del líquido hidráulico no forman parte del peso en vacío. Esto es irrelevante, pues a la hora de hacer el cálculo incluiremos estos pesos o no dependiendo de si el fabricante los ha incluido u omitido en el peso en vacío dado. En ocasiones se distingue entre peso estándar (Standard Empty Weight) que es el detallado anteriormente y peso básico (Basic Empty Weight) que es el estándar mas el peso del equipamiento opcional (otros equipos de comunicaciones, navegación, etc...).

Datum (Datum o Reference Datum). Es el plano vertical imaginario a partir del cual se miden todas las distancias a efectos de balance y determinación del centro de gravedad. La localización de esta referencia la establece el fabricante.

Brazo (Arm). Es la distancia horizontal existente desde el datum hasta un elemento (tripulante, pasaje, equipaje, etc..).

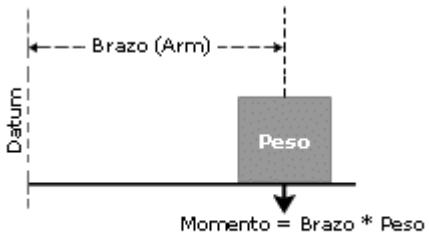


Fig.4.4.1 - Momento, Brazo y Datum.

Brazo del C.G. (C.G.Arm). Distancia horizontal desde el datum hasta el centro de gravedad.

Momento (Moment). Denominación simplificada para describir la fuerza de palanca que ejerce una fuerza o peso. En este caso, es el producto del peso de un elemento por su brazo.

Limites del C.G. (C.G. Limits). Establecen los límites a la posición del C.G. dentro de los cuales un avión con un peso determinado puede volar con seguridad. Se suelen expresar en pulgadas contando a partir del datum.

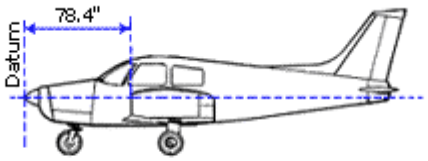
Hay más términos y definiciones, pero con los aquí reseñados es suficiente para realizar los cálculos de carga y centrado.

En el momento de certificar un avión, el fabricante debe proveer un registro en el cual conste el peso básico, la localización del c.g. y los límites de este. Si se realizan modificaciones en el avión, existe la obligación de registrar el nuevo peso y localización del c.g.

En la fig.4.4.2 se muestra un ejemplo de información proporcionada por el fabricante, en la cual se muestra la localización del datum, los pesos máximo y estándar, y los límites del C.G. dependiendo del peso del avión. Como la mayoría de aviones ligeros son de fabricación estadounidense, las unidades de medida suelen ser pulgadas para longitudes (brazo) y libras para el peso. Naturalmente, los momentos reflejan libras-pulgadas.

WEIGHTS

Gross Weights (lbs).....2150
Standard Empty Weights (lbs)...1275 (*)
Maximum Useful Load (lbs).....875
(*) Include unusable fuel, full operating fluids and full oil.



C. G. LIMITS

Weights	Forward Limit	Rearward Limit
2150	88.4	95.9
1975	85.9	95.9
1650	84.0	95.9

(*) The datum used is 78.4 inches ahead of the wing leading edge. Weights in pounds and limits in inches.

Fig.4.4.2 - Ejemplo de datos de carga dados por el fabricante.

4.4.2 Cálculos básicos de Peso y Balance.

Antes de proceder al cálculo, tanto del peso como de la localización del c.g., primero debemos conocer cual es el peso individual de cada uno de los elementos que transportará el aeroplano (tripulación, pasaje, equipaje, combustible, etc..) y la situación de cada uno de ellos en el avión. Obviamente, también debemos saber cual es el peso del avión en vacío y el brazo (c.g.arm) correspondiente. Seguidamente, realizamos los cálculos mediante alguno de los procedimientos reseñados a continuación, y por último, chequeamos los resultados con los límites dados. En caso afirmativo podemos salir a volar con el avión estable y seguro, en caso contrario debemos aligerar peso y/o redistribuirlo.

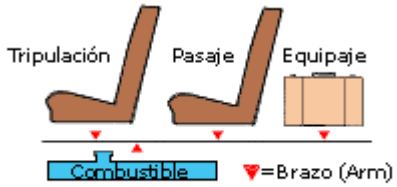


Fig.4.4.3 - Pesos y situación para cálculos.

La gran mayoría de los manuales de vuelo de aviones ligeros, incluyen gráficos y tablas de ayuda para estos cálculos. Veamos primero la matemática (es muy sencilla) del cálculo y pasemos después a apoyarnos en estos gráficos y/o tablas.

1. Basándose en una tabla similar a la mostrada a continuación como ejemplo, anotamos en la primera columna los pesos de cada uno de los elementos. En la primera línea, del avión en vacío, en la segunda del piloto y el copiloto o pasajero en asiento delantero, en la tercera del pasaje en asientos traseros, en la cuarta combustible...
2. En la segunda columna anotamos la distancia de los elementos (arm) al datum.
3. En la tercera anotamos el momento de cada fila, multiplicando el peso (col.1) por el brazo (col.2).
4. Sumamos la primera columna (peso total) y la tercera (momento total).
5. Dividiendo el momento total de la columna tercera por el peso total de la columna primera, resulta el brazo (arm) del centro de gravedad con este peso y esta distribución, es decir obtenemos la posición del c.g. desde el datum. Lo anotamos en la fila de totales, en la columna 2.
6. Ahora, solo resta chequear que el peso total (columna 1) y la posición del c.g. (columna 2) están dentro de los límites aprobados.

	Weight (Lbs.)	Arm Aft Datum (Inches)	Moment (Lbs-Inc.)
Basic Empty Weight	1169	73.2	85570
Pilot and Passenger	340	85.5	29070
Fuel (30 Gallon Maximum)	61	75.4	4599
Baggage (100 Lbs.Maximum)	100	115.0	11500
TOTAL LOADED AIRPLANE	1670	78.3	130739

Notas:
Los datos de este ejemplo no tienen relación con los dados para el avión ejemplo de la fig.4.4.2.
El Basic Empty Weight y su Arm están dados por el constructor en el Manual de Vuelo. El peso de piloto y pasajero del ejemplo, supone que ambos van sentados en los asientos delanteros. El peso estándar del combustible es de 6 libras por galón.

Habitualmente, para simplificar los cálculos los constructores establecen el datum de forma que los números calculados siempre son positivos. Pero puede suceder que en algún caso no sea así y entonces obtengamos algún valor (momento) negativo. Resulta obvio que estos valores restan.

El peso total del aeroplano del ejemplo es de 1670 libras y su Centro de Gravedad estaría situado 78.3 pulgadas a contar desde el datum (130739/1670=78.3). Comprobamos si están dentro de los límites dados por el constructor; si esto no sucediera, debemos reajustar la carga y/o su balance para dejarlos dentro de límites.

4.4.3 Cálculos basados en gráficos.

El procedimiento de cálculo con ayuda de los gráficos proporcionados por el fabricante es similar al anterior, pero evita tener que medir el brazo (arm) y el momento de cada elemento. El procedimiento de cálculo es como sigue:

1. Como en el cálculo anterior, obtenga y sume los pesos de todos los elementos. Esto nos da el peso total que debemos comprobar si está en límites.
2. Use el gráfico de carga para determinar el momento de todos y cada uno de los elementos transportados en el aeroplano (la intersección del peso en el eje Y con la línea transversal correspondiente al elemento se proyecta sobre el eje X, en el gráfico de la izquierda de la fig.4.4.4).
3. Sume todos los momentos obtenidos al momento del peso en vacío especificado por el fabricante.
4. Divida el momento total (3) por el peso total (2). El resultado es la situación del c.g. desde el datum.
5. Localice en el gráfico de la derecha de la fig.4.4.4 el punto de intersección del peso total (eje Y) con el resultado obtenido en el punto 4 (eje X). Si está dentro del contorno marcado en rojo, el avión tiene el c.g. actual dentro de límites.

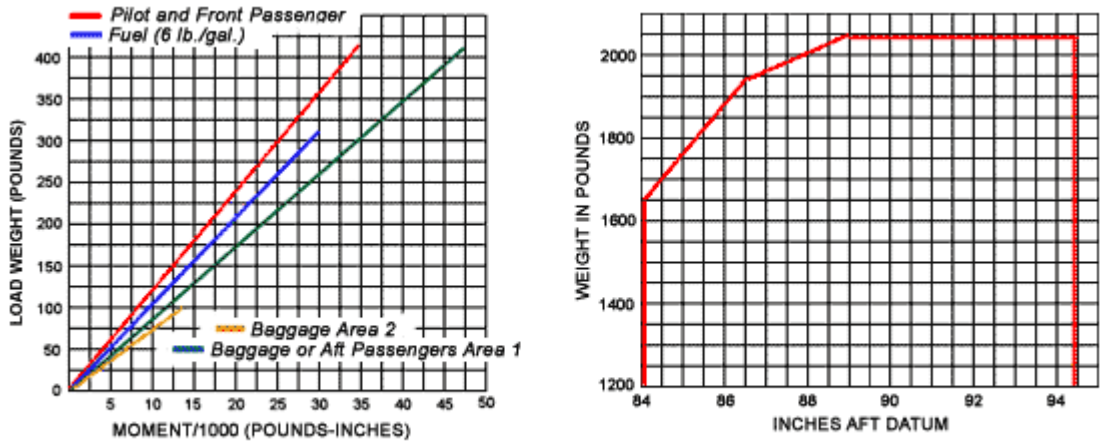


Fig.4.4.4 - Ejemplo de gráficos para cálculo de carga y centrado.

P.ejemplo: Si un piloto más un pasajero en el asiento delantero pesan 340 libras, se busca la intersección de la línea correspondiente (roja en la figura) con el peso 340 en el eje Y, obteniendo un momento aproximado de 28500. El mismo procedimiento se sigue para el combustible, pasaje o equipaje en asiento traseros, y/o equipaje en el área posterior. Con los datos del ejemplo anterior de cálculo básico, el avión con 1670 libras de peso y el c.g. 78,3" desde el datum, estaría fuera del contorno del gráfico de la derecha de la fig.4.4.4, o sea que estaría fuera de límites. No trate de buscar relaciones entre los números, solo son ejemplos.

4.4.4 Cálculos basados en tablas.

En algunos casos, el fabricante proporciona unas tablas en la cuales están tabulados los pesos y los momentos máximos y mínimos para cada peso en particular. En este caso el modo de cálculo es obvio: se deben obtener el peso y el momento total sumando los pesos y momentos parciales obtenidos mediante cualquiera de los metodos antes detallados. Con estos totales, se chequea que en la tabla dada el peso total está tabulado (no está fuera de la misma) y que el momento total resultante está comprendido entre el máximo y el mínimo especificados para dicho peso.

Peso total	Momento mínimo x 100	Momento máximo x 100
2000	1540	1734
2010	1548	1743
2020	1555	1751
2030	1563	1760
2040	1571	1769

Sumario:

- Los cálculos de carga y centrado pretender determinar de una forma sencilla el peso total del avión y el total de fuerza de palanca que ejerce cada elemento a transportar.
- Peso en vacío es el peso del aeroplano incluyendo el equipamiento fijo de fábrica, el combustible no utilizable y la cantidad de aceite y líquido hidráulico máximos para tener al avión totalmente operativo, aunque a veces no se incluye el peso del aceite y el líquido hidráulico.
- Datum es el plano vertical imaginario establecido por el fabricante, a partir del cual se miden todas las distancias a efectos de balance y determinación del centro de gravedad.
- Brazo (arm) es la distancia horizontal existente desde el datum hasta un elemento. Cuando se refiere al c.g. se denomina brazo del c.g. (c.g.arm).
- El producto del peso de un elemento por su brazo o distancia al datum, se denomina momento.

- Los límites al Centro de Gravedad expresan el rango de localizaciones, contando a partir del datum, dentro de los cuales el avión vuela estable y seguro.
- El peso total del avión se obtiene sumando al peso en vacío los pesos parciales a transportar.
- La situación del centro de gravedad (c.g.arm), se obtiene dividiendo la suma de los momentos parciales por el peso total del avión.
- Algunos manuales incorporan tablas y gráficos para simplificar los cálculos.
- Las unidades empleadas suelen ser en su mayoría libras para los pesos y pulgadas para las distancias.
- En general, se considera un estándar de 170 libras de peso para una persona de constitución normal.
- El combustible tiene un peso estandarizado de 6 libras por galón USA.

 © M.A.Muñoz

4.5 RENDIMIENTO (PERFORMANCE).

Se denomina rendimiento (performance) al conjunto de capacidades ofrecidas por un avión de acuerdo con el objetivo primordial para el cual ha sido diseñado.
Aunque este conjunto de capacidades varía de un avión a otro según el objetivo de operación para el cual se haya diseñado (carga, transporte, deportivo, etc...) e incluso dentro de la misma línea de operación (p.ejemplo transporte a corta o larga distancia), existen una serie de factores que afectan de forma general al rendimiento de cualquier aeroplano, con independencia de su diseño y objetivo de operación. Este capítulo trata de estos factores, enfocándolos específicamente a su incidencia en aviones ligeros con motor de pistón.

Antes de nada, es primordial conocer con certeza en que categoría ha sido certificado el aeroplano (Normal, Utility, Acrobatic). Nunca debemos pretender obtener del aparato un comportamiento y unas capacidades para el cual no ha sido preparado. En el manual de operación de cada avión se especifican las limitaciones según su certificación (P.ejemplo: Normal Category - All acrobatic maenuvers including spins prohibited).

4.5.1 Efecto de la densidad.

La densidad del aire, es quizá el factor simple más importante que afecta al rendimiento del avión, pues influye en la sustentación, la resistencia, el rendimiento del motor y la eficiencia de la hélice. Volviendo al capítulo 1.1, recordemos que cuanto mayor es la temperatura menor es la densidad; que a menor presión menor densidad, y que a mayor altura le corresponde una menor densidad.

Sobre la sustentación y la resistencia. La densidad (**d**) es un factor que interviene en las fórmulas tanto de la sustentación como de la resistencia (ver 1.3). De ambas, se infiere fácilmente que a mayor densidad mayor sustentación, mayor resistencia, y viceversa. Conclusión: cuanto mayor sea la altura de vuelo menor será la densidad y por tanto menor la sustentación y la resistencia al avance.

Sobre el motor y la hélice. El motor produce potencia en función del peso del aire que entra en los cilindros. Para un mismo régimen, el volumen de aire que entra es el mismo, pero el peso varía con la densidad: a mayor densidad mayor peso y viceversa. Esta variación de la densidad tiene dos efectos: por un lado el rendimiento del motor es menor cuanto menor sea la densidad, pero por otro, la cantidad de combustible a mezclar debe ser menor para mantener la proporción adecuada de la mezcla (Ver 3.7). Estos efectos no tienen incidencia en motores turboalimentados.
En cuanto a la hélice, esta produce empuje o tracción en función de la masa de aire acelerada por las palas de la misma. Está claro que la hélice es menos eficiente con una densidad baja del aire que con una densidad alta. A la vista de los efectos anteriormente mencionados, podemos concluir que:

- Más temperatura, menos presión, más altura suponen menos densidad.
  Menor densidad --> menor rendimiento.
- Menos temperatura, más presión, menos altura implican mayor densidad.
  Mayor densidad --> mayor rendimiento.

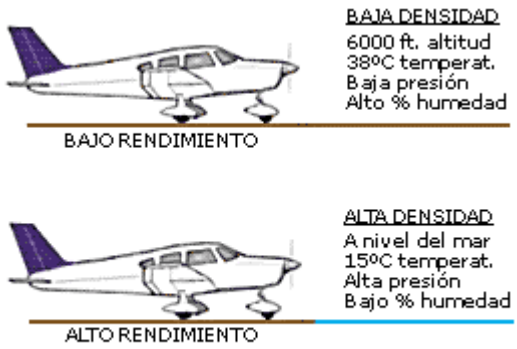


Fig.4.5.1 - Rendimiento según la densidad.

Una vez que conocemos los efectos que la variación de la densidad tiene sobre el rendimiento del avión, se nos pueden ocurrir varias preguntas: ¿hay algún indicador o instrumento a bordo que nos diga la densidad? ¿si no lo hay cómo se calcula? ¿cómo se deduce el rendimiento del avión a partir de una densidad dada?.
Vamos con las respuestas. No hay indicador o instrumento a bordo que indique *directamente* la densidad, pero los manuales de operación suelen incluir unas tablas tabuladas, en las cuales se obtiene la densidad en base a la temperatura y la presión (fig.4.5.1). Pero además, en general no es necesario conocer *explícitamente* la densidad, pues los manuales de operación incluyen una serie de tablas de rendimiento, especificas para ese aeroplano, en función de la *temperatura* y la *presión* de altitud. En definitiva, conociendo la altitud de presión y la temperatura exterior, basta con consultar la tabla tabulada correspondiente para conocer el rendimiento esperado del aeroplano.
Hay que tener en cuenta que la información dada por el fabricante en las tablas de rendimiento, se obtiene mediante pruebas de vuelo efectuadas en condiciones normales de operación, hechas por pilotos con una notable experiencia y con el aeroplano en buenas condiciones. Es prudente pues, contar con un rendimiento ligeramente inferior y prever un ligero margen de seguridad.

4.5.2 Altitud de presión y de densidad.

En algunos libros y manuales, cuando se habla de rendimiento se suele recurrir a dos conceptos que en ocasiones producen confusión en los alumnos pilotos: altitud de presión y altitud de densidad (ver 2.3.6).
En condiciones estándar, a cada altitud concreta le corresponde una presión determinada; si ponemos ambos valores en dos columnas, podemos determinar la altitud a partir de la presión y viceversa. Este es el principio de funcionamiento del altímetro. Lo mismo sucede con la densidad; en condiciones estándar a cada altitud le corresponde una densidad y viceversa; de ahí el nombre altitud de densidad. En esta relación biunívoca, la altitud de presión por tanto, no es ni más ni menos que la altitud que corresponde a una presión concreta en condiciones estándar, y esa misma altitud corregida por las desviaciones de temperatura respecto a la estándar recibe el nombre de altitud de densidad.

La altitud de densidad NO es un nivel de vuelo, es una "condición", por lo que es importante recordar que la altitud *indicada* por el altímetro, calado habitualmente con el QNH o el QNE, es siempre nuestra referencia de altura en lo que respecta al vuelo. No nos confundamos, hay distintas denominaciones para distintos conceptos de altitud, debemos conocerlas, comprender su significado y para que sirven, pero nuestra referencia sobre la altura de vuelo del avión es la indicada por el altímetro. Resumiendo: el nivel de vuelo viene dado por el altímetro (altitud de presión) y la altitud de densidad se utiliza para determinar el rendimiento del avión.

El objetivo de una tabla consiste en mostrar el resultado de una consulta basada en valores conocidos. Y aunque no tenemos a bordo instrumentos que midan la densidad, tenemos uno que indica la presión (altímetro) traducida en altura y otro que mide la temperatura (OAT - Outside Air Temperature). Lo más lógico por tanto es construir las tablas en base a valores de presión traducidos en altura, y valores de temperatura, teniendo como referencia la atmósfera estándar.

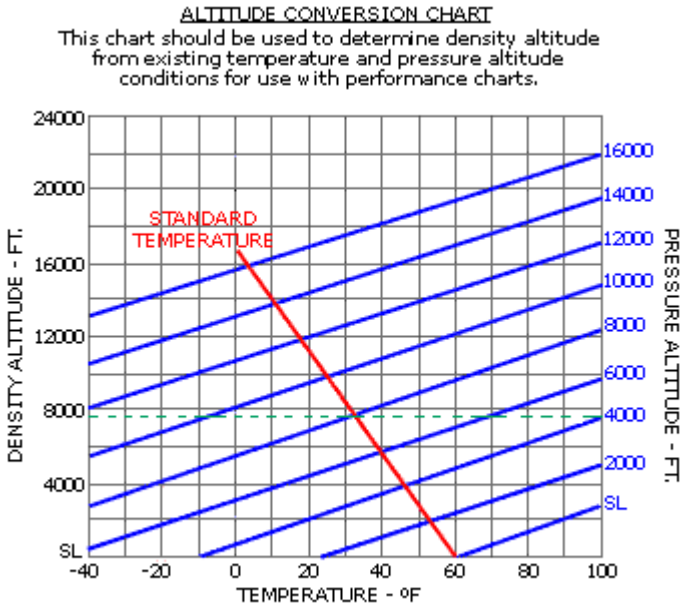


Fig.4.5.2 - Gráfico de conversión de altitud.

En la fig.4.5.2 se muestra un gráfico de conversión de altitud de presión a altitud de densidad. Si por ejemplo nos encontramos en un aeródromo con una altitud de presión que corresponda a 4000 pies (p.ejemplo pudiera ser Robledillo de Mohernando - Guadalajara) y la temperatura exterior es de 38ºC, que equivale a 100ºF, nuestra altitud de densidad es de cerca de 8000 pies, o sea que el rendimiento del avión es como si despegáramos de un aeródromo situado a casi 8000 pies. La intersección de la línea azul de 4000 pies de altitud de presión, con la línea vertical de 100ºF, casi toca la línea horizontal correspondiente a 8000 pies de altitud de densidad (línea verde discontínua).

4.5.3 Otros factores.

Humedad. Debido a la evaporación, la atmósfera siempre contiene alguna parte de moléculas de agua en forma de vapor, las cuales ocupan el lugar de las moléculas de aire seco. Debido a la menor densidad del vapor de agua respecto al aire seco, un determinado volumen de aire húmedo pesa menos (es menos denso) que el mismo volumen de aire seco. Aunque en las tablas de rendimiento para aviones ligeros no suele considerarse la humedad, conviene tener en cuenta que con un alto porcentaje de humedad en la atmósfera el rendimiento del avión disminuye.

Viento. El efecto del viento en superficie tiene, en cierto sentido, un efecto contrario al mismo viento durante el vuelo. En el despegue o aterrizaje el viento en cara es positivo: hace mas corta la carrera de despegue o aterrizaje; incrementa el ángulo de ascenso y la senda de descenso; posibilita una mejor liberación de obstáculos; etc... Por el contrario, el viento en cola para estas dos operaciones es negativo; salvo casos de fuerza mayor, nunca debe realizarse un despegue o aterrizaje con viento en cola.
Sin embargo, en vuelo de crucero el viento en cara incrementa la resistencia al avance y por tanto el consumo de combustible, mientras que el viento en cola incrementa la velocidad respecto al suelo permitiéndonos llegar antes a nuestro destino. Para un mismo gasto de combustible el radio de acción con el viento en cara es menor que con el viento en cola.

Estado de la pista. En las operaciones de despegue y aterrizaje, el estado de la pista y su gradiente (cuesta arriba o cuesta abajo) puede tener una gran influencia. Una pista de hierba, tierra o grava, mojada, etc.. produce mayor resistencia al movimiento del avión que una pista asfaltada y seca. Esto implica una carrera de despegue más larga y por tanto la necesidad de una mayor longitud de pista para despegar.
Naturalmente, una pista cuesta arriba alarga la carrera de despegue y acorta la de aterrizaje. De la misma manera una pista cuesta abajo acorta la carrera de despegue y alarga la de aterrizaje.

Peso. Ya sabemos, por capítulos anteriores, que el peso y su distribución tienen unos límites que no se pueden sobrepasar si queremos volar sin riesgos. Pero aun estando el peso y el c.g. dentro de estos límites, es obvio que para levantar y mantener en vuelo un peso mayor se necesita mayor rendimiento del avión que con menos peso. En algunos casos extremos, aeródromo a mucha altitud en un día con temperatura y humedad muy altas, puede suceder que el peso suponga un handicap tal que no sea posible el despegue.

Del análisis de las explicaciones anteriores, pudiera extraerse la conclusión incorrecta de que un piloto debe estar comprobando continuamente el rendimiento del avión, según las tablas, para comprobar si puede o no realizar una determinada maniobra. Esto no es exactamente así. Un piloto juicioso y sensato, es decir un buen piloto, conoce lo que puede y no puede esperar del avión, y en condiciones normales no necesita echar mano de las tablas. Pero ese mismo piloto, reconoce cuando las condiciones son desfavorables y antes de correr un riesgo, aunque sea mínimo, consulta con las tablas, sobre todo en la maniobra que puede volverse más critica con un bajo rendimiento del avión: el despegue y ascenso posterior. Por su seguridad, sea prudente a la hora de valorar su capacitación como piloto y el rendimiento del avión cuando decide salir a volar, máxime cuando se dan una o más combinaciones de factores desfavorables.

4.5.4 Uso de tablas de rendimiento.

Seguidamente se describen una serie de tablas, cartas o gráficos de rendimiento, entendiéndose claramente que las mismas son para familiarizar al lector con su uso y estudio, insisto: NO SON PARA USO OPERACIONAL.

Los manuales de operación suelen contener tablas de rendimiento de casi todo: longitudes de pista necesarias para el despegue, para el aterrizaje, tasas de ascenso, velocidad de pérdida s/ángulo de alabeo, consumos y distancias recorridas en función del viento y la potencia aplicada, distancias de planeo, vuelo con la mejor economía de combustible, etc... Estas tablas pueden tener dos formatos: un tabulado de columnas sencillo, en el cual basta con buscar un dato en una o más columnas y encontrar su correspondencia, o un formato gráfico con una serie de líneas, cuyas intersecciones muestran valores computados.

TAKEOFF DISTANCE - FLAPS RETRACTED - HARD SURFACE RUNWAY										
GROSS WIGHT LBS.	IAS 50 FT. MPH	HEAD WIND KNOTS	AT SEA LEVEL 15ºC		AT 2500 FT. 10ºC		AT 5000 FT. 5ºC		AT 7500 FT. 0ºC	
			GROUND RUN	TOTAL TO CLEAR 50 FT. OBST.	GROUND RUN	TOTAL TO CLEAR 50 FT. OBST.	GROUND RUN	TOTAL TO CLEAR 50 FT. OBST.	GROUND RUN	TOTAL TO CLEAR 50 FT. OBST.
1620	70	0	730	1385	910	1650	1135	1985	1360	2440
		10	500	1035	630	1250	780	1510	975	1875
		20	300	730	390	890	510	1090	640	1375
Increase the distances 10% por each 15ºC increase the temperatura above standard for the particular altitude. For operation on a grass runway increase the distance 7%										

Fig.4.5.3 - Tabla de rendimiento en despegue.

En la fig.4.5.3 tenemos un ejemplo de tabla tabulada sencilla, en este caso de distancia de despegue, la cual se explica casi por si misma. En la cabecera se indica que la maniobra es con flaps retraídos y se realiza sobre una superficie dura y nivelada. Aunque por sencillez solo se incluye una línea para un peso de 1620 libras, lo normal es que haya varias filas con distintos pesos. También, los manuales de vuelo suelen incluir estas tablas con distintas grados de extensión de flaps.
En la segunda columna se indica que en caso de obstáculos, la velocidad al salvar los mismos se asume que es de 70 mph. Dependiendo de la velocidad del viento en cara (head wind knots) y de la altitud y temperatura (p.ejemplo: at sea level 15ºC) obtenemos la distancia necesaria para despegar (ground run) o para despegar y además salvar un obstáculo estándar de 50 pies (total to clear 50 ft.obs.).
Una nota al pié de la tabla, indica que las distancias se incrementan en un 10% por cada 15ºC de temperatura por encima de la estándar para esa altitud, y en un 7% si la pista es de hierba.

Este tipo de tablas tabuladas tienen una pequeña pega: se necesitan realizar cálculos de interpolación en el caso habitual de que los parámetros (peso, velocidad del viento, altitud, etc...) tengan valores intermedios a los dados en la tabla.

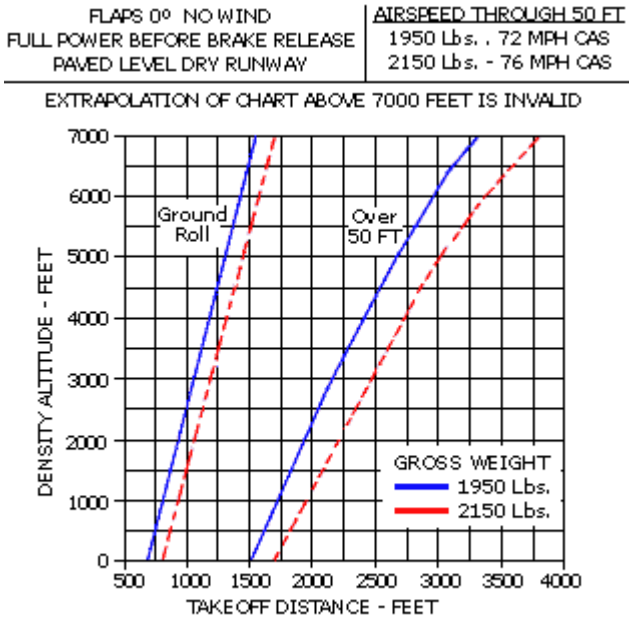


Fig.4.5.4 - Gráfico de rendimiento en despegue.

En la fig.4.5.4 tenemos otra tabla similar a la anterior pero en forma de gráfico. De nuevo, se nos indican las distancias de despegue, con los flaps retraídos (0º), sin viento, aplicando toda la potencia antes de soltar los frenos, sobre una pista seca, dura y nivelada. También se supone que en caso de salvar obstáculos, estos se liberan manteniendo una velocidad que depende del peso del avión.
En la parte izquierda del gráfico se encuentran las curvas de distancia para carrera de despegue, y en la parte derecha para despegue y además salvado de obstáculos. Basta con mirar la intersección de la altitud de densidad con la curva correspondiente para, bajando por la línea vertical, obtener la distancia necesaria.
Por ejemplo: el avión al cual corresponde el gráfico, en las condiciones especificadas en el mismo, con un peso no mayor de 1950 libras necesita 1000 pies de pista para despegar de un aeródromo con una altitud de densidad de 2500 pies.

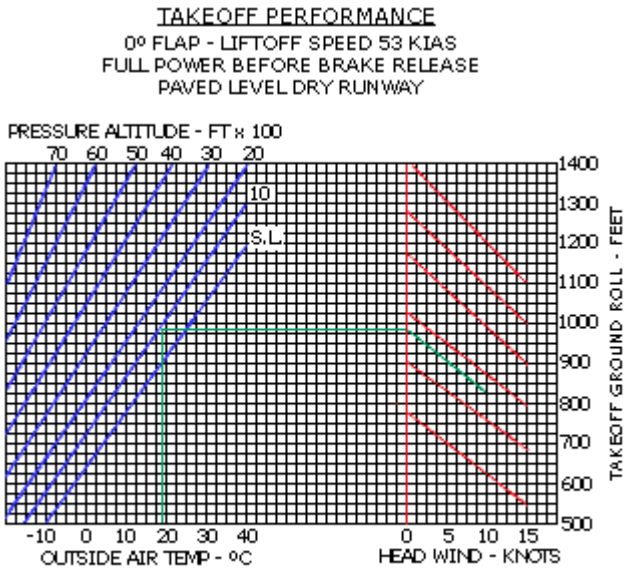


Fig.4.5.5 - Gráfico de rendimiento en despegue.

Por ultimo, la fig.4.5.5 nos muestra un gráfico de despegue más completo pero ligeramente más complejo de interpretar. Las líneas azules representan altitudes de presión en pies. Pues bien, desde la intersección de la presión de altitud y la temperatura exterior, se sigue la horizontal hasta la línea de referencia de viento (vertical roja) y desde aquí la transversal hasta la intersección con la velocidad del viento en cara. Esta última intersección coincidirá con una horizontal que marca la distancia en pies. La línea del ejemplo (verde) muestra que con una temperatura exterior de 18ºC, en un aeropuerto con una altitud de presión de 1000 pies y un viento en cara de 10 nudos, la distancia requerida para la carrera de despegue es de 840 pies.

Sumario:

- Rendimiento (performance) es el conjunto de capacidades ofrecidas por un avión conforme al objetivo para el cual ha sido diseñado.
- En ningún caso se debe pretender del aeroplano unos comportamientos y capacidades distintas de su certificación (Normal, Utility, Acrobatic).
- La densidad del aire es el factor simple más importante que afecta al rendimiento del avión.
- El factor densidad influye en la sustentación, la resistencia, el rendimiento del motor y la eficiencia de la hélice.
- La densidad es inversamente proporcional a la temperatura y directamente proporcional a la presión.
- La densidad decrece con la altura.
- A mayor densidad mayor rendimiento y viceversa.
- Altitud de presión es la altitud que corresponde a una presión determinada, en condiciones estándar.
- Altitud de densidad es la altitud de presión corregida por las desviaciones de temperatura respecto a la estándar.
- Otros factores que afectan al rendimiento de la aeronave son: la humedad relativa, la velocidad y sentido del viento, el estado y el gradiente de la pista, y el peso.
- Los manuales de vuelo suelen incluir unas tablas de rendimiento para prácticamente todas las operaciones: despegue, ascenso, crucero, menor consumo de combustible, aterrizaje, mayor radio de acción, etc...
- Estas tablas pueden ser en formato tabulado o bien gráficos con valores precalculados.

- La ventaja de los gráficos sobre las tablas tabuladas es que no necesitan de interpolación para valores intermedios.

4.6 CHEQUEO PREVUELO.

Supuesto que tiene un plan de vuelo y el piloto está preparado (física y mentalmente) para realizarlo, antes de echarse a volar es necesario comprobar que el aeroplano está operativo, es decir someterlo a un chequeo prevuelo (preflight check). El objetivo de esta operación es determinar, desde el punto de vista del piloto, las condiciones de operación del aeroplano, o sea, si este se encuentra en un estado adecuado para realizar un vuelo seguro. Las operaciones a realizar no son muchas ni complicadas, pero todas ellas son importantes; por ejemplo: comprobar el nivel de aceite y rellenar si es necesario puede evitar una parada de motor en vuelo.

La inspección debe ser una tarea rigurosa y sistemática, siguiendo paso a paso todas y cada una de las operaciones detalladas en una lista, la cual suele incluirse en una sección propia en el Manual de Operación del aeroplano. Podemos haber realizado el mismo chequeo cientos de veces y saberlo perfectamente de memoria, pero a pesar de ello debemos seguir siempre la lista. Esta es la única manera de asegurar que no se olvida ninguna operación del chequeo.

Normalmente, las escuelas proporcionan una lista escrita dividida en distintos apartados, cada uno correspondiente a una fase de operación: Preparación de cabina (Entering Cockpit o Cockpit), Revisión exterior (Preflight Check), Antes de arrancar (Before Stating Engine), Arranque (Engine Start), Después de arrancar (After Starting Engine), Rodaje (Taxiing), Prueba de motores (Ground Check), etc... Esta listas son muy escuetas (p.ejemplo: Batería...ON) y no necesitan mucha explicación, por lo que vamos a centrarnos en los detalles que parecen importantes y sobre todo en la revisión "exterior".

La lista de chequeo no lo es todo. Las listas no suelen incluir una serie de tareas previas de suma importancia: cálculo de carga y centrado, estado del tiempo y previsiones meteorológicas a lo largo de la ruta a seguir, distancia para el despegue en las condiciones actuales, cantidad de combustible suficiente, rendimiento previsto del avión para el vuelo en esas condiciones, posibilidad de aterrizaje en aeródromos alternativos, estado físico y emocional de la tripulación, etc... Se supone que el piloto ha planificado sensatamente su vuelo y antes de formalizar el plan de vuelo y subir al avión ha tenido en cuenta todos estos detalles.
Las listas tampoco incluyen obviedades: el vuelo está autorizado, el piloto tiene licencia en vigor para volar ese tipo de aeroplano en las condiciones requeridas (VFR, IFR), el avión cuenta con los seguros pertinentes, etc...

Antes de subirse al avión, si este se encuentra sujeto al suelo por anclajes, bloqueo de ruedas, etc... lo primero que suele hacer el piloto es quitar estos y la funda protectora del tubo de pitot si la hubiera, y guardar en el avión estos elementos. Una vez a bordo, procede a comprobar que la anterior tripulación ha dejado todo en su sitio y el avión "apagado" (palanca de control atrás, mezcla cortada, master OFF, etc.), pasando entonces a efectuar el chequeo denominado Preparación de Cabina.

4.6.1 Preparación de Cabina.

El objetivo de este chequeo como su propio nombre indica es: acomodar la cabina para el vuelo, desbloquear los controles y dispositivos de mando, y comprobar que los indicadores, marcadores, fusibles, funcionan correctamente y están en servicio. Las operaciones más destacadas de esta fase son:

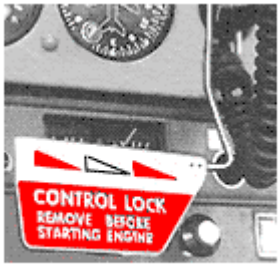


Fig.4.6.1 - Bloqueo de mandos.

- Liberar los mandos de control "cuernos" de cualquier dispositivo de bloqueo que pudieran tener (a veces se bloquean rodeándolos con los cinturones de seguridad) y asegurar que el freno de aparcamiento está puesto. Asegurar asimismo que todos los "trastos" a bordo en la parte trasera del avión están sujetos y no van a estar "bailando" durante el vuelo
- Poner los compensadores (normalmente solo hay uno) en posición de "neutral" y chequear el funcionamiento de los flaps. Estos se suelen dejar total o parcialmente abajo para facilitar su inspección durante el chequeo exterior.
- Con la batería ON y las magnetos OFF, chequear que no hay fusibles saltados, la cantidad de combustible que marcan los indicadores, que la bomba de combustible y el indicador de presión de este funcionan, que la luz de aviso del alternador está encendida (todavía no lo hemos activado), etc...
- Ajustar las frecuencias de radio, instrumentos de navegación, transponder, etc...

En la fig.4.6.2 vemos un ejemplo de parte de una de estas listas, concretamente la relativa a la preparación de cabina de una Piper Cherokee PA140. Algunas cosas pueden parecer en principio que no tienen sentido pero si lo tienen: en la lista presentada en la figura, seleccionar el depósito menos lleno tiene el propósito de que este sea el que suministre combustible durante el arranque del motor; como después de arrancar se vuelve a cambiar de depósito, esto nos asegura que la prueba de motores y el despegue se realiza alimentando al motor con el depósito mas lleno. La batería se procura que esté ON el tiempo estrictamente necesario para no gastarla innecesariamente.

Naturalmente, aunque hay una buena cantidad de tareas comunes, cada aeroplano tiene su lista propia.

PA28 - PIPER CHEROKEE 140

PREPARACION DE CABINA	
1. Documentación.....	A bordo
2. C.de Gravedad.....	Entre límites
3. Compensador.....	Neutral
4. Controles.....	Libres
* 5. Freno aparcamiento..	Puesto
6. Calefacc.carburador...	OFF
7. Magnetos.....	OFF (Llave fuera)
8. Altímetro.....	Calado QNH
9. Equipos eléctricos.....	OFF
10. Flaps.....	Chkd y abajo
*11. Batería.....	ON
*12. Breakers.....	Dentro
*13. Combustible.....	Chkd cantidad
*14. Depósito.....	El menos lleno
*15. Bomba combustible....	Chkd
*16. Naveg. / Comunic.....	Selecc.frecuencias
*17. Batería.....	OFF

En paradas intermedias solo se chequean (*)

Fig.4.6.2 - Preparación de cabina.

No solo hay chequeos que se realizan en unos aciones pero no en otros sino que la misma tarea se realiza de forma distinta según el avión. Por ejemplo: la preparación de cabina de una Cessna-150 no incluye el chequeo de la bomba de combustible porque carece de ella, o se comprueba tren abajo solo en aviones con tren retráctil.

4.6.2 Inspección exterior.

Consiste en una inspección visual que se realiza "dando una vuelta" alrededor del aeroplano, razón por la cual algunos manuales en inglés se refieren a ella con el nombre de "walk around" (caminar alrededor). Tras realizar la preparación de cabina, el piloto sale por una puerta del avión y camina alrededor, verificando una serie de puntos, para volver a subir por la misma puerta. Este "rodeo" sistemático y no anárquico impide que se quede algún elemento sin verificar.

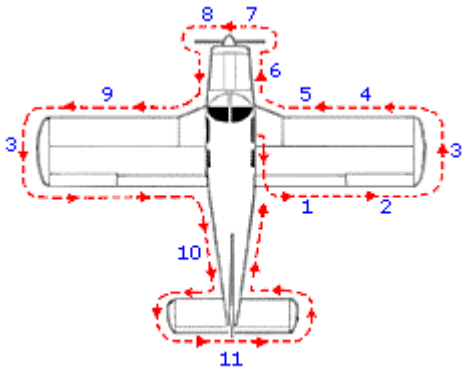


Fig.4.6.3 - Chequeo exterior.

Seguidamente se expone un procedimiento general de chequeo para un avión ligero, bien entendido que en ningún caso pretende sustituir a los procedimientos dados por el fabricante o la escuela de vuelo. Suponiendo que salimos por la puerta derecha vista desde el asiento del piloto, las tareas a realizar, con alguna variación dependiendo del modelo de avión, son las siguientes:

Ala derecha. A medida que se camina alrededor del ala, comprobar que la superficie de la misma y especialmente las superficies de control y el borde de ataque, no tienen daños, grietas o abolladuras. También, que no hay tornillos o remaches sueltos.

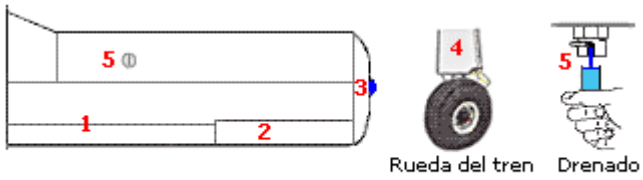


Fig.4.6.4 - Revisión "exterior" en el ala derecha.

1. Flaps. Las bisagras y varillas que los mueven no deben tener holgura.
2. Alerones. Deben moverse sin ningún impedimento. Chequear bisagras sin holgura.
3. Extremo del ala. Inspeccionar su estado, comprobando además las luces de navegación y anticolisión.
4. Rueda del tren. Debe tener la cubierta en buen estado y una presión de inflado correcta. No debe presentar huellas de fuga del líquido de frenos.
5. Combustible. Abrir el tapón del depósito de combustible y verificar de forma visual la cantidad. Cerrar bien el tapón, pues de lo contrario se vaciará en vuelo rápidamente por efecto sifón.
   Drenar mediante un dispositivo transparente adecuado (drenador) el combustible suficiente hasta asegurar que no hay rastros de agua o impurezas. En esta misma operación, comprobar el octanaje por el color (normalmente azul).
   Asegurarse que la válvula de drenado queda bien cerrada, pues se han dado casos de perder en vuelo todo el combustible por quedarse abierta.
   Si es necesario repostar, asegurarse que el octanaje suministrado es el correcto, nunca usar un grado menor. En caso de emergencia puede utilizarse un grado superior.
   Repostar con combustible contenido en bidones no es muy recomendable, debido a la presencia de agua por condensación e impurezas. En caso de hacerlo, recordar que la mayoría de las impurezas se depositan en el fondo, así que no introducir la manguera de succión hasta el fondo del bidón.
   Comprobar que el conducto de ventilación de los depósitos no está obstruido.

orro. Durante esta parte de la inspección, se revisan: el motor, la hélice, la rueda de morro, amortiguación, luz de aterrizaje, "spinner", y todos aquellos elementos situados en esta localización.

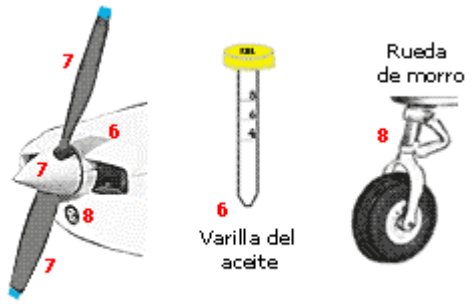


Fig.4.6.5 - "Exterior del morro del avión.

6. Motor. Abrir la cubierta del motor y comprobar:
   Sacar la varilla del nivel de aceite, y comprobar que marca una cantidad entre los números o marcas que representan máximo y mínimo. Si hay que rellenar, utilizar el aceite específico.
   Chequear que los cables de las bujías no están sueltos, y que el motor presenta buen aspecto, sin manchas que denoten pérdida de aceite. Algunos aviones tienen un dispositivo de drenado en el compartimento del motor; drenar.
   Inspeccionar que el depósito de líquido hidráulico contiene suficiente cantidad.
   Cerrar bien la puerta del compartimento del motor, puede ser muy desagradable que se abra en vuelo.
7. Hélice. La hélice no debe tener melladuras, grietas o fisuras. Manejarla con cuidado, como si estuviera "viva". Si la hélice es de paso variable, no debe presentar huellas de pérdida de aceite del mecanismo.
   El aceite usado en aviación tiene una mayor viscosidad que los usados en otros muchos motores y se vuelve muy espeso cuando está frío. Gire a mano un par de vueltas de la hélice para vencer la resistencia creada por la película de aceite frío entre el pistón y los cilindros. Esto ayuda a arrancar el motor y reduce la carga sobre el mecanismo de arranque y la batería.
   El cono delantero de la hélice o "spinner" debe estar en buen estado, sin golpes ni melladuras.
8. Rueda de morro y otros. Chequear que la rueda de morro tiene la cubierta en buen estado y una presión de inflado adecuada. Empujar el morro hacia abajo para comprobar el amortiguador y el retorno del mismo a su posición inicial. No deben existir señales de pérdida de líquido hidráulico.
   Comprobar las luces de aterrizaje, con cuidado porque se gasta mucha batería.
   En caso de reducción por correa dentada, comprobar la tensión y estado de la misma.
   En aeródromos cercanos a bosques y descampados, si el avión pasa tiempo sin moverse puede suceder que los pájaros hayan anidado en la parte delantera del motor, a veces en la entrada de aire. Mirar.
   Algunos aviones, tienen una válvula de drenado del motor en un lateral del morro. En ese caso drenar siguiendo las mismas pautas que con los depósitos.

Ala izquierda. La revisión del ala izquierda es similar a la del ala derecha. Algunos dispositivos a chequear, tales como el tubo de pitot y el mecanismo de detección de pérdida se encuentran en este ala.



Fig.4.6.6 - "Exterior" del ala izquierda.

9. Ala izquierda. La misma inspección que en el ala derecha.
   Si el tubo pitot está en este ala, comprobar que no está obstruido, no soplarlo.
   Igualmente, si el mecanismo del avisador de pérdida está en este ala chequearlo. Si el mecanismo consiste en una pequeña pletina movible, poner la batería ON y empujar esta pletina hacia arriba. Debe oírse el avisador de pérdida o encenderse la luz correspondiente.

Fuselaje. Aunque se incluye una sola vez, obviamente los detalles dados se refieren a ambos lados del fuselaje.

10. Fuselaje. Inspeccionar la condición general del fuselaje, que todas las antenas estén bien fijadas y los paneles o puertas de acceso de equipaje bien cerradas.

Empenaje trasero. Al llegar a esta parte del aeroplano, se inspecciona principalmente el estado de las superficies de control de cola (timón de dirección y timón de profundidad).

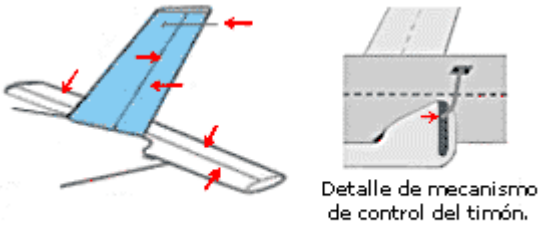


Fig.4.6.7 - "Exterior" de la cola.

11. Cola. Los estabilizadores y superficies de control deben estar en buenas condiciones, libres de daños.
    Estas últimas (timón de profundidad y timón de dirección) deben moverse sin impedimentos y tener sus bisagras bien conservadas. Es muy importante comprobar que el tornillo o mecanismo que mueve el timón de profundidad está bien fijado y sin síntomas de daños. Los constructores calculan todo con detalle, pero siempre me ha sorprendido que algo tan importante como es el control del timón de profundidad tenga un mecanismo con un tornillo que a mi se me antoja pequeño. Naturalmente, lo compruebo con todo detalle, pues trato de imaginarme un vuelo sin este control y la verdad, no me gusta nada.
    Comprobar las superficies de compensación, y la luz anticolisión de la cola.
    Algunos aeroplanos tienen una antena en la parte superior del estabilizador vertical, comprobar.

Obviamente, el malfuncionamiento de cualquier elemento inspeccionado o una revisión no satisfactoria debe dar lugar a la cancelación del vuelo.

Sumario:

- El objetivo del chequeo prevuelo es determinar, desde el punto de vista del piloto, las condiciones de operación del aeroplano para realizar un vuelo seguro.
- La inspección debe ser rigurosa y sistemática, siguiendo paso a paso todas y cada una de las operaciones detalladas en una lista, la cual debe utilizarse siempre para asegurar que no se olvida ninguna operación.
- Las listas de chequeo o checklist suelen estar incluidas de forma detallada en los Manuales de Operación proporcionados por el fabricante, en tanto las escuelas de vuelo suelen proporcionar listas resumidas para facilitar su manejo.
- Aunque a grandes rasgos las operaciones generales (hablamos de aviones típicos de escuela) suelen ser muy similares, de uno a otro modelo de avión puede haber diferencias en las tareas a realizar o la forma de hacerlas, por lo que cada uno tiene su propia lista.
- Se supone que las tareas previas al vuelo: cálculo de carga y centrado, estado del tiempo y previsiones meteorológicas a lo largo de la ruta, distancia necesaria para el despegue en las condiciones actuales, rendimiento del avión para este vuelo, aeródromos alternativos, estado físico y emocional de la tripulación, etc... han sido realizadas por el piloto antes que nada.
- Normalmente, antes de subirse al avión se deja a este libre de calzos, amarres y anclajes al suelo, fundas de tubo pitot, etc...
- La Preparación de Cabina consiste en acomodar la cabina para el vuelo y comprobar que los indicadores, marcadores, fusibles, funcionan correctamente y están en servicio.
- La inspección exterior o "walk around" es una inspección visual que se realiza "dando una vuelta" alrededor del aeroplano, verificando una serie de puntos. Este "paseo" sistemático y no anárquico impide que se quede algún elemento sin verificar.
- Además de inspeccionar el estado del avión, el piloto verifica y repone si es necesario, el combustible cargado, el aceite del motor, el líquido hidráulico, lamparas de luces, etc...
- Aunque todos los elementos a revisar son importantes, se suele prestar atención especial a aquellos más críticos (superficies de control, alas, estabilizadores, timones, combustible, aceite, motor, hélice, etc.).
- Ni que decir tiene que una revisión no satisfactoria debe suponer la cancelación del vuelo.

4.7 PUESTA EN MARCHA.

Bueno, ya hemos efectuado la preparación de cabina y la revisión exterior. Ha llegado el momento de subirse de nuevo al avión y ponerlo en marcha. En este momento comienza para nosotros el vuelo porque al arrancar el avión también se pone en marcha el contador de horas, y esto repercute en nuestro bolsillo.
No piense que esto es como los automóviles, se pone en marcha y adelante. No, antes y después de la puesta en marcha hay que realizar una serie de chequeos.

4.7.1 Antes de arrancar.

- Después de entrar en la cabina y acomodarse, cierre y bloquee las puertas de la cabina; si deja alguna abierta porque hace mucho calor, recuerde que debe cerrarla y bloquearla antes del despegue.
  La apertura súbita de una puerta "normal" en vuelo no suele ser un problema grave; lo realmente grave es que puede despistar y confundir al piloto llevándole a tomar decisiones no acertadas. Una experiencia real: en plena carrera de despegue en el aeródromo de Cuatro Vientos, en una Piper Warrior, de repente suena un fuerte ruido que me alarma. Puesto que había pista suficiente corté gases, apliqué frenos, comuniqué a la torre el abortaje del despegue y salimos a la pista de rodadura por la calle final. El problema era que la puerta, mal cerrada a pesar de estar bloqueada, se abrió de repente. Me llevé un susto aunque la decisión a tomar era relativamente sencilla, pero si esto sucede al comienzo del ascenso el susto hubiera sido mayor y quizá más comprometido averiguar la causa del ruido para tomar la decisión correcta (en este caso continuar con el ascenso).
- Los asientos deben estar posicionados para su mejor confort y visibilidad. Compruebe que la posición le permite accionar los mandos cómodamente. Asegúrese que los asientos están bloqueados en su carril de desplazamiento pues es muy desagradable que en un momento determinado se desplacen hacia atrás arrastrando a su ocupante. La Cessna-150 por ejemplo, tiene cierta debilidad en el mecanismo que bloquea el asiento en su carril y si se presiona con fuerza alguno de los pedales puede hacer esto. Lo he sufrido, aunque afortunadamente no volaba solo.
- Ponerse y asegurar cinturones de seguridad y arneses.
- Mueva un poco las palancas de gases y mezcla para comprobar que se desplazan con suavidad y en todo su recorrido. Algunos aviones tienen un dispositivo que permite ajustar la fricción del mando de gases. En ese caso póngalo con el grado de dureza o suavidad que le sea más cómodo.
- Si el avión está equipado con hélice de paso variable, póngala en paso corto (palanca adelante).
- Asegúrese que el freno de mano está puesto. A pesar de ello, en el momento de arrancar el motor presione los frenos (no siempre, porque en algunos aviones al pisar los pedales de freno se desbloquea el freno de mano).

 © M.A.Muñoz

Lo dicho en el capítulo anterior, respecto al uso de las listas sigue vigente, utilícelas para asegurar que no se deja ninguna tarea por realizar. En la fig.4.7.1 se muestra un ejemplo, correspondiente de nuevo a una Piper Cherokee 140.
El término A/R de la lista viene dado del inglés "As Required" que puede traducirse por "según se requiera"; en este caso, se refiere a que dependiendo de la temperatura exterior utilicemos el cebador (primer) una, dos o más veces para ayudar a arrancar el motor. Si se utiliza, tras esta operación asegurar que el primer se deja dentro y bloqueado.
La especificación de la lista *Area...libre*, pretende que nos cercioremos de que no hay nadie dentro del radio de acción de la hélice que pueda ser dañado por esta.

PA28 - PIPER CHEROKEE 140

ANTES DE ARRANCAR

1. Revisión exterior.....	Completada
2. Freno aparcamiento..	Puesto
3. Flaps.....	Retraidos
4. Puerta.....	Cerrada
5. Funda tubo pitot.....	A bordo
6. Asientos.....	Asegurados
7. Cinturones y arneses.	Abrochados
8. Batería.....	ON
9. Luz anticolisión.....	ON
10. Mezcla.....	Full Rich
11. Primer.....	A/R
12. Bomba combustible...	ON
13. Area.....	Libre
14. Magnetos.....	BOTH / START

Fig.4.7.1 - Chequeo pre-arranque.

Además de comprobarlo visualmente, lo habitual es decir "**libre**" por la ventanilla, en voz suficientemente alta para que nos oiga quien pudiera estar hipotéticamente cerca de la hélice.

Este "manual" trata de aviación y no de urbanidad, pero lo uno no está reñido con lo otro, al contrario. Como en cualquier otra actividad, conviene respetar a los demás y observar unas mínimas normas de cortesía. Por ejemplo, si el avión está orientado de forma que detrás tenemos la puerta de un hangar, un grupo de personas, otro piloto haciendo la revisión "exterior", etc... al arrancarlo, la masa de aire movida por la hélice causará molestias a otras personas. En casos así, lo cortés es mover el avión antes de arrancarlo, de forma que no moleste a nadie o moleste lo menos posible.

Si por alguna razón lleva algún pasajero, antes de arrancar el avión es un buen momento para darle unas nociones esenciales de seguridad, sin alarmarle El pasajero o pasajeros, deben conocer como se ponen y se quitan los cinturones de seguridad y arneses y como actuar con los mecanismos de cierre y apertura de puertas. Si el vuelo tiene tramos sobre el mar, deben saber como funcionan los chalecos salvavidas. Asimismo, deben saber que acciones se tomarán en caso de un aterrizaje de emergencia, y en definitiva todo aquello que contribuya a mejorar la seguridad en vuelo.

4.7.2 Arranque.

La última acción (14) de la lista de chequeo de la fig.4.7.1 consiste en accionar las magnetos y arrancar el motor. Aunque no se menciona en dicha lista, conviene antes tener en cuenta lo dicho en 3.10.1.

Arrancar el motor de un avión no es muy distinto que arrancar el motor de un automóvil, y los "trucos" usados para este último suelen también funcionar en el aeroplano. Los principales factores que afectan al arranque del motor son la temperatura ambiente y la temperatura del motor. Dependiendo de su diseño, unos tienen tendencia a enriquecer la mezcla rápidamente (y por tanto a ahogarse) y otros todo lo contrario. Como siempre, lo mejor es consultar el Manual de Operación proporcionado por el constructor.

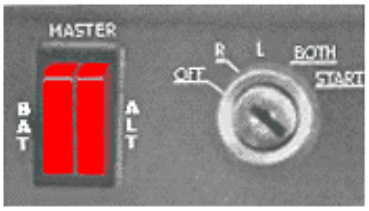


Fig.4.7.2 - Master y magnetos.

- En el arranque del motor, tenga la mano puesta en la palanca de gases, la cual estará abierta más o menos un 1/4". En algunos aviones, no todos, a la vez que se acciona la llave de las magnetos conviene accionar un poco esta palanca (como apretar y soltar ligeramente el acelerador en los automóviles), sin pasarse para no ahogar el motor.
- Si el motor no arranca antes de 10" o 20" lleve la llave de las magnetos a la posición OFF; espere unos 30" y vuelva a intentarlo. Si el tiempo es muy frío puede que necesite cebar el motor algo más; si sospecha que el motor está ahogado, ponga la palanca de gases totalmente abierta y la mezcla cortada, quite la bomba de combustible si estuviera activada y gire la llave; en el momento que el motor arranque ajuste los gases y enriquezca la mezcla.
- Una vez el motor arranque, suelte la llave de las magnetos que volverá a su posición (BOTH) de forma automática, y complete los procedimientos post-arranque.
- Algunos aviones disponen de un avisador luminoso que se enciende cuando el motor de arranque esta operando. Cuando suelte la llave este avisador debe apagarse; si permanece encendido apague el motor pues de lo contrario el motor de arranque quedará inutilizado.

4.7.3 Después de arrancar.

Con el motor ya en marcha, antes de mover el avión, sigamos con la lista de chequeo para realizar las comprobaciones correspondientes.
Aunque la primera tarea de la lista ejemplo de la fig.4.7.3 consiste en verificar la presión del aceite, yo primero ajusto los gases para no dañar por un exceso de r.p.m a un motor todavía frío y mal lubricado.

El primer punto es muy importante y su explicación obvia: si el indicador de presión de aceite no muestra presión antes de 30" parar el motor para no griparlo.
Al activar el alternador, se debe comprobar que está cargando, por el amperímetro, la luz de aviso que se apaga, o ambas cosas.
Como el avión está en el suelo, el anemómetro debe marcar 0; lo mismo el variómetro; el avioncito del indicador de actitud u horizonte artificial debe estar recto y nivelado un poco por encima de la línea del horizonte (ajustarlo si es necesario), y el bastón en posición neutral y la bola centrada.
Si se dispone de selector de depósito, como en preparación de cabina se seleccionó el menos lleno, al cambiar ahora se quedará en el más lleno. En algunos casos este cambio se incluye en el chequeo durante la prueba de motores.

PA28 - PIPER CHEROKEE 140

DESPUES DE ARRANCAR	
1. Presión de aceite.....	En arco verde Si no hay presión en 30" parar motor.
2. Alternador.....	ON y cargando
3. Gases.....	1100 r.p.m.
4. Flaps.....	Chequeados y arriba
5. Bomba combustible...	OFF
6. Indicador dirección....	Ajustar a la brújula
7. Anemómetro.....	Chequear
8. Variómetro.....	Chequear
9. Indicador actitud.....	Chequear
10. Bastón y bola.....	Chequear
11. Selector combustible.	Cambiar depósito
12. Transponder.....	Standby 7700
13. Radios.....	ON
14. Instrucciones rodaje..	Solicitar a torre
15. Altímetro.....	Calar con QNH
16. Freno aparcamiento..	Quitar

Fig.4.7.3 - Chequeo post-arranque.

Para solicitar instrucciones de rodaje a la torre, se sigue un protocolo determinado, que veremos con más profundidad en el capítulo de comunicaciones, pero que puede ser el siguiente:

- Saludamos y nos identificamos: "*Cuatro Vientos, buenos días, mag cuatro cinco bravo*". Esto último es el deletreo de MAG45B que es como nos hemos identificado en el plan de vuelo.
- Torre: "*mag cuatro cinco bravo, buenos días, adelante*".
- Le comunicamos donde estamos y nuestros propósitos: "*mag cuatro cinco bravo en plataforma con plan local de una hora, instrucciones por favor*".
- Torre: "*QNH mil veintidós ruede a punto de espera dos ocho*".
- Confirmamos: "*QNH mil veintidós, rodaré a punto espera dos ocho, mag cuatro cinco bravo*".

Ponemos pues el altímetro con el QNH recibido, quitamos el freno de mano y a rodar. Todo esta "conversación" parece muy corta, y lo es si el aeródromo no está saturado, pero en algunos muy saturados nos puede llevar mas de 10 minutos encontrar un hueco en las comunicaciones para entrar en contacto con la torre. Y mientras tanto el horómetro corriendo a "... euros" la hora.

Sumario:

- El procedimiento de puesta en marcha de avión, tras haber efectuado la revisión exterior, conlleva una serie de chequeos, previos al arranque del motor y posteriores al mismo.
- Como siempre, ambos se deben realizar siguiendo todos y cada uno de los pasos de la lista proporcionada por el fabricante, o en su defecto por la escuela.
- A la hora de poner en marcha el motor, tener en cuenta lo detallado en 3.10.1 para un mejor cuidado del mismo.

4.8 RODAJE (TAXIING).

Se entiende por rodaje al movimiento del avión en el suelo. El propósito principal del rodaje es maniobrar el avión para llevarlo a la posición de despegue o retornarlo al área de aparcamiento después del aterrizaje.
La exposición de este capítulo se enfoca bajo este punto de vista. Puede haber muchas otras razones que obliguen a mover el avión, pero en ese caso también son aplicables las reglas generales aquí expuestas.

La mayoría de las precauciones a observar cuando se rueda el avión (por ejemplo, comprobar que no vamos a colisionar con algún avión estacionado o cualquier otro obstáculo) son válidas en todo momento, mientras que algunos procedimientos son exclusivos del rodaje pre-despegue o post-aterrizaje. Para evitar redundancias innecesarias, estas generalidades se detallan únicamente en uno de los apartados de este capítulo, esperándose del lector de estas páginas el suficiente sentido común para saber cuando aplicarlas.

4.8.1 Rodaje previo al despegue.

El rodaje implica el uso de tres controles: gases, pedales y volante de control; gases para mover el avión, pedales para girar en el suelo y/o frenar el avión y volante de control para contrarestar la fuerza del viento durante el rodaje.

Para poner en movimiento el avión se necesita más potencia que para mantenerlo rodando. Por esta razón, habrá que abrir gases progresivamente hasta que el avión se ponga en movimiento, para después irlos bajando hasta el punto que se mantenga una velocidad moderada y continua. La cantidad de potencia a aplicar depende de varias cosas, pero la principal es el grado de firmeza de la superficie en la cual descansa el avión.
Para que el aceite tome algo de temperatura, algunos fabricantes recomiendan que transcurra al menos un minuto desde el arranque del motor hasta la aplicación de potencia para mover el avión, especialmente en tiempo frio. Lo normal es que el chequeo posterior al arranque del motor y previo al rodaje consuma este minuto sobradamente.

En los primeros metros recorridos, ponga a prueba los frenos aplicándolos suave y progresivamente; si lleva copiloto también debe probar los suyos. Si los frenos no funcionan adecuadamente, este el momento apropiado para detectarlo. Recordar que los frenos se aplican pisando la parte superior de los pedales y que cada pedal actúa sobre la rueda de su lado.

Controle la velocidad con la que rueda y este atento para no colisionar con otros aviones aparcados, edificios, obstáculos, etc... Tengo experiencia para recomendar esto, pues tras un vuelo de instrucción bastante decente y una buena toma, en una distracción del instructor, un mal calculo de la distancia provocó que golpeara con el extremo del ala a un avión que sobresalía del aparcamiento. Afortunadamente, la velocidad que llevaba era pequeña y salvo el daño del ala que mantuvo varado al avión un par de semanas no hubo que lamentar más desgracias, pero deseé que me tragara la tierra.
Rodar el avión con exceso de potencia y controlar la velocidad aplicando frenos continuamente es tan mala práctica como conducir un automovil pisando el acelerador y el freno a la vez. En su lugar, aplique la potencia necesaria para rodar suavemente sin tener que recurrir a los frenos. Estos actúan solo sobre las dos ruedas del tren principal y su capacidad de frenada es inferior a la de un automovil, por lo que en caso de fallo, llevar poca velocidad permitirá parar en poco espacio cortando gases.
Una buena regla es que la velocidad del avión no debería ser mayor que la de una persona caminando rápidamente.

Si la superficie es blanda, posiblemente necesite algo más de velocidad para evitar que el avión se atasque y tener que aplicar más gases de la cuenta para sacarle de ahí. Pero si la superficie tiene grava, piedras sueltas o cualquiera otro material que pueda saltar y dañar la hélice, es necesario operar el motor con pocas r.p.m.
El control de la velocidad es especialmente importante cuando se rueda en estos tipos de superficies o en condiciones de fuerte viento. Para aminorar la velocidad, primero corte gases en la cuantía necesaria y después si es necesario aplique frenos.

La mayoría de los aviones ligeros disponen de una rueda dirigible (ver.3.9) mediante los pedales del timón de dirección. Esta rueda está situada en el morro en trenes tipo triciclo o en la cola en trenes de patín de cola. Este mecanismo permite que en la mayoría de las circunstancias se pueda girar el avión sin tener que recurrir a los frenos (recuerde que los frenos son diferenciales).

Para girar a la derecha pise el pedal derecho (la parte de abajo) y para girar a la izquierda pise el pedal izquierdo (por supuesto la parte de abajo). La cantidad de fuerza de la pisada dependerá del radio de giro, de la superficie sobre la que se rueda y de la fuerza del viento. Si es necesario, ayúdese frenando la rueda de giro, pero tenga presente que quizá tenga que abrir algo más de gases y que no debe frenarla por completo para no dañar las gomas.

Algunos aviones montan un sistema de rueda "libre" no conectada a los pedales, por lo que para girar hay que aplicar freno a la rueda del lado del giro. Estos aviones son algo más difíciles de rodar, sobre todo si la rueda libre está montada en el morro, y hay que llevarlo con algo más de velocidad para evitar que la rueda se atraviese. Si se atraviesa, o paras el motor y te bajas a colocar la rueda de frente, o efectúas un "360º" para volver a colocar el avión en posición. El único rodaje que he hecho con un avión así me dejó mal sabor de boca. Me atravesé y el instructor se las vio y se las deseó para volver a poner el aparato en posición. Afortunadamente son muy pocos los aviones que montan este sistema.

Anticípese un poco al giro o a la frenada, pues hay un pequeño lapso de tiempo desde que el piloto inicia un cambio de dirección o velocidad hasta que este comienza efectivamente.

El patín de cola de algunos aviones, supone una actitud de morro muy hacia arriba. Esto implica que con un viento de frente moderado o fuerte tienen tendencia a "gallear", es decir, intentar levantar el morro hacia el viento. Esta tendencia es mucho menor en aviones con tren tipo triciclo. Además, la actitud de morro arriba dificulta la visión hacia adelante, siendo necesario a veces zigzaguear para mirar a uno y otro lado alternativamente.

Sin dejar de prestar atención a nuestra tarea principal, rodar el avión, si el área está libre de obstáculos u otros aviones continuamos con la lista de chequeo comprobando que:
El bastón se mueve hacia el lado del giro y la bola se desplaza al lado contrario.
El indicador de dirección (direccional) y la brújula marcan rumbos menores girando hacia la izquierda y rumbos mayores hacia la derecha.

PA28 - PIPER CHEROKEE 140

RODAJE	
1. Frenos.....	Chequear
2. Bastón y bola	Chequear
3. Direccional.....	Chequear
4. Horizonte artificial.....	Chequear
5. Dirección rueda morro.	Chequear
6. Brújula	Chequear

Fig.4.8.1 - Chequeo durante rodaje.

El indicador de actitud u horizonte artificial se mantiene en todo momento en la misma posición.

4.8.2 Superficies de maniobra.

A la hora de rodar, podemos encontrar distintas situaciones dependiendo de la configuración del aeródromo. Este puede tener servicio de torre o no tenerlo, y puede ser que disponga de calle de rodadura o que no la tenga. Si tiene calle de rodadura, debemos prestar atención a seguirla en la dirección correcta para llegar al punto de espera concreto. Pero si no dispone de ella, como es el caso de muchos aeródromos privados, el rodaje habrá que hacerlo por la pista en servicio, en cuyo caso debemos extremar las precauciones. En grandes aeropuertos con varias calles de rodadura, debemos conocer la disposición de las mismas para determinar con exactitud la dirección a seguir en cada una; en caso de apuro no se debe dudar en interrogar a la torre sobre el camino a seguir.

En un aeródromo controlado (con servicio de torre), es necesario autorización para rodar. Esta autorización está implícita en los mensajes (si nos autoriza a aterrizar obviamente también lo hace para rodar hacia el aparcamiento). Pero esta autorización NO incluye pistas en servicio, las cuales solo podemos cruzar, o entrar en ellas, con autorización expresa.

En aeródromos no controlados (sin torre) debemos informar por radio de nuestros movimientos para advertir a otros aviones, mucho más cuando se rueda por la pista de aterrizaje y despegue: "*eco charli golf mike mike rodando por pista cero uno a punto de espera uno nueve*". Por la misma razón, debemos estar atentos a las comunicaciones no vaya a suceder que iniciemos el rodaje sobre una pista en servicio cuando otro avión está aterrizando. Menuda sorpresa desagradable para él y para nosotros.

Sea o no controlado, recuerde que la responsabilidad última sobre el avión y sus ocupantes es del piloto. En un aeropuerto con servicio de control de tráfico, la torre es una ayuda, proporciona asistencia y ordena el tráfico, pero la responsabilidad final la tiene el piloto al mando.

Cuando las hay, las líneas centrales de las calles de rodaje y las marcas de posición de espera son totalmente distinguibles de las marcas de las pistas de despegue y aterrizaje. El color usado en las primeras es amarillo en lugar del blanco de las pistas principales. Las marcas de puntos de espera consisten en líneas continuas y discontinuas paralelas a la pista principal. Si no hay marcas de punto de espera, debe mantenerse el avión lo suficientemente apartado de la pista principal para no entorpecer las operaciones.

Las pistas principales se numeran de acuerdo a los tres dígitos de su dirección magnética, redondeada a la decena más cercana y quitando el último cero.

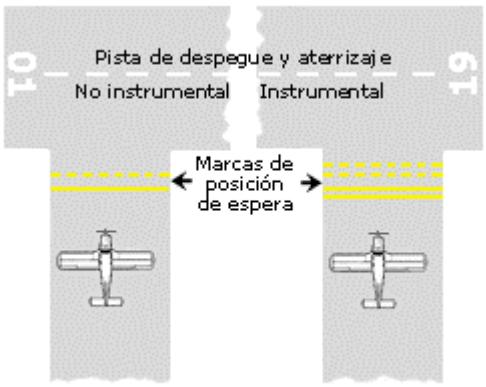


Fig.4.8.2 - Números de pista y marcas.

La dirección Norte se entiende como 360º no como 000º, así que una pista con esta orientación se numeraría 36 (tres seis). Por ejemplo: una pista orientada en una dirección comprendida entre 355º y 004º recibe la numeración 36 (tres seis).

Las pistas son como las carreteras de doble sentido, es decir, en una misma pista se puede despegar y/o aterrizar en un sentido o en el contrario, dependerá de la dirección del viento en ese momento. Por esta razón, cada pista tiene dos cabeceras, dos finales, dos orientaciones y dos numeraciones, cada una opuesta 180º a la otra. Por ejemplo: una pista orientada en la dirección magnética 186º se numera 19 (uno nueve) en ese sentido y 01 (cero uno) en el opuesto cuya dirección magnética será 006º.

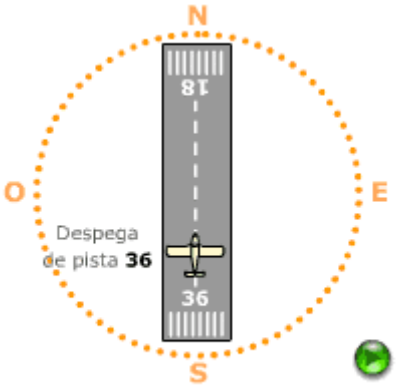


Fig.4.8.3 - Numeración de pistas.

Si un aeropuerto tiene pistas paralelas, todas tienen la misma numeración y se distinguen con una letra adicional: L (Left) la situada a la izquierda, C (Center) la del centro si hubiera y R (Right) la de la derecha.

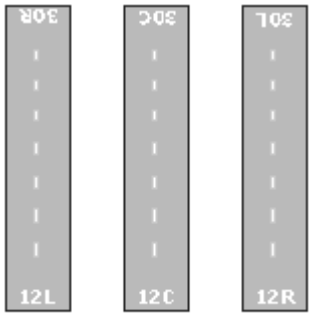


Fig.4.8.4 - Pistas paralelas.

Las calles de rodaje suelen identificarse por letras, a las cuales se hace referencia por medio del alfabeto fonético empleado en aviación (A=Alfa, B=Bravo, C=Charlie, D=Delta...) seguida de un número (1,2...).

Cuando la torre informa sobre el viento reinante, además de la intensidad del mismo facilita su dirección en grados magnéticos para ayudar al piloto a orientar de por donde le llega el viento respecto a la pista. No hay ninguna razón para confundirse con la dirección del viento; cuando en la información meteorológica se dice que hay viento del Norte, asumimos automáticamente que el viento *procede* del Norte, que sopla desde el Norte. En aviación es lo mismo, la dirección del viento identifica el origen del mismo.

4.8.3 Uso de los controles en rodaje.

En condiciones normales, no es necesario actuar sobre el volante de control, todo lo más, si el avión dispone de rueda de morro se recomienda rodar con este totalmente hacia atrás para liberar algo el peso sobre esa rueda, sobre todo si la superficie no es lisa. Pero si sopla viento con cierta intensidad, al afectar a las superficies aerodinámicas puede levantarnos un ala o alguna rueda del suelo haciendo complicado e incluso perder el control direccional. Para contrarestar este efecto la regla a seguir es: con viento de frente volante de control neutral y girado hacia el lado del morro de donde viene el viento, y con viento de cola volante de control totalmente adelante y girado hacia el lado contrario del lado de la cola por el cual el viento sopla.

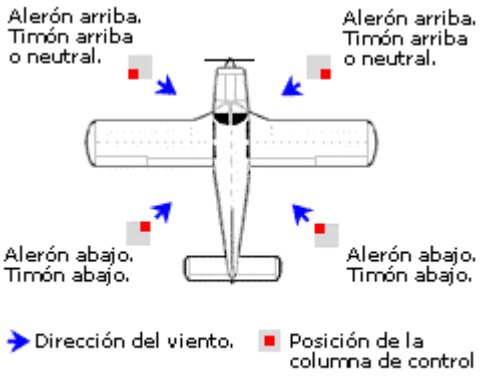


Fig.4.8.5 - Uso de controles en el rodaje.

En la fig.4.8.5 se esquematiza la posición de la columna de control según la dirección del viento. Algunos fabricantes de aviones pueden recomendar alguna variante al uso de los controles del párrafo anterior, en cuyo caso deben seguirse esas recomendaciones. De todas formas, no es muy frecuente llevar a cabo las recomendaciones dadas, pues si el viento sopla con intensidad suficiente para elevarnos un ala estando en el suelo, lo más probable es que hayamos desistido de volar en esas condiciones.

4.8.4 Rodaje tras el aterrizaje.

Las normas generales dadas para el rodaje previo al despegue, son igualmente aplicables al rodaje posterior al aterrizaje. Si para dirigirse hacia el área de aparcamiento fuera necesario rodar por la pista en sentido contrario al del aterrizaje (backtrack), bien porque la salida está al otro extremo de la pista o porqué convenga salir por una calle que hemos dejado atrás, debemos solicitarlo a la torre y contar con su autorización: "*mag cuatro cinco alfa solicito backtrack*" - "*mag cuatro cinco alfa autorizado backtrack*". Si el aeródromo no tiene servicio de torre debemos tomar precauciones porque puede haber otro avión a punto de aterrizar, y comunicar por radio nuestras intenciones a otros posibles tráficos: "*mag cuatro cinco alfa realizando bactrack en pista cero uno*".

Algunas listas de chequeo incorporan una serie de tareas tras el aterrizaje, tareas que no son chequeos propiamente dichos, pues ya en el suelo poco hemos de chequear, sino operaciones previas al apagado final del avión una vez estacionado. Estas operaciones son realizadas a discreción del piloto y no deben distraerle de su tarea principal: rodar el avión con seguridad.

PA28 - PIPER CHEROKEE 140

ABANDONANDO PISTA	
1. Flaps	Arriba
2. Bomba combustible	OFF
3. Calefacc. carburador	OFF
4. Luz aterrizaje	Apagar
5. Transponder	Standby
6. Compensador	Neutral

Fig.4.8.6 - Chequeo abandonando pista.

Es muy posible que la longitud de la pista y de la calle de rodaje (si la hubiera) sea tan corta que no sea posible realizar todas o parte de estas tareas hasta haber entrado en el área de aparcamiento.

Sumario:

- El propósito principal del rodaje es maniobrar el avión para llevarlo a la posición de despegue o retornarlo al área de aparcamiento después del aterrizaje.
- Las normas generales atañen a cualquier rodaje, previo al despegue o posterior al aterrizaje.
- Nada más empezar a rodar, se deben poner a prueba los frenos.
- En todo momento se debe controlar la velocidad con la que se rueda y mirar continuamente hacia afuera para no colisionar con aviones aparcados, edificios, obstáculos, etc...
- Es una mala práctica rodar el avión con exceso de potencia y controlar la velocidad aplicando frenos de forma continua.
- Controlar la velocidad es especialmente importante cuando se rueda en superficies no lisas o con viento fuerte.
- Para aminorar la velocidad, primero corte gases en la cuantía necesaria y después si es necesario aplique frenos.
- El movimiento del avión se controla con los pedales, tanto si el avión dispone de una rueda de control conectada a los mismos como si monta un sistema de rueda "libre". En el primer caso, para girar a un lado se pisa el pedal de ese lado (la parte de abajo) y puede necesitarse apoyo del freno sobre la rueda sobre la que se gira. En el segundo caso, el giro se realiza únicamente frenando la rueda del lado a que se quiere girar.
- Desde que el piloto inicia un cambio de dirección o velocidad hasta que comienza a producirse pasa un pequeño lapso de tiempo. Esto exige un poco de anticipación por parte del piloto.

Durante el rodaje previo al despegue deben realizarse algunas operaciones de chequeo siguiendo la lista provista por el constructor o la escuela de aviación.

- En un aeródromo con servicio de torre es necesario el permiso de la misma para comenzar a mover el avión. Si no existe este servicio debemos extremar las precauciones y notificar por radio nuestros movimientos para conocimiento de otros posibles tráficos a la escucha.
- En ningún caso debemos introducirnos o cruzar una pista de despegue/aterrizaje si no es con permiso expreso de la torre. Si no hay torre, de nuevo extremaremos las precauciones y notificaremos nuestros movimientos por radio.
- Las marcas de las calles de rodaje y de puntos de espera se distinguen porque son amarillas, mientras que las señalizaciones en el suelo de las pistas principales son blancas.
- Las calles de rodaje se denominas según las letras del alfabeto fonético aeronáutico (A=Alfa, B=Bravo..) y un número. Las pistas principales se numeran según los tres dígitos de su orientación magnética, redondeando a la decena más cercana y sin el cero final. Por ejemplo: una pista orientada en la dirección 193º se numera como pista 19 (uno nueve) y otra orientada en la dirección 006º se numera como 01 (cero uno).
- Una pista es como una carretera de doble sentido. En una dirección tiene un número y en la opuesta tiene otro. Por esta misma razón, una misma pista tiene dos cabeceras y dos finales.
- Con viento cruzado de frente conviene girar el volante de control hacia el lado del cual sopla.
- Con viento cruzado de cola, mantener el volante de control adelante y girado hacia el lado contrario de donde sopla.
- Si tras aterrizar, para rodar al área de aparcamiento debemos volver por la pista en sentido contrario al de la toma, debemos contar con el permiso expreso de la torre. En caso de que no haya servicio de torre, extremaremos las precauciones y radiaremos nuestro movimiento para conocimiento de otros posibles tráficos.

4.9 PRUEBA DE MOTORES.

En este capítulo se abordan los dos últimos chequeos a realizar antes de proceder al despegue del avión. El primero (prueba de motores) consiste en probar el funcionamiento del motor y sus sistemas, y el segundo (antes de despegar) tiene una parte de chequeo y otra de preparación del avión para el despegue.

4.9.1 Prueba de motores.

La prueba de motores o "ground check" se realiza normalmente en el área de espera o "punto de espera". Muchos aeródromos tienen espacio suficiente en este área para que el calentamiento de motores y chequeo previo al despegue de un avión no bloquee a los que vienen detrás, pero en aquellos que no disponen del mismo, se debe procurar no retrasar innecesariamente a otros aviones, si es posible realizando estas operaciones en otro lugar del aeródromo limpio y despejado. Este chequeo conviene realizarlo si es posible con el avión enfrentado (aproado) al viento.

En primer lugar se pone el freno de mano, y seguidamente se comprueba que la presión y temperatura del aceite del motor tienen valores normales (arco verde). La presión del aceite debería tenerlos, pues nada más arrancar el motor se chequeó (ver 4.7.3), pero esta comprobación aunque redundante es necesaria. Si no marca valores normales algo grave debe suceder en el sistema de lubricación para que en el tiempo que dura el rodaje la presión tenga valores anormales, así que se procede volver lo más pronto posible y sin acelerones, a un lugar del aparcamiento para apagar el motor antes de que pueda griparse. Y agradecer que esto haya sucedido ahora y no durante el vuelo.

Si la temperatura del aceite no ha alcanzado el arco verde, el motor está frio y habrá que esperar a que tome la temperatura suficiente para realizar las pruebas. El régimen de r.p.m. adecuado para el calentamiento del motor es el especificado en el chequeo "después de arrancar". El aceite tarda en alcanzar su temperatura normal de operación unos cuatro minutos en tiempo cálido y seis minutos en tiempo frío, aproximadamente, pero algunos pilotos lo apresuran algo con un poco más de r.p.m. o empobreciendo ligeramente la mezcla, cosa que como sabemos produce más calor en el motor.

Una vez el motor tiene la temperatura adecuada, se comprueba que la palanca de mezcla esté en posición de "full rich", y se abren gases paulatinamente hasta las r.p.m. indicadas en la lista (2000 en el ejemplo de la fig.4.9.1), para chequear:

- En primer lugar, que todos los intrumentos del motor dan lecturas normales. En caso negativo, volver al aparcamiento para resolver el problema o aparcar el avión.
- Seguidamente, comprobar que el indicador de succión de la bomba de vacio da la lectura indicada en la lista, normalmente entre 4 y 5 Hg dependiendo del avión. Recordemos que la bomba de vacío es la que mueve los giróscopos, por ello la importancia de su buen funcionamiento.
- A continuación, pasamos a efectuar la prueba de magnetos.

PA28 - PIPER CHEROKEE 140

PRUEBA DE MOTOR	
1. Freno de aparcamiento...	Puesto
2. Temperatura aceite.....	Arco verde
3. Presión de aceite.....	Arco verde
4. Mezcla.....	Rica
5. Gases.....	2000 r.p.m.
6. Instrumentos de motor....	En arco verde
7. Bomba de vacio.....	5 Hg. +/-0.1
8. Magnetos.....	Chequear (175/50 r.p.m.)
9. Calefacc. carburador.....	Chequear/OFF
10. Gases.....	Ralentí
11. Gases.....	1100 r.p.m.
12. Briefing de despegue.....	Realizado

Fig.4.9.1 - Chequeo y prueba del motor.

En algunas listas de chequeo, antes de la prueba de motores se requiere cambiar de depósito, en cuyo caso dicho cambio no está incluido en el chequeo tras arrancar el motor. Si hemos rodado con el motor alimentado por un depósito, en caso de problemas en el mismo lo hubiéramos detectado. Al cambiar ahora de depósito, se verifica durante la prueba de motores que el motor se nutre del otro también sin problemas.

4.9.2 Chequeo de magnetos.

En el capítulo 3.5 se vió que prácticamente todos los aviones ligeros equipan un sistema doble de encendido, dos magnetos independientes y dos juegos de bujías por cilindro; cada magneto suministra energía a un juego de bujías. Además de proporcionar seguridad, este sistema mejora la cobustión y por ello el rendimiento del motor. Pues bien, la prueba de magnetos tiene como objetivo comprobar que el menor rendimiento del motor, cuando es servido por cada uno de los sistemas de encendido de forma independiente, está dentro de los límites previstos.

El chequeo a realizar consiste en comprobar que con solo una magneto activa, el motor no baja de r.p.m. más de lo especificado en la lista de chequeo, y que la diferencia entre una y otra magneto no es superior a una dada. En el caso de la lista ejemplo de la fig.4.9.1 se especifica que el motor no debe bajar más de 175 r.p.m. funcionando con solo una magneto activa y que la diferencia entre magnetos no debe superar 50 r.p.m.

Para realizar esta prueba, se gira la llave de arranque del motor un punto a la izquierda, desde la posición **BOTH** a la posición **L** (Left), comprobando entonces que la caida de r.p.m. no excede de las especificadas, tras lo cual se vuelve a poner la llave en la posición **BOTH** dejando que el motor se recupere a las r.p.m. iniciales (no tardará más de un segundo o dos).

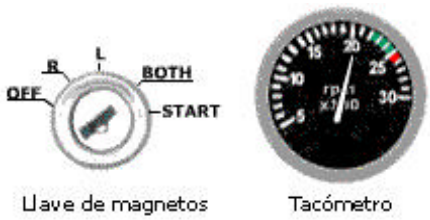


Fig.4.9.2 - Prueba de magnetos.

Vamos con la otra magneto. Se gira de nuevo la llave, pero ahora dos puntos, desde **BOTH** hasta la posición **R** (Right) chequeando de nuevo que la bajada de r.p.m. no supera las indicadas y además que la diferencia entre esta caida de r.p.m. y la anterior no es mayor a las dadas en la lista.

Dos o tres segundos son usualmente suficientes para chequear cada magneto. Mantener el motor con una sola magneto mucho más alla de este tiempo, pues engrasar el juego de bujias servido por la magneto inactiva. Hecha la prueba de magnetos, continuamos con la lista.

4.9.3 Más chequeos.

El propósito del chequeo de la calefacción al carburador consiste por un lado en eliminar cualquier rastro de hielo que pudiera haberse formado en el carburador durante el rodaje, cosa improbable pero no imposible, y por otro comprobar su funcionamiento.

Para realizar esta prueba, mueva el mando de la calefacción al carburador a su posición de activado (Hot), compruebe la caida de r.p.m. (normalmente no más allá de 100 r.p.m.), vuelva a poner la palanca en la posición de desactivado (Cold) y compruebe que las r.p.m. vuelven a su valor inicial.

Recuerde, que al activar la calefacción al carburador, el aire no pasa por el filtro, por lo que conviene efectuar esta prueba sobre una superficie libre de tierra, piedras sueltas, etc... que puedan ser movidas por la hélice y aspiradas por el motor.



Fig.4.9.3 - Chequeo de calefacción al carburador.

Si el avión es de hélice de paso variable, seguidamente se procede a su chequeo. Para ello, se baja la palanca de paso de la hélice a su posición de paso largo, se mantiene un segundo o dos en esa posición y se vuelve a subir inmediatamente a su posición de paso corto. Esta prueba se repite normalmente tres veces, y en cada una de ellas las r.p.m. no deben caer más de lo indicado en la lista, por lo general 500 r.p.m.
No mantenga abajo el mando del paso más de 2 o 3 segundos para no someter a sobreesfuerzo al dispositivo del paso de la hélice.

Aunque algunas listas de chequeo no lo contemplan, conviene verificar que el alternador funciona correctamente. Para ello incremente la carga del sistema, por ejemplo encendiendo la luz de aterrizaje, y compruebe que esto hace subir la aguja del amperímetro.

Chequeo del alternador en la prueba de motores: Incremente la carga del sistema, por ejemplo encendiendo la luz de aterrizaje, y compruebe que esto hace subir la aguja del amperímetro.

Una vez efectuadas las pruebas anteriores, se comprueba si cortando gases el motor mantiene el ralenti o por el contrario se cala. Para ello se mueve el mando de gases a su posición de mínimos y se observa durante unos segundos si el motor mantiene el ralentí perfectamente. En caso afirmativo, se vuelve a poner el motor al régimen indicado en la lista de chequeo, en caso contrario algo falla y debemos volver al aparcamiento, pues no podemos salir a volar con un motor que cuando se cortan gases se cala.

4.9.4 Briefing de despegue.

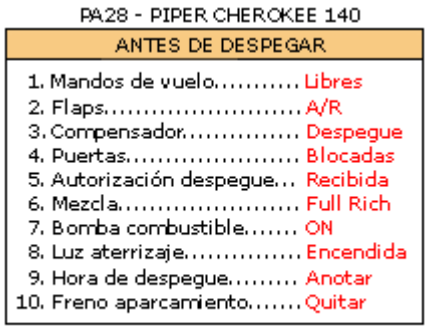
Si ha visto alguna película de guerra en la que intervienen aviones, recordará seguramente que los pilotos antes de una misión asistían a un "briefing" en el cual se impartian las instrucciones a cada escuadrón. En este caso, el "briefing" lo hacemos con nosotros mismos o con el instructor y no hay ordenes que dar o recibir, a estas alturas debemos tener claro lo que vamos a hacer. Esta tarea de la lista consiste en recordar en voz alta por donde despegamos, a que velocidad vamos a rotar, a cual nos vamos a ir al aire, y que haremos en caso de emergencia. Creo que se comprende mejor con un ejemplo:

"Despegaremos por la pista dos ocho, sin flap. A 60 nudos rotamos y a 70 nos vamos al aire. La velocidad de mejor ascenso es de 80 nudos. En caso de problemas: con pista suficiente cortar gases y aplicar frenos; sin pista suficiente cortar gases, aplicar frenos y si da tiempo cortar mezcla, combustible y magnetos, manteniendo el control direccional del avión; etc...". Esto anterior es solo un ejemplo, las acciones a realizar en caso de emergencia se detallarán en su correspondiente capítulo.

Teniendo en cuenta que un fallo de motor no es lo más oportuno en el despegue, cuando estamos con poca velocidad y baja altura y necesitamos toda la potencia, este recordatorio o "briefing" debe tomarse muy en serio. Seguramente que durante la instrucción practique similacros de parada de motor, pero tomando las debidas precauciones: suficiente altura de seguridad, etc... Lo que es más improbable es que pueda practicar paradas de motor en el despegue. Este deficit de entrenamiento solo podemos paliarlo practicando con simuladores e interiorizando los procedimentos en cada despegue.

4.9.5 Antes de despegar.

En primer lugar comprobamos que los mandos de vuelo están libres, moviendo el volante de control en toda su extensión adelante y atras, y a un lado y a otro.
Seguidamente, si se ha decidido despegar con algun punto de flap, se extienden estos hasta el punto decidido; en caso contrario se deja el flap arriba.
En cuanto al compensador, lo normal es que siga en la posición neutral que habiamos puesto en un fase anterior del chequeo. Algunos pilotos lo retrasan un poco para hacer menos esfuerzo en los mandos para llevar el avión al aire, pero hay que tenerle bien cogido el punto al compensador pues de lo contrario un exceso de posición atras (timón de profundidad más abajo) provoca que el avión quiera irse al aire antes de tiempo.


PA28 - PIPER CHEROKEE 140

ANTES DE DESPEGAR	
1. Mandos de vuelo	Libres
2. Flaps	A/R
3. Compensador	Despegue
4. Puertas	Blocadas
5. Autorización despegue	Recibida
6. Mezcla	Full Rich
7. Bomba combustible	ON
8. Luz aterrizaje	Encendida
9. Hora de despegue	Anotar
10. Freno aparcamiento	Quitar

Fig.4.9.4 - Chequeo pre-despegue.

Asegurar que las puertas están bién cerradas y blocadas, y a continuación solicitar permiso de despegue a la torre. Más o menos, este puede ser el dialogo (N somos nosotros y T es la torre):

- N - "*mag cuatro cinco alfa en punto de espera dos ocho listo para despegue*".
- T - "*mag cuatro cinco alfa autorizado a despegar, viento calma*".
- N - "*autorizado a despegar, mag cuatro cinco alfa*".

La primera parte suele ser invariable, solicitamos permiso a la torre para el despegue. La respuesta de la torre depende de la situación del tráfico: nos puede dar permiso para despegar, decirnos que esperemos "mag cuatro cinco alfa mantenga posición", que entremos en la pista y nos situemos pero sin despegar "mag cuatro cinco alfa, entrar y mantener" o "mag cuatro cinco alfa ruede a posición", etc...

Tarde o temprano, salgo algún imponderable, tendremos permiso para despegar. En ese momento realizamos las últimas tareas de la lista, cuyo objetivo es preparar el avión para el despegue: comprobar mezcla en "full rich", activar la bomba de combustible si el avión la tiene, encender la luz de aterrizaje, anotar la hora, quitar el freno de mano, rodar a la cabecera de la pista y, "voila", a volar.

Dependiendo de la situación, el orden de las tareas anteriores puede ser distinto. Por ejemplo, en un aeródromo con mucho tráfico, lo normal es tratar de abreviar (en ningún caso rebajando los niveles de seguridad) las operaciones. En ese caso, nada más recibir permiso de la torre y confirmarle nosotros su recepción, lo normal es anotar la hora, quitar el freno de mano y poner el avión a rodar hasta el punto de despegue. Las otras operaciones, activar la bomba de combustible y poner la luz de aterrizaje las hacemos mientras movemos el avión.

Si el aeropuerto no tiene servicio de torre hay que extremar las precauciones antes de entrar en la pista para despegar: mirar bien que no haya aviones en la pista o en la fase final del aterrizaje y comunicar por radio nuestras intenciones a otros posibles tráficos "*mag cuatro cinco alfa entrando en pista cero seis para despegue*".

Sumario:

- La prueba de motores tiene como objetivo probar el perfecto funcionamiento del motor y sus sistemas.
- El chequeo pre-despegue tiene una parte de chequeo y otra de preparación del avión para el despegue.

- La prueba de motores o "ground check" se realiza normalmente en el área de espera o "punto de espera", con el avión aproado al viento.
- Antes de proceder con la prueba de motores se debe comprobar que el aceite del motor ha alcanzado una temperatura de operación adecuada (marcador en arco verde). En caso negativo, esperar a que el aceite alcance dicha temperatura.
- Con el motor acelerado al número de r.p.m. que indique el manual de operación se comprueba que todos los instrumentos marcan valores normales, incluido el indicador de succión, y se procede a efectuar la prueba de magnetos y de calefacción al carburador.
- La prueba de magnetos tiene como objetivo comprobar el funcionamiento del motor en caso de avería de una magneto. Para ello se va desactiva una magneto y posteriormente la otra, comprobando en cada paso que la caída de r.p.m. no es superior a la indicada en el manual de operación, y que la diferencia de caída entre ambas tampoco supera lo especificado en dicho manual.
- Después de desactivar una magneto es imprescindible pasar por la posición BOTH (ambas activas) antes de desactivar y comprobar la otra.
- Al activar la calefacción al carburador comprobando que el motor baja de revoluciones en un número no superior al recomendado, estamos verificando que este dispositivo funciona con normalidad. La caída de r.p.m. indica un correcto funcionamiento.
- En aviones con hélice de paso variable o constante se prueba que cambiando de paso corto a paso largo no hay una caída de más de 500 r.p.m. Este chequeo se realiza normalmente tres veces seguidas.
- El alternador se comprueba sometiendo a mayor esfuerzo al sistema eléctrico, por ejemplo encendiendo la luz de aterrizaje y verificando que el amperímetro refleja un mayor valor de carga.
- El "briefing" de despegue tiene como objetivo interiorizar, a base de repetirlos y reflexionar sobre ellos, los procedimientos a realizar en caso de emergencia en el despegue. De esta manera se atenúa un poco el déficit de entrenamiento en emergencias imposibles de practicar salvo en simuladores.
- La lista de chequeo antes del despegue verifica que los mandos de vuelo están libres y se mueven en toda su extensión, así como que las puertas están cerradas y blocadas.
- Las últimas tareas de dicha lista consisten en preparar al avión para despegar: extensión de flap según convenga, mezcla en Full Rich, si el avión tiene bomba de combustible ponerla ON, luz de aterrizaje encendida, etc..

4.10 ESTELA TURBULENTA.

Un vórtice o torbellino (vortex) es una masa de aire que gira sobre si misma, alrededor de un eje de rotación denominado línea de vórtice. El humo de un cigarrillo es un ejemplo sencillo de vórtice.

4.10.1 Como se produce.

El efecto de estela turbulenta es conocido desde hace tiempo por los pilotos, los cuales pensaron inicialmente que se debía al flujo de aire desplazado por las hélices. Hoy en día se sabe que es debido a los vórtices generados en los extremos de las alas. Como se forman estos vórtices está sin embargo poco explicado, o al menos de forma confusa, para los profanos en aerodinámica. No obstante, vamos con la explicación más plausible.

Para empezar, los vórtices que dan lugar a la estela turbulenta son producto de la sustentación y todos los aviones los producen mientras están en vuelo. En la generación de sustentación, la masa de aire "visitada" por el aeroplano adquiere un movimiento descendente hacia abajo (downwash), con relación al resto del aire, pero además este aire se riza sobre sí mismo alrededor de la parte superior del ala debido al cambio de velocidad del aire, de forma proporcional a la tasa de cambio en la sustentación a lo largo del ala. Este rizado se produce a lo largo de todo el ala, pero en el extremo del ala, donde la sustentación cae rápidamente a cero (ya no hay ala), el rizo se hace más apretado, dando lugar a los vórtices del extremo del ala (wingtips wortex) o estela turbulenta.

En definitiva, la masa de aire deflectada hacia abajo en el borde de salida de cada ala, tiende a enroscarse o rizarse hacia el límite marcado por los vórtices de los extremos del ala (wingtips vortex). El aire rota alrededor de las líneas de vórtice en la dirección indicada en la figura 4.10.1 y en sentido descendente.



Fig.4.10.1 - Estela turbulenta (vórtices).

La fuerza de los vórtices viene determinada por el peso, la velocidad, y las características del ala (superficie, coeficiente de sustentación, etc...). Los vórtices más violentos son los generados por aviones pesados, volando limpios (sin flaps extendidos) y lento. Un avión en vuelo con estas condiciones necesitará producir una gran cantidad de sustentación para soportar su peso, así que por analogía podemos deducir que cuanta más sustentación ha de producir un avión mayor es la fuerza de sus vórtices.
Aunque la fuerza de la estela turbulenta depende de los factores mencionados anteriormente, algunos test han registrado puntas de velocidad tangencial de alrededor de 130 nudos, más que suficiente para poner un avión ligero boca abajo.

Los vórtices forman parte del aire y, lo mismo que el humo de un cigarrillo, no se quedan donde se generan, se desplazan hacia abajo, aceptándose como regla general una velocidad de 500 f.p.m. (pies por minuto) hasta una distancia de unos 1000 ft. por debajo del avión en que tienden a estabilizarse, aunque estos valores dependen como hemos visto, de varios factores. También, si el viento está soplando en una dirección determinada, los vórtices se desplazan en esa misma dirección.

En las cercanías del terreno (dentro de unos 200 ft.), los vórtices tienden a difundirse lateralmente sobre el suelo, a una velocidad aproximada de 5 kts.

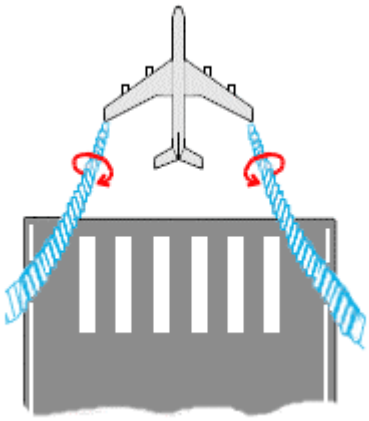


Fig.4.10.2 - Difusión de vórtices en el suelo.

Otro efecto de turbulencia, aunque no tiene nada que ver con el anterior, es el producido por el chorro de salida de los gases de reactores durante las operaciones en el suelo. La velocidad de salida de los gases durante algunas operaciones aconsejan para un aeroplano ligero mantener una distancia prudencial a dicho chorro.

4.10.2 Como evitarla.

La estela turbulenta (vórtices) **solo** se genera cuando el avión produce sustentación, por tanto mientras el avión está en el suelo, aunque esté rodando, no se producen vórtices.

Durante el vuelo. Si vuela en un avión ligero, evite el espacio aéreo debajo y detrás de un avión grande. Evitar el área durante tres o cuatro minutos puede ser suficiente para que los vórtices hayan perdido intensidad y no nos causen problemas.

Durante el despegue. Si despegamos después de un avión grande y pesado, podemos evitar los vórtices -en teoría- si nos vamos al aire en un punto bastante ***anterior*** al cual despegó el susodicho avión y mantenemos una senda de ascenso por ***encima*** de este. En la práctica, la primera parte es relativamente fácil, nuestra carrera de despegue seguro que es más corta y nos iremos al aire bastante antes que el precedente. Pero que nuestra senda de ascenso sea más pronunciada (segunda parte) es casi imposible de conseguir, no podemos competir en potencia y capacidad ascensional. Así que la mejor técnica es retrasar nuestro despegue y esperar unos minutos hasta que los vórtices se disuelvan.



Fig.4.10.3 - Despegue tras un avión con estela turbulenta.

Durante el aterrizaje. Por la misma razón, si vamos a aterrizar tras un avión grande y pesado, evitaremos los vórtices si mantenemos una senda de descenso por ***encima*** de la suya y contactar con la pista en un punto ***posterior*** a su punto de contacto.

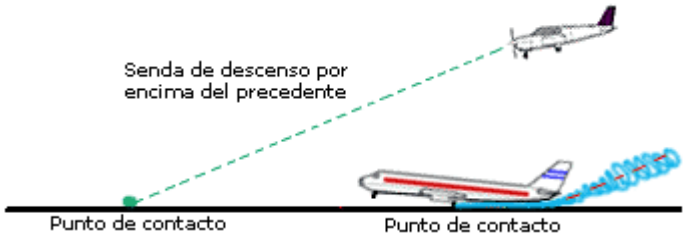


Fig.4.10.4 - Aterrizaje tras un avión con estela turbulenta.

Como lo normal es que el despegue y el aterrizaje se realice contra el viento -viento en cara- ello contribuye a que esto nos acerque los vórtices del precedente.

De los detalles anteriores podemos deducir una regla general para evitar los vórtices: la senda de ascenso o descenso debe estar siempre por encima del avión precedente, y nuestro punto de despegue o aterrizaje en la pista debe estar entre aquellos donde el avión anterior tenía las ruedas en el suelo.

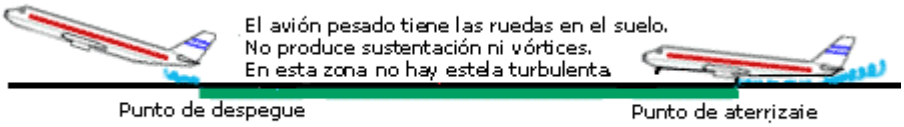


Fig.4.10.5 - Area de despegue o aterrizaje sin estela turbulenta.

Debemos tener en cuenta que los vórtices pueden ser desplazados por el viento, de manera que si vamos a despegar o aterrizar desde una pista paralela o perpendicular a la cual despegó o aterrizó un avión pesado, nos podemos encontrar con estela turbulenta, derivada hacia nuestra pista por el viento.

Sumario:

- Un vórtice (vortex) es una masa de aire que gira sobre si misma, alrededor de un eje de rotación denominado línea de vórtice.
- Los vórtices que dan lugar a la estela turbulenta son producto de la sustentación. No hay sustentación sin vórtices ni vórtices sin sustentación.
- La masa de aire deflectada hacia abajo en el borde de salida de cada ala, tiende a enroscarse o rizarse hacia el límite marcado por los vórtices de los extremos del ala (wingtips vortex).
- El aire rota alrededor de las líneas de vórtice de afuera hacia adentro y en sentido descendente.
- La fuerza de los vórtices depende del peso, la velocidad, y las características del ala.
- Cuanta más sustentación ha de producir un avión mayor es la fuerza de sus vórtices.
- Los vórtices más violentos son los generados por aviones pesados, volando sin flaps extendidos y lento.
- Como regla general, se asume que los vórtices tienen una velocidad de descenso de 500 f.p.m. estabilizándose a unos 1000 ft. por debajo del avión que los produce.

- La estela turbulenta **solo** se genera cuando el avión produce sustentación, por tanto mientras el avión está en el suelo, aunque esté rodando, no se producen vórtices.
- En vuelo, evite el espacio aéreo debajo y detrás de un avión grande. Evitar el área durante tres o cuatro minutos puede ser suficiente para que los vórtices no nos afecten.
- Si se despega después de un avión grande y pesado, debemos irnos al aire en un punto bastante ***anterior*** al cual despegó el avión y mantener una senda de ascenso por ***encima*** de este. Si no se está seguro de poder hacerlo la mejor técnica es retrasar el despegue y esperar unos minutos hasta que los vórtices se disuelvan.

- Si se aterriza después de un avión grande y pesado, se debe mantener una senda de descenso por ***encima*** de la suya y contactar con la pista en un punto ***posterior*** a su punto de contacto.
- La regla general para evitar la estela turbulenta es: la senda de ascenso o descenso debe estar siempre por encima del avión precedente, y nuestro punto de despegue o aterrizaje en la pista debe ser anterior al punto de despegue del precedente y posterior a su punto de aterrizaje (la zona de pista donde el avión pesado tenía las ruedas en el suelo).

TÉCNICA DE VUELO (I)

5 DESARROLLO DE LA SECCIÓN.

En esta sección y la siguiente se pretende detallar las maniobras realizadas con un aeroplano en operaciones normales y durante el entrenamiento. Llegados a este punto, es conveniente volver a insistir en que las páginas contenidas en este "manual" NO sustituyen en ningun caso a una instrucción profesional y que el lector de las mismas asume que el posible uso de esta información lo hace bajo su total responsabilidad. Posiblemente, muchas personas visiten estas páginas únicamente por curiosidad, bienvenidas sean, pero si alguna está realmente interesada en pilotar un avión solo sacará provecho de esta o cualquier otra lectura al respecto, si se sube a un aeroplano y practica las lecciones con un instructor cualificado.

5.1 ACTITUDES Y MOVIMIENTOS.
- 5.1.1 Generalidades.
- 5.1.2 Potencia y actitud.
- 5.1.3 Actitudes.
- 5.1.4 Movimientos.
- 5.1.5 Más generalidades.

5.2 DESPEGUE - Takeoff (I).
- 5.2.1 Tomar la decisión de despegar.
- 5.2.2 Nomenclatura de velocidades.
- 5.2.3 General.
- 5.2.4 Despegue normal.
- 5.2.5 Uso de flaps en despegue normal.
- 5.2.6 Despegue de campo con obstáculos.

5.3 DESPEGUE - Takeoff (II).
- 5.3.1 Despegue de campo blando.
- 5.3.2 Más sobre despegue de campo blando.
- 5.3.3 Despegue de campo corto.
- 5.3.4 Despegue con viento cruzado.

5.4 DESPEGUE - Takeoff (III).
- 5.4.1 Otros elementos del despegue.
- 5.4.2 Monitorizar el despegue.
- 5.4.3 Practicar despegue abortado.
- 5.4.4 Factores que afectan al despegue.
- 5.4.5 Algunas reglas prácticas.

5.5 ASCENSOS.
- 5.5.1 Las claves del ascenso.
- 5.5.2 Velocidades de ascenso.
- 5.5.3 Realización de la maniobra.
- 5.5.4 Otros aspectos del ascenso.

5.6 DESCENSOS.
- 5.6.1 Las claves del descenso.
- 5.6.2 Velocidades de descenso.
- 5.6.3 Realización de la maniobra.
- 5.6.4 Uso de flaps en descenso.
- 5.6.5 Otros aspectos del descenso.

 ©M.A.Muñoz

5.7 GIROS.
5.7.1 Alabear para girar.
5.7.2 Ratio de giro.
5.7.3 Fuerzas en un giro.
5.7.4 Conclusiones.
5.7.5 Clasificación de los giros.
5.7.6 Realización de la maniobra.
5.7.7 Indicaciones de los instrumentos.
5.7.8 Más detalles de la maniobra.
5.7.9 Práctica de giro con altitud constante.

5.8 COORDINACION.
5.8.1 Estabilizador vertical.
5.8.2 Timón de dirección.
5.8.3 En un viraje.
5.8.4 Indicaciones de la bola.
5.8.5 Derrape.
5.8.6 Resbale.
5.8.7 Derrapar es peor que resbalar.
5.8.8 Percibiendo la coordinación en un giro.
5.8.9 Resbale intencionado.

5.9 VUELO RECTO Y NIVELADO.
5.9.1 Altitud constante.
5.9.2 Seguir la dirección de vuelo.
5.9.3 Tomar referencias.
5.9.4 Cambiar de velocidad.
5.9.5 Generalidades.

5.10 VUELO LENTO.
5.10.1 Velocidad mínima controlable.
5.10.2 Preparación previa.
5.10.3 Realización del ejercicio.
5.10.4 Recuperación.
5.10.5 Efectividad de los mandos.
5.10.6 Otras consideraciones.

TÉCNICA DE VUELO (I)

5.1 ACTITUDES Y MOVIMIENTOS.

Desde que despega hasta que aterriza, es decir durante el vuelo, el piloto necesitará seguramente realizar alguna de estas cosas: (1) respecto a la altura, ascender, descender, o mantener una altitud constante; (2) en cuanto a dirección, girar a la derecha, a la izquierda, o mantener la dirección de vuelo, y (3) en cuanto a velocidad, acelerar, decelerar o mantener una velocidad constante. Estas tareas reciben el nombre de maniobras fundamentales, pues cualquier maniobra que realice en vuelo requerirá el empleo de alguna de ellas, individualmente o combinadas entre sí: ascensos, descensos, giros, y vuelo recto y nivelado.

La primera parte del entrenamiento de un piloto consiste en la práctica de estas cuatro maniobras fundamentales, lo cual estimula y fortalece la familiarización en el uso adecuado de los mandos para mantener el control del aeroplano, enseña como establecer y mantener la actitud apropiada en cada caso, y resalta la importancia de dividir su atención chequeando tanto las referencias exteriores como los instrumentos del cuadro de mandos. Antes de practicar estas maniobras, es necesario asimilar el concepto de actitud del avión, cuales son los movimientos básicos, y que controles intervienen en los mismos.
Este capítulo trata de estos preliminares, detallándose en capítulos posteriores cada una de las maniobras fundamentales.

5.1.1 Generalidades.

Ahora que el entrenamiento de vuelo va a comenzar, empecemos por observar esta regla: *mirar fuera*. Por seguridad en vuelo hay que mantenerse alerta sobre la presencia de otros aeroplanos, mirar continuamente. Debemos asumir que hay aviones "ciegos" cerca y nunca pretender que los demás nos ven.
Es una creencia común que el ojo ve cualquier cosa con claridad dentro de su campo de visión, y esto no es cierto. Basta con que fije su vista en el borde del monitor donde lee esto y podrá observar que ya no puede leerlo con claridad. Además, está estudiado y comprobado que la percepción del ojo es muy pobre cuando está en movimiento. Una excursión con la mirada recorriendo una amplia zona, no muestra nada y encima es contraproducente pues deja la impresión de haber examinado un amplio área del cielo cuando no se ha examinado nada. Se recomienda dividir el espacio en pequeñas áreas, y escrutarlo con una serie de miradas cortas y regularmente espaciadas, estando especialmente alerta cuando tenemos el morro arriba debido a que nuestro campo de visión al frente se reduce.
En un avión de plano bajo, el campo de visión abajo se reduce, y en los giros, el ala arriba del lado contrario al giro reduce la visión lateral de ese lado. Con un avión de plano alto sucede al revés, el campo de visión hacia arriba es obstaculizado por las alas y en los giros, el ala abajo del lado del giro reducirá la visión lateral de ese lado.

La postura del cuerpo debe ser confortable y el asiento estar en una posición que permita manejar los mandos y pedales con soltura. Durante el vuelo y los ejercicios aéreos (maniobras) la posición de los pies debe permitir que la mayoría de su peso descanse en los talones, manteniendo estos apoyados en el suelo.

El mando de control (cuernos) debe mantenerse firme pero sujeto con los dedos cerrados suavemente, no agarrotados. Efectúe movimientos ligeros y suaves sobre los mandos, sienta el pulso del avión a través de los mismos y si nota un exceso de presión compense el avión. Cuando los españoles hablan de "volar con el culo" o los estadounidenses de "volar con el fondo de los pantalones", se refieren a que en esta parte de la anatomía puede sentirse si los controles se están manejando de forma adecuada o no.

La apertura o cierre de gases no debe hacerse de forma brusca sino suave y progresiva.

La cantidad de control o presión a ejercer sobre los cuernos y pedales para obtener del avión la respuesta requerida, depende en gran medida de la velocidad del aire que incide sobre las superficies de control (alerones y timones). Considerando la velocidad de crucero como referencia, por encima de esta los mandos son firmes y producen una reacción rápida y efectiva al movimiento de control equivalente; por debajo de esta los mandos son más laxos y hace falta menos esfuerzo para moverlos, pero reaccionan de forma más perezosa y es necesario un relativamente mayor movimiento para cambiar de actitud.

Teniendo en cuenta que el aire que incide sobre las superficies de control proviene de dos fuentes: el viento relativo, cuya velocidad depende de la del avión, y el producido por la hélice cuya velocidad depende de las r.p.m. de esta, los alerones son sensitivos a los cambios de velocidad pero no a los cambios de potencia porque están fuera del flujo de la hélice; por el contrario, el timón de profundidad y el de dirección que sí están dentro de este flujo son más sensibles a los cambios de potencia que a los cambios de velocidad.
Por ejemplo en un ascenso con poca velocidad y mucha potencia los alerones se notan perezosos mientras que los timones de profundidad y dirección son más firmes.

Inercia. Cualquier masa en movimiento posee una fuerza de inercia que se opone a los cambios de trayectoria. Un avión en vuelo no es una excepción. Esto significa que desde que aplicamos un mando hasta que el avión responde efectivamente al mismo hay un lapso de tiempo. Este lapso es proporcional a la velocidad del avión y a la masa del mismo. Comparativamente, posee mucha más inercia un Boeing-747 a 250 nudos que una Cessna-150 a 80 nudos por lo que los movimientos en el primero deben ser efectuados con mucha más anticipación que en la segunda.

Correcciones. Recuerde siempre: es preferible una pequeña corrección ahora que una más grande después. Pero no se agobie y haga cambios continuamente, dele tiempo al avión para asumir la nueva situación. Si ha de cambiar o corregir la trayectoria, la velocidad o la actitud, haga los cambios oportunos sobre los mandos, espere un poco a la respuesta del avión y si es necesario corrija, así evitará muchas "excursiones" de altura y/o velocidad. No hay reglas en cuanto a la cantidad de cambio a aplicar en cada momento, es cuestión de entrenamiento y experiencia.

5.1.2 Potencia y actitud.

Se puede ascender o descender con distintas tasas de ascenso o descenso, girar con mayor o menor tasa de giro y con diferentes grados de alabeo, todo ello con diferentes velocidades, igual que se puede volar recto y nivelado a distintas velocidades. Seleccionar cada uno de los parámetros anteriores o la combinación de los mismos que convenga a cada caso, implica mantener un ángulo de ataque concreto, una actitud de alabeo (o no alabeo) determinada y la aplicación de una potencia específica. Y ahora la pregunta: ¿cómo seleccionar esos parámetros?.
Pues a partir de un hecho característico: el control del aeroplano depende de la potencia aplicada y de la actitud de morro y alabeo del avión. Efectivamente, la velocidad vertical (tasa de ascenso/descenso) y horizontal en un ascenso o descenso dependerá de la potencia puesta y de la actitud del avión (más exactamente del ángulo de ataque); en vuelo recto y nivelado la velocidad desarrollada dependerá igualmente de la potencia y la actitud; en giros lo mismo, en cualquier maniobra combinada también. Por tanto, al aplicar una potencia específica y poner al avión con una actitud determinada el piloto está "seleccionando" los parámetros de vuelo.

Una afirmación muy extendida en los manuales de aviación es que "potencia + actitud es igual a rendimiento". No es muy exacta y puede producir confusión, pues por ejemplo si está volando recto y nivelado con una potencia y actitud constantes, el rendimiento es efectivamente constante, pero ahora ponga 15º de morro arriba. De nuevo la potencia es constante y la actitud también y se espera lo mismo del rendimiento, pero lo que sucede en realidad es que a medida que el avión asciende, para mantener la misma actitud necesitará incrementar el ángulo de ataque cada vez más, minorando con ello la velocidad, y lo que comenzó siendo un ascenso terminará tarde o temprano en una pérdida.

Realmente, la afirmación anterior lo que pretende significar es que debido a la concepción aerodinámica del avión "la combinación adecuada de potencia y actitud debe producir siempre un rendimiento previsible".

Con respecto a esta afirmación, el comportamiento a grandes rasgos de los aviones es el siguiente:

- Diferentes combinaciones de potencia y actitud producen distintas velocidades y tasas (de ascenso, descenso o giro) por lo que una misma maniobra puede efectuarse bajo distintos parámetros de velocidad y tasas dependiendo de la potencia y actitud adoptadas.
- Con la misma potencia aplicada, una actitud de más morro arriba supone menor velocidad del avión y más morro abajo mayor velocidad. Ya vimos en 1.10 que el control primario de la velocidad se ejerce con la actitud (volante de control).
- Manteniendo la velocidad, si se reduce potencia el avión descenderá, si se aumenta ascenderá. También en 1.10 se dijo que el control primario de la altura reside en la potencia (palanca de gases).
- Si se cambia de potencia sin cambiar de actitud, o de actitud sin cambiar de potencia, los parámetros de vuelo (velocidad, altura, tasas) cambiarán.
- Si se quieren mantener dichos parámetros, un cambio de potencia implica también un cambio de actitud y viceversa.

5.1.3 Actitudes.

Los tres elementos básicos para mantener el control del aeroplano son: la actitud de morro, la actitud de alabeo, y la potencia aplicada. Actitud es la denominación que recibe la posición del avión respecto al horizonte. Conviene recordar algo muy importante: actitud no es igual a ángulo de ataque, la actitud es un medio de controlar el ángulo de ataque.

La actitud básica de un avión es la actitud de crucero, y todas las demás actitudes se refieren a la posición del avión respecto a esta. La actitud de crucero es la actitud del avión para un vuelo nivelado, con una velocidad y altitud constante, con una potencia de crucero adecuada y las alas paralelas al horizonte.
El término actitud no es un término exacto sino aproximado, como aproximadamente paralela al horizonte es la actitud normal en vuelo de crucero, así que para simplificar se suelen asumir ambas referencias como sinónimas. Las actitudes se pueden dividir en dos grupos:

Actitud de morro. Se refiere a la orientación o referencia angular del eje longitudinal del aeroplano con respecto al plano de referencia. La actitud por encima de ese plano se denomina "actitud de morro arriba" y la actitud por debajo recibe el nombre de "actitud de morro abajo". Se manejan términos tales como: pon 10º de morro arriba, baja el morro, no subas tanto el morro, etc...



Fig.5.1.1 - Actitudes de morro (vista lateral).



Fig.5.1.2 - Actitudes de morro (vista desde la cabina).

Actitud de alabeo. Es la orientación del eje transversal o lateral del aeroplano respecto al plano de referencia. Dicho de otra manera, es la actitud de inclinación de las alas respecto al horizonte. Los términos que se manejan son por ejemplo: haz un giro con 45º de alabeo a la izquierda, en esta maniobra no alabees más de 30º, no pongas tanto alabeo, etc... El sentido derecha e izquierda se refiere visto desde el asiento del piloto.



Fig.5.1.3 - Actitudes de alabeo.

El instrumento idóneo para chequear y mantener una determinada actitud es el horizonte artificial, pero tiene una pega, esta demasiado cerca de nuestros ojos para mirar fuera a la vez con comodidad. Si el horizonte artificial simula la actitud del aeroplano respecto al horizonte, ¿porqué no acostumbrarse a "leer" la posición del aeroplano "real" respecto al horizonte "real"?. Basta con trazar una línea imaginaria en el cristal, entre nuestros ojos y el horizonte real (algunos pilotos trazan dicha línea de verdad) y "leer" la posición relativa entre dicha línea y el horizonte, o la posición relativa de algún punto de la cabina, cristal o morro del avión respecto al horizonte real.
Como no siempre es perfectamente visible el horizonte real, es conveniente saber interpretar la información dada por los instrumentos del cuadro de mandos. El horizonte artificial es nuestra fuente principal para conocer la actitud del avión, sirviéndonos el altímetro, el indicador de velocidad y el indicador de coordinación (bastón y bola) como chequeo cruzado para verificar la actitud del avión.

5.1.4 Movimientos.

Durante el entrenamiento, antes de comenzar a practicar maniobras más complejas, seguramente el instructor nos enseñe a realizar una serie de movimientos básicos, la respuesta del avión a los mismos, y el reflejo de estos movimientos en los instrumentos del aeroplano. A continuación se expone un breve resumen de estos movimientos básicos para cuyo mejor entendimiento convendría releer los capítulos 1.5 y 1.10 relativos a cuales son las superficies de mando y control, como funcionan y que mandos actuan sobre ellas, y como controlar altura y velocidad, respectivamente.

Tirar del volante de control:

- El morro del avión se eleva.
- El ángulo de ataque aumenta.
- La velocidad disminuye.
- El avioncito miniatura del horizonte artificial se coloca por encima de la línea de referencia del horizonte.
- En aviones con hélice de paso fijo bajan las r.p.m. indicadas en el tacómetro.

Empujar el volante de control:

- El morro del avión baja.
- El ángulo de ataque disminuye.
- La velocidad se incrementa.
- El avioncito miniatura del horizonte artificial se pone por debajo de la línea de referencia.
- En aviones con hélice de paso fijo suben las r.p.m. indicadas en el tacómetro.

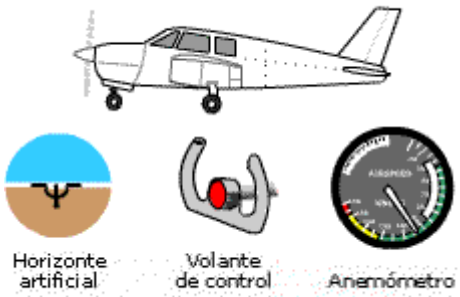


Fig.5.1.4 - Movimiento de cabeceo.

Mover el volante de control a la derecha:

- El avión alabea a la derecha.
- El horizonte artificial indica con el avioncito miniatura el alabeo a la derecha, mientras que en la escala se muestra el número de grados de este alabeo.
- El indicador de dirección y la brújula se mueven, mostrando el cambio de dirección.
- El avioncito del indicador de giro y coordinación se deflecta en la dirección del giro; si este es coordinado la bola permanecerá centrada; en caso contrario se desplazará a un lado.

Mover el volante de control a la izquierda:

- El avión alabea a la izquierda.
- El horizonte artificial indica con el avioncito miniatura el alabeo a la izquierda, y en la escala se muestra el número de grados de este alabeo.
- El indicador de dirección y la brújula se mueven, marcando la nueva dirección.
- El avioncito del indicador de giro y coordinación se deflecta en la dirección del giro; si este es coordinado la bola permanecerá centrada; en caso contrario se desplazará a un lado.

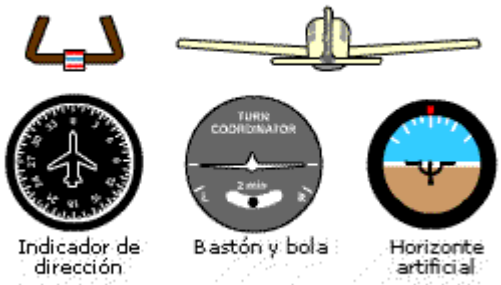


Fig.5.1.5 - Movimiento de alabeo.

Pisar el pedal derecho:

- El morro guiña a la derecha.
- La bola del indicador de coordinación y giro se desplaza al lado contrario del pedal aplicado (a la izquierda en este caso).

Pisar el pedal izquierdo:

- El morro guiña a la izquierda.
- La bola del indicador de coordinación y giro se desplaza al lado opuesto al pedal aplicado (a la derecha en este caso).

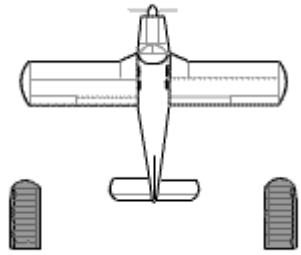


Fig.5.1.6 - Movimiento de guiñada.

Aumentar la potencia:

- El avión se eleva.
- En aviones con hélice de paso fijo el tacómetro indica mayor número de r.p.m; si la hélice es de paso variable aumenta la presión de admisión (manifold).
- El indicador de velocidad vertical y el altímetro marcan valores mayores.

Disminuir la potencia:

- El avión desciende.
- El tacómetro indica menor número de r.p.m. en aviones con hélice de paso fijo, o menor presión de admisión (manifold) en aviones con hélice de paso variable.
- El indicador de velocidad vertical y el altímetro marcan valores menores.

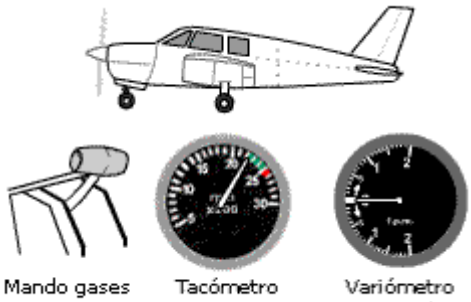


Fig. 5.1.7 - Cambios de potencia.

Naturalmente, si se realizan simultáneamente más de uno de estos movimientos la reacción del avión y su reflejo en los instrumentos es el producto de dicha combinación. Por ejemplo: Si movemos el mando de control a la derecha a la vez que empujamos este hacia delante:

- El avión alabea a la derecha y además baja el morro.
- La velocidad se incrementa.
- El avioncito del horizonte artificial se coloca por debajo de la línea de referencia y se muestra inclinado. El dial de ese instrumento indica el número de grados del alabeo.
- El avión miniatura del indicador de viraje se inclina a la derecha y si el viraje es coordinado la bola permanece centrada. Si no es coordinado la bola se desplazará a un lado.
- El indicador de dirección y la brújula se mueven, marcando la nueva dirección.

Los efectos mostrados en la tabla anterior se refieren a la respuesta "inmediata" del avión y los instrumentos al movimiento correspondiente. Un aeroplano tiende a equilibrar todas las fuerzas que le afectan, y si un movimiento produce un desequilibrio en las mismas el aparato responderá moviéndose en el sentido de la fuerza aplicada hasta encontrar un nuevo punto de equilibrio.

Un ejemplo: para realizar un giro cerrado se gira el volante hacia un lado, y para que sea coordinado se aplica el pedal del mismo lado. Pero el desequilibrio producido en la fuerza de sustentación con respecto al peso, debido al factor de carga, provocará que el avión tienda a "hundirse", por lo que si queremos mantener la altitud tendremos que incrementar la potencia (abrir gases).

5.1.5 Más generalidades.

Mantenga el vuelo coordinado (excepto en resbales intencionados). Si aplica alerón derecho aplique también pedal derecho; si aplica alerón izquierdo aplique también pedal izquierdo. Pilotar un aeroplano, especialmente a bajas velocidades requiere el uso de los pedales. La bola del inclinómetro debe permanecer siempre centrada.

No sea forofo de los instrumentos. Para girar a derecha o izquierda identifique un punto situado en el extremo del ala respectiva y gire hasta que lo enfrente. Aprenda a mantener una actitud de vuelo recto y nivelado por la posición del morro respecto al horizonte. Para mantener una dirección, ponga el rumbo adecuado, fíjese en un punto enfrente como el objetivo a seguir y chequee de cuando en cuando que sigue la dirección correcta. En general, todas las maniobras que puedan hacerse mediante referencias exteriores deben hacerse con este método, sirviéndose de los instrumentos para confirmar lo correcto de la maniobra. Acostúmbrese a percibir la actitud del avión por referencias externas y consolidar sus percepciones con los instrumentos.

Sumario:

- Durante el vuelo, el piloto necesita ascender, descender, o mantener una altitud constante; girar a la derecha, a la izquierda, o mantener la dirección de vuelo, y acelerar, decelerar o mantener una velocidad constante.
- Estos tres grupos de tareas básicas son fundamentales, pues todas las maniobras dependen de uno o más de ellos.
- Por seguridad en vuelo, debemos estar atentos a la presencia de otros aviones. Se recomienda dividir el espacio en pequeñas áreas, y escrutarlo con una serie de miradas cortas y regularmente espaciadas, estando especialmente alerta cuando tenemos el morro arriba debido a que nuestro campo de visión al frente se reduce.
- En un avión de plano bajo, el campo de visión abajo se reduce, y en los giros, el ala arriba del lado contrario al giro reduce la visión lateral de ese lado. En un avión de plano alto el campo de visión hacia arriba es obstaculizado por las alas y en los giros, el ala abajo del lado del giro reduce la visión lateral de ese lado.
- La posición del cuerpo debe ser confortable y permitirnos manejar los mandos y pedales con soltura. La posición de los pies debe permitir que su peso descanse en los talones apoyados en el suelo. El mando de control debe mantenerse firme pero sujeto con los dedos cerrados suavemente, no agarrotados.
- Los movimientos sobre los mandos deben ser ligeros y suaves, sintiendo el pulso del avión a través de los mismos. Si nota un exceso de presión compense el avión.
- La apertura o cierre de gases debe hacerse suave y progresivamente, no de forma brusca.
- La cantidad de movimiento sobre los mandos para obtener del avión la respuesta requerida, depende de la velocidad del aire que incide sobre las superficies de control (alerones y timones). A baja velocidad los mandos son laxos y responden perezosamente, mientras que a alta velocidad los mandos son firmes y responden rápidamente.
- Los alerones son más sensibles a los cambios de velocidad mientras que los timones son más sensibles a los cambios de potencia.
- El lapso de tiempo que transcurre desde que se aplica mando hasta que el avión responde, está en función de la cantidad de inercia del avión, la cual depende de su masa y velocidad. Dependiendo de la inercia, la anticipación del movimiento será mayor o menor.

- Es preferible una pequeña corrección ahora que una más grande después. Para evitar "excursiones" de altura y/o velocidad haga los cambios oportunos sobre los mandos, espere un poco a la respuesta del avión y si es necesario corrija. No hay reglas en cuanto a la cantidad de cambio a aplicar en cada momento, es cuestión de entrenamiento y experiencia.
- La combinación adecuada de potencia y actitud debe producir siempre un rendimiento previsible.
- Una misma maniobra puede efectuarse bajo distintos parámetros de velocidad y tasas dependiendo de la potencia y actitud adoptadas.
- Si se cambia de potencia sin cambiar de actitud, o de actitud sin cambiar de potencia, los parámetros de vuelo (velocidad, altura, tasas) cambiarán.
- Si se quieren mantener dichos parámetros, un cambio de potencia implica también un cambio de actitud y viceversa.
- Actitud no es igual a ángulo de ataque, la actitud es un medio de controlar el ángulo de ataque.
- La actitud de morro, se refiere a la orientación o referencia angular del eje longitudinal del aeroplano con respecto al plano de referencia. Se habla de morro arriba, morro nivelado y morro abajo.
- La actitud de alabeo es la orientación del eje transversal o lateral del aeroplano respecto al plano de referencia. Se habla de alabeo a la derecha, a la izquierda, etc...
- Para obtener una buena indicación de la actitud del avión el horizonte artificial es la mejor referencia, pero tiene una pega: está demasiado cerca de nuestros ojos para mirar fuera a la vez.
- Los movimientos básicos: tirar del volante de control o empujar el mismo; girarlo a derecha o izquierda; pisar el pedal izquierdo o el derecho, y aumentar o disminuir la potencia, producen una respuesta "inmediata" en el avión y sus instrumentos, pero debemos tener presente que se pueden producir otras respuestas a "medio plazo" producto del desequilibrio de fuerzas que actúan sobre el aeroplano.
- Excepto si quiere realizar un derrape intencionado, mantenga el vuelo coordinado, con la bola del inclinómetro siempre centrada.
- No sea forofo de los instrumentos. En general, todas las maniobras que puedan hacerse mediante referencias exteriores deben hacerse con este método, sirviéndose de los instrumentos para confirmar lo correcto de la maniobra. Acostúmbrese a percibir la actitud del avión por referencias externas y consolidar sus percepciones con los instrumentos.

5.2 DESPEGUE -Takeoff (I).

El despegue es la maniobra que consiste en abandonar la superficie de soporte del avión (tierra, agua, nieve, portaaviones...) e incluye todos los actos desde que se recibe autorización para despegar hasta que se alcanza una altura de seguridad suficiente. En un despegue bien hecho, la carrera de despegue es la mínima consistente con un control positivo del avión, este se va al aire suave y eficientemente, y el rendimiento en ascenso es el óptimo.

5.2.1 Tomar la decisión de despegar.

Un proverbio aeronáutico dice: "*El despegue es opcional, pero el aterrizaje, antes o después, es obligatorio*". Puede parecer una "perogrullada", pero con ello se quiere resaltar la importancia de tomar la decisión de despegar. En beneficio de la seguridad aeronáutica y el suyo propio, algo muy importante que debe hacer un piloto es conocer y decidir cuando dejar el avión aparcado. Si un vuelo no es seguro o es cuestionable, no debe aceptar presiones ajenas ni presionarse a si mismo para efectuarlo. Un vuelo puede ser retrasado o cancelado por muchas razones: meteorología, averías mecánicas, fatiga del piloto, etc.

Otro proverbio que viene al caso: "*Es preferible estar en el suelo deseando volar, que volar deseando estar en el suelo*".

Debemos preguntarnos:

- ¿Estoy preparado para este vuelo?
- ¿Es la pista larga y sin obstáculos, o es corta y con obstáculos?
- ¿Está la pista bien asfaltada o es blanda y con agujeros?
- ¿De donde sopla el viento y que intensidad tiene?
- ¿El viento es racheado o en cizalladura?
- ¿Cuál es la carga total del avión?
- ¿El aeródromo está a mucha altitud?
- ¿Es el día caluroso y húmedo o frío y seco?

Dependiendo de las respuestas a las preguntas anteriores, una decisión juiciosa sobre si salir a volar o no y como ejecutar la maniobra en caso afirmativo puede evitarnos un montón de problemas. En cualquier caso, debemos tener claros los procedimientos adecuados a cada situación así como las velocidades críticas del aeroplano.

En estas páginas se detallan los procedimientos a seguir para distintas situaciones de despegue, pero el lector de las mismas debe tener presente que estos no sustituyen en ningún caso a los especificados en el Manual de Operación del aeroplano, si acaso los complementan.

5.2.2 Nomenclatura de velocidades.

En casi todos los manuales se suelen manejar las siguientes nomenclaturas de velocidades recomendadas:

Vr corresponde a la velocidad de rotación, es decir aquella a la cual comienza a "despegarse" el avión de la superficie de soporte para llevarlo al aire.

Vx corresponde a la velocidad de mejor ángulo de ascenso, o sea, aquella que proporciona la mayor ganancia de altitud en la menor distancia horizontal posible.

Vy corresponde a la velocidad de mejor tasa de ascenso, es decir, aquella que nos proporciona la mayor ganancia de altitud en el menor tiempo posible.

Mientras *Vr* es una velocidad utilizada "en exclusiva" en la maniobra de despegue, *Vx* y *Vy* son velocidades relativas a cualquier maniobra de ascenso. Como es natural cada aeroplano tiene sus propias *Vr*, *Vx* y *Vy*.

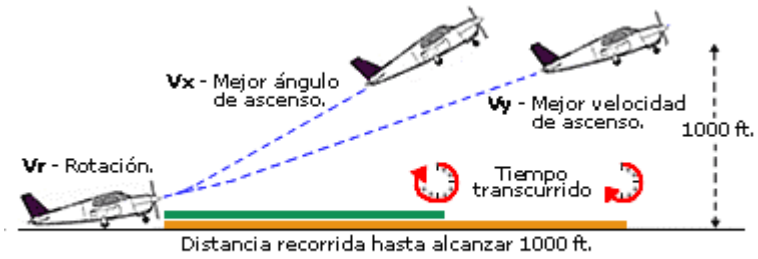


Fig.5.2.1 - Nomenclatura de velocidades de despegue y ascenso.

En la fig.5.2.1 se muestran estos tres conceptos de velocidad, reflejándose la diferencia existente tanto en distancia horizontal recorrida como en tiempo transcurrido para alcanzar 1000 pies, según que la velocidad de ascenso sea *Vx* o *Vy*. Asimismo, que la senda de ascenso con *Vx* es más pronunciada que con *Vy*.

El gráfico de la fig.5.2.2 refleja esto mismo, pero quizá pueda servir mejor para fijar conceptos pues nos permite establecer una asociación de ideas con estas velocidades. El eje de abscisas representa la distancia horizontal recorrida por el avión y el de ordenadas el tiempo necesario para ascender un número determinado de pies. El gráfico muestra de nuevo que para el mismo ascenso, con velocidad Vx se recorre menos distancia horizontal (*velocidad Vx = menor eje x*) mientras que con velocidad Vy se consume menos tiempo (*velocidad Vy = menor eje Y*).

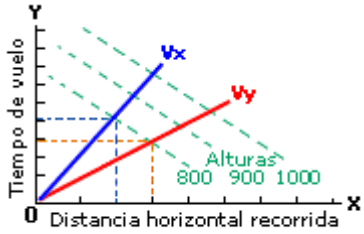


Fig.5.2.2 - Velocidades *Vx* y *Vy*.

Debemos tener presente que el fabricante ha tenido en cuenta varios factores (potencia del motor, sustentación, resistencia, refrigeración, etc...) a la hora de calcular estas velocidades. Por ejemplo, una velocidad menor que *Vx* proporciona una senda de ascenso más pronunciada y por tanto parece que el avión debería recorrer menos distancia horizontal. Pero resulta que el incremento de resistencia con esa velocidad empeora el rendimiento del avión de tal forma, que esta velocidad menor da peores resultados.

5.2.3 General.

Diferentes situaciones requieren distintas técnicas de despegue, pero con independencia de la técnica utilizada, siempre hay que observar ciertas cautelas básicas:

La seguridad, y con mucha frecuencia la calidad, del despegue depende de la preparación y chequeo previos.

Los despegues deben hacerse contra el viento -viento en cara-, salvo fuerza mayor, porque esto:

- Posibilita una carrera de despegue mas corta y una menor velocidad relativa al suelo.
- Minimiza el efecto de deriva porque no hay tensión adicional del viento sobre la rueda de morro.
- Permite el mejor control direccional, especialmente al comienzo de la carrera de despegue.
- Mejora la liberación de obstáculos al tener una carrera mas corta y un ángulo de ascenso mas pronunciado.
- En un aeródromo sin servicio de torre todos los aviones siguen la misma dirección del circuito de tráfico.

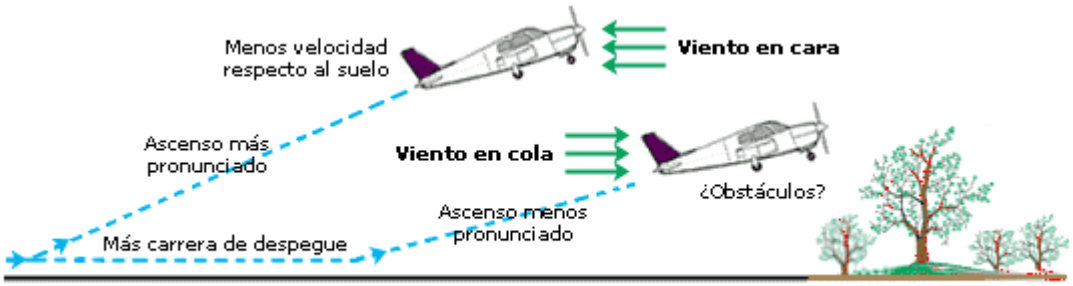


Fig.5.2.3 - Diferencias de despegar viento en cara o viento en cola.

En aeródromos con torre, se necesita autorización de esta antes de rodar o despegar. Cuando la torre autoriza el despegue se supone que la pista está disponible, pero la autorización no es extensible a todo el espacio aéreo; una vez en el aire, el piloto es totalmente responsable de comprobar, y evitar si es necesario, otros aviones en tráfico. Incluso sobre la pista, debe mantener los ojos bien abiertos, pues cabe la posibilidad de que otro avión aterrice sin haber recibido autorización, por ejemplo por una emergencia.

No abrir gases instantáneamente sino de forma suave y progresiva. En un carburador normal la apertura súbita de gases puede provocar un rateo del motor por mezcla pobre. Para evitar esto, muchos carburadores incorporan una bomba de aceleración que inyecta combustible extra a la mezcla. Pero si se abren gases demasiado rápido, esta mezcla enriquecida puede engrasar las bujías y provocar fallos del motor. Algunos constructores recomiendan que la apertura total de gases se haga en no menos de dos segundos. Mantener la mano en la palanca de gases durante toda la carrera de despegue por si hubiera que abortar el mismo.

Los primeros metros de la carrera de despegue son muy importantes. Si el comienzo de la carrera es bueno, con el control asegurado y el avión enfilado correctamente, el despegue será eficiente casi con toda seguridad.

Mantener los talones de los pies en el suelo para asegurar que no se presionan los frenos, lo cual supondría alargar la carrera y dificultar el control direccional.

Salvo en despegues con viento cruzado, los alerones deben mantenerse nivelados, y dependiendo del peso transportado y su distribución, el timón de profundidad en posición neutral o ligeramente retrasado.

Al principio de la carrera, debido a la poca velocidad del avión, es difícil apreciar la variación de presión en los mandos, por lo que puede darse una tendencia a mover estos en un amplio rango intentando encontrar la presión esperada. Lo único que se consigue con esto es un mal sobrecontrol, agravado por la reacción perezosa del avión a los movimientos de control a esta velocidad. Desarrollar la percepción de la cantidad de presión en los mandos a distintas velocidades es cuestión de práctica y experiencia.

Pié derecho. Durante la carrera y el ascenso, con alta potencia y poca velocidad, el avión tenderá a guiñar a la izquierda debido al movimiento de la hélice. Esta tendencia se corrige aplicando pié derecho en la cuantía necesaria.

Desde que el avión comienza a rodar hasta que alcanza la velocidad de rotación *Vr* se tarda un tiempo. Este tiempo debe emplearse en chequear los instrumentos (anemómetro "vivo", rendimiento del motor adecuado, presiones y temperaturas en "verde", etc..), mantener el centro de la pista, comprobar cuanta pista queda disponible, fijarse en las referencias exteriores, etc.

Mantener el eje de la pista. Nadie está a salvo de que en plena carrera de despegue una racha de viento desplace el avión lateralmente. Con el avión centrado en la pista la ráfaga le desplazará hacia los bordes, pero si no está centrado, posiblemente la ráfaga le saque de la pista si esta no es suficientemente ancha.

Una vez en el aire, se debe seguir manteniendo la dirección del eje de pista hasta alcanzar la altura de circuito, para facilitar que tanto la torre como otros tráficos localicen nuestra posición fácilmente. El tramo de ascenso del circuito de tráfico se supone que es una extensión de la línea central de la pista de despegue.

Compensar el avión. Mientras en vuelo de crucero se compensa el avión a menudo, en las fases de despegue y/o aterrizaje se suele utilizar poco el compensador. Una vez despegado el avión, durante la fase de ascenso, transferir al compensador buena parte de la energía empleada en sujetar los mandos, permite utilizar la tensión liberada en otras tareas necesarias.

En conveniente, planear el despegue cuidadosamente: asegurarnos que conocemos las velocidades precisas a usar, tener en cuenta la densidad de altitud, la pendiente de la pista, el peso del avión, de donde sopla del viento, etc.. sobre todo si la pista es corta, mal pavimentada, con obstáculos cercanos, o todo esto a la vez.

IMPORTANTE: Los procedimientos de despegue (o cualquier otra maniobra) no son "universales", las generalidades son válidas para todos, pero los detalles son específicos para cada tipo de avión. En los procedimientos de este "manual", estos detalles corresponden a un tipo de avión típico en aviación ligera: monomotor equipado con tren triciclo.

5.2.4 Despegue normal.

Este procedimiento es el utilizado habitualmente en el caso de una pista bien pavimentada, suficientemente larga, sin obstáculos y con el viento en cara.

En el punto de despegue, alineado el avión con el centro de la pista:

- Aplicar gases a fondo, con lo cual el avión iniciará una carrera incrementando paulatinamente su velocidad.
- A medida que el avión se acelera, tirar un poco del volante de control hacia atrás (aprox.3º de morro arriba) para aligerar el peso sobre la rueda de morro.
- Aplicar lo dicho en el párrafo anterior (chequear instrumentos, pié derecho, mantener alineación con el centro de la pista, etc...).
- Al alcanzar la velocidad de rotación ***Vr*** tirar otro poco hacia atrás del volante de control, lo justo para rotar el avión a una actitud de despegue (aprox.hasta 7,5º de morro arriba). Levantar el morro prematuramente o en exceso retrasará el despegue debido a un incremento de la resistencia. La velocidad de rotación ***Vr*** suele ser unos pocos nudos más baja (aprox.un 6 o 7%) que ***Vy***.
- El avión recorrerá unos metros y comenzará a despegar del suelo, primero la rueda de morro y después el resto del aeroplano, con una actitud de morro aproximada a la que corresponde a la velocidad de mejor tasa de ascenso ***Vy***.
- Una vez en el aire, mantener la velocidad canónica de ascenso ***Vy*** hasta alcanzar la altura de seguridad.

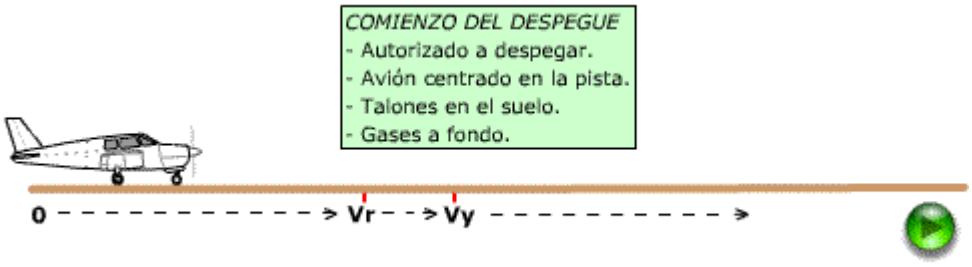


Fig.5.2.4 - Despegue normal

Normalmente, las velocidades de rotación indicadas en las listas que proporcionan las escuelas, se calculan con un margen de seguridad, "se curan en salud". Esto se debe a que si se rota con una velocidad baja, puede suceder que en el momento de la rotación venga una ráfaga de viento y nos "robe" unos pocos nudos de velocidad, lo cual puede causar que el aeroplano caiga de nuevo sobre la pista, y esto es peligroso. Además, poner al avión en el aire con muy baja velocidad decrece la controlabilidad en caso de fallo de motor.
Esas velocidades más "seguras" implican que el despegue se realiza casi mientras se está rotando, y que en el momento de la rotación aunque perdamos algunos nudos (por ráfagas u otra razón) nos vamos al aire. Se recorre algo más de pista, pero estamos suponiendo que esta es suficiente.

Aunque con la práctica se acaba "sintiendo" cuando el avión se quiere ir al aire, y se ha mencionado que no debemos prestar toda nuestra atención a los instrumentos, en los escasos segundos que transcurren desde que comenzamos a rotar hasta alcanzar la velocidad nominal de ascenso debemos prestar buena atención al indicador de velocidad (anemómetro).

Suponiendo que hiciéramos la maniobra fiándonos exclusivamente de nuestra percepción de la actitud de morro:

1. Con poco morro arriba, nuestra senda de ascenso es menos pronunciada. No supone mucha pega porque estamos en el supuesto que no hay obstáculos, pero obrar así no es recomendable porque alcanzar una altura de seguridad nos llevará más tiempo y distancia.
2. Con mucho morro arriba, el excesivo ángulo de ataque genera tanta resistencia que perderemos rápidamente la poca velocidad que tenemos, y el avión volverá a la pista violentamente o en pérdida.

Además, una misma actitud de morro en el mismo avión no supone automáticamente una determinada velocidad, pues esta dependerá también de la altitud del aeródromo, temperatura del aire, dirección y velocidad del viento, estado general del avión, etc...
Así que, si tiene suficiente experiencia para rotar y llevar el avión al aire basándose en sus sensaciones, enhorabuena, pero si quiere mantener su físico a salvo, tan pronto tenga al avión en el aire mire el indicador de velocidad.

5.2.5 Uso de flaps en despegue normal.

Extender los flaps para el despegue posibilita una mejor visión por encima del morro del avión. Esto se debe a que el flap aumenta el ángulo de incidencia, por lo que el aeroplano debe volar con una actitud de menor ángulo de morro arriba (para cualquier ángulo de ataque).

Si el manual del avión recomienda el uso de flaps para despegue de campo corto y/o campo blando, no hay ninguna razón que impida el uso de los mismos cuando el campo es largo y bien pavimentado.

En caso de usar flaps, normalmente se recomienda extenderlos solo el primer punto, pues con una extensión mayor el incremento de resistencia puede anular los posibles beneficios en algunos aviones.

5.2.6 Despegue de campo con obstáculos.

Esta descripción corresponde al procedimiento a usar para despegar de un campo bien pavimentado, con algún obstáculo relativamente cercano al área de despegue.

- Extender los flaps tal como se especifique en el manual del avión. Si no se conoce este dato, en aviones ligeros es muy utilizado el chequear que los flaps extendidos tienen un ángulo igual a la deflexión máxima de los alerones.
- Usar toda la pista de despegue. Si la pista de rodaje nos lleva sobre la pista de despegue a alguna distancia de su comienzo, deberíamos rodar atrás por esta pista de despegue hasta situarnos en el punto de comienzo. Las tres cosas más inútiles en aviación son: la pista que dejamos detrás, la altura que tenemos por encima, y el combustible no cargado en los depósitos.

Meter gases suavemente, pero no tan lento que ello signifique perder metros de pista antes de que el motor alcance su máxima potencia. Muchos pilotos abogan por poner gases a fondo manteniendo el aeroplano estacionario mediante los frenos, y cuando el motor alcanza su máxima potencia soltar estos. Si se aplican gases adecuadamente el aeroplano debe moverse muy poco antes de alcanzar la potencia máxima, pero de todas formas, si la pista lo permite, se puede aplicar este procedimiento como medida de prudencia adicional.

- Llegados a este punto, los instructores no se ponen de acuerdo con la mejor técnica a seguir, y puesto que "doctores tiene la Iglesia" nos limitaremos a mencionar las dos en controversia y que cada cual escoja la que le parezca más razonable.
  En ambas, se trata de rotar el avión, ascender con velocidad ***Vx*** hasta salvar el obstáculo y una vez superado este, ascender con velocidad ***Vy*** hasta alcanzar la altura de seguridad. La única diferencia entre ellas radica en la velocidad de rotación.
- **Técnica 1 -** Aboga por realizar el despegue rotando a **Vr**, ascender con velocidad **Vx** hasta salvar el obstáculo, y una vez sobrepasado este mantener **Vy**. Es parecida al despegue normal, salvo que la velocidad de ascenso hasta salvar el obstáculo es **Vx**.
- **Técnica 2** - Este procedimiento únicamente se diferencia del anterior en que se inclina por rotar a velocidad **Vx** en vez de rotar con velocidad **Vr**.
  Para ello mantenemos las ruedas sobre la pista hasta que la velocidad alcanza ***Vx;*** entonces rotamos suavemente a la actitud de morro arriba apropiada y ascendemos manteniendo ***Vx*** hasta salvar el obstáculo, etc...
  La lógica que subyace en este procedimiento es la siguiente: se quiere pasar sobre el obstáculo con altitud y velocidad razonables, lo que requiere una cierta cantidad de energía. Para maximizar la energía deberemos minimizar la resistencia durante la maniobra. Mantener el aeroplano sobre la pista hasta que alcance ***Vx*** se hace brusco, pero soportar su peso sobre las ruedas supone menos resistencia que soportarlo sobre las alas; dicho de otra manera, la resistencia al rodaje es menor que la resistencia inducida, salvo que la pista sea blanda, áspera o bacheada.

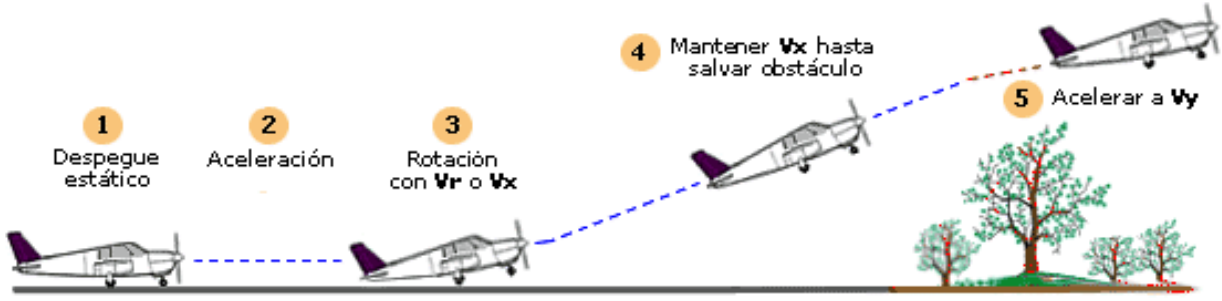


Fig.5.2.5 - Despegue de un campo con obstáculos.

En cualquier caso, las razones de ascender a ***Vx*** (mientras un despegue normal se hace a ***Vy***) son sencillas: en primer lugar, el motor provee energía por unidad de tiempo; queremos por tanto tener mas tiempo para alcanzar la energía suficiente antes de alcanzar el obstáculo, y esta velocidad **Vx** más reducida nos proporciona más tiempo. En segundo lugar, el obstáculo está situado a una distancia horizontal concreta, y lo que deseamos es que cuando el avión haya recorrido esa distancia tenga la mayor altitud posible. Y la velocidad que nos proporciona la mejor ganancia de altitud en la menor distancia horizontal posible es **Vx**.
La velocidad óptima es ***Vx***; cualquier velocidad mas baja causa un incremento en la resistencia inducida.

Notas.

Antes del despegue, la mayoría de la potencia se emplea en incrementar la energía cinética (velocidad), un poco en vencer la resistencia, y ninguna en adquirir energía potencial (altura). En el inicio del ascenso, nos encontramos con una situación curiosa: estamos ascendiendo y acelerando al mismo tiempo.

Finalmente, en la fase de ascenso constante, la mayoría de la potencia se emplea en adquirir energía potencial (altura), alguna en vencer la resistencia, y ninguna en incrementar la energía cinética (velocidad).

Sumario.

- Planificar el despegue es sumamente importante, sobre todos en aeródromos no conocidos y/o en condiciones desfavorables.
- Tomar la decisión de despegar es también importante. Recordemos: "El despegue es opcional pero el aterrizaje es obligatorio".
- La velocidad de rotación (**Vr**) corresponde a aquella a la cual comienza a "despegarse" el avión de la superficie de soporte para llevarlo al aire.
  Vx representa la velocidad de mejor ángulo de ascenso (proporciona mayor ganancia de altitud en la menor distancia horizontal posible).
  Vy designa a la velocidad de mejor tasa de ascenso (proporciona la mayor ganancia de altitud en el menor tiempo posible).
- El despegue debe hacer siempre -salvo fuerza mayor- viento en cara.
- En aeródromos con torre se necesita autorización antes de despegar. Esta autorización supone que la pista está libre (debemos cerciorarnos) y no es extensible a todo el espacio aéreo. Una vez en el aire comprobar otros tráficos. La responsabilidad última es siempre del piloto.
- En aeródromos no controlados debemos extremar las precauciones, estar atentos a la radio y comunicar nuestros movimientos para conocimiento de otros posibles tráficos.
- No abrir gases súbitamente sino de forma progresiva. Algunos constructores recomiendan que se haga en no menos de dos segundos.
- Salvo en despegues con viento cruzado, los alerones deben mantenerse nivelados y el timón de profundidad en posición neutral o ligeramente retrasado.
- Durante la carrera de despegue chequear instrumentos "en verde", motor rindiendo a tope, pista que queda disponible, etc..
- Mantener el eje de la pista desde que se inicia el despegue hasta que se alcanza la altura de seguridad.
- Los talones de los pies deben mantenerse en el suelo para no presionar los frenos de forma casual.
- Aplicar pié derecho durante la maniobra para corregir la tendencia a guiñar a la izquierda.
- Antes del despegue, la mayoría de la potencia se emplea en aumentar la energía cinética (velocidad), algo en vencer la resistencia, y nada en adquirir energía potencial (altura); en el inicio del ascenso, se produce una situación curiosa: se está ascendiendo y acelerando al mismo tiempo; finalmente, en la fase de ascenso constante, la mayoría de la potencia se emplea en adquirir energía potencial (altura), alguna en vencer la resistencia, y ninguna en incrementar la energía cinética (velocidad).

- **Despegue normal.**
  - Realizado el chequeo pre-takeoff y recibida autorización de la torre, con el avión alineado con el centro de la pista aplicar gases a tope; durante la carrera seguir las pautas dadas con anterioridad.
  - A medida que crece la velocidad tirar algo de "cuernos" (aprox.3º de morro arriba) para aligerar peso sobre la rueda de morro.
  - Con velocidad de rotación *Vr* rotar el avión a una posición de despegue (morro arriba aprox.7,5º) y cuando el anemómetro marca *Vy* llevar el avión al aire.
  - Mantener *Vy* hasta alcanzar la altura de seguridad adecuada.

- **Despegue con obstáculos.**
    - Algunos manuales recomiendan poner un punto de flaps. Usar la pista desde el principio. Aplicar gases a tope con el avión frenado y cuando el motor alcance su máxima potencia soltar los frenos (despegue "estático") para mayor seguridad.
    - Las dos técnicas propugnadas por los expertos, mantienen que la velocidad de ascenso en este caso es *Vx*. La única diferencia entre ambas estriba en cuando rotar: una opta por hacerlo con velocidad *Vr* lo mismo que en un despegue normal, mientras que la otra sostiene que mantener el avión en la pista hasta alcanzar *Vx* y entonces rotar produce menor resistencia.
    - En cualquier caso, la clave de este procedimiento es ascender con *Vx* hasta sobrepasar el obstáculo. Una vez salvado, bajar un poco el morro para acelerar a Vy y mantener esa velocidad hasta alcanzar la altura de seguridad.

5.3 DESPEGUE -Takeoff (II).

En muchas ocasiones, las operaciones de despegue se realizan en pistas con un suelo firme y regular (hormigonadas y/o pavimentadas), suficientemente largas y sin obstáculos en las cercanías, que permiten utilizar sin ningún problema los procedimientos de despegue normal relatados en el capítulo anterior. Pero también en muchas otras, nos encontraremos en la situación de tener que despegar de pistas bien pavimentadas pero de poca longitud, o de pistas de tierra o hierba, o ambas cosas (cortas y blandas) y además con obstáculos cercanos. En esos casos, la técnica de despegue a seguir puede variar ligeramente. En este capítulo se detallan dichas técnicas.

5.3.1 Despegue de campo blando.

Algunas veces queremos tener el avión en el aire a la velocidad mas baja posible, usando la carrera de despegue más corta posible, por ejemplo:

> Una pista de tierra blanda o con barro causará una tremenda fricción sobre las ruedas, provocando que el avión acelere más lentamente y tarde más tiempo en alcanzar su velocidad de rotación. Cuanto antes estemos en el aire antes estaremos libres de esa fricción y en mejor disposición de acelerar.
>
> Si la pista es bacheada o con agujeros, el problema no es la fricción sino el peligro de tomar un bache o un hoyo a alta velocidad. Recordemos que la fuerza contra un bache o un hoyo es igual al cuadrado de la velocidad.

El procedimiento de campo blando que se expone a continuación permite transferir el peso del avión a las alas tan pronto como sea posible, decreciendo la fricción y aumentando la aceleración. Este procedimiento es como sigue:

- Extender los flaps siguiendo la norma del fabricante; en ausencia de recomendación específica extenderlos hasta que alcancen una posición igual a la máxima deflexión de los alerones. La idea es obtener el máximo coeficiente de sustentación sin aumentar la resistencia.
- Comenzar la carrera de despegue con el volante de control totalmente hacia atrás; a medida que el avión se acelere el morro tenderá a elevarse; dejar que se levante hasta una actitud que corresponda a un ángulo ligeramente menor que el ángulo de ataque en la pérdida (unos 15º de morro arriba). Para mantener esta actitud de morro arriba sin que el avión se encabrite mientras se acelera, tendremos que ir empujando gradualmente hacia adelante los mandos.
- El avión se irá al aire a muy baja velocidad (cercana a la pérdida). Si mantenemos la misma actitud, un aeroplano típico acelerará pobremente mientras asciende pobremente también, pero eso no es lo que queremos (un avión de poca potencia podría estar en una situación donde ni acelera ni asciende). Por tanto, gradualmente bajamos el morro y volamos paralelos al suelo, muy poco por encima de este. A medida que el aeroplano acelera, el ángulo de ataque requerido debe decrecer así que la actitud de morro debe ser cada vez mas baja.
- Si el campo no tiene obstáculos, permanecemos en efecto suelo hasta que la actitud de morro (y por tanto el ángulo de ataque) haya decrecido a los valores normales para el despegue; en ese momento ascendemos mientras se acelera a *Vy* lo mismo que en un despegue normal.
- Si el campo tiene obstáculos, es mejor permanecer en efecto suelo hasta que la velocidad alcanza *Vx*; entonces levantamos el morro y ascendemos manteniendo *Vx* tal como se dijo en el despegue de campo con obstáculos.

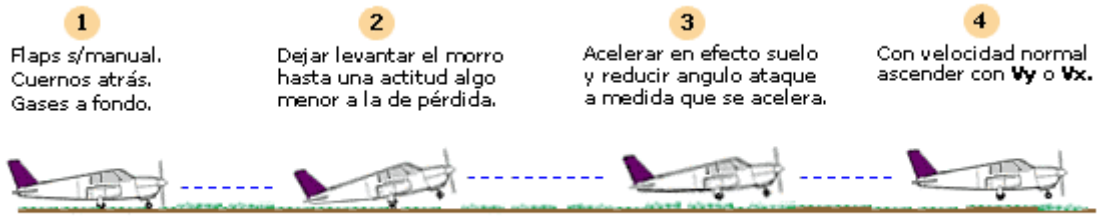


Fig.5.3.1 - Maniobra de despegue de campo blando.

Justamente después de levantar el avión de la pista la velocidad es extremadamente baja, y en condiciones normales de vuelo el avión tendría una tasa negativa de ascenso a esa velocidad, pero en este caso no solo se mantiene la altitud sino que se acelera. El ingrediente especial de este caso es el efecto suelo: las alas tienen muy poca resistencia inducida en efecto suelo (aproximadamente con el avión separado del suelo por una distancia menor o igual al ancho del ala).

Usando este procedimiento, justamente después de elevar el avión del suelo sucede que:

- No hay resistencia por fricción al suelo, porque las ruedas están en el aire.
- Hay muy poca resistencia inducida porque estamos en efecto suelo.
- Hay muy poca resistencia parásita porque tenemos poca velocidad, y
- La potencia no se utiliza para ascender dado que nos movemos horizontalmente, y si el motor está dando toda su potencia y no se gasta apenas ninguna en contrarrestar la resistencia ni ascender, el aeroplano debe acelerar muy rápidamente.

Efecto suelo. Un fenómeno bien conocido por los pilotos es el efecto suelo, esto es: con el avión volando a una distancia del suelo igual o inferior a la envergadura del ala se produce un incremento de eficiencia del ala que mantiene al avión en el aire a velocidades más bajas que las normales.

Este fenómeno es bien conocido en cuanto a sus efectos, pero a la hora de explicar las *causas* los manuales no son muy explícitos y en ocasiones resultan incluso contradictorios (ver enlaces de interés). El caso es que la cercanía del suelo afecta a la distribución y circulación del flujo de aire a lo largo del ala, resultando una disminución de la resistencia inducida. Un aeroplano de ala baja puede experimentar una reducción en la resistencia inducida de un 50% justamente antes de tocar el suelo (en un aterrizaje) o despegar de este (despegue).

Cuanto más cerca del suelo esté el ala, mayor será la intensidad de este fenómeno, o lo que es lo mismo: a medida que el avión se separa del suelo el efecto suelo disminuye.

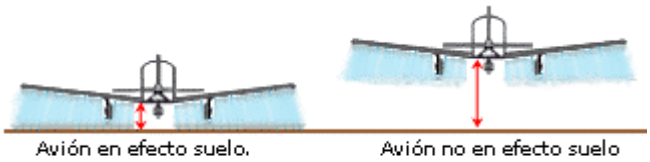


Fig.5.3.2 - Efecto suelo.

5.3.2 Más sobre despegue de campo blando.

Algunos fabricantes recomiendan extender los flaps un punto mientras que otros recomiendan más extensión. En este último caso, dada la resistencia adicional, se suele añadir la recomendación de recogerlos muy suavemente y poco a poco hasta el primer punto, a medida que el avión va adquiriendo velocidad.

Si nos encontramos con una pista que está bien asfaltada pero es muy corta, y está rodeada por campos abiertos con hoyos y/o guijarros pero sin obstáculos serios, siguiendo el procedimiento anterior podemos irnos al aire sobre la pista y acelerar en efecto suelo sobre el campo circundante.

Puede suceder que haciendo un despegue normal sobre una pista normal, por una ráfaga de viento o un lapsus en la técnica de pilotaje nos vayamos al aire con muy poca velocidad. La mejor estrategia es acelerar en efecto suelo, porque no queremos recontactar con la pista (especialmente si hay viento cruzado) ni intentar ascender con una velocidad tan baja.

En todos los casos expuestos, debemos ser cuidadosos en permanecer en efecto suelo hasta haber acelerado a la velocidad dada de ascenso. Si intentamos ascender a la velocidad de rotación tendremos un problema: no tenemos capacidad de ascenso fuera del efecto suelo, es decir, tan pronto como ascendemos a una altura donde el efecto suelo no es significativo, la resistencia inducida se hará tan grande que seremos incapaces de ascender o acelerar.

Debemos tener en cuenta que nada más levantar el avión, debido al efecto suelo podemos estar volando con velocidades normalmente asociadas a la pérdida, así que no debe alarmarnos que el avisador de pérdida, que no "entiende" que estamos en efecto suelo, suene y/o se encienda.

El par motor producido por la alta potencia y la baja velocidad provocará una intensa guiñada a la izquierda que debemos estar atentos a corregir actuando firmemente sobre el pedal derecho (pié derecho).

Mientras en el despegue normal podemos mantener la dirección del avión mirando al frente, en un despegue en campo blando el morro nos bloqueará la vista durante la mayoría de la maniobra. Debemos pues usar el borde de la pista como referencia.

Al entrar en una de estas pistas para despegar, conviene tener el avión preparado (chequeos, etc...) y según entremos enfilarlo y proceder al despegue, sin parar, para no quedarnos "pegados" en la pista.

Es recomendable experimentar estas técnicas de despegue con obstáculos y con campo blando en campos normales, pues puede que las necesitemos en momentos que no son los mas adecuados para aprender.

5.3.3 Despegue de campo corto.

En las técnicas de despegue detalladas hasta ahora, se ha dado por sentado que la longitud de la pista era más que suficiente, con independencia de su estado y de que hubiera que franquear obstáculos o no. No es infrecuente que nos encontremos en alguna ocasión, con que tenemos que despegar de una pista de poca longitud (aunque "corta", se supone que suficiente pues en otro caso nuestro sentido común nos los impediría).

En esta circunstancia, es necesario maximizar el rendimiento del avión para lo cual, este debe configurarse de manera que permita despegar con seguridad en una velocidad baja, y que la aceleración a dicha velocidad se realice en el menor tiempo posible. Estos dos aspectos ya los conocemos por los procedimientos de despegue de campo con obstáculos (ver 5.2.6) los cuales, salvo lo referente a la rotación, son de aplicación en este caso. Veamos:

- Extender flaps posibilita una menor velocidad de despegue. Atenerse a lo especificado en el Manual de Operación del aeroplano y en ausencia de indicaciones, extenderlos hasta la posición de máxima deflexión de los alerones.
- Póngase en posición de despegue al comienzo de la pista. Ya que esta es corta no la acortemos más todavía dejando tras nosotros parte sin aprovechar, esos pocos metros de aceleración nos pueden ser necesarios.
- Cuanto más ahorremos en metros (o pies) y mayor capacidad de aceleración obtengamos, mejor. Por tanto conviene disponer de la potencia máxima antes de iniciar la carrera de despegue. Con los frenos aplicados abra gases a tope y compruebe que el motor entrega su potencia máxima; seguidamente suelte los frenos (despegue estático).

- Para minimizar la resistencia, durante la carrera de despegue mantenga las ruedas en el suelo (salvo que el estado de la pista lo impida) si el tren es de tipo triciclo. En caso de patín de cola adopte una actitud de morro que implique la mínima resistencia, casi similar a la actitud de crucero.
- Permita que el avión alcance la velocidad adecuada antes de levantar el morro para la rotación, y una vez en el aire deje que el avión acelere a la velocidad de ascenso (*Vx* o *Vy* según haya obstáculos relativamente cercanos o no).

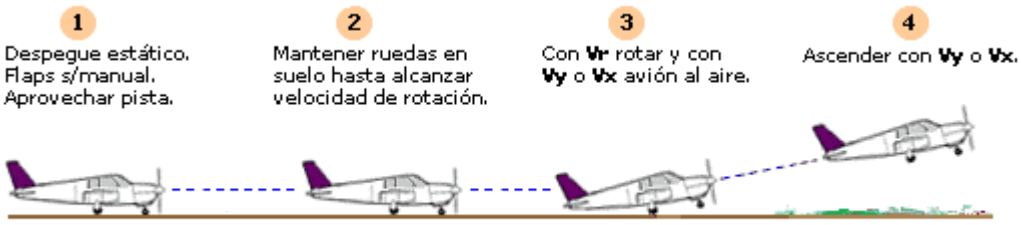


Fig.5.3.3 - Maniobra de despegue en campo corto.

Como se dijo en el párrafo anterior, si la pista es corta pero el campo que la rodea está libre de obstáculos, quizá debiéramos plantearnos utilizar la técnica de campo blando: irnos al aire sobre la pista y acelerar en efecto suelo sobre el campo circundante.

Las diferentes técnicas detallas hasta ahora, responden a situaciones más o menos "puras", es decir tienen en cuenta uno o dos factores desfavorables pero no todos. Una pista que puede ser lo suficientemente larga como para despegar en determinadas condiciones, puede quedarse corta en otras condiciones mucho más desfavorables: temperatura, humedad, densidad del aire, rendimiento del motor, etc... (ver 5.4.4). Así que no está de mas insistir en lo dicho en el capítulo anterior: "la parte más importante del despegue es tomar la decisión de despegar".

5.3.4 Despegue con viento cruzado.

La dirección e intensidad del viento es un componente crucial en la maniobra de despegue, sobre todo si este sopla con cierta intensidad y además su dirección es perpendicular o casi perpendicular a la pista. El componente viento puede obligar a afinar un poco más cualquiera de las técnicas descritas hasta ahora. Es importante destacar desde el primer momento que el procedimiento de despegue con viento cruzado no se utiliza *en lugar* del despegue normal, en campo corto, o en campo con obstáculos, sino que se utiliza *en conjunción* con cualquiera de los descritos.

Consideremos el siguiente escenario: Estamos despegando siguiendo alguna de las técnicas descritas con anterioridad, pero en esta ocasión hay ráfagas de viento. Como es habitual, rotamos y estamos acelerando para despegar, con las alas niveladas. A medida que la velocidad se incremente, las alas producirán cada vez mas sustentación aligerando la carga sobre el tren de aterrizaje. Como el viento que está soplando contra un lado del fuselaje es cada vez mas fuerte, y teniendo en cuenta que la capacidad del tren para aportar resistencia es proporcional al peso que soporta, si seguimos manteniendo las alas niveladas, habrá un punto anterior al despegue donde la fuerza del viento rebasará la resistencia que ofrecen las ruedas y desplazará al avión de costado, arrastrando las ruedas a través de la pista. No solo eso; la fuerza del viento puede levantar bruscamente el ala del lado del cual sopla y darnos un susto serio.

Algunos factores a tener en cuenta a la hora de considerar las reacciones del aeroplano al viento cruzado, son los siguientes:

1. El aeroplano tiene mayor superficie de fuselaje por detrás de las ruedas principales del tren que por delante. Por esta razón, el viento ejerce una mayor fuerza lateral sobre la parte trasera, causando que el morro tienda a aproarse al viento. Esta reacción es conocida en inglés como "weather cocking".

. El viento soplando de través en la pista tiende a empujar lateralmente al avión, creando una tensión considerable sobre las ruedas del tren de aterrizaje.
3. El ala del lado del viento está más expuesta que el ala contraria, debido a que el fuselaje "tapa" a esta última. El ala que recibe mayor viento deberá producir más sustentación.

Para contrarrestar estas reacciones, en situaciones de viento cruzado moderado o fuerte, debemos incorporar a nuestro procedimiento la técnica de despegue con viento cruzado, la cual se basa en el uso adecuado y coordinado de alerones (volante de control) y timón de dirección (pedales).
El despegue con viento cruzado es más fácil de realizar que el aterrizaje con viento cruzado; no obstante debemos tomar algunas precauciones.

Uso de los pedales: Para contrarrestar la tendencia del aeroplano a girar hacia el viento (como una veleta), debemos presionar el pedal contrario a la dirección de donde sopla para mantener la dirección de la pista. Antes de la rotación, tanto el timón de cola como la rueda de morro ayudan a mantener la dirección del aparato, pero una vez en el aire la rueda de morro ya no contribuye al guiado del aparato, por lo que debemos pensar en aplicar un poco más de pedal siguiendo a la rotación. El control direccional del aeroplano se mantiene principalmente con el timón de dirección.

Uso de los alerones, hay dos métodos:

(a). Este método es mas o menos el inverso del aterrizaje con viento cruzado. Durante la carrera de rodaje deflectar los alerones hacia el lado de donde sopla el viento (cuernos al viento), con lo cual ponemos mas peso sobre la rueda de ese lado. Puesto que los alerones crean fuerza en proporción al cuadrado de la velocidad, y al comienzo de la carrera es cuando menos velocidad tenemos, debemos comenzar esta con los alerones totalmente deflectados del lado del viento y a medida que la velocidad se incremente reducir gradualmente esta deflexión.
Rotamos normalmente manteniendo la deflexión de los alerones, de forma que el ala del lado del viento esté por debajo de la horizontal mientras que la del lado contrario está por encima, con lo cual mantenemos la rueda del lado del viento en el suelo para que la fricción ayude a resistir la fuerza del viento. Durante los segundos que transcurren desde la rotación hasta el despegue podemos tener perfectamente al avión rodando sobre la pista en una rueda.

A medida que la carga sobre las ruedas decrece hasta hacerse cero, el aeroplano debe despegar derecho.
Dado que los alerones se deflectan a un lado y el timón de dirección a otro, en el momento del despegue estamos en un resbale (como deseamos); en el despegue seguimos en este resbale, pero no necesitamos que este sea tan acentuado, por lo que nivelaremos algo las alas y pondremos el morro hacia el viento (para mantener el fuselaje alineado con el flujo de aire). La deriva hacia el viento sirve para contrarrestar la fuerza de este sobre el fuselaje

(b). El segundo método, más común, es como sigue: Se deflectan los alerones contra el viento (cuernos al viento), pero no tanto como antes, pues la idea es no transferir todo el peso a la rueda del lado del viento sino simplemente igualar el peso contrarrestando la tendencia del ala de ese lado a levantarse.
Para evitar que el viento nos desplace lateralmente sobre la pista, mantenemos el peso sobre las ruedas retrasando la rotación hasta tener el 100% de la velocidad de despegue (lo mismo que en despegue con obstáculos). Entonces rotamos y nos vamos al aire.
Este método no es óptimo para campo blando o bacheado, porque recorremos la pista a alta velocidad.

Una vez en el aire, como en el caso anterior, debemos corregir la dirección del avión para que el fuselaje quede alineado con el viento. Debe notarse que en ambos casos, el cambio de dirección que hacemos justo después del despegue no es como en un giro normal y coordinado. En este caso, el movimiento del avión debe ser alineado con la pista pero el morro debe estar alineado con el viento, por lo que usaremos mas el timón de dirección (pedales) que los alerones (cuernos).



Fig.5.3.4 - Despegue con viento cruzado.

Después de despegar, debemos ser cuidadosos con no volver a "sentarnos" sobre la pista, pues al no estar el avión alineado con ella "reaterrizar" provocará una tremenda carga lateral sobre el tren de aterrizaje.

Al ir ascendiendo, debemos esperar que el viento cruzado vaya creciendo en intensidad a medida que nos alejamos del suelo, por lo que tendremos que hacer los ajustes apropiados para mantener la dirección.

Se puede resumir todo el procedimiento en una frase: "Con viento cruzado, cuernos al viento y pié contrario"

Salvo que la intensidad del viento sea poca, normalmente en este procedimiento de despegue no se extienden flaps, como mucho una deflexión mínima. Con viento racheado, si es posible conviene aumentar algo la velocidad de rotación y ascenso, para que si deja de soplar la racha, los nudos que nos "robe" no nos importunen demasiado.

Cada avión tiene una capacidad de soportar ráfagas de viento de una intensidad determinada. Es nuestra obligación conocer cual es el límite del avión que pilotamos. En cualquier caso, un requerimiento para la certificación de un aeroplano es que este sea capaz de operar con seguridad, como mínimo con 90º de viento cruzado y una intensidad del mismo que no exceda del 20% de la velocidad de pérdida del aeroplano en cuestión. Por ejemplo: si la velocidad de pérdida del avión es de 60 Kts. este debe ser capaz de operar seguramente recibiendo viento de costado (90º) con una velocidad máxima de 12 Kts. (60*20/100=12).

Sumario.

- Una pista de tierra blanda causa una tremenda fricción sobre las ruedas, provocando que el avión acelere más lentamente y tarde más tiempo en alcanzar su velocidad de rotación.
- Si la pista tiene baches o agujeros, tomarlos con mucha velocidad puede causar daño en el tren de aterrizaje, e incluso en el peor de los casos que el avión capote.
- En casos como estos, el procedimiento de campo blando permite transferir el peso del avión a las alas tan pronto como sea posible, decreciendo la fricción y aumentando la aceleración.
- El fenómeno conocido como efecto suelo, produce que a una distancia del suelo menor a la envergadura del ala se incremente la eficiencia, permitiendo que el avión vuele vuele con una velocidad mas baja de lo normal.
- Cuanto más cerca esta el avión del suelo más acusado es el efecto suelo.

- El procedimiento de despegue con viento cruzado se utiliza en *conjunción* con el procedimiento de despegue normal, con campo corto, etc... no como *sustituto* de alguno de estos.

- Despegue de campo blando.
  - Muchos fabricantes recomiendan un punto de flaps, pero otros abogan por una mayor extensión e ir recogiéndolos suavemente hasta el primer punto a medida que el avión acelera en efecto suelo.
  - Este procedimiento también puede utilizarse si la pista es corta y el campo alrededor no tiene obstáculos de relevancia. El avión se levanta sobre la pista y se acelera en efecto suelo sobre el área circundante.
  - Se debe permanecer en efecto suelo hasta haber alcanzado la velocidad de ascenso. Si intentamos ascender a la velocidad de rotación, tan pronto estemos fuera del efecto suelo la resistencia inducida puede impedirnos ascender y/o acelerar.
  - Es necesario aplicar bastante pié derecho dada la intensa guiñada a la izquierda producida por la alta potencia y la baja velocidad.

- Despegue de campo corto.
  - Poner flaps según Manual de operación, y en ausencia de indicaciones poner un punto de flap.
  - Aprovechar toda la pista, y realizar un despegue estático.
  - Para minimizar la resistencia, mantener las ruedas en el suelo hasta alcanzar velocidad de rotación.
  - Rotar el avión con Vr, con Vy llevarlo al aire, y mantener esa velocidad durante el ascenso.
  - Si hay algún obstáculo, al aire y ascenso con velocidad Vx.
  - Si no hay obstáculos puede plantearse usar el procedimiento de campo blando: avión al aire en la pista y acelerar en efecto suelo sobre el campo circundante.

- Despegue con viento cruzado.
  - El control direccional del aeroplano se mantiene principalmente con el timón de dirección (pedales).
  - Iniciar la carrera de despegue con el volante de control girado hacia el lado del viento, manteniendo el eje de la pista con el timón de dirección.
  - Rotar manteniendo la deflexión de los alerones, de forma que el ala del lado del viento esté por debajo de la horizontal mientras que la del lado contrario está por encima.
  - Una vez en el aire, corregir la dirección del avión para que el fuselaje quede alineado con el viento. Este cambio de dirección justo después del despegue no es como en un giro normal y coordinado; en este caso, el movimiento del avión debe ser alineado con la pista pero el morro debe estar alineado con el viento, por lo que usaremos mas el timón de dirección (pedales) que los alerones (cuernos).

5.4 DESPEGUE -Takeoff (III).

5.4.1 Otros elementos del despegue.

Una vez tengamos al avión en el aire, si está equipado con tren retráctil debemos decidir cuando retraerlo. No es un buen procedimiento hacerlo en el instante en que nos vamos al aire, porque a veces puede ir algo mal segundos después y no tendremos tren si queremos volver a lo poco de pista que nos quede.
El procedimiento habitual es subir el tren cuando ya no sea posible aterrizar sobre la pista de despegue "No hay mas pista, tren arriba". Sobre una pista realmente larga, puede ser bueno subir el tren para reducir la resistencia, siempre y cuando se disponga de suficiente altura para que, si hemos de tomar en la que queda por una emergencia, dé tiempo a bajar el tren.

Una vez alcanzada una altitud determinada (500 ft. AGL normalmente), hay que realizar algunas tareas: apagar la luz de aterrizaje, subir los flaps, apagar la bomba de combustible, etc… Este es un buen momento para bajar un poco el morro y dejar que el avión se acelere desde *Vy* a la velocidad de ascenso en crucero, y para poner la potencia del motor a un régimen normal, que será habitualmente un poco más baja que la potencia a tope del despegue. Estas tareas solo deben ser atendidas cuando tenemos varios cientos de pies de altura, pues a baja altitud el control básico del avión debe atraer toda nuestra atención.

5.4.2 Monitorizar el despegue.

Supongamos que estamos en la carrera de despegue y algunas pequeñas cosas van mal:

- Hemos subestimado la altitud de densidad.
- Por varias posibles razones, el motor solo produce el 80% de su potencia.
- El freno de aparcamiento no esta totalmente bajado y produce alguna resistencia en las ruedas.
- No hemos notado un ligero desplazamiento del viento que ahora viene de cola.
- No nos hemos dado cuenta que la pista está ligeramente inclinada hacia arriba.

Parece claro que con todos estos inconvenientes no podremos completar el despegue con seguridad, pero ¿cómo notar este déficit de rendimiento en el momento adecuado para abortar el despegue?.

Si estamos familiarizados con el avión, sabremos como suena el motor normalmente y si este suena desigual debemos chequearlo. Igualmente, conoceremos las RPM que el motor proporciona durante la carrera de despegue y si notamos menos debemos abortar el despegue e investigar si hay algún problema.

Desgraciadamente, si no estamos familiarizados con el aeroplano, puede ser dificultoso notar una bajada en el rendimiento hasta que sea demasiado tarde. Contra esto, solo se puede actuar planificando y chequeando el despegue cuidadosamente:

- Usar, si es posible, el Manual de Operaciones del avión, para calcular la distancia de despegue en las condiciones actuales, así como la del aterrizaje para estas mismas condiciones. Elegir una pista que sea tan larga como la mayor de las dos anteriormente calculadas más un margen de seguridad por posibles errores.
- Observar y notar que parte de la pista consumiremos en la carrera de despegue. Si no estamos en el aire en el punto previsto, cerrar gases y aplicar frenos inmediatamente. Rodaremos hacia el aparcamiento y revisaremos que es lo que está mal.
- No se debe intentar usar pista "extra" para salvar el despegue si hay un déficit de rendimiento significativo. Si hemos notado una bajada de rendimiento, la pista de despegue y en carrera de aceleración no son ni el mejor sitio ni el mejor momento para hacer averiguaciones.

Durante la carrera de despegue debemos chequear la velocidad, las RPM del motor, los indicadores (presión del aceite, temperatura del aceite, …), y todos los demás instrumentos de que dispongamos (presión del manifold, flujo de combustible, …) asegurándonos que dan lecturas razonables.

Consideremos ahora, la enojosa situación donde la pista disponible es justamente un poco más corta que la calculada anteriormente. El Manual de Operaciones del avión puede decirnos que el despegue es posible si todo va bien, pero no nos dice en que momento debemos tomar una determinación si tenemos un problema. En una situación así tenemos tres posibilidades:

- Intentar cambiar la situación; esto es: descargar algo de combustible, esperar a que la atmósfera sea mas fría, esperar a que haya más viento de cara, etc… para intentar el despegue usando alguno de los procedimientos descritos.
- Anotar cuanta pista consumiremos a varias velocidades por debajo de la velocidad de vuelo, y así conocer cuantas oportunidades tenemos para abortar el despegue. Si tiene algún aprecio a su integridad física NO opte nunca por esta opción, esta es tarea para un piloto de pruebas y el rendimiento en el despegue es difícil de predecir en estas condiciones. Intentar jugar a "piloto de pruebas aficionado" es lo mismo que jugar a la ruleta rusa.
- En caso de duda sobre el rendimiento del avión, quedarse tomando café en la cafetería del aeropuerto.

5.4.3 Practicar despegue abortado.

La mejor manera de obtener una buena técnica de pilotaje, es practicar las maniobras hasta interiorizar la técnica como si fuera parte de nuestra naturaleza.
Durante la fase de aprendizaje seguramente practique la totalidad de técnicas de despegue, lo mismo que los procedimientos a seguir en casos de emergencia: pérdida, aterrizaje frustrado, simulacro de parada de motor, etc... Sin embargo, será rarísimo que practique un abortaje de despegue.

Siempre que fuera posible, se deberían practicar abortajes de despegues. La primera vez que se da una situación así, nuestra expectativa de un despegue normal hace que sea difícil aceptar la situación, y por tanto cerrar gases y frenar. Un despegue abortado es, psicológicamente al menos, de la misma dificultad que un aterrizaje frustrado; sin embargo la mayoría de los pilotos encuentran más difícil abortar un despegue que frustrar un aterrizaje, simplemente porque durante el entrenamiento se practican aterrizajes frustrados pero no despegues abortados.

Si notamos algo mal al comienzo de la carrera de despegue, lo normal es que no dispongamos de tiempo suficiente para adoptar una decisión inteligente sobre si el problema es grave o no, por lo que lo mejor (con pista suficiente) es parar y pensar después. Por otro lado, debemos evitar una reacción exagerada ante problemas reconocidos pero que no son aerodinámicamente serios, tal como un golpeteo contra el fuselaje producido por un cinturón pillado con la puerta, etc...

El momento del despegue es delicado porque estamos a baja altura y con poca velocidad. Nuestro tiempo para reconocer el problema y adoptar una decisión en función de ello no es mucho. Posiblemente tengamos que decidir basándonos en sospechas y no en certezas. Y lo acertado de la decisión depende de varios factores: gravedad del problema; queda pista o no queda; estamos en el aire o todavía en el suelo; hay obstáculos o campo abierto a continuación de la pista, etc.

5.4.4 Factores que afectan al despegue.

El despegue, como hemos visto, es una maniobra sencilla pero crítica, lo cual requiere un máximo de planificación y atención por parte del piloto. Cuando se decía (cap.5.2) que la parte más importante del despegue es "tomar la decisión de despegar", se trataba de resaltar la importancia de contar con todos los factores que afectan al despegue. Conocer los parámetros que pueden afectar al mismo y calcular la pista necesaria con ayuda de las tablas proporcionadas por el fabricante del avión es vital. Los factores principales que afectan al despegue son:

Altitud de densidad. La densidad del aire es un factor de relevancia en el rendimiento del avión, dándose que a menor densidad peor rendimiento. Así pues, los factores que afectan a la densidad influyen sobre el rendimiento en el despegue:

- Elevación del aeródromo. La densidad decrece con la altura, de lo cual se deduce que cuanto mayor sea la altitud del aeródromo menor será el rendimiento.
- Temperatura del aire ambiente. La densidad disminuye con el aumento de temperatura, lo que significa que a mayor temperatura menor rendimiento.
- Presión atmosférica. A menor presión menor densidad. Si la presión barométrica es baja, el aire es menos denso y por añadidura peor el rendimiento.
- Humedad relativa del aire. Las partículas de agua en forma de vapor son menos densas que el aire, así que cuanto mayor es la humedad menor es el rendimiento.



Fig.5.4.1 - Efecto de los factores de densidad en despegue y ascenso.

Es de esperar el peor rendimiento en el despegue y posterior ascenso, cuando se da una combinación desfavorable de los factores anteriores: aeropuerto con mucha elevación, alta temperatura ambiente, presión atmosférica baja y alto porcentaje de humedad relativa en el aire (estos factores corresponderían a una elevada altitud de densidad). Si a estos factores añadimos un avión muy cargado y una pista corta, el despegue puede ser irrealizable en tales condiciones.

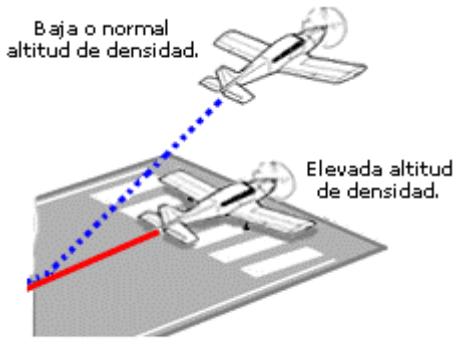


Fig.5.4.2 - Efecto de la altitud de densidad.

Los manuales de operación, suelen incluir tablas y gráficos de pista necesaria y de rendimiento, en función de los parámetros anteriores o en función de la altitud de densidad (cap.4.5), junto con recomendaciones sobre la técnica a seguir en cada caso. Sírvase de toda esa información, para eso está.

Estado de la pista. El firme de la pista influye notablemente en la carrera de despegue, no así en el ascenso. Tanto si la pista es de tierra como si es de hierba, la distancia horizontal recorrida por el avión para alcanzar su velocidad de rotación se incrementa, más todavía si la pista estuviera encharcada. Si la pista es de grava sucede otro tanto, pero además las piedrecillas que salten pueden dañar alguna parte del aeroplano. En cualquiera de los casos, la presencia de agujeros o baches puede dañar el tren de aterrizaje (sobre todo la rueda delantera que es más frágil) si se topa uno con ellos a alta velocidad.
En pistas así, se recomienda utilizar la técnica de despegue de campo blando (ver 5.3.1).

Dirección e intensidad del viento.
A lo largo de las páginas anteriores, cuando hablamos de velocidad nos estamos refiriendo a la velocidad relativa del aeroplano respecto al aire que lo rodea. Es más, todas las velocidades de maniobra son velocidades de anemómetro el cual mide precisamente esta velocidad relativa. Si despegamos viento en cara, nuestra velocidad relativa será mayor (el anemómetro la "suma") que si despegamos viento en cola (el anemómetro la "resta"). En este último caso será necesario recorrer más pista para alcanzar la misma velocidad indicada, y con esa misma velocidad la senda de ascenso será menos pronunciada (menos altura en la misma distancia horizontal). En 5.2.3 se mencionaban las razones por las cuales es conveniente despegar viento en cara, y en 5.3.4 se detalló la técnica de despegue con viento cruzado.

Como regla general recordemos: el viento en cara "aleja" los obstáculos y "agudiza" el ángulo de ascenso, mientras que el viento en cola "acerca" los obstáculos y "aplana" el ángulo de ascenso.

Pero hay algo más a tener en cuenta: supongamos que con viento en cara muy intenso despegamos como siempre, nuestra actitud de morro en todas las fases de la maniobra es la habitual y mantenemos las velocidades escrupulosamente.
Con la misma actitud de morro, la velocidad relativa (indicada en el anemómetro) es superior a la de un despegue con viento normal y en nuestro esfuerzo por mantener la velocidad canónica de ascenso (Vx o Vy) tiramos de la columna de control aumentando el ángulo de ataque; como esta sigue alta tiramos un poco más, y... !peligro! estamos en situación de poner al avión en pérdida debido al elevado ángulo de ataque.
Para evitar esto, con fuerte viento en cara conviene aumentar la velocidad de ascenso, poniendo algo menos de morro arriba minorando el ángulo de ataque. También si el viento es racheado, para que una racha que deja de soplar no nos "robe" unos nudos que puedan afectar a la maniobra.



Fig.5.4.3 - Con fuerte viento en cara aumentar velocidad de ascenso.

Gradiente de la pista. No todas las pistas son perfectamente horizontales ni mucho menos, algunas incluso tienen una inclinación algo considerable. Se denomina gradiente de la pista a la diferencia de elevación, expresada en tanto por ciento, entre las dos cabeceras de la pista. Obviamente, una pista tomada cuesta abajo acorta la carrera de despegue mientras que cuesta arriba la alarga.

Peso del avión. Lógicamente el peso del avión afecta a la carrera de despegue y al ascenso (ver 4.2, 4.3 y 4.4). Las tablas de rendimiento y pista necesaria proporcionadas por los fabricantes suelen dar valores en función, entre otras variables, del peso del avión. Lo más habitual es que el valor indicado en tablas y gráficos sea el peso máximo soportado por el avión.

Obstáculos. No todo se limita a la pista de despegue. Puede suceder que tengamos suficiente pista para despegar en las condiciones actuales pero que la maniobra se vea afectada por la proximidad de obstáculos en la senda de ascenso.
Las cartas de aproximación incluyen la altura (¡¡ojo¡¡ real respecto al nivel del mar) de obstáculos significativos dentro del área del aeródromo, y las cartas y gráficos de despegue dados por los fabricantes suelen incluir la pista necesaria para salvar obstáculos estándar (50 ft.=15 mts.).

Otros. La calefacción al carburador disminuye el rendimiento del motor, así que salvo que haya un riesgo cierto de formación de hielo en el carburador (no es habitual en las condiciones atmosféricas españolas) NO ponga calefacción al carburador en el despegue. En cualquier caso, consulte las recomendaciones del fabricante.

La palanca de mezcla deberá estar siempre en la posición de rica (Full Rich). Esto proporciona el mejor rendimiento del motor, la mejor refrigeración, y elimina los riesgos de detonación. Solo en algunos casos, en aeródromos situados a mucha altitud recomienda el fabricante empobrecer la mezcla.

En aviones con hélice de paso variable o paso constante, la palanca de paso de la hélice debe estar situada en paso corto (totalmente adelante).

Sumario.

- Si el avión equipa tren retráctil, el procedimiento habitual es subir el tren cuando ya no sea posible aterrizar sobre la pista de despegue "No hay mas pista, tren arriba".
- Una vez alcanzada una altitud determinada (500 ft. AGL normalmente): apagar luz de aterrizaje, subir flaps, bomba de combustible OFF, etc... sin olvidarnos de volar y controlar el avión que es nuestra tarea básica.
- Planificar y chequear cuidadosamente el despegue, utilizando el manual de operación del avión para calcular la distancia de despegue necesaria en las condiciones actuales.
- Si la pista real es corta respecto a la calculada, cambiar la situación si es posible (aligerar peso, etc..), esperar que cambien las condiciones (viento, temperatura, etc..) o desistir del despegue.
- Practicar si es posible, contando con una pista sobradamente larga, despegue abortado.
- A menor densidad menor rendimiento. Considerar la altitud del aeródromo, la presión barométrica, el porcentaje de humedad en la atmósfera y la temperatura ambiente.
- El estado de la pista, su gradiente, el peso del avión y los obstáculos cercanos a la pista, son factores a tener en cuenta al planificar el despegue, sobre todo en circunstancias de baja densidad, y mucho más si todo ello se da a la vez.
- Con fuerte viento en cara conviene aumentar la velocidad de ascenso para evitar un ángulo de ataque muy pronunciado que pueda inducir a una pérdida, y también si el viento es racheado, para que una racha que deja de soplar no nos "robe" unos nudos que puedan afectar a la maniobra.
- La calefacción al carburador debe estar en OFF, excepto cuando exista riesgo de formación de hielo.

- La palanca de mezcla estará normalmente en Full Rich (rica), salvo aeródromos situados a mucha altitud. Tanto en este caso como en el anterior, deben seguirse las recomendaciones del fabricante al respecto.
- Con hélice de paso variable o paso constante, la palanca de paso se mantendrá en paso corto (palanca adelante).

5.5 ASCENSOS.

El ascenso (climb) es una maniobra básica durante la cual una combinación adecuada de potencia y actitud hace ganar altura al avión. En este capítulo se recogen los aspectos de interés así como la técnica a seguir para la realización de esta maniobra.

5.5.1 Las claves del ascenso.

La mayoría de los libros de aviación sintetizan las claves del ascenso en dos palabras: *potencia* y *actitud*. Pero la actitud no es mas que un medio de controlar el ángulo de ataque por lo que sería más apropiado hablar de potencia y ángulo de ataque. Como resulta que a falta de indicador de ángulo de ataque la mejor información sobre este la proporciona el indicador de velocidad (ver cap.1.7), podríamos concluir que las claves del ascenso son: *potencia* y *velocidad*.

La potencia es necesaria en primer lugar para vencer la resistencia al avance del avión. La cantidad de resistencia a vencer depende de la velocidad de una forma cuya expresión gráfica se muestra en la figura 5.5.1.

Esta figura, muestra la evolución de la resistencia con la velocidad(1) mediante la curva de potencia necesaria para contrarrestarla; su punto más bajo corresponde a la velocidad que genera menor resistencia.
En otra curva se representa la potencia máxima disponible, la cual debe su forma a la pérdida gradual de eficiencia del sistema propulsor. La distancia vertical entre ambas muestra la potencia que, una vez vencida la resistencia, queda excedente para ascender con una determinada velocidad.

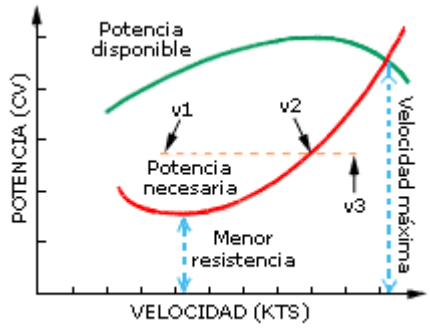


Fig.5.5.1 - Potencia necesaria y disponible.

La intersección de ambas curvas indica la velocidad máxima, aquella en que toda la potencia se consume en vencer la resistencia no quedando cantidad disponible para el ascenso.

Para una misma potencia aplicada, representada por la línea discontinua de la figura, con velocidad *v1* el avión está en ascenso; con *v2* vuela nivelado y con *v3* está en descenso.

Obviamente, las curvas mostradas reflejan una aproximación general, la gráfica exacta para un avión determinado dependerá de los mismos factores que afectan a la resistencia y la potencia.
Dado que con la disminución de la densidad del aire disminuyen el rendimiento y la resistencia, es de esperar un ligero desplazamiento de ambas curvas en función de dicha densidad, desplazamiento que será mayor cuanto mayor sea la altitud de densidad. De la misma forma, la posición de la curva de potencia disponible se desplazará más arriba o abajo según que el motor esté produciendo más o menos potencia (más o menos apertura de la palanca de gases).

La figura anterior ya permite comenzar a extraer algunas conclusiones:

- Mantener una determinada velocidad requiere potencia suficiente para vencer la resistencia.
- Volar con una velocidad superior o inferior a la de menor resistencia requiere más potencia.
- Para cualquier velocidad dada, ascender requiere más potencia que mantener el vuelo nivelado.
- Si se aplica más potencia, el excedente de vencer la resistencia provoca que el avión ascienda.

Fijándonos en la fig.5.5.2, que muestra la curva de potencia necesaria desde otro punto de vista, llegamos a las mismas conclusiones: si se aumenta la potencia el avión asciende (o desciende con una menor tasa de descenso) y para una misma velocidad, la tasa de ascenso depende de la potencia aplicada.
Vemos como con un 70% de potencia aplicada el avión vuela nivelado a 90 nudos, pero con esa misma velocidad y el 90% de potencia el avión asciende.

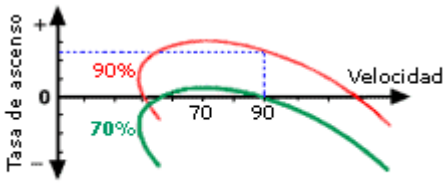


Fig.5.5.2 - Ascenso s/potencia aplicada.

Otra conclusión interesante de la figura anterior, es que para una misma potencia (70%), con una velocidad (90 nudos) se mantiene el vuelo nivelado mientras que con otra (70 nudos) se asciende. Es lógico, el gráfico de la fig.5.5.1 mostraba que distintas velocidades implican distintas resistencias, así que una misma potencia puede equilibrar la resistencia, puede dejar excedente para ascender, o puede ser deficitaria y hacernos descender. Esto nos conduce a la segunda clave del ascenso: la *velocidad*. Lo vemos mucho mejor con el gráfico de la fig.5.5.3

En este gráfico, se observa que con una potencia constante se puede obtener la misma tasa de ascenso con una baja velocidad (**v**) o con una velocidad mucho más alta (**v'**).
La baja velocidad supone un alto ángulo de ataque lo cual implica una gran resistencia inducida, gastándose una buena cantidad de potencia en contrarrestar esa resistencia. Con alta velocidad, de nuevo la mayor parte de la potencia aplicada se consume en vencer la resistencia quedando muy poca para ascender. (2)

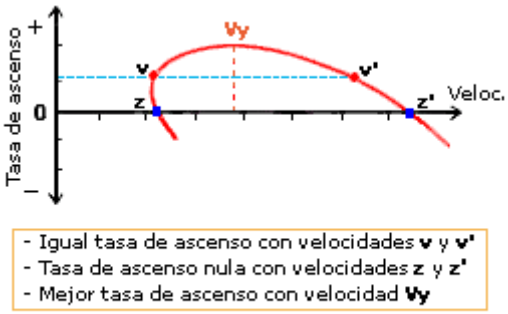


Fig.5.5.3 - Ascenso s/potencia y velocidad.

En un caso extremo de baja (**z**) o alta velocidad (**z'**), toda la potencia se consumirá en vencer la resistencia imposibilitando el ascenso del avión.

Un caso así podría darse si despegando de campo blando intentamos ascender antes de alcanzar la velocidad de ascenso; en el momento en que el efecto suelo no es significativo, un avión con poca potencia puede consumir toda en vencer la resistencia dejando al avión en una situación en que es incapaz de ascender o acelerar (ver 5.3.2).

Del gráfico anterior se puede colegir que, con una misma potencia, hay un rango de velocidades (próximas a **Vy**) dentro del cual se obtiene la mayor tasa de ascenso. Este gráfico también ratifica que en realidad la mejor tasa de ascenso corresponde a un ángulo de ataque determinado (el que corresponde a la velocidad de menor resistencia).

Resumiendo, las claves del ascenso son:

- Ascender requiere más potencia que el vuelo nivelado.
- Aumentar la potencia manteniendo el ángulo de ataque (la velocidad) hace que el avión ascienda.
- Con una misma potencia, de todas las velocidades posibles la mejor tasa de ascenso se obtiene con una específica. Esta se corresponde con un ángulo de ataque determinado.
- La mejor tasa de ascenso no se obtiene con un mayor ángulo de ataque (actitud de ascenso muy pronunciada) sino con una combinación adecuada de potencia y velocidad.

Existen otras causas que nos pueden hacer ganar altura, como por ejemplo: una corriente ascendente debido a una térmica, o un intercambio de energía cinética (velocidad) por energía potencial (altitud).
En el primer caso, las térmicas están ahí, en la atmósfera; sus efectos pueden hacernos ganar altura o perderla según el caso; podemos aprovecharnos de ellas si nos interesa o intentar evitarlas si nos perjudica, pero en cualquier caso no tenemos control sobre ellas ni podemos generarlas. Bajo el enfoque de este capítulo, como provocar que el avión gane altura, este factor queda al margen.

El segundo caso no es una maniobra sino el efecto producido cuando, sin aumentar la potencia, se incrementa el ángulo de ataque y el avión sube unos pies a costa de perder velocidad. Dependiendo de las circunstancias este efecto puede ser peligroso y terminar en una pérdida, o por el contrario puede ser aprovechado para corregir un exceso de velocidad y un déficit de altura. Este intercambio de energía produce un aumento temporal de la altura pero no un ascenso constante ni sostenido.

Respecto a las fuerzas que actúan sobre el avión, un detalle, ya mencionado en el cap.1.3, es que durante un ascenso con baja velocidad y mucha potencia la sustentación es menor que el peso, pero el empuje soporta parte de dicho peso; el componente horizontal del vector de sustentación es contrarrestado por el componente vertical del vector de empuje.

5.5.2 Velocidades de ascenso.

No existe una forma única de ascender, sino que hay varias a elegir dependiendo de la situación en que nos encontremos y como queremos ascender: si se despega de un aeródromo con obstáculos, querremos la mejor velocidad que permita salvar ese obstáculo; en otros casos se desea alcanzar la altura de seguridad en el menor tiempo posible; si el aeródromo tiene mucho tráfico puede interesar una velocidad de ascenso que suponga poco morro arriba y permita buena visibilidad; si queremos ganar altura en vuelo de crucero, posiblemente queramos una velocidad que permita el mejor compromiso de visibilidad y una eficiente refrigeración del motor, etc...

Mantener una velocidad particular durante un ascenso permite obtener el mejor rendimiento, pero la respuesta a ¿cual es el mejor rendimiento? veremos que depende de las circunstancias. Antes de entrar en más detalles conviene refrescar (ver 5.2.2) las velocidades de referencia habituales para ascensos:

- La velocidad de mejor ángulo de ascenso (best angle of climb), representada como **Vx**, es aquella que proporciona la mayor ganancia de altitud en la menor distancia horizontal posible.
- La velocidad de mejor tasa de ascenso (best rate of climb), representada como **Vy**, es la que proporciona una mayor ganancia de altitud en el menor tiempo posible.

Los distintos tipos de ascenso podríamos clasificarlos en función de la velocidad a mantener en: con mejor tasa de ascenso; con mejor ángulo de ascenso; ascenso normal, y ascenso en crucero.

Ascenso con velocidad de mejor tasa (Vy). Si se pretende ganar altura lo más rápidamente posible, esta es la velocidad a mantener. Se usa en despegues normales, o con obstáculos después de franquear estos. También cuando se necesita ascender para sobrepasar en crucero una elevación del terreno si ha de hacerse en el menor tiempo posible. En algunos aviones, mantener esta velocidad durante mucho tiempo puede producir sobrecalentamiento; conviene vigilar la temperatura del aceite.

Ascenso con velocidad de mejor ángulo (Vx). Esta velocidad solo se emplea prácticamente en despegues con obstáculos o campo corto. El posible calentamiento del motor no hace recomendable mantener esta velocidad durante un largo periodo de tiempo.

Ascenso normal. Como el propio término indica, este modo de ascenso es el utilizado en circunstancias normales. La velocidad a mantener es más alta que la de mejor tasa de ascenso (Vy) y suele ser recomendada para un ascenso rutinario porque:

- Mayor velocidad implica menor ángulo de ataque y por tanto menor actitud de morro arriba, lo cual proporciona mejor visibilidad.
- Aunque la velocidad ascensional (tasa de ascenso en f.p.m.) es menor que con velocidad Vy, la velocidad horizontal (hacia adelante) y la distancia recorrida es mayor.
- Esta velocidad algo superior incrementa el flujo de aire que refrigera el motor.

Algunos manuales especifican esta velocidad, otros no y otros la denominan velocidad de ascenso en crucero, incluso hay libros que hacen distinciones entre ambas. En realidad, durante un ascenso rutinario lo habitual es mantener la velocidad normal de ascenso o alguna otra superior según nuestra conveniencia, confort, mejor cuidado del motor, y mejor visibilidad.

La fig.5.5.4 muestra a modo de ejemplo la tabla de velocidades de ascenso indicadas por el fabricante (Piper Aircraft Corp.) para el modelo Archer II. En ella se señala una velocidad Vy de 76 nudos, Vx de 64 nudos y 87 nudos para ascenso en ruta. Esta última velocidad es la que a juicio del constructor proporciona el mejor desplazamiento horizontal y la mejor visibilidad hacia adelante.

PA-28-181 CHEROKEE ARCHER II

CLIMB

Best rate (flaps up)..... 76 KIAS
Best angle (flaps up)..... 64 KIAS
En route..... 87 KIAS

Fig.5.5.4 - Velocidades de ascenso.

El gráfico de la fig.5.5.5 muestra de forma aproximada las velocidades anteriores. Observando un detalle que ya conocemos, la velocidad Vy proporciona una tasa de ascenso ligeramente mayor que la dada por Vx, podríamos preguntarnos ¿porqué se utiliza Vx para salvar obstáculos y no Vy?. Pues porque no podemos olvidar que el avión no solo se mueve verticalmente (ascenso) sino también horizontalmente, y al ser Vx una velocidad más lenta se tarda más en llegar al obstáculo y ello supone más tiempo para acumular altura en la misma distancia horizontal.
Ah, muy bien, pues entonces ¿porque no utilizar una velocidad más baja que Vx para que tengamos más tiempo?. Pues sencillamente porque el incremento de la resistencia consumiría buena parte de la potencia necesaria para ascender.

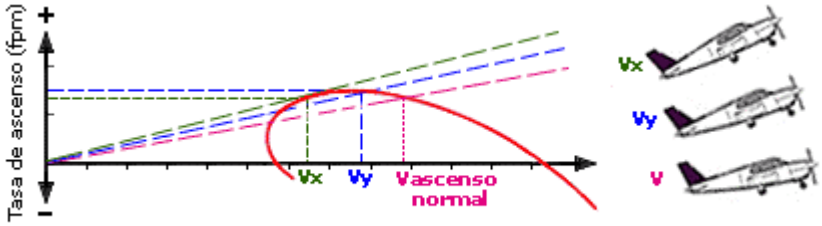


Fig.5.5.5 - Velocidades y actitudes de ascenso.

En esta misma figura se reflejan a modo de ejemplo las distintas actitudes de morro a mantener para cada una de las velocidades de ascenso. Trazando líneas que desde el origen de las coordenadas del gráfico pasen por los puntos de la curva que representan las distintas velocidades, la diferente inclinación de cada una de ellas proporciona una visión gráfica relativa de la senda de ascenso y actitud de morro para cada una de ellas.

5.5.3 Realización de la maniobra.

Sabemos que aumentar la potencia hace que el avión ascienda, así que el procedimiento de ascenso pasa por incrementar la potencia, abra más gases. Abrir más gases garantiza que ascendemos, pero no que realizamos el mejor ascenso. Si como es normal queremos obtener el mejor ascenso para la potencia aplicada, será necesario mantener una velocidad determinada, así que ponga al avión con la actitud de morro arriba que estime apropiada para mantener dicha velocidad.
Así de fácil es el procedimiento de ascenso normal: poner la potencia indicada para un ascenso normal y adoptar una posición de cabeceo que mantenga esa velocidad, o viceversa.

Al principio se hace un poco difícil apreciar la cantidad de morro arriba a poner y la cantidad de gases a aplicar, y además ambos movimientos se hacen en secuencia, pero a medida que se gana en experiencia ambos mandos se moverán simultáneamente.

Otros tipos de ascenso son más fáciles todavía: si resulta que tenemos aplicada toda la potencia (como en el despegue), simplemente tenemos que controlar la velocidad de ascenso por la que optamos.

La velocidad de ascenso se controla con la actitud (ángulo de ataque); si la velocidad decrece baje algo el morro (menos ángulo de ataque); si aumenta ponga algo más de morro arriba (más ángulo de ataque). Chequee la posición de morro respecto al horizonte y compruébela con el indicador de actitud; chequee en el anemómetro si mantiene la velocidad de ascenso. Utilice el compensador.

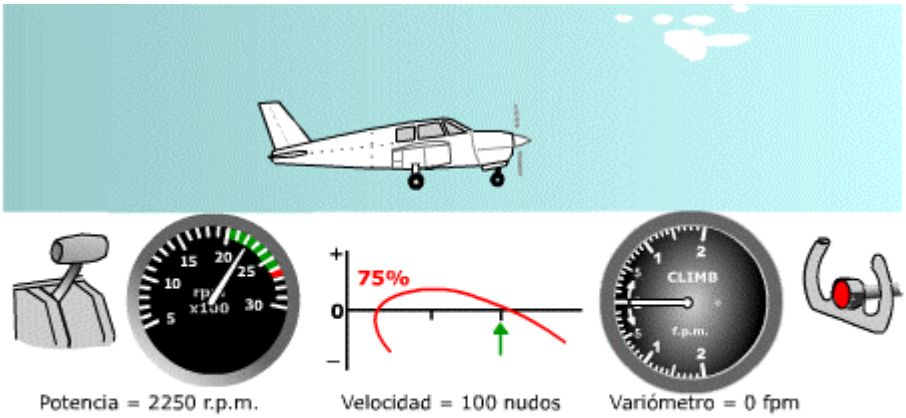


Fig.5.5.6 - Realización de la maniobra de ascenso.

La realización de esta maniobra tal como se ha explicado, denominada ascenso a velocidad constante, supone que la tasa de ascenso (fpm indicados en el variómetro) es indiferente, queremos ascender manteniendo una velocidad determinada para la potencia aplicada y nos trae sin cuidado que la tasa de ascenso sea de 300, 500, o 700 fpm. Pero puede suceder que deseemos ascender con una tasa constante (p.ejemplo 500 fpm) sin importar tanto la velocidad, o más todavía, queremos ascender manteniendo una tasa de ascenso y una velocidad constantes.
La realización de la maniobra es igual, abrir gases y adoptar una actitud de morro adecuada, pero el control es algo diferente:

- Si interesa únicamente mantener una tasa de ascenso constante, lo más lógico es adoptar una actitud de morro que proporcione una velocidad cercana a Vy y controlar la tasa de ascenso con los gases; otras velocidades suponen un gasto innecesario de energía para vencer una mayor resistencia, salvo que se quiera obtener una mejor visibilidad y/o refrigeración en cuyo caso se opta por una velocidad algo mayor (menos morro arriba).
- Si queremos mantener constantes una velocidad y tasa de ascenso concretas, debemos poner una actitud de morro adecuada a la velocidad a mantener, y una vez conseguida, compensar el avión para esa velocidad y controlar la tasa de ascenso aplicando más o menos gases.

Pasar de ascenso a vuelo recto y nivelado. Antes de alcanzar la altura deseada corte algo los gases. La regla es anticiparse a la altura requerida en una cantidad de pies igual al 10% de la tasa de variómetro. Por ejemplo: si se sube con 500 fpm de variómetro, cortar algo los gases 50 ft. antes. La propia inercia nos llevará a la altura requerida.

En la altura requerida, baje el morro a una actitud que permita al avión acelerar a velocidad normal de crucero, compense el avión para ese ángulo de ataque, y ponga las rpm o presión de manifold requeridos para vuelo de crucero. Controle la altura mediante el mando de gases.

Supongamos que estamos ascendiendo y queremos pasar a vuelo nivelado. El primer paso será cambiar la trayectoria y hacerla horizontal, para lo cual tendremos que bajar el morro en la misma cuantía que lo teníamos arriba. Durante el breve tiempo que la dirección de vuelo está cambiando el aeroplano está en desequilibrio: la sustentación es menor que el peso y el factor de carga sobre el avión y sus ocupantes en ligeramente menor a 1 G.

En este punto, dado que la trayectoria y la actitud de morro han cambiado juntos y en la misma cantidad, por el momento el ángulo de ataque es el mismo que teníamos durante el ascenso. y la velocidad sigue siendo la misma.
Para acelerar de velocidad de ascenso a velocidad de crucero debemos mantener la trayectoria horizontal, lo cual significa que debemos decrecer gradualmente la actitud de morro para disminuir el ángulo de ataque: necesitamos aplicar progresivamente cuernos adelante. Dado que el avión ya no está ascendiendo, la potencia que previamente se dedicaba a incrementar la altitud pasará a incrementar la velocidad, de manera que cuando el aeroplano alcance la velocidad de crucero será necesario minorar la potencia (cortar algo los gases).

El procedimiento de ascenso normal expuesto supone actuar sobre dos mandos (gases y volante de control) o tres (los anteriores y la palanca de paso de la hélice) de forma coordinada, tanto para ascender como para volver a una situación de vuelo nivelado. Pero resulta que si lo único que se quiere es recuperar unos pocos pies de altura (100 por ejemplo), tanto ajuste en los mandos se hace un poco tedioso. En este caso es perfectamente aceptable actuar solo sobre el volante de control para recuperar la altura; tirando del mismo, aumenta el ángulo de ataque; el avión ascenderá perdiendo algo de velocidad (cambiamos velocidad por altura), y una vez recuperada la altitud se baja el morro disminuyendo el ángulo de ataque y dejando que el avión vuelva a acelerar a la velocidad deseada. Es normal corregir unos cuantos pies solo mediante el volante de control siempre y cuando se tenga suficiente potencia.
Si lo que se desea es recuperar esos pies sin cambiar de velocidad, entonces basta con abrir más gases sin tocar el volante de control.

5.5.4 Otros aspectos del ascenso.

Para mantener una tasa de ascenso razonable una regla es decrecer la velocidad de ascenso indicada para el nivel del mar alrededor de 2 nudos por cada 1000 pies de altitud sobre el nivel del mar, excluidos los 1000 primeros. Suponiendo que la velocidad de ascenso recomendada es de 90 nudos, a una altitud de 2000 pies la velocidad recomendada sería de 88 nudos, a 3000 pies de 86 nudos, etc...

Durante un ascenso normal la velocidad de mejor ángulo de ascenso (Vx) es necesariamente menor que la velocidad de mejor tasa de ascenso (Vy). A medida que la tasa de ascenso decrece (por un incremento de la altitud de densidad o una reducción de potencia) Vx se incrementa y se torna cercana a Vy, llegando a igualarse cuando el avión alcanza su techo máximo (absolute ceiling). En este último caso se produce una situación interesante: toda la potencia solo alcanza justamente para volar nivelado con velocidad Vy.

Antes de iniciar la maniobra observe detenidamente el área adelante y arriba del avión; cuando un aeroplano asciende la actitud de morro arriba dificulta la visión hacia adelante.

Es de esperar que durante el ascenso se produzca guiñada adversa, cuya intensidad será mayor cuanto mayor sea la potencia aplicada y menor la velocidad del avión. Es posible que dada la tendencia a corregir con las manos (con el volante de control), la reacción sea aplicar alerones para mantener el vuelo recto, y efectivamente lo mantendrá, pero la resistencia producida en los alerones restará energía al ascenso y este se realizará con una menor tasa. Usar los pedales para corregir la guiñada incrementará la tasa de ascenso, así que aplique pié derecho en la cuantía necesaria para corregir la guiñada adversa.

Soportar la presión del volante de control para mantener la actitud de cabeceo supone un esfuerzo y el compensador está ahí precisamente para ahorrarnoslo, utilícelo.

Si ha de girar durante el ascenso realice un giro suave (no más de 30º). Un mayor grado de alabeo causará una reducción considerable en la tasa de ascenso, pues el factor de carga adicional requiere incrementar la sustentación lo cual consumirá buena parte de la potencia aplicada.

Los flaps se emplean en ascensos inmediatos al despegue, pero no se utilizan en ascensos normales por la resistencia añadida que suponen. El flap extendido ofrece más sustentación pero incrementa la resistencia y minora la tasa de ascenso. Si los ha extendido para el despegue, retráigalos una vez alcanzada la altura de seguridad.

Salvo que haya riesgo de hielo en el carburador no aplique calefacción al mismo.

Antes de abrir gases, conviene asegurarse que la palanca de mezcla esté en Full Rich.

Durante un ascenso prolongado conviene bajar el morro a intervalos regulares para observar el área hacia adelante.

Como es de imaginar, la densidad del aire, la humedad relativa, el peso, etc.. influyen sobre la tasa de ascenso. Un relativamente buen rendimiento en ascenso es de esperar en un día frío y seco estando a nivel del mar o pocos pies por encima, mientras que en un día caluroso, húmedo, con el avión cargado al máximo permitido y a 4000 pies de altitud el ascenso será pobre.

Para mantener la velocidad deseada no existe efecto de viento en cara o cola, pues el anemómetro refleja esto. No obstante, con viento en cara el obstáculo se aleja, y por lo tanto tardaremos más en llegar al mismo. El viento en cola disminuye la senda de ascenso y "acerca" el obstáculo.

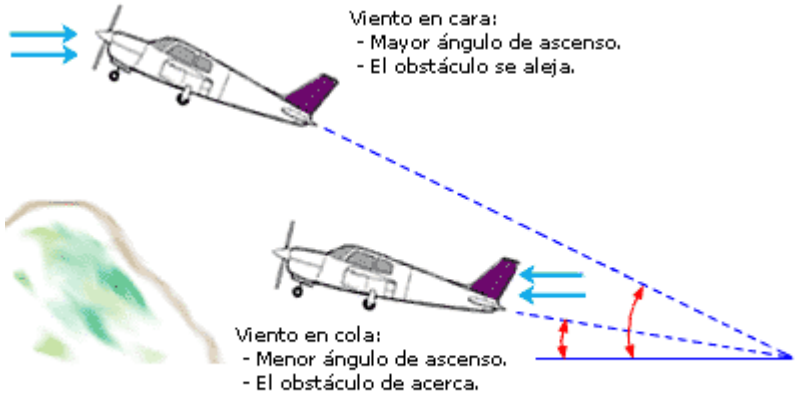


Fig.5.5.7 - Efecto del viento, en cara o en cola, sobre el ascenso.

Sumario.

- Las claves del ascenso son: potencia y velocidad.
- Ascender requiere más potencia que volar nivelado.
- Aumentar la potencia manteniendo el ángulo de ataque (la velocidad) hace que el avión ascienda.
- Para cualquier potencia aplicada, de todas las velocidades posibles la mejor tasa de ascenso se obtiene con una específica.
- La mejor tasa de ascenso se obtiene con una combinación adecuada de potencia y velocidad.
- Durante un ascenso con baja velocidad y mucha potencia la sustentación es menor que el peso, pero el empuje soporta parte de dicho peso.
- Si se pretende ganar altura lo más rápidamente posible, la velocidad a mantener es la de mejor tasa de ascenso (Vy). Se usa en despegues normales, o con obstáculos después de franquear estos, y siempre que se desee ascender en el menor tiempo posible.
- La velocidad de mejor ángulo de ascenso (Vx) solo se emplea prácticamente en despegues con obstáculos o campo corto.

- No es recomendable mantener las velocidades de ascenso anteriores durante un largo periodo de tiempo, debido al posible calentamiento del motor.
- La velocidad de ascenso normal es algo más alta que la de mejor tasa de ascenso (Vy) y suele ser recomendada para un ascenso rutinario porque: (1) mayor velocidad implica menor ángulo de ataque y por tanto menor actitud de morro arriba, lo cual proporciona mejor visibilidad; (2) esta velocidad algo mas alta incrementa el flujo de aire que refrigera el motor.
- Durante este tipo de ascenso, normalmente la conveniencia, el confort, el mejor cuidado del motor y la mejor visibilidad adelante son los parámetros principales a tener en cuenta.
- El procedimiento de ascenso normal se realiza incrementando la potencia y adoptando una posición de morro que mantenga la velocidad de ascenso normal.
- Al principio es algo difícil apreciar la cantidad de morro arriba a poner y la cantidad de gases a aplicar, haciéndose además ambos movimientos en secuencia, pero a medida que se gana en experiencia ambos mandos se moverán simultáneamente.
- La velocidad de ascenso se controla con la actitud (ángulo de ataque); si la velocidad decrece baje algo el morro (menos ángulo de ataque); si aumenta ponga algo más de morro arriba (más ángulo de ataque).
- Antes de alcanzar la altura deseada corte algo los gases, la inercia del avión terminará el ascenso.
- En la altura requerida, baje el morro a una actitud que permita al avión acelerar a velocidad normal de crucero, compense el avión para ese ángulo de ataque, y ponga las r.p.m. o presión de manifold requeridos para vuelo de crucero.
- Es admisible recuperar unos pocos pies de altura actuando solo sobre el volante de control, siempre y cuando se esté volando con un régimen de potencia suficiente.
- Antes de iniciar la maniobra observe detenidamente el área delante y arriba del avión; cuando un aeroplano asciende la actitud de morro arriba dificulta la visión hacia adelante.
- Es de esperar que se produzca guiñada adversa durante el ascenso, cuya intensidad será mayor cuanto mayor sea la potencia aplicada y menor la velocidad del avión. Aplique pedal derecho en la cuantía necesaria para corregirla.
- Un giro con más de 30º de alabeo causará una reducción considerable en la tasa de ascenso debido al factor de carga adicional; si ha de girar no sobrepase ese grado de alabeo.
- La densidad del aire, la humedad relativa, el peso, etc.. influyen sobre la tasa de ascenso.
- Mantener una velocidad de ascenso no esta afectado por el efecto de viento en cara o cola, pues el anemómetro refleja esto. No obstante, con viento en cara el obstáculo se aleja y tardaremos más en llegar al mismo, mientras que con viento en cola disminuye la senda de ascenso y el obstáculo se "acerca".

---

(1). Sería más preciso decir que depende del ángulo de ataque.

(2). Las velocidades v y z del gráfico solo tienen sentido pedagógico. En realidad con estas velocidades no hay ascenso pues el avión estaría en pérdida.

5.6 DESCENSOS.

Mucha gente supone que para descender debe empujarse adelante el volante de control y así bajar el morro del avión porque esto es lo que ha visto en las películas, pero para establecer un descenso estable con una velocidad constante el piloto debe ajustar tanto la actitud de morro (cabeceo) como la potencia. Los aviones ligeros suelen descender con una posición de morro bajo, pero si estando en algún aeropuerto se fija en como se aproximan los aviones comerciales en la fase final del aterrizaje verá que es posible descender con el avión en posición nivelada e incluso morro arriba.

Los descensos se dividen básicamente, según que el motor este aportando potencia o permanezca al ralentí en: descensos asistidos por el motor o descensos sin motor (es una forma de decirlo: el motor no desaparece, simplemente se mantiene a la potencia mínima). Este último tipo se denomina planeo (glide). Ambos tipos de descenso pueden variar según la tasa de descenso y distancia requeridas por cada situación particular y nuestra conveniencia.

Los descensos asistidos por el motor se realizan cuando es necesario un control preciso de la tasa de descenso y la distancia recorrida durante el mismo. La mayoría de los aviones comerciales realizan este tipo de descenso normalmente y en aproximaciones para aterrizaje, procurando un mejor confort al pasaje y para cumplir con los requerimientos de velocidad y espacio entre aeronaves demandados por el control de tráfico.

El descenso en planeo requiere un mayor control de la trayectoria de vuelo (senda de planeo), pues al no aportar potencia el motor solo se cuenta con la actitud para controlar el aeroplano y ello no proporciona muchas variantes sobre la tasa de descenso, la velocidad o la distancia recorrida. Salvo descensos para aterrizaje normal o emergencia o casos muy especiales, lo habitual es descender con motor pues ello proporciona mayores posibilidades de control del avión y su trayectoria.

La división anterior puede resultar un poco artificial, pues la realización de la maniobra no varía y se aplican y/o cortan gases durante el descenso según conviene a la situación, pero esta es la clasificación que suele realizarse sobre este tema en los manuales.

5.6.1 Las claves del descenso.

Si ha entendido bien las claves del ascenso (ver 5.5.1), las del descenso no deberían constituir ninguna sorpresa, son exactamente las mismas: potencia y actitud o más exactamente potencia y ángulo de ataque o lo que es más factible para el piloto: potencia y velocidad.

Empecemos por la potencia. Si para pasar de vuelo nivelado a ascenso es necesario un excedente de potencia (abrir gases) para descender, que es la maniobra inversa, será preciso un déficit de potencia (cortar gases) ¿no?. Efectivamente. Sabemos que abrir gases (manteniendo la velocidad) produce que el avión ascienda, así que el efecto contrario, cortar gases, no resulta novedoso: el aeroplano mantendrá la velocidad para la cual estaba compensado o en algunos incluso acelerará ligeramente y entrará en un descenso con velocidad constante.

Volvamos a nuestra conocida curva de potencia. En el gráfico de la fig.5.6.1 vemos un ejemplo de como con una potencia del 70% y una velocidad de 90 nudos el avión vuela nivelado mientras que con esa misma velocidad pero solo el 40% de potencia el aeroplano desciende con una tasa concreta.
La misma figura nos introduce también en la segunda clave del descenso: la velocidad.

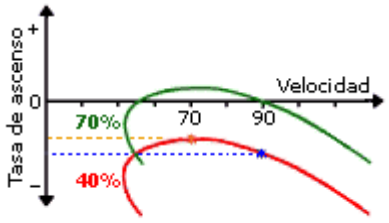


Fig.5.6.1 - Descenso s/potencia aplicada.

Observamos claramente que para una misma potencia aplicada (40% p.ejemplo), la tasa de descenso varía según la velocidad que se mantenga.

También se ve que, lo mismo que en ascenso, de todas las velocidades posibles hay un rango que proporciona la menor tasa de descenso (menor hundimiento), rango que corresponde a velocidades próximas al punto más alto de la curva de potencia. En el ejemplo de la figura el rango estaría alrededor de los 70 nudos, resultando que con esta velocidad la tasa de descenso es menor por ejemplo que con 50 o 90 nudos.

En relación con la curva de potencia una buena regla a recordar sería: *para ascender tirar de la curva hacia arriba (más gases), para descender tirar de ella hacia abajo (menos gases).*

Resumiendo, las claves del descenso son:

- Descender requiere menos potencia que volar nivelado.
- Disminuir la potencia manteniendo el ángulo de ataque (la velocidad) hace que el avión descienda.
- Con una misma potencia, de todas las velocidades posibles la mejor tasa de descenso (el menor hundimiento) se obtiene con una específica, la cual corresponde a un ángulo de ataque concreto.
- La mejor tasa de descenso se obtiene (lo mismo que la de ascenso) con una combinación adecuada de potencia y velocidad.

Si se acuerda, estas claves son similares a las del ascenso, así que fundiendo ambas podemos establecer los criterios relativos a potencia y velocidad comunes a ambas maniobras (1):

- Si conserva la posición de cabeceo constante (en realidad el ángulo de ataque y su mejor medida la velocidad), la potencia determina si el avión conserva la altitud, asciende o desciende. Dicho de otra manera, para la misma velocidad, la posición más arriba o abajo de la curva de potencia determina la tasa de ascenso (positiva, cero, o negativa).
- Con una misma potencia aplicada, de todas las velocidades posibles las mejores tasas de ascenso y descenso se encuentran en un rango cercano a la velocidad de menor resistencia Vy.

5.6.2 Velocidades de descenso.

Lo mismo que en ascenso, no hay una velocidad única de descenso, la velocidad y tasa elegidas por el piloto dependerán de las circunstancias: en algún caso interesará un descenso suave que requiera de pocos ajustes en los controles; en otros requerirá un descenso con un ángulo más pronunciado de lo normal para salvar un obstáculo al comienzo de la pista de aterrizaje; en otros querrá descender manteniendo una senda que le sitúe en un punto determinado de la pista de aterrizaje con una velocidad concreta, etc...

Igual que para ascender hay una velocidad que proporciona la mejor ganancia de altura en el menor tiempo posible (Vy) y otra que hace ganar la mayor altura en la menor distancia horizontal (Vx), en descenso existen dos velocidades conceptualmente similares: una que mantiene la menor tasa de ascenso (menor hundimiento) y otra con la cual se recorre la mayor distancia horizontal posible.

La velocidad de menor tasa de descenso es lógicamente la que mantiene el avión más tiempo en el aire (Best Endurance Climb), y no es ninguna sorpresa que esta velocidad corresponda al punto más alto de la curva de potencia, tal como se muestra en la fig.5.6.2.
En principio, esta velocidad debería ser la misma que la de ascenso Vy, pues en teoría únicamente hemos desplazado hacia abajo la curva de potencia, pero en realidad esto no es exactamente así.

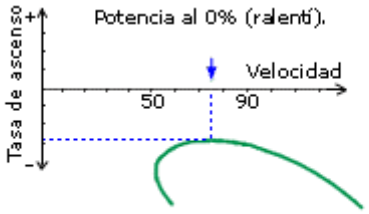


Fig.5.6.2 - Punto de menor hundimiento.

Ocurre que la eficiencia del motor y de la hélice no son del todo independientes de la velocidad, y algunos constructores procuran optimizar el rendimiento principalmente para velocidades de crucero y ascenso, lo cual implica que la curva de potencia correspondiente al 100% sea ligeramente distinta que la curva al 0% y por consiguiente sean algo diferentes la Vy 100% de la Vy 0%.

Si todo lo que se quisiera durante el descenso fuese permanecer el máximo de tiempo en el aire, esta sería la velocidad a mantener. Desgraciadamente esta velocidad no suele venir tabulada en los manuales.

Ahora bien, tan importante como el tiempo de permanencia en el aire es la distancia horizontal recorrida durante el descenso, especialmente en planeo. Supongamos que realizamos un planeo manteniendo la velocidad anterior con el objetivo de aterrizar en un punto determinado, pero que a medida que se desciende vemos que no llegamos, que nos quedamos cortos. No hay mayor problema, aplicamos gases en la cuantía necesaria para minorar la tasa de descenso y corregimos la situación.
Pero ¿qué sucede si el motor está parado?. Una velocidad que mantuviera el avión en el aire el mayor tiempo posible *pero* recorriendo *además* la mayor distancia horizontal nos daría más oportunidades ¿no?. Pues bien esta velocidad si viene especificada en los manuales y se denomina coloquialmente "velocidad de planeo".

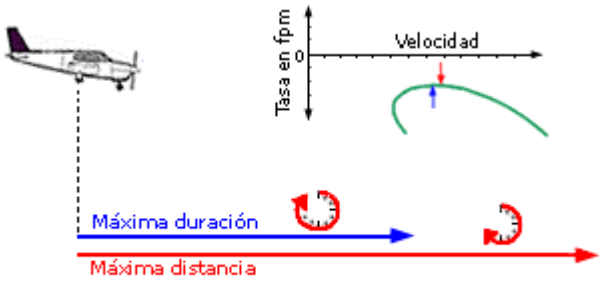


Fig.5.6.3 - Velocidades menor hundimiento y planeo.

Velocidad de planeo. Si se ha fijado en la forma de la curva de potencia, habrá observado que es casi plana en su parte superior. Esto significa que si se planea con una velocidad unos nudos más alta que la mencionada anteriormente la tasa de descenso aumentará (el avión se hunde más) y por tanto el tiempo de vuelo será menor, pero a cambio la distancia horizontal recorrida debido a la mayor velocidad será sustancialmente mayor.
Esta velocidad, que es la que proporciona la mejor relación sustentación/resistencia y suele referenciarse en los manuales como **VL/D** debe permitir al aeroplano el máximo planeo y se conoce coloquialmente como "velocidad de planeo". Es importantísimo conocerla y recordarla, pues suele ser la velocidad a mantener en el descenso para aterrizar (con o sin motor) o en toma de emergencia por fallo de motor.

Esta velocidad es conceptualmente similar a la Vx de ascenso, o sea es la que proporciona el mejor ángulo de descenso, o dicho de otra manera es la que proporciona la mayor distancia horizontal recorrida en el mayor tiempo de vuelo posible. En algún manual se cita como velocidad de mejor ratio de planeo o mejor gradiente de planeo, Cuando lea que el ratio o gradiente de planeo es de por ejemplo 9:1, esto quiere decir que el avión recorre 9 pies (o metros) horizontalmente por cada pie (o metro) que desciende.

La mayoría de los manuales de operación incluyen cartas y/o gráficos que muestran la distancia recorrida con velocidad de planeo $V_{L/D}$ en función de la altitud de densidad. Un ejemplo lo tenemos en la fig.5.6.4.

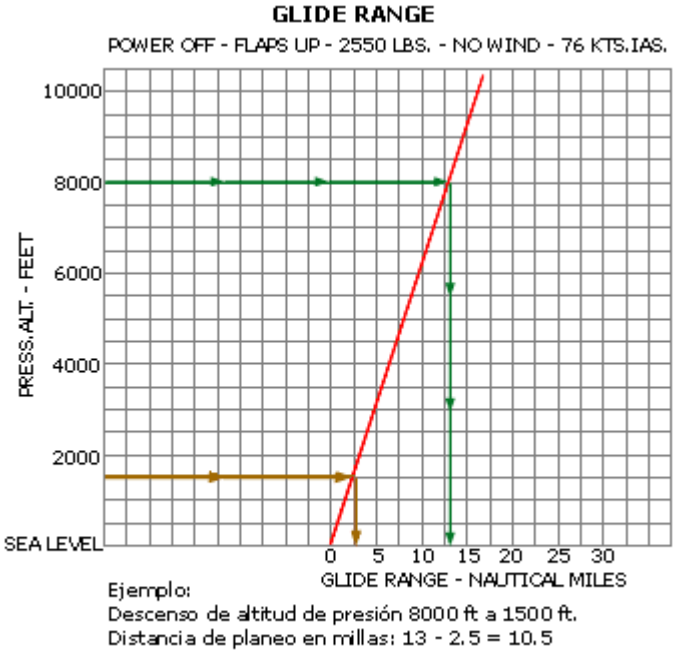


Fig.5.6.4 - Ejemplo de gráfico de distancia de planeo.

5.6.3 Realización de la maniobra.

Ya sabemos que disminuir la potencia hace que el avión descienda, así que el procedimiento comienza por minorar la potencia. Baje la palanca de gases a las r.p.m. estimadas para la tasa de descenso y velocidad requeridas, o en caso de planeo corte los gases de forma suave y efectiva. Con este movimiento desplaza la curva de potencia hacia abajo en cantidad proporcional a la disminución realizada.
Dependiendo de las condiciones atmosféricas puede ser necesario aplicar calefacción al carburador para prevenir la formación de hielo.
La hélice produce menor flujo de aire rotatorio y puede producirse guiñada a la derecha. Corríjala si es necesario aplicando pedal contrario.
En la mayoría de los aviones, el eje del sistema propulsor no es exactamente horizontal sino que está situado un poco hacia arriba, por lo que al disminuir potencia parte del vector vertical de empuje se pierde y el morro cae un poco.

Si deja que el morro del avión caiga, la velocidad que tenía se mantendrá o incluso se incrementará poco a poco, así que tendrá que ir realizando ajustes en la actitud hasta conseguir la velocidad de descenso deseada. Para minimizar estos ajustes es mas sencillo mantener el vuelo recto y permitir que el avión decelere hasta acercarse a la velocidad de descenso seleccionada; al tener mayor ángulo de ataque (la actitud sigue siendo la misma pero el viento relativo viene ahora de abajo) se incrementa la resistencia y el avión pierde velocidad.

Una vez cercano a la velocidad de descenso o planeo, adopte la actitud de morro abajo adecuada para esa velocidad y compense el avión para mantenerla. De un poco de tiempo a que el avión se adapte a las nuevas condiciones y si es necesario realice pequeños ajustes: si la velocidad es alta o tiende a aumentar suba el morro; si es baja o tiende a disminuir baje el morro. Vuelva a compensar.

El altímetro debe reflejar un decrecimiento constante en la altitud y el variómetro indicará la tasa de descenso. Chequee que la velocidad y tasa de descenso es la deseada. Controle la velocidad mediante la actitud (ángulo de ataque) subiendo o bajando el morro del avión con el volante de control, y una vez compensado el avión para esa velocidad controle la tasa de descenso por medio de la potencia, aplicando más o menos gases.

Para retornar a una posición de vuelo nivelado:

Si tenía puesta la calefacción al carburador, quítela. Abra gases hasta alcanzar la potencia recomendada para vuelo de crucero y esté atento a corregir una posible guiñada a la izquierda aplicando pié contrario.

Levante el morro, adopte la actitud habitual de vuelo nivelado y mantenga esa posición dejando que el avión se acelere a velocidad de crucero. Compense el avión y manténgalo derecho.

Una vez alcanzada la velocidad de crucero, reajuste la potencia y la actitud de morro para mantener la altitud y velocidad deseada. Vuelva a compensar.

Si lo que está haciendo es frustrar un aterrizaje o la aproximación final al mismo, el procedimiento se detalla específicamente en el capítulo correspondiente al aterrizaje.

5.6.4 Uso de flaps en descenso.

En muchas ocasiones, se requiere un mayor ángulo de descenso (senda más pronunciada) por ejemplo para sortear obstáculos, o una velocidad de descenso menor por ejemplo para aterrizar en una pista corta. El ángulo de descenso puede hacerse mayor descendiendo a muy alta velocidad o con velocidad muy baja, pero esto no es satisfactorio en circunstancias normales. Para hacer más pronunciado el ángulo de descenso o minorar la velocidad debemos utilizar flaps, parcial o totalmente.

Al extender flaps, como sabemos (ver 1.5), se produce un aumento de la sustentación y la resistencia, la senda de aproximación se hace más pronunciada y se posibilita volar a velocidades más bajas sin entrar en pérdida con lo cual la velocidad de aproximación se reduce y con ella la distancia horizontal recorrida. Una ventaja añadida es que los flaps aumentan la posición de morro abajo y facilitan la visión adelante.

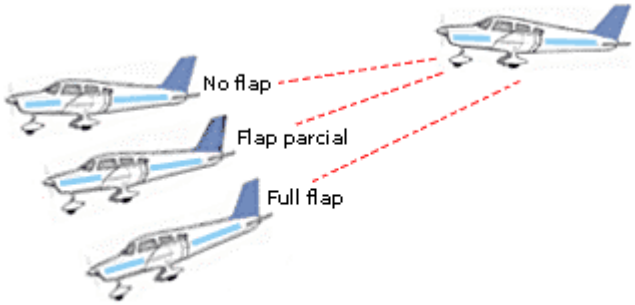


Fig.5.6.6 - Flaps, tasa de descenso y distancia.

Si va a extender (o recoger) los flaps más de un punto recuerde que debe hacerlo de forma progresiva, nunca extenderlos o recogerlos totalmente de una sola vez.

Si el aeroplano dispone de tren retráctil, el ángulo de descenso puede ser agudizado sacando el tren.

5.6.5 Otros aspectos del descenso.

Como siempre, lo primero es escudriñar en el espacio la presencia de otros aviones, sobre todo por debajo y delante. Realice los chequeos indicados en la lista.

En planeo, la baja velocidad junto con el motor al ralentí, puede provocar que el motor se enfríe en demasía y que al abrir gases de nuevo no responda con la efectividad habitual. Aplique algo de gases a intervalos regulares para evitarlo.

El secreto de una transición suave y segura desde una actitud o velocidad a otra distinta radica en un uso adecuado del compensador.

Un descenso en ruta se traduce usualmente en una reducción de potencia que posibilita una tasa de descenso confortable mientras se mantiene la velocidad de crucero.

Como es lógico, el viento afecta a la distancia horizontal recorrida. El viento en cara acorta la distancia recorrida (se "opone" al avión) mientras que el viento en cola la alarga ("empuja" al avión). Cuando se planea con viento en cara, se puede incrementar la distancia de planeo seleccionando una velocidad ligeramente más alta que la normal porque así le damos menos tiempo al viento a oponerse. Por la misma razón, con viento en cola se puede recorrer mayor distancia con una velocidad algo menor que la normal porque de esa manera el viento nos empuja durante más tiempo.
Como regla práctica, cuando se planea con viento en cara de cierta intensidad, incrementar la velocidad de planeo en una cuarta parte de la velocidad del viento. P.ejemplo: si la velocidad de planeo recomendada es de 75 nudos y el viento sopla en cara con una velocidad de 12 nudos, la velocidad de planeo sería de 78 nudos (75 + 12/4).

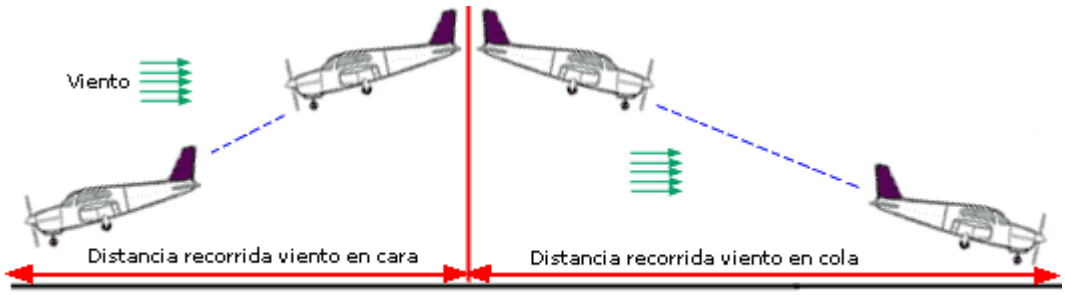


Fig.5.6.7 - Distancia recorrida en planeo según viento.

Controle la palanca de mezcla pues tenderá a empobrecerse paulatinamente.

Como norma práctica, limite los descensos a 500 pies/min (152 m/min) aproximadamente salvo que pilote un avión con cabina presurizada. Este ritmo permite que los oídos se ajusten al cambio de presión durante el descenso. Recuerde, cuanto menor sea la potencia, mayor será la velocidad de descenso.

Una regla aplicable a muchos aviones ligeros es: en vuelo recto y nivelado para descender con una tasa de 500 f.p.m. reducir 300 r.p.m. en aviones de paso fijo o 3" de presión de manifold en aviones de paso variable.

Sumario.

- Para realizar un descenso estable con una velocidad constante el piloto debe ajustar tanto la actitud de morro (cabeceo) como la potencia.
- Los descensos se dividen básicamente en: descensos asistidos por el motor o descensos sin motor (planeos).
- Ambos tipos de descenso pueden variar según la tasa de descenso y distancia requeridas por cada situación particular y nuestra conveniencia.
- Descender requiere menos potencia que volar nivelado. Cuanto menor sea la potencia aplicada mayor será la tasa de descenso.
- Disminuir potencia manteniendo la velocidad (ángulo de ataque) provoca que el avión descienda.
- Con una potencia específica, de todas las velocidades posibles la tasa de menor descenso se obtiene con una concreta.
- La velocidad de menor tasa de descenso mantiene el avión más tiempo en el aire (Best Endurance Glide. Esta velocidad corresponde al punto más alto de la curva de potencia.
- La velocidad de mejor planeo, que corresponde a la mejor relación sustentación/resistencia **$V_{L/D}$** proporciona la mayor distancia horizontal recorrida con el menor hundimiento posible. Es importantísimo conocerla y recordarla, pues suele ser la velocidad a mantener en el descenso para aterrizar (con o sin motor) o en toma de emergencia por fallo de motor.
- La velocidad de mejor ángulo de descenso (velocidad de planeo) resulta en una senda más aplanada y es mayor que la velocidad de mejor tasa de descenso la cual produce un descenso más lento.
- Para descender corte gases y adopte una posición de morro abajo en función de la tasa de descenso y velocidad deseadas. Una vez establecida la velocidad deseada utilice el compensador para mantenerla.
- Dependiendo de las condiciones atmosféricas puede ser necesario aplicar calefacción al carburador para prevenir la formación de hielo.
- Al cortar gases puede producirse guiñada adversa. Se corrige aplicando pedal.
- Controle la velocidad con el volante de control (ángulo de ataque), compense, y controle la tasa de descenso mediante la palanca de gases.
- Para volver a vuelo nivelado abra gases y levante el morro del avión adoptando la actitud habitual de vuelo nivelado. Deje que el avión se acelere a velocidad de crucero, ajuste la potencia y la actitud para vuelo de crucero y compense.
- Al extender flaps, la senda de aproximación se hace más pronunciada y se posibilita volar a velocidades más bajas sin entrar en pérdida con lo cual se reduce la velocidad de aproximación se reduce y la distancia horizontal recorrida. La posición más pronunciada de morro abajo facilita la visión adelante.
- Como cualquier otra maniobra, antes de iniciar el descenso escudriñar en el espacio la presencia de otros aviones, sobre todo por debajo y delante. Utilice la lista de procedimientos.
- Cuidar que el bajo régimen del motor no enfríe este demasiado, abriendo gases a intervalos regulares. Si se desciende una cantidad considerable de pies, tener en cuenta que la mezcla tenderá a empobrecerse.
- La dirección e intensidad del viento afecta a la distancia horizontal recorrida.

---

(1). Estos criterios son una visión particularizada al ascenso/descenso de los criterios generales expuestos en el capítulo 5.1.

5.7 GIROS.

El giro es una maniobra básica utilizada para cambiar la dirección de vuelo del aeroplano. Un giro preciso y nivelado consiste en un cambio de dirección, manteniendo el ángulo de alabeo deseado, sin derrapar ni resbalar, mientras se mantiene la altitud de vuelo.

Aerodinámicamente, el giro es probablemente la maniobra básica más compleja e implica la utilización coordinada de todos los controles primarios: alerones, timón de profundidad, y timón de dirección, además del control de potencia.

Resulta cuando menos curioso ver como los niños juegan con un avión en la mano y para girar lo inclinan, y seguramente Vd. se habrá fijado en que un avión alabea para girar, aunque sería más preciso hacer la afirmación a la inversa: alabear un avión produce el efecto de hacerlo girar (salvo que se resbale o derrape), el giro es el efecto y el alabeo la causa.

En contra de lo que su nombre sugiere, un avión no gira por medio del timón de dirección. Una embarcación por ejemplo, vira mediante un timón debido a que al cambiar la dirección a la cual apunta la nave, esto produce que el flujo de agua incida de forma cruzada contra el casco, creando una fuerza lateral que cambia la dirección de la embarcación. Lo mismo podría ser aplicable a un avión: si mantiene las alas niveladas y pisa por ejemplo el pedal derecho, el avión guiña a estribor, el aire incide sobre el lado izquierdo del fuselaje y crea una fuerza lateral que empuja al avión y lo hace girar. Adicionalmente el componente horizontal del sistema propulsor contribuye al giro.
Pero al contrario que en la embarcación, la fuerza lateral que el aire ejerce sobre el avión es tan pequeña que girar de esta manera es altamente ineficiente, por lo cual un giro se realiza alabeando el avión.

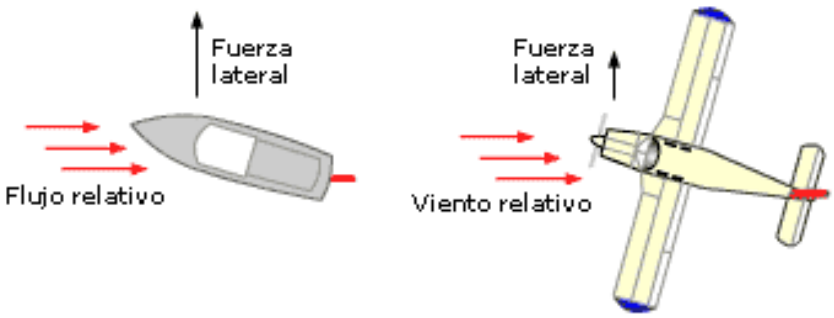


Fig.5.7.1 - Giro mediante timón de dirección.

5.7.1 Alabear para girar.

Si recordamos la 1ª ley del movimiento esta dice: "*un cuerpo en reposo tiende a permanecer en reposo mientras que un cuerpo en movimiento tiende a permanecer en movimiento en línea recta salvo que esté sujeto a una fuerza externa*". Si un avión está volando en línea recta y queremos hacerle girar será necesaria la aplicación de alguna fuerza lateral que cambie la trayectoria. Esta fuerza es el componente horizontal de la sustentación.

Comencemos por algo que sabemos: la sustentación total que resulta de componer las fuerzas de sustentación parciales actúa de forma perpendicular al eje transversal del avión. En vuelo recto y nivelado la sustentación total actúa vertical y directamente opuesta a la gravedad (peso), pero al alabear el avión la sustentación, que sigue siendo perpendicular al eje transversal del aeroplano, actúa ahora en un plano inclinado.

Si desglosamos esta sustentación en dos vectores, uno vertical y otro horizontal, en ángulo recto el uno del otro, el vector "componente vertical de la sustentación" se opone al peso (gravedad) mientras que el vector "componente horizontal de la sustentación" actúa como fuerza centrípeta tirando del avión hacia el centro de un eje imaginario e impulsándolo a girar alrededor de dicho eje, contribuyendo la sección de cola a mantener el aeroplano alineado con el viento relativo en la trayectoria curvada.



Fig.5.7.2 - Alabear para girar

Click sobre volante de control

En síntesis: el objeto de alabear el avión para girar consiste en inclinar la sustentación para que además de soportar su peso provea la fuerza centrípeta necesaria para contrarrestar la centrífuga que tiende a expulsar al avión del eje vertical imaginario de rotación.

5.7.2 Ratio de giro.

Aunque ya se detalló en 2.8.1, conviene recordar aquí que se denomina ratio de giro (no confundir con radio de giro), velocidad angular de viraje o tasa de giro, al número de grados por segundo que gira el avión sobre un eje vertical imaginario. Si por ejemplo se tardan 30 segundos en realizar un viraje de 90º el ratio de giro es de 3º por segundo (90º/30"=3º p/seg.). Cuando se habla de un régimen de giro de por ejemplo 2 minutos (habitual en aviones ligeros), lo que se manifiesta es que en girar 360º se tardan 2 minutos; en este caso el ratio de giro es de 3º p/seg (360º/120"=3º p/seg.).

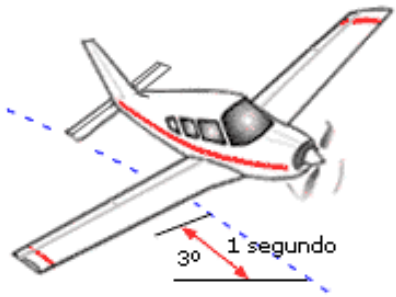


Fig.5.7.3 - Ratio de giro (3º/seg).

Como veremos, el ratio de giro es directamente proporcional al grado de alabeo e inversamente proporcional a la velocidad de giro.

5.7.3 Fuerzas en un giro.

Para una mejor comprensión de los factores que afectan al giro conviene servirse del análisis de fuerzas que afectan al mismo, para la cual nos referiremos a la fig.5.7.4, recordando que una fuerza queda definida no solo por su vector de dirección sino también por su magnitud.

Alabear el aeroplano inclina la sustentación pero no cambia su magnitud, el total de sustentación sigue siendo la misma, pero es evidente que esta inclinación reduce el componente vertical e incrementa el componente horizontal de forma proporcional al grado de alabeo.

Componente vertical de sustentación: Si en vuelo recto y nivelado este vector tenía una magnitud de 1g, suficiente para mantener el peso del aeroplano, en alabeo su magnitud se reduce y resulta insuficiente para mantener la altura de vuelo. Si no aumenta la sustentación, bien aumentando el ángulo de ataque a costa de perder velocidad o incrementando la potencia aplicada, el avión perderá altura.

En el ejemplo de la figura la sustentación total tiene un valor de 2g lo cual supone 1g en su componente vertical.

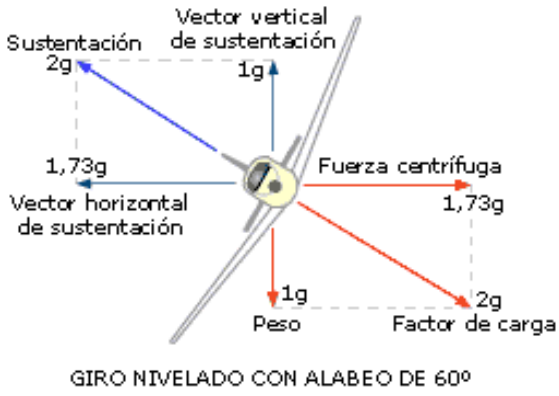


Fig.5.7.4 - Fuerzas que actuan en un giro.

La conclusión es que al alabear el aeroplano la sustentación se reduce proporcionalmente al grado de alabeo; si se desea mantener la altura es necesario incrementar la sustentación, tanto más cuanto mayor sea el alabeo.

Componente horizontal de sustentación: Al contrario que el vertical, este componente aumenta con el alabeo, cuanto mayor sea el grado de alabeo mayor es la magnitud de este vector. Como la tasa de giro con una velocidad dada depende de la fuerza lateral ejercida, esto es del componente horizontal de la sustentación, y este componente varía en proporción al grado de alabeo, aumentar el alabeo implica aumentar la tasa de giro.
Por otra parte, si con la misma velocidad al aumentar el alabeo aumenta la tasa de giro, eso significa que el avión recorre mayor número de grados por segundo, lo que implica que el radio de la circunferencia imaginaria trazada en el giro es más corto. Así pues, aumentar el alabeo disminuye el radio de giro.

Fuerza centrífuga. Es la fuerza inercial que se manifiesta en todo cuerpo cuando se le obliga a variar de dirección (horizontal o vertical). Esta definición la conoce de forma intuitiva quien ha tomado una curva con el automóvil a más velocidad de la debida o subido a alguna máquina infernal de un parque de atracciones. Obviamente, sin considerar la masa, cuanto mayor sea la velocidad del avión mayor es la inercia del mismo y la fuerza centrífuga que tiende a alejarlo del eje de giro.
Por tanto, con un ángulo de alabeo concreto una mayor velocidad implica que el avión recorre un círculo de mayor radio, lo que a su vez supone que la tasa de giro se reduce.

Peso. El peso del avión no varía durante un giro, no hay tiempo para quemar combustible suficiente, así que este vector vertical es prácticamente invariable.

Factor de carga. Se puede definir como el ratio de la sustentación que "soportan" actualmente las alas relativa a la requerida en vuelo no acelerado (1.8.2) expresado en un término relativo a la gravedad, "g".
Volviendo a la figura anterior, vemos que el factor de carga es el resultante de los vectores peso y fuerza centrífuga, y por simple geometría podemos deducir algo ya sabido: a) cuanto mayor sea el alabeo mayor magnitud tendrá el factor de carga; b) en un giro coordinado con tasa y altitud constante, para cada grado de alabeo la relación entre los vectores vertical (peso) y horizontal (fuerza centrífuga) es invariable. Tanto si se trata de un Boeing-747 como de una Cessna-150, en un alabeo de por ejemplo 60º el peso es 1g, la fuerza centrífuga 1,73g y el factor de carga (soportado por las alas) 2g.
El factor de carga se incrementa lentamente al principio, después más rápidamente y de forma explosiva a partir de unos 60º. Por ejemplo: el factor de carga en un alabeo de 60º manteniendo la altura es el doble que en vuelo recto y nivelado, con 75º es cuatro veces mayor y con un alabeo de 80º se multiplica por 5,76.

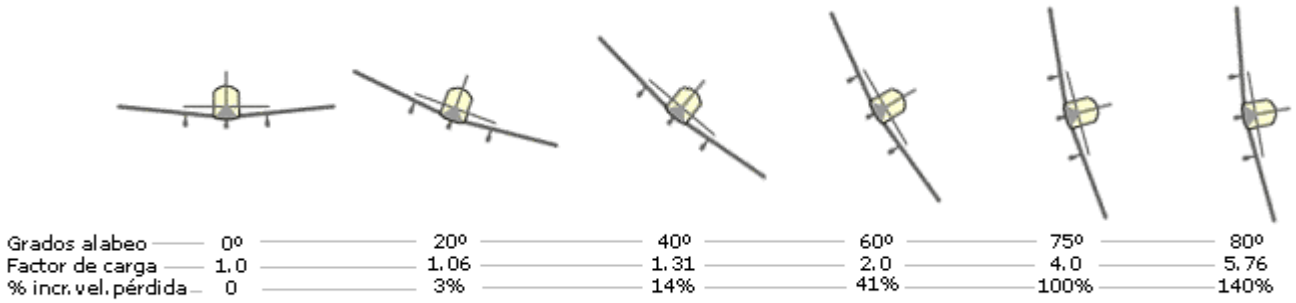


Fig.5.7.5 - Relación entre ángulo de alabeo, factor de carga y velocidad de pérdida.

Como siempre, si el piloto mueve los controles de forma que cambia la magnitud de una de las fuerzas, el aeroplano acelerará o decelerará en la dirección de la fuerza aplicada. Si quiere mantener el giro con altitud y tasa constantes las fuerzas han de estar equilibradas pues en caso contrario el avión se desplazará en el sentido de la mayor.

Un hecho aplicable a todos los aviones es que la velocidad de pérdida se incrementa con la raíz cuadrada del factor de carga. Si este último crece con el alabeo lo mismo sucede con la velocidad de pérdida. Como se muestra en la fig.5.7.5, con 30º de alabeo la velocidad de pérdida aumenta un 8% respecto a dicha velocidad en vuelo nivelado; con 45º el incremento es del 18%; con 60º aumenta un 41%, con 75º el aumento es del 100%, y con 83º aumenta un 200%.

5.7.4 Conclusiones.

De los párrafos anteriores se extraen una serie de conclusiones que se resumen en (1):

- *La sustentación se reduce proporcionalmente al grado de alabeo.*
- *Para una misma velocidad del avión, la tasa o ratio de giro se incrementa y el radio de giro disminuye en proporción al grado de alabeo. A mayor alabeo mayor ratio de giro y el aeroplano realiza un viraje de radio más corto.*
- *Con un alabeo concreto, a mayor velocidad el radio de giro se amplía y la tasa de giro se reduce. Para mantener un giro coordinado con una tasa de giro concreta, es necesaria una cantidad de alabeo proporcional a la velocidad del avión; cuanto mayor sea la velocidad mayor será el alabeo necesario para mantener dicha tasa de giro.*
- *Para virar en el radio más corto y con el máximo ratio, vuele con la velocidad más baja posible para ese ángulo de alabeo.*
- *El factor de carga aumenta con el alabeo de forma no lineal. A partir de 60º este aumento es tremendamente fuerte.*
- *La velocidad de pérdida se incrementa en la raíz cuadrada del factor de carga.*

5.7.5 Clasificación de los giros.

Los virajes se clasifican según la cantidad de grados de alabeo. Seguidamente se expone una clasificación general, aunque los manuales no se ponen de acuerdo en la cantidad de grados y cada uno proporciona cifras diferentes. Lo importante no es conocer los grados exactos sino la respuesta del avión a cada uno de estos giros.

- Suave (hasta 25º). El amortiguamiento al alabeo del avión tiende a sacarlo del viraje y retornarlo a una posición de nivelado, por lo que para mantenerlo en el giro es necesario mantener el volante de control girado hacia ese lado.
- Medio (hasta 45º). Se compensa la inestabilidad del giro con el amortiguamiento al alabeo y el avión tiende a permanecer en esa posición de viraje sin necesidad de mantener el volante girado, es decir con los alerones nivelados. Para mantener al avión en el giro, una vez alcanzado el grado de alabeo deseado gire el volante de control a una posición neutral, "neutralizar controles".
- Pronunciado (mas de 45º). La inestabilidad del giro es mayor que el amortiguamiento al alabeo y el avión tiende a incrementar el alabeo lo que hace necesario mantener el volante girado al lado contrario del giro para neutralizar la tendencia al "sobrealabeo" (en inglés "overbanking").



Fig.5.7.6 - Clasificación de los giros s/grados de alabeo.

La explicación a este comportamiento es relativamente sencilla. Los aeroplanos se diseñan con amortiguamiento al alabeo, amortiguamiento que tiende a retornar el avión a su posición de alas niveladas (Ver 1.6.4). El trabajo de los alerones consiste precisamente en neutralizar y rebasar ese amortiguamiento. Si en vuelo recto y nivelado alabea el avión ligeramente y suelta el volante de control el avión vuelve a una posición de alas niveladas.
Por otra parte, al realizar un giro el ala exterior recorre en el mismo tiempo una circunferencia de mayor diámetro que el ala interior. Su velocidad es mayor y también su sustentación tal como se muestra en la fig.5.7.7. Pues bien, en un alabeo suave el diferencial de sustentación es pequeño e insuficiente para contrarrestar el amortiguamiento al alabeo y el avión tiende a nivelar lateralmente las alas; en un alabeo medio este diferencial y el amortiguamiento se igualan y el avión permanece en un giro estable aún con los alerones neutrales, pero en un alabeo pronunciado el diferencial supera al amortiguamiento y el avión tiende a sobrealabear.



Fig.5.7.7 - Tendencia a sobrealabear en un giro pronunciado.

5.7.6 Realización de la maniobra.

En este párrafo se detallan las líneas generales para una correcta realización de la maniobra de giro nivelado, debiendo el lector prestar atención a los detalles más específicos mencionados en párrafos posteriores de este mismo capítulo.

Para iniciar el giro comience por girar gradualmente el volante de control hacia el mismo lado al cual se quiere girar el avión, hasta conseguir una actitud de alabeo apropiada al giro a realizar. Como el alerón arriba del lado contrario al giro tiene mayor ángulo de ataque que el alerón abajo del lado del giro, desarrolla más sustentación pero también más resistencia, por lo que es de esperar algo de guiñada adversa. También, al alabear el avión cambia la trayectoria de vuelo, por lo que si queremos que el viraje sea coordinado (ni resbale ni derrape) el eje longitudinal debe apuntar en esa trayectoria.
Para corregir la guiñada adversa y que el giro sea coordinado, a la vez que gira el volante de control para alabear aplique algo de presión al pedal del lado de giro, la mínima necesaria para mantener la bola del indicador de coordinación centrada.

A medida que se incrementa el alabeo (manteniendo la velocidad) sucederán varias cosas:

- El ratio de giro se hace mayor, se giran más grados por segundo.
- El radio de giro se reduce, el avión gira en un radio más corto.
- El factor de carga aumenta, ligeramente al principio y después más rápidamente.
- Lo mismo sucede con la velocidad de pérdida.
- El aumento progresivo del factor de carga produce que el morro del avión tienda a caer.

Puesto que el morro tiende a caer, para mantener la línea del horizonte será necesario tirar hacia atrás del volante de control, tanto más cuanto mayor sea el grado de alabeo. Así que, a la vez que gira el volante de control para alabear el avión y pisa el pedal de ese lado para que el giro sea coordinado, tire del volante de control para mantener la actitud de morro.

Al tirar del volante de control, el ángulo de ataque aumenta y con él la resistencia mientras que la velocidad se reduce. Si el alabeo no es pronunciado, la pérdida de velocidad y el incremento del factor de carga son pequeños y no le costará mantener la altura aceptando esa pequeña pérdida de velocidad. Pero si el alabeo es pronunciado, el incremento de la resistencia y del factor de carga hacen necesario abrir más gases para contrarrestar estos aumentos y no perder altura y velocidad.

Recuerde: "el ángulo de alabeo que puede mantenerse en un giro nivelado depende de la potencia", cuanto mayor sea el alabeo mayor cantidad de potencia necesitará aplicar para mantener la altitud.

Con el avión asentado en un giro nivelado y preciso, debe suceder que:

- El morro del avión "barre" el horizonte, sin caer o elevarse.
- La velocidad permanece constante.
- El indicador de giro muestra una tasa constante.
- La bola del indicador de giro se mantiene centrada.
- El altímetro queda establecido en la altitud seleccionada.

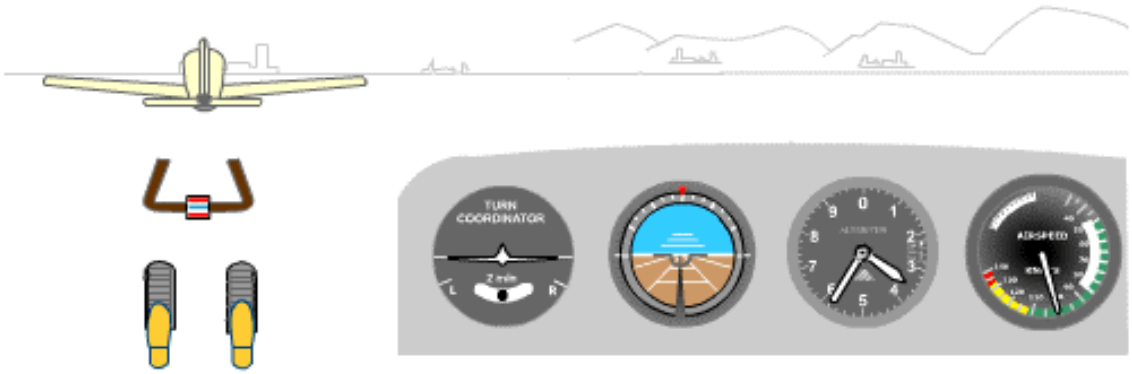


Fig.5.7.8 - Viraje coordinado de 20º de alabeo con altura y velocidad constantes.
Animación pulsando en volante de control

Resumiendo, la realización de esta maniobra quedaría tal como sigue:

1. Alabee el avión girando el volante de control hacia el lado que desea girar.
2. Aplique presión al pedal de ese mismo lado en la cantidad mínima suficiente para contrarrestar la guiñada adversa y que el giro sea coordinado (bola centrada).
3. Simultáneamente tire del volante de control para mantener la actitud de morro respecto al horizonte.
4. Si el avión tiende a perder altura o la velocidad se hace baja abra más gases y controle la velocidad y la altura como siempre: la actitud controla la velocidad y los gases la altura.

Aunque los manuales consultados coinciden en lo primordial con los detalles aquí dados, en algunos de ellos ciertas explicaciones parecen contradecir lo dicho sobre que mando controla la velocidad y cual controla la altura. Por ejemplo, cuando se dice que para mantener la altura se debe incrementar el ángulo de ataque, o cuando se manifiesta que para mantener la velocidad hay que abrir gases.
La maniobra de giro en cuanto a control de altura y velocidad no es diferente a cualquier otra. Sigue siendo válido que "la velocidad se controla con el volante de control y la altura con el mando de gases". Lo que sucede es que si se entra en un giro no pronunciado con una potencia y velocidad razonables es aceptable, porque es más cómodo, controlar la altura únicamente con el volante de control asumiendo modestas pérdidas de velocidad, pero si el giro es pronunciado y quiere mantener la altitud necesitará sin duda incrementar la potencia, salvo que quiera poner al avión en riesgo de pérdida tirando cada vez más del volante de control.

Salida del giro. Parece obvio que hay que aplicar los controles al contrario que a la entrada del giro. En efecto, gire suavemente el volante de control al lado contrario al de giro, pisando ahora el pedal de ese lado y aflojando un poco la presión atrás del volante de control, hasta poner al avión recto y nivelado. Como estos movimientos consumen algo de tiempo, anticípese a alcanzar la dirección deseada: 10º en giros suaves, 15º en giros medios y 25º en giros pronunciados.

Los giros se pueden realizar en vuelo de crucero, a la vez que se asciende, o mientras se desciende. Ahora bien, si realiza un giro en ascenso debe tener en cuenta que cuanto mayor sea el grado de alabeo mayor será la pérdida de sustentación vertical efectiva y mayor el factor de carga. La tendencia del aeroplano a volverse pesado de morro se incrementa, la potencia disponible para ascender es menor y por tanto la tasa de ascenso será más baja. Por tanto, si vira en ascenso procure que el giro sea suave o medio, no pronunciado. Como es natural, la adición de potencia cuando se gira a la vez que se asciende debe ser superior a la de un ascenso recto.

5.7.7 Indicaciones de los instrumentos.

Durante el giro las indicaciones de los instrumentos son las siguientes:

Indicador de giro y coordinación: El avioncito (o el bastón) se deflecta en la dirección de giro e indica la tasa a la cual está girando el aeroplano. En un giro coordinado la bola permanecerá centrada, en otro caso el avión está derrapando o resbalando.

Indicador de actitud (horizonte artificial): El avioncito miniatura debe mostrar, respecto a la barra del horizonte, un alabeo en la misma dirección que el alabeo real, y además la actitud de morro arriba, abajo o nivelado respecto al horizonte real. La escala graduada de este instrumento indica el número de grados del alabeo.

Indicador de dirección: Inmediatamente que el giro comienza, este instrumento comienza a girar también indicando los sucesivos nuevos rumbos del avión durante el giro hasta que el giro termine. Ir pasando de rumbos mayores a rumbos menores indica un giro a la izquierda, mientras que pasar de rumbos menores a rumbos mayores supone un giro a la derecha. Según esta regla: "si quiere virar a un rumbo mayor gire a la derecha; si menor gire a la izquierda."

Indicador de velocidad: Debido a los factores mencionados con anterioridad, la velocidad tiene a decrecer, más notablemente cuanto más pronunciado sea el giro. En el caso de un giro pobremente coordinado o si el morro se mantiene demasiado bajo o muy alto este instrumento reaccionará de forma más significativa.

Altímetro: En un giro nivelado y coordinado el altímetro debe permanecer estacionario en su indicación. Si el morro se mantiene alto el altímetro mostrará un incremento en la altitud; si se mantiene bajo mostrará un descenso. Si la potencia es insuficiente para mantener el giro, mostrará una pérdida de altura y si es excesiva indicará el ascenso.



Fig.5.7.9 - Indicaciones en un giro nivelado de 30º a la derecha.

5.7.8 Más detalles de la maniobra.

El movimiento del volante de control y la aplicación de pedal deben ser coordinados. Como se decía en 5.1.5: alabear a la izquierda requiere pedal izquierdo; a la derecha requiere pedal derecho. La cantidad de presión sobre el pedal debe ser proporcional a la cantidad de alabeo. La bola del inclinómetro debe permanecer siempre centrada. Recuerde: "deflexión del timón de dirección proporcional a la deflexión de los alerones".

Cuando el avión comienza el alabeo, el morro debe girar hacia ese lado; si el morro comienza a moverse antes se está aplicando pié antes de tiempo; si se mueve después se está aplicando pedal demasiado tarde. Si el morro se desplaza hacia arriba se está tirando demasiado del volante de control y habrá que aflojar algo la presión; si se desplaza hacia abajo se está tirando poco y habrá que aumentar la presión.

En el supuesto de que su mayor interés sea mantener la altura, no por ello descuide la velocidad; aunque acepte modestas reducciones de velocidad vigile el anemómetro, y si la velocidad se hace baja baje el morro para aumentarla e incremente la potencia para mantener la altura.

En un avión de plano bajo, el campo de visión abajo se reduce y el ala arriba del lado contrario al giro reduce la visión lateral de ese lado. Con un avión de plano alto sucede al revés, el campo de visión hacia arriba es obstaculizado por las alas y el ala abajo del lado del giro reducirá la visión lateral de ese lado.

La inclinación o alabeo ideal para corregir un rumbo es igual al número de grados de error en el rumbo, con un máximo de 20º.

La postura del piloto en el asiento es importante pero especialmente durante un giro. Manténgase derecho en el asiento respecto al aeroplano. Si desplaza el cuerpo a un lado cambiará sus referencias visuales y tendrá impresiones equivocadas.

La mejor referencia exterior para establecer el ángulo de alabeo es la posición del extremo del ala respecto al horizonte y la inclinación lateral del morro del avión. Como referencia en cabina podemos servirnos del horizonte artificial. Procure realizar los giros mediante referencias exteriores apoyándose en los instrumentos solo para chequear.

Si durante un giro pronunciado el morro cae demasiado, no intente corregirlo tirando más del volante de control, pues con eso lo que hace es estrechar el giro. En su lugar, reduzca ligeramente el ángulo de alabeo mediante el volante de control y los pedales y corrija la actitud de morro.

La importancia de mirar fuera y buscar otros tráficos en el espacio aéreo antes y durante el giro es muy importante. Antes de realizar un giro mire alrededor en ambas direcciones, arriba y abajo. Durante el viraje continúe con la vista fuera, especialmente en la dirección del giro. Cuando salga del viraje lo mismo. Mantenerse atento a otros tráficos y controlar el avión durante el giro requiere una especial atención por parte del piloto.

5.7.9 Práctica de giro con altitud constante.

Salvo que quiera girar rápidamente en un área pequeña, los giros pronunciados no son habituales en vuelo normal. La aplicación práctica de estos giros queda casi limitada a situaciones de emergencia.
Sin embargo, como ejercicio proporciona una excelente práctica de como manejar de forma coordinada los controles de vuelo (alerones, timón de dirección y timón de profundidad) y el control de potencia (palanca de gases). Un giro pronunciado requiere una coordinación completa y simultánea de todos estos controles.

Con este ejercicio se pretende acostumbrar al piloto a mantener un adecuado control sobre el avión durante un giro con un elevado grado de alabeo. Para ello, se pretende que realice un giro de 360º con un alabeo de 45º, y que durante el transcurso del mismo mantenga la altitud, controle la tendencia del alabeo a incrementarse, y mantenga la velocidad. Este ejercicio requiere que el piloto preste especial atención tanto al exterior como al interior de la cabina.

Realización:

1. Establezca una altitud constante y una velocidad que no exceda la velocidad normal de maniobra recomendada por el fabricante (**Va**). Anote mentalmente el rumbo al comienzo de la maniobra.
2. Inicie un giro con 45º de alabeo en la dirección que desee (por la izquierda o la derecha). Para ello, gire el volante de control hacia el lado del giro y aplique pedal para hacerlo coordinado.
3. A medida que el alabeo se vaya haciendo mas pronunciado, hasta llegar a los 45º y una vez alcanzado este grado de alabeo, si no hace algo para corregirlo, el avión adoptará una actitud de morro abajo y comenzará a perder altura y ganar velocidad.
4. Para corregir esta tendencia, tire del volante progresivamente para mantener la actitud de morro y además aumente el paso de gases en cantidad suficiente para mantener altura y velocidad.
5. Con este alabeo pronunciado, la tendencia normal del avión es a incrementarlo. Necesitará aplicar algo de alerón al lado contrario del giro y un poco menos de pie para contrarrestar.
6. Con el avión estabilizado en el giro, observe y mentalice la posición de morro del avión, "sienta" la cantidad de deflexión del volante de control y de presión en los pedales, hasta que sea capaz de realizar la maniobra sin tener que recurrir a los instrumentos más que para verificar.
7. En todo momento el giro ha de ser coordinado, la bola siempre centrada.

Recuperación:

1. Unos grados (15º) antes de llegar al rumbo inicial comience a sacar al avión del giro suavemente, moviendo el volante de control al lado contrario y aplicando el pedal correspondiente, hasta situarse en el rumbo inicial.
2. Con el rumbo inicial, para poner el avión en vuelo recto y nivelado con velocidad de crucero, baje el morro para reducir el ángulo de ataque incrementado durante la maniobra y a medida que el avión se acelere a velocidad de crucero ajuste el paso de gases.

Sumario.

- El giro es la maniobra básica utilizada para cambiar la dirección de vuelo del aeroplano.
- Un giro preciso y nivelado consiste en un cambio coordinado de dirección, manteniendo el ángulo de alabeo deseado y la altitud de vuelo.
- El objeto de alabear un avión para girar consiste en inclinar la sustentación para que además de soportar su peso provea la fuerza centrípeta necesaria para contrarrestar la centrífuga que tiende a expulsar al avión del centro del giro.
- Se denomina ratio de giro, velocidad angular de viraje o tasa de giro, al número de grados por segundo que gira el avión sobre un eje vertical imaginario. Los giros normalizados en aviones ligeros suelen ser de 2 minutos, es decir se tardan dos minutos en girar 360º. Es equivalente a decir que la velocidad angular es de 3º por segundo.
- Al alabear el aeroplano la sustentación se reduce proporcionalmente al grado de alabeo. "El ángulo de alabeo que puede mantenerse en un giro nivelado depende de la potencia".
- Con una misma velocidad, a mayor grado de alabeo el aeroplano virará con mayor tasa de giro en un círculo imaginario de radio menor.
- Para un mismo grado de alabeo, cuanto mayor sea la velocidad mayor es el radio de giro y menor la tasa.

- La velocidad de pérdida y el factor de carga se incrementan con el alabeo, y este aumento crece rápidamente a medida que el alabeo se acentúa.
- Para mantener un giro coordinado con una tasa angular concreta, es necesaria una cantidad de alabeo proporcional a la velocidad del avión; cuanto mayor sea la velocidad mayor será el alabeo necesario para mantener esa tasa.
- Para realizar un giro con altitud constante, alabee el avión girando el volante de control hacia el lado que desea girar, pisando a la vez el pedal de ese lado en la cantidad mínima suficiente para que sea coordinado (bola centrada) y contrarrestar la guiñada adversa. Simultáneamente tire de forma suave y progresiva del volante de control para mantener la actitud de morro. Si el avión tiende a perder altura o velocidad abra gases.
- Para salir del giro, aplique los controles al revés: mueva el volante de control al lado contrario del giro y aplique pedal de ese lado. Anticípese al rumbo deseado en una cantidad de grados que dependerá del alabeo mantenido en el giro.
- Para virar a un rumbo mayor gire a la derecha; a uno menor gire a la izquierda.
- Alabear a la izquierda requiere pedal izquierdo; a la derecha requiere pedal derecho. La cantidad de presión sobre el pedal debe ser proporcional a la cantidad de alabeo. La bola del inclinómetro debe permanecer siempre centrada. "La deflexión del timón de dirección debe ser proporcional a la deflexión de los alerones".
- Antes de entrar en un giro, durante el mismo, y en la salida, mire fuera y manténgase atento a la presencia de otros tráficos, especialmente si el giro es pronunciado debido al rápido cambio de dirección del avión.
- Mantener la vista fuera y además el control del avión durante el giro no es una tarea sencilla. Por esa razón se recomienda familiarizarse a realizarlo (lo mismo que otras maniobras) sirviéndose de referencias exteriores y chequeando con los instrumentos. Interiorice las percepciones y recuerde lo que dicen los viejos pilotos sobre "volar con el culo".

5.8 COORDINACION.

La dirección de movimiento de un avión no tiene porqué ser necesariamente la misma a la cual apunta su eje longitudinal, o lo que es lo mismo, el morro del avión. Este concepto puede parecerle nuevo a algunas personas, dado que normalmente los objetos en que viajan (automóviles, bicicletas, etc...) apuntan en la misma dirección en la que se mueven, aunque si ha visto algún rally de coches los conceptos de resbale y derrape no le serán tan extraños.

En un automóvil, un único mando controla la dirección a la que apunta el frontal del automóvil y la dirección en que se mueve porque normalmente estas coinciden, pero un aeroplano tiene controles diferentes para mantener la dirección de vuelo (volante de control) y la dirección a que apunta el morro porque *no necesariamente* ambas coinciden.

Si la dirección de vuelo (trayectoria) y la dirección a la que apunta el morro del avión son distintas el avión no vuela coordinado, esta resbalando o derrapando. En un giro, si el viraje es coordinado el morro del avión apunta en la misma dirección del giro, pero si apunta en otra dirección el avión vuela descoordinado.
Es importante que el aeroplano este *apuntando* en la misma dirección a la que se dirige a través del aire, mantener nulo el ángulo de deslizamiento mientras se maniobra, mediante el uso coordinado de alerones y timón de dirección, por las siguientes razones:

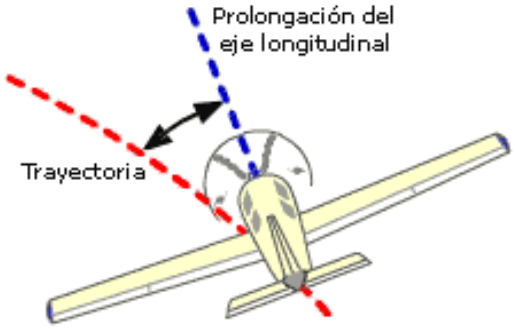


Fig.5.8.1 - Angulo de deslizamiento.

- Eficiencia. Si su objetivo es virar a un lado no tiene sentido comenzar la maniobra con una guiñada al lado contrario. Además, todos los resbales o derrapes crean un montón de resistencia innecesaria.
- Comodidad. En la mayoría de los aviones ligeros, los pilotos están sentados cerca del centro de pivote del avión y apenas notan los movimientos de guiñada, pero si lleva a alguien en el asiento trasero lo notará mucho más, no le sentará nada bien que le mueva de lado a lado y puede incluso que le eche encima lo que haya comido.
- Seguridad. Si entra en perdida volando coordinadamente, el morro del avión tenderá normalmente a caer derecho y adelante facilitando la recuperación de la misma, pero si la pérdida se produce volando con suficiente descoordinación corre el riesgo de entrar en barrena, que es mucho más peligrosa y difícil de recuperar.

5.8.1 Estabilizador vertical.

Un aeroplano no es complemente libre de girar alrededor del eje de guiñada. Si el ángulo de deslizamiento (la diferencia entre la dirección de vuelo y a la que apunta el morro) es mayor que unos pocos grados el rendimiento se empobrece. El estabilizador vertical de cola está diseñado precisamente para mantener el ángulo de deslizamiento dentro de unos límites.

La fig.5.8.2 muestra una situación donde la dirección a la que apunta el aeroplano no está alineada con el flujo de aire, debido a una ráfaga de viento, un movimiento inadvertido y descoordinado de los controles, etc... Al incidir el viento relativo sobre el estabilizador vertical con un ángulo, este produce sustentación en proporción a dicho ángulo de ataque como cualquier otro perfil aerodinámico y esta fuerza tiende a realinear el aeroplano con el viento, diciéndose en este caso que el aeroplano tiene estabilidad sobre el eje de guiñada. El alejamiento del empenaje de cola respecto al centro de gravedad del avión amplía el efecto de la fuerza ejercida, de manera que amortigua bastante bien los movimientos de guiñada.

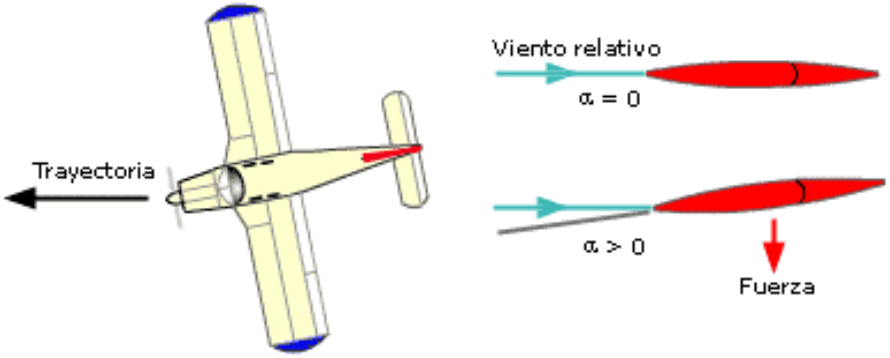


Fig.5.8.2 - Efecto veleta del empenaje vertical de cola.

Los anglosajones le llaman a esto coloquialmente "weathervaning tendency" o sea "efecto veleta" debido a que el avión tiende a alinearse con el viento lo mismo que una veleta, denominando a este tipo de estabilidad "yaw stability o directional stability" mientras que en español recibe el nombre de estabilidad direccional (ver 1.6).

5.8.2 Timón de dirección.

Si en vuelo recto y nivelado una ráfaga de viento lateral provoca el deslizamiento del avión respecto a su dirección de vuelo, el estabilizador de cola hará su trabajo retornando al avión a una situación de cero ángulo de deslizamiento. Pero que un avión tenga buena estabilidad direccional no es una garantía absoluta, es posible que la ráfaga sea de tal intensidad que el piloto necesite intervenir para corregir la situación: esta es una de las tareas del timón de dirección.

Por otro lado, sabemos que existen muchas causas que provocan que el avión rote sobre su eje vertical en una dirección no deseada, lo que conocemos como guiñada adversa; contrarrestarla es otra de las tareas del timón de dirección. Los diseñadores de aeroplanos por supuesto que conocen este efecto y tratan de minimizarlo de distintas formas:

- Desplazando ligeramente el estabilizador de cola para que este se alinee con el flujo de aire y no con el eje del avión.
- Desplazando el eje del sistema propulsor para que la estela de la hélice incida menos sobre el empenaje vertical de cola.
- Mediante deflexión diferencial de los alerones. El alerón que sube lo hace unos pocos grados más que el que baja. De esta manera el ala abajo en un giro (alerón arriba) tiene mayor resistencia inducida y menor velocidad contrarrestando algo la guiñada adversa.
- Conectando mediante muelles los alerones con el timón de dirección, de forma que cuando se mueven los alerones el timón de dirección también lo hace.
- etc...

Como es materialmente imposible compensar la guiñada adversa a cualquier velocidad del avión, puestos a elegir los constructores aplican una o varias de las características anteriores para que trabajen bien a velocidad de crucero, es decir con una potencia y velocidad determinadas. De esta forma, puede volar en crucero casi con los pies en el suelo, pero lo malo de esto es que se confíe, a bajas velocidades, que es cuando más necesario se hace volar coordinadamente, estos diseños trabajan mal y necesitará manejar los pedales de forma activa para mantener el vuelo coordinado.

En situaciones de alta velocidad y poca potencia (por ejemplo en planeo), la compensación de la guiñada mediante los diseños es mayor de la necesaria y el avión guiña al contrario de lo esperado, necesitando aplicar pedal para corregir este efecto. Por el contrario, en situaciones de baja velocidad y mucha potencia (por ejemplo en el despegue o en vuelo lento), la compensación es insuficiente, así que también tendrá que actuar sobre el pedal para cubrir este déficit.

5.8.3 En un viraje.

Al deflectar los alerones para iniciar un giro, el ala que sube producirá más sustentación y con ello mayor resistencia, mientras que el ala que baja tendrá menos sustentación y menor resistencia: "*la sustentación diferencial conlleva resistencia diferencial*". Esto provoca que el ala abajo (interior al eje de giro) que tiene menos resistencia se adelante y que el ala arriba (exterior al eje de giro) con mayor resistencia se retrase; el avión entonces hace un movimiento no deseado, guiña al lado contrario al giro.



Fig.5.8.3 - Guiñada adversa en giro.

Para anular este efecto el piloto debe aplicar pedal del lado al cual mueve el volante de control (ver 5.7), tanto al iniciar el giro como al deshacerlo.

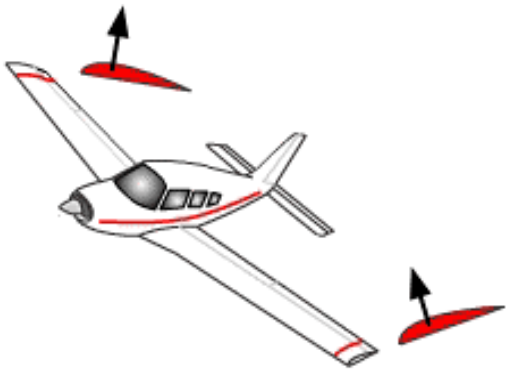


Fig.5.8.4 - Guiñada adversa constante durante un giro.

Una vez establecido el avión en un viraje con tasa constante, aunque los alerones estén deflectados ambas alas tienen la misma sustentación, y por lo tanto no hay resistencia diferencial. Pero aunque la fuerza de sustentación en ambas alas tiene la misma magnitud, sus vectores están ligeramente girados; en el ala abajo un poco hacia delante y en el ala arriba un poco hacia atrás. Esta sustentación "girada" produce un momento de fuerza que da lugar a una guiñada adversa constante durante todo el giro. En el caso de la fig.5.8.4 el avión está virando a la izquierda con una ligera tendencia a guiñar a la derecha.

Es necesario seguir manteniendo presión sobre el pedal del lado del giro, algo menos que al entrar en el mismo, pero hay que seguir manteniéndola.

Según hemos visto en el capítulo anterior, para hacer un viraje el piloto alabea el avión hacia el lado al cual quiere virar, de esta forma cambia la dirección de movimiento del avión; al mismo tiempo, aplica pedal del lado del giro para contrarrestar la guiñada adversa.

Al alabear se ha cambiado la dirección de movimiento del aeroplano (de su masa) pero a la que apunta el morro del avión sigue siendo la misma. Aunque el empenaje de cola hace su trabajo y trata de alinearse con "su" viento relativo, al moverse el avión en una trayectoria curvada este viento relativo se encuentra desplazado respecto al de las alas.

Resultado: el avión gira en una dirección mientras mantiene el morro apuntando a otra ligeramente desplazada respecto de aquella, el ángulo de deslizamiento no es nulo. Para mantener el eje longitudinal del avión alineado con la dirección de movimiento, lo que llamamos un giro coordinado, es necesario anular el ángulo de deslizamiento deflectando el timón de dirección hacia el lado del giro, es decir aplicando pedal de ese lado.

En base a lo detallado anteriormente, se puede afirmar que: "*el propósito principal del timón de dirección consiste en contrarrestar el efecto de la guiñada adversa y contribuir a mantener el control direccional del aeroplano*". Si quiere volar de forma coordinada recuerde: la deflexión de los alerones implica deflectar también el timón de dirección, aplicar pedal del mismo lado al cual se gira el volante de control. La deflexión del timón debe ser proporcional a la deflexión de los alerones.

5.8.4 Indicaciones de la bola.

El instrumento que muestra la calidad del giro, es decir, si este es coordinado, si el avión "derrapa", o si "resbala" es la bola del coordinador de viraje, lo cual le hace una referencia fundamental para la coordinación de los controles que intervienen en el giro (alerones y timón de dirección).

En vuelo recto y nivelado la única fuerza que actúa sobre la bola es la de gravedad, las fuerzas centrífuga y centrípeta son inexistentes y la bola se mantiene centrada en el tubo. Pero en un viraje, la bola está sometida al mismo conjunto de fuerzas que el resto del avión; si el viraje es coordinado, las fuerzas están compensadas y la bola permanecerá en el centro del tubo, entre las dos líneas de referencia verticales; si el viraje no es coordinado las fuerzas tienen distinta magnitud y la bola se desplazará dentro del tubo hacia el lado de la fuerza mayor indicando un "resbale" o un "derrape".

La bola pues, no es ni más ni menos que un indicador del balance de fuerzas, mostrando de forma visual la coordinación o falta de coordinación en el uso de los mandos.

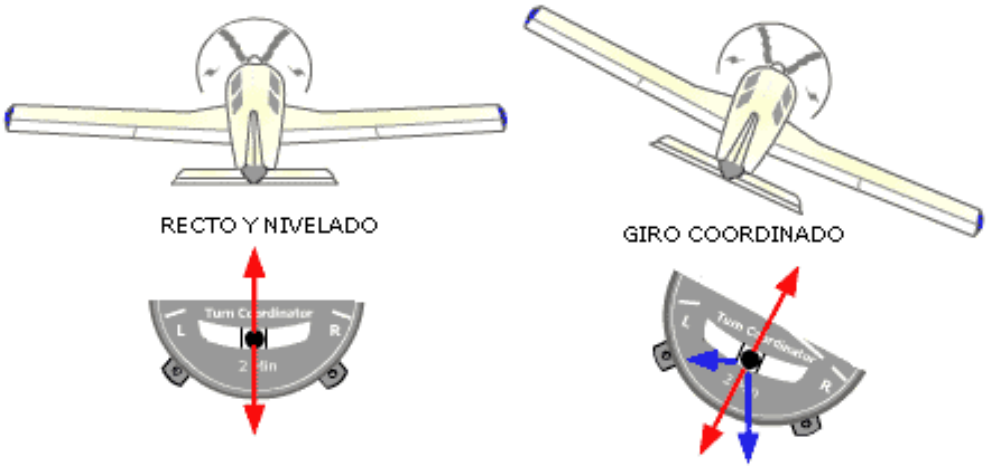


Fig.5.8.5 - Fuerzas ejercidas sobre la "bola" del inclinómetro.

Puesto que en un giro la magnitud de las fuerzas depende del grado de alabeo y del régimen o tasa de viraje, lo que está indicando la bola es la relación existente entre el régimen de viraje y el grado de alabeo, la "calidad" del viraje.

5.8.5 Derrape.

Si la bola se mueve hacia el lado contrario al viraje, el avión está derrapando, su eje longitudinal apunta en una dirección desplazada interiormente a la trayectoria del giro.
La fuerza centrífuga es mayor que el componente horizontal de sustentación; como la fuerza centrífuga depende del régimen de viraje y el componente horizontal de sustentación depende del grado de alabeo, esto significa que el alabeo dado es insuficiente para el régimen de viraje impuesto, o viceversa.
Típicamente esto sucede cuando se entra en un giro con mucha velocidad y poco alabeo, si al comenzar el giro se pisa en exceso el pedal interior, o cuando se intenta estrechar el radio de giro aplicando más pedal interior en vez de aumentar el alabeo.

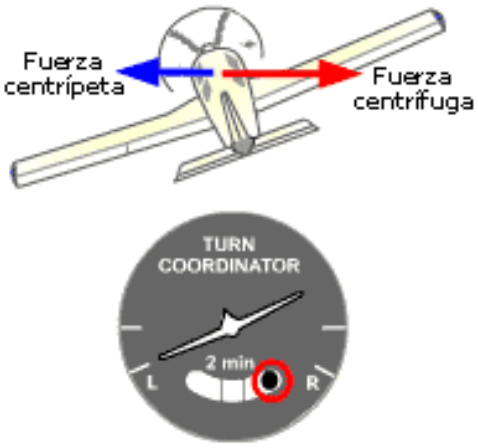


Fig.5.8.6 - Indicación de derrape.

Para corregir el derrape hay que equilibrar las fuerzas, disminuya el régimen de viraje, incremente el grado de alabeo, no pise tanto el pedal interior, o una combinación adecuada de lo anterior.

5.8.6 Resbale.

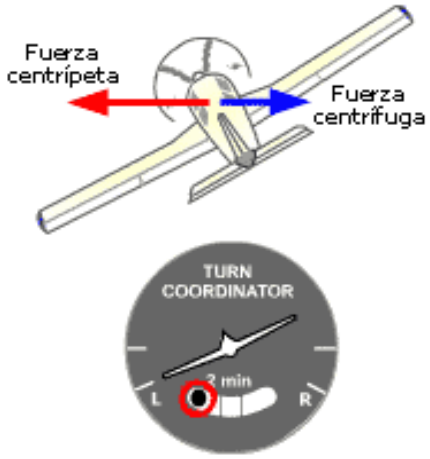


Fig.5.8.7 - Indicación de resbale.

En este caso, la bola se desplaza hacia el lado del viraje, su eje longitudinal apunta en una dirección desplazada exteriormente a la trayectoria del giro. Al contrario que en el caso anterior, el componente horizontal de sustentación excede a la fuerza centrífuga, eso significa que el alabeo es excesivo para la tasa de viraje o lo que es lo mismo, que la tasa de viraje es insuficiente para el alabeo impuesto.
Si entra en un viraje sin pisar el pedal de ese lado en proporción al grado de alabeo, o pisa el pedal contrario, o con excesivo alabeo para el régimen de giro, el avión resbalará.
Para corregir un resbale, de nuevo hay que equilibrar las fuerzas, aumente el régimen de viraje, disminuya el grado de alabeo, pise un poco más el pedal interior, o cualquier combinación adecuada de lo anterior.

En algunos manuales y libros, se explica el desplazamiento de la bola recurriendo al desequilibrio entre las fuerzas de gravedad y centrífuga. La fuerza de gravedad "tira" de la bola hacia abajo en tanto la centrífuga tira de la bola hacia afuera. Si la fuerza centrífuga es superior a la de la gravedad la bola se desplazará hacia afuera, mientras que si la fuerza centrífuga es inferior, la bola permanecerá en la parte más baja del tubo que la contiene. Si ambas están en equilibrio la bola estará centrada.
Por mi parte he preferido la explicación aquí dada porque me parece más fácil asociar derrape y resbale con un desequilibrio de fuerzas horizontales.

5.8.7 Derrapar es peor que resbalar.

Aunque no parece existir diferencia entre derrape y resbale si que la hay y mucha. Un derrape es un tipo particular de resbale que ocurre cuando el avión está en un alabeo y el flujo de aire no coordinado está viniendo del lado del ala levantada. Con velocidad suficiente la aerodinámica del derrape es la misma que la del resbale, en ambos casos el aire fluye de través sobre el fuselaje. Ahora bien, acostúmbrese a no derrapar el avión por la razón siguiente:
Si entra en pérdida, basta un ligero flujo de viento de través para que un ala entre en pérdida antes que la otra; en particular, tener el timón deflectado a la derecha significa que el aeroplano debe súbítamente alabear a la derecha, lo mismo a la izquierda. Si está en un alabeo de 45º aplicando excesivo timón de ese lado (derrape) y el ala cae (alabeando otros 45º) se encontrará con las alas en posición vertical.

Por el contrario, en un resbale Vd. está aplicando pedal del lado contrario al giro, un súbito alabeo de 45º le pondrá con las alas niveladas, que es mucho mejor que la situación anterior.

Conclusión: *nunca aplique pedal (timón) del lado interior al giro en más de lo necesario para mantener la bola centrada*.

El énfasis puesto en la necesidad de mantener la coordinación en los giros, no debe hacer olvidar al piloto la importancia de mantener la bola centrada, tanto en los giros como en vuelo recto y nivelado, salvo que desee realizar un resbale intencionado. Si la bola no está centrada el avión no está volando eficientemente.

5.8.8 Percibiendo la coordinación en un giro.

Para aprender buena coordinación lo primero es mirar a los lados. Cuando alabea en un giro debe ver que un ala baja y otra sube; si una se mueve abajo y adelante y otra arriba y atrás entonces es que no está aplicando suficiente pedal.
Para controlar el alabeo aprenda a juzgar la actitud de morro por el ángulo que forma la cuerda del ala con el horizonte lateral y la actitud de alabeo por la altura relativa del extremo del ala por encima o por debajo de ese horizonte.
Mire al frente y memorice la actitud a mantener por el ángulo del morro del avión respecto al horizonte, y sienta el ritmo con el cual el morro barre el horizonte para distintos grados de alabeo.

5.8.9 Resbale intencionado.

Un resbale suena como algo malo para el vuelo, pero hay algunas situaciones en que el piloto puede utilizarlo en provecho propio, como veremos seguidamente.

El resbale se efectúa bajando un ala y aplicando pedal del lado contrario. La idea es alabear a un lado y no dejar que el avión vire a ese lado sino mantener la trayectoria recta aplicando pedal (timón) al lado contrario. La deflexión del timón produce que el aire fluya algo cruzado sobre el fuselaje, lo cual crea mayor resistencia que si el flujo estuviera alineado.

Normalmente, los resbales son utilizados con dos propósitos: Uno es incrementar la tasa de descenso sin aumentar la velocidad de planeo. La mayor resistencia creada por el resbale hace que el avión descienda en una senda mas pronunciada, lo cual puede servir por ejemplo para salvar un obstáculo cercano a la pista de aterrizaje, o para disipar rápidamente un exceso de altura en la aproximación.

El otro caso se da en aterrizajes con viento cruzado de cierta intensidad. El viento cruzado no solo hace derivar al avión respecto al eje de la pista sino que además tiende a levantar el ala de ese lado. En este caso, se alabea hacia el lado del viento y mediante el timón de dirección se mantiene el morro del avión alineado con el eje de la pista. De este modo se contrarresta la acción del viento cruzado, pues la fuerza de este se compensa con la fuerza del componente horizontal de la sustentación, manteniendo además la dirección de vuelo y el eje longitudinal del avión alineados con la pista.

Otros casos en los que un resbale puede ser útil al piloto son por ejemplo:
En un aterrizaje de emergencia. El lugar elegido para aterrizar está cercano y nos encontramos con un exceso de altura que sin embargo no es tanto como para extender flaps; un resbale será útil.
Llamas en el motor. Si por alguna razón desconocida se produce fuego en el motor, resbalando impediremos que las llamas incidan sobre el cristal de la cabina, se irán a un lado.

Debido a la colocación del tubo pitot y las tomas estáticas, el piloto debe ser consciente que en algunos aeroplanos la indicación de la velocidad en el anemómetro puede tener un error considerable durante un resbale.

IMPORTANTE: Aunque normalmente un resbale se realiza con flaps arriba, antes de realizar un resbale con los flaps extendidos asegúrese con el Manual de Operación del aeroplano que esto no está prohibido.

Sumario.

- La dirección de movimiento de un avión no tiene porqué ser necesariamente la misma a la cual apunta su eje longitudinal.
- Si la dirección de vuelo y la dirección a la que apunta el morro del avión son distintas el avión no vuela coordinado, esta resbalando o derrapando.
- Es importante que el aeroplano este *apuntando* en la misma dirección a la que se dirige, mantener nulo el ángulo de deslizamiento mientras se maniobra, por eficiencia, comodidad y seguridad.
- El estabilizador vertical de cola está diseñado para mantener el ángulo de deslizamiento dentro de unos límites.
- Cuando el flujo de aire incide con un ángulo sobre el estabilizador vertical, este produce una fuerza de sustentación proporcional a dicho ángulo, fuerza que tiende a realinear el aeroplano con el viento.
- Este "efecto veleta" es lo que proporciona al avión estabilidad direccional o estabilidad sobre el eje de guiñada.
- Una de las tareas del timón de dirección radica en proporcionar al piloto un medio para contrarrestar la guiñada adversa.
- Los diseñadores tratan de minimizar el efecto de guiñada adversa de varias formas: desplazando ligeramente el estabilizador de cola, desplazando el eje del sistema propulsor, mediante deflexión diferencial de los alerones, conectando mediante muelles los alerones con el timón de dirección, etc...
- Estas características trabajan bien a velocidad de crucero, con una velocidad y potencia determinadas, pero la compensación de la guiñada adversa puede ser insuficiente o excesiva para distintas velocidades y potencia.
- La resistencia diferencial debido a la diferente sustentación de las alas al iniciar un giro o al salir del mismo, produce guiñada adversa. Para contrarrestarla, al inicio o salida de un viraje además de alabear el avión tendrá que pisar el pedal del lado al que alabea.
- Una vez en el giro, la sustentación "girada" provoca una guiñada adversa constante. Por esta razón durante la realización del giro será necesario seguir aplicando pedal para anularla.
- Para mantener el eje longitudinal del avión alineado con la dirección de movimiento, lo que llamamos un giro coordinado, es necesario anular el ángulo de deslizamiento deflectando el timón de dirección hacia el lado del giro, es decir aplicando pedal de ese lado.
- El propósito principal del timón de dirección consiste en contrarrestar el efecto de la guiñada adversa y contribuir a mantener el control direccional del aeroplano".
- Vuele de forma coordinada recordando que: "la deflexión del timón de dirección debe ser proporcional a la deflexión de los alerones".
- El instrumento que muestra la calidad del giro, si este es coordinado, si el avión "derrapa", o si "resbala" es la bola del coordinador de viraje.

La bola indica la resultante de las fuerzas aplicadas en un giro, mostrando de forma visual la coordinación o falta de coordinación en el uso de los mandos.

- Puesto que en un giro la magnitud de las fuerzas depende del grado de alabeo y del régimen o tasa de viraje, lo que está indicando la bola es la relación existente entre el régimen de viraje y el grado de alabeo, la "calidad" del viraje.
- Si la bola se desplaza hacia el lado contrario al viraje, el avión está derrapando. El grado de alabeo es insuficiente para el régimen de viraje impuesto, o viceversa.
- Para corregir el derrape, disminuya el régimen de viraje, incremente el grado de alabeo, no pise tanto el pedal interior, o una combinación adecuada de lo anterior.
- Si la bola se desplaza hacia el lado interior del viraje, el avión esta resbalando. El grado de alabeo es excesivo para ese régimen de viraje, o viceversa.
- Para corregir un resbale, aumente el régimen de viraje, disminuya el grado de alabeo, pise un poco más el pedal interior, o cualquier combinación adecuada de lo anterior.
- Derrapar es peor que resbalar: *nunca aplique pedal (timón) del lado interior al giro en más de lo necesario para mantener la bola centrada*.
- Aprenda a volar coordinado y comience por mirar a los lados: cuando alabea en un giro debe ver que un ala baja y otra sube; si una se mueve abajo y adelante y otra arriba y atrás entonces es que no está aplicando suficiente pedal. Aprenda a juzgar la actitud de morro por el ángulo que forma la cuerda del ala con el horizonte lateral y la actitud de alabeo por la altura relativa del borde del ala por encima o por debajo de ese horizonte. Mire al frente y memorice la actitud a mantener por el ángulo del morro del avión respecto al horizonte, sienta el ritmo con el cual el morro barre el horizonte para distintos grados de alabeo.
- Un resbale intencionado puede servir a distintos propósitos al piloto. Este resbale se efectúa bajando un ala con los alerones y aplicando pedal del lado contrario. La idea es alabear a un lado y no dejar que el avión vire a ese lado sino mantener la trayectoria recta aplicando pedal contrario.
- Mediante un resbale se puede disipar rápidamente un exceso de altura sin por ello incrementar la velocidad de descenso.
- También se emplea para aproximaciones y aterrizajes con viento cruzado. El avión se alabea hacia el lado del viento para contrarrestar la fuerza de esta y la deriva que produce, a la vez que aplicando pedal contrario se mantiene la trayectoria de vuelo y el eje longitudinal del avión alineados con el eje de la pista.
- Bajo determinados supuestos, un resbale puede ser útil en caso de aterrizaje de emergencia.
- Es muy importante constatar en el Manual de Operación del aeroplano si este puede o no alabear con flaps extendidos.

5.9 VUELO RECTO Y NIVELADO.

Volar recto y nivelado es justamente lo que su nombre indica: mantener el avión en la dirección establecida mientras se mantiene una altitud constante. El desarrollo de esta habilidad es esencial durante todo el entrenamiento por lo que es importante establecer desde el comienzo unos hábitos correctos.

Volar de forma estable parece sencillo desde el suelo, pero una vez en el aire el futuro piloto podrá comprobar lo fácil que resulta encontrarse con unos pies de más o de menos, o que no es tan sencillo mantener una velocidad concreta sin perder o ganar altitud. No es que mantener el vuelo recto y nivelado sea complicado, pero tampoco es tan simple como pudiera creerse.

Volar recto y nivelado requiere dos cosas: (a) mantener una altitud constante y (b) seguir una trayectoria rectilínea. Veamos cada una de estas tareas por separado.

5.9.1 Altitud constante.

Es obvio que volar con altura y velocidad constantes requiere el equilibrio de dos pares de fuerzas opuestas: empuje/resistencia y sustentación/peso. Como veremos a lo largo de este capítulo, este balance de fuerzas se puede lograr bajo distintas combinaciones de cabeceo y potencia, es decir, se puede volar recto y nivelado con diferentes velocidades.

Sabemos que en vuelo recto y nivelado, cuanto mayor sea la velocidad mayor es la resistencia parásita y menor es la resistencia inducida (1.3.6). El comportamiento de ambas resistencias en función de la velocidad se muestra en la fig.5.9.1, así como la curva que representa la resistencia agregada o total, o lo que es lo mismo el empuje o tracción necesarios para vencer dicha resistencia.
Como a medida que aumenta la velocidad, la resistencia parásita crece mientras que la inducida disminuye, hay un punto en que el total de las dos es el menor posible, punto que viene marcado en el gráfico como velocidad Vy, no casualmente, sino porque esta suele ser la velocidad de menor resistencia. Volar con alguna velocidad superior o inferior a Vy implica mayor resistencia.

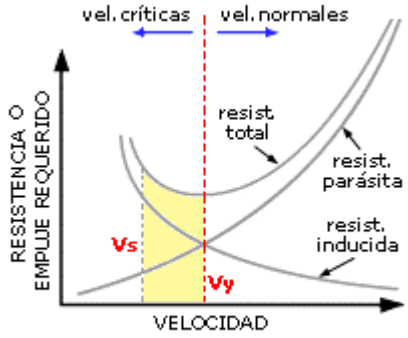


Fig.5.9.1 - Curva típica de resistencia.

Como la velocidad y el ángulo de ataque están relacionados de forma inversamente proporcional, la menor velocidad del gráfico corresponde al ángulo de ataque mayor. En el mismo gráfico, las velocidades desde Vy hasta la velocidad de pérdida (Vs), corresponden a aquellas en que el elevado ángulo de ataque y la poca velocidad las hace especialmente "críticas", entendiendo este término no como presagio de un desastre sino por la especial atención que debe mantener el piloto en este régimen de vuelo. En este capítulo nos atendremos al régimen de velocidades "normales" dejando para más adelante el régimen "crítico" (velocidad mínima controlable, de pérdida inminente, de pérdida efectiva, etc...).

Dado que en vuelo recto y nivelado no acelerado, el empuje o tracción debe igualar a la resistencia, si tomamos el gráfico anterior y donde ponía RESISTENCIA ponemos EMPUJE obtenemos el gráfico de empuje requerido en función de la velocidad (1).

Potencia. La fig.5.9.2 muestra una parte de la ya conocida curva de potencia (la correspondiente a velocidades "normales"), en la cual se puede ver la cantidad de potencia necesaria para contrarrestar la resistencia producida a diferentes velocidades. En este gráfico, la velocidad máxima en vuelo nivelado viene dada por la intersección de la curva con la tracción o empuje máximo desarrollado por el sistema propulsor. Vy representa como sabemos la velocidad de menor resistencia, volar por encima o por debajo de esa velocidad requiere mayor potencia que volar con Vy. La velocidad mínima no está usualmente relacionada con la potencia sino que predominan los factores de pérdida y estabilidad.

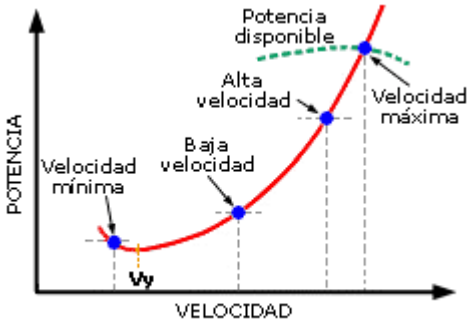


Fig.5.9.2 - Potencia vs. velocidad.

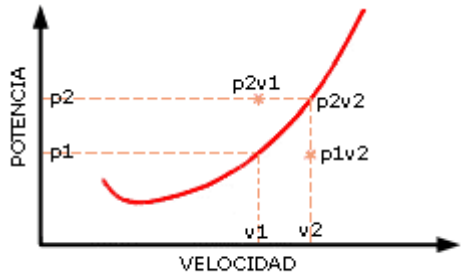


Fig.5.9.3 - Relación potencia/velocidad.

Tomando como referencia el gráfico de la fig.5.9.3, supongamos que estamos volando recto y nivelado con una velocidad concreta (v1) y queremos acelerar el avión hasta una velocidad más alta (v2). Lo primero que se nos ocurre instintivamente es que se necesita añadir más energía al sistema, abrimos gases (pasamos de p1 a p2). Correcto. Pero sabemos que manteniendo la misma velocidad el avión empleará la energía excedente de vencer la resistencia para ascender (p2v1), y lo que queremos es acelerar manteniendo el nivel de vuelo ?que hacer?. Muy sencillo, la propia curva lo sugiere, pasar al punto p2v2, o sea seleccionar la velocidad v2.

Y ¿como seleccionar esa velocidad?. Pues como siempre, actuando sobre al ángulo de ataque, en este caso concreto reduciéndolo. De la misma manera, para reducir la velocidad manteniendo el nivel de vuelo (pasar de v2 a v1) será necesario reducir gases (de p2 a p1) e incrementar el ángulo de ataque.
Tenemos por tanto que el vuelo nivelado puede sostenerse a distintas velocidades, desde una velocidad baja hasta una velocidad muy alta, cada una de las cuales requiere una combinación específica de potencia y actitud. Estos regímenes de vuelo pueden ser agrupados "grosso modo" en tres categorías: baja velocidad, crucero y alta velocidad.

La fig.5.9.4 muestra estos tres casos mediante la relación entre ángulo de ataque y velocidad. Aunque los números de esa figura solo son un ejemplo, el ángulo de ataque de 3º con alta velocidad podría corresponder perfectamente a una actitud de 1º por debajo del horizonte si las alas tuvieran una incidencia de 4º. Recordemos que Actitudº + Incidenciaº = Ascensoº + Ataqueº, lo que en este caso daría: -1º + 4º = 0º + 3º. En base a esta relación, la actitud en los otros dos casos de la figura sería de 2º (crucero) y 8º (baja velocidad) de morro arriba.



Fig.5.9.4 - Relación entre ángulo de ataque y velocidad en vuelo recto y nivelado.

Un razonamiento adicional. La fórmula de la sustentación (1.3.2) sabemos que es: **L=CL*q*S** siendo **CL** el coeficiente de sustentación, dependiente del tipo de perfil y del ángulo de ataque; **q** la presión aerodinámica (igual a **1/2dv²**) y **S** la superficie alar. Para mantener constante el valor de la sustentación **L**, si se incrementa o disminuye uno de los factores de la fórmula (p.ejemplo la velocidad *v)* debe aumentarse o disminuirse de forma proporcional el otro (el coeficiente de sustentación **CL**) y viceversa.

Según lo detallado, parece quedar claro que el vuelo nivelado requiere el uso *simultáneo* de dos controles: la palanca de gases para aumentar o disminuir la potencia y el volante de control para modificar el ángulo de ataque. Aunque no sea muy exacta, conviene recordar el significado de la regla de oro: "Potencia + Actitud = Rendimiento" (5.1.2).

Cuando se incrementa la potencia, el desplazamiento algo hacia arriba del eje propulsor, más el exceso de potencia necesaria para contrarrestar la resistencia actual, provocará en el avión un levantamiento del morro y su consiguiente ascenso. Por tanto, cuando abra potencia compense este efecto bajando el morro lo suficiente para que con la nueva actitud el avión acelere en lugar de ascender.
Por supuesto, disminuir la potencia tiene el efecto contrario, el aeroplano tenderá a bajar el morro y descender; en este caso tire del volante de control para elevar un poco el morro y mantener la actitud.
En definitiva, cuando necesite realizar ajustes de potencia para incrementar o disminuir la velocidad, tenga en cuenta que también deberá ajustar la actitud de morro para mantener el nivel de vuelo.

5.9.2 Seguir la dirección de vuelo.

Volar en una dirección concreta es algo más sencillo que conservar constantes altitud y velocidad. La tarea principal del piloto en este caso es poner al avión en la dirección deseada y mantener el aeroplano con las alas niveladas respecto al horizonte; cualquier grado de alabeo (si vuela coordinado) provocará la inclinación de la fuerza de sustentación (5.7.1) y la entrada del aeroplano en una trayectoria curvilínea.

5.9.3 Tomar referencias.

Para encontrar la actitud de vuelo adecuada (altitud constante), busque un punto de referencia en el cristal del avión en línea con el horizonte y sus ojos y manténgalo constante; también puede servir como referencia una distancia/ángulo entre el capó del motor y el horizonte. El instrumento más preciso para chequear si esa actitud mantiene el nivel de vuelo, es el altímetro, compruébelo de forma regular y si muestra un cambio de altura reajuste su actitud respecto al horizonte: si gana altura la actitud de morro es excesiva, bájelo; si la está perdiendo la actitud de morro es insuficiente, súbalo.

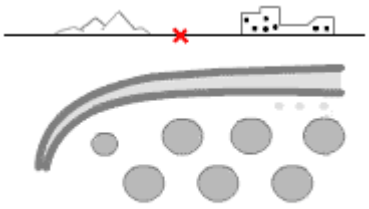


Fig.5.9.5 - Referencia frontal

El variómetro también proporciona información al respecto, pero tarda entre 6 y 8 segundos en dar información fiable, y en aire algo turbulento su información no sirve para mucho. Otro instrumento que aporta información aunque de forma indirecta es el anemómetro; a menos que esté acelerando o decelerando debería marcar una velocidad constante: si el avión gana velocidad es que la actitud de morro es baja; si pierde velocidad la actitud es de morro alto.
El horizonte artificial muestra la actitud de morro del avión respecto al horizonte real, pero esta información no dice (al menos directamente) si mantenemos el nivel de vuelo, puesto que como hemos visto se puede volar nivelado con diferentes combinaciones de actitud y potencia.

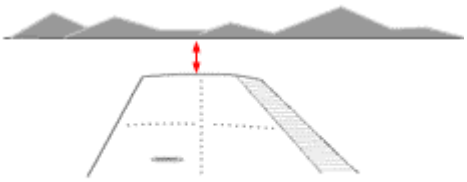


Fig.5.9.6 - Referencia lateral.

Para mantener la dirección de vuelo (rumbo constante), elija como referencia dos o más puntos directamente en su línea de visión y mantenga el morro alineado con esos puntos. Es aconsejable comprobar que el avión vuela lateralmente nivelado chequeando visualmente la posición de la punta de las alas con respecto al horizonte, ambas deben estar equidistantes arriba o abajo del mismo (dependiendo si el avión es de plano alto o plano bajo). Además de acostumbrar al piloto a volar por referencias tiene la ventaja de que amplía su campo de visión.

El mejor instrumento para mantener un vuelo recto es el indicador de dirección; cualquier pequeño alabeo provocará en este instrumento un cambio de rumbo. No olvide calar este instrumento con la brújula en el chequeo prevuelo, después de un viraje, ascenso o descenso, o de una forma regular cada cuarto de hora por ejemplo. Ya sabe que debe calarlo con la brújula cuando esta proporcione una lectura estable.
El horizonte artificial también puede proporcionar información al piloto, tanto por la posición del avioncito miniatura como en la escala graduada de alabeo, aunque puede resultar difícil apreciar variaciones pequeñas. También se puede consultar el indicador de giro y coordinación, cuyo avión miniatura tendrá las alas niveladas si el vuelo es recto, o desniveladas si el avión está girando, aunque en caso de aire algo turbulento este indicador se vuelve impreciso.

Normalmente, la intención del piloto será cubrir un tramo de su ruta de la forma más eficiente posible, y para eso intenta seguir una línea recta que es la distancia más corta entre dos puntos. Pero en el aire basta un ligero viento de través para que el avión se desvíe del punto de destino (deriva), o un pequeño alabeo para que el avión no vuele rectilíneo. El piloto puede controlar el alabeo pero no el viento de costado, así que para no desviarse del punto de destino tiene dos opciones: a) corregir la deriva seleccionando un rumbo mayor o menor según la fuerza del viento; b) poner el rumbo deseado, elegir un punto en el horizonte frente a el y mantener el morro enfilado a ese punto, chequeando con el indicador de dirección ocasionalmente para comprobar que vuela en la dirección adecuada.

Recuerde lo dicho en 5.1.5: no sea forofo de los instrumentos y acostúmbrese a volar siempre que pueda sirviéndose de referencias exteriores, chequeando con los instrumentos lo correcto de las maniobras.

5.9.4 Cambiar de velocidad.

Incrementar la velocidad. Para aumentar la velocidad aumente el paso de gases suavemente hasta las r.p.m. estimadas, este atento a corregir la guiñada adversa y baje el moro paulatinamente para mantener la altitud a medida que la velocidad crece. Mantenga la dirección de vuelo. Cuando alcance la velocidad deseada reajuste la potencia si es necesario y compense el avión.

Reducir la velocidad. Para reducir la velocidad corte gases suavemente hasta las r.p.m. estimadas para esa velocidad. Este atento a corregir cualquier intento de guiñada adversa. De forma simultánea, tire del volante de control para mantener la altura deseada. Mantenga la dirección de vuelo. Al principio necesitará poco volante atrás pero a medida que la velocidad vaya decreciendo necesitará ir incrementando la presión atrás paulatinamente. Cuando haya alcanzado la velocidad deseada reajuste la potencia si hace falta y compense el avión.

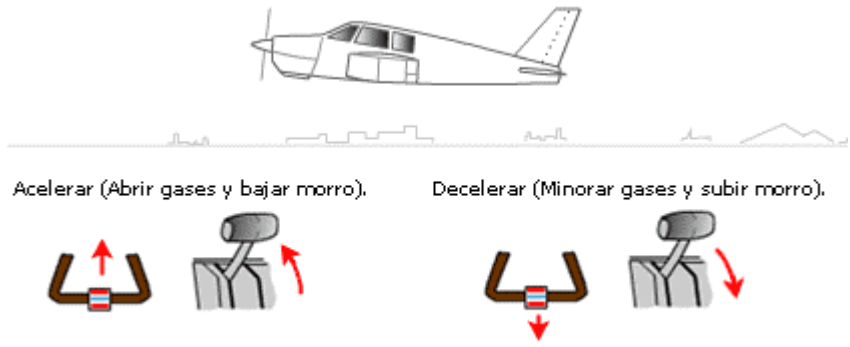


Fig.5.9.7 - Acelerar/decelerar manteniendo altitud.

Aumentar y disminuir la velocidad no es un ejercicio de entrenamiento vano. Normalmente, en vuelo de crucero Vd. pondrá la potencia recomendada por el fabricante para este caso, o alguna muy próxima que le interese, y volará con la velocidad que desarrolle dicha potencia, unas veces algo más alta o más baja que otras, dependerá de las condiciones atmosféricas, del peso, etc...
Pero llegando a su punto de destino y sobre todo al entrar en el circuito de aproximación es muy posible que haya otros aviones delante del suyo preparándose para aterrizar, no es Vd. el primero. Y todos los aviones no son iguales, unos desarrollan mas velocidad que otros, y Vd. debe ajustar su velocidad al menos por dos razones:

1. Mantener una distancia de seguridad adecuada con los aeroplanos que le preceden.
2. Hasta que los precedentes no hayan aterrizado y estén fuera de la pista, la torre no le dará permiso para aterrizar. Así que guarde una distancia adecuada con los que le anteceden si no quiere que la torre le conmine a realizar un "motor y al aire". Y vuelta a realizar el circuito.

Igualmente procure mantener buenos hábitos en mantener la altitud. En vuelo de crucero puede ser algo irrelevante que esté unos pocos pies por encima o por debajo de la altitud deseada, pero en una zona de tráfico intenso o aproximándose a su destino, y mucho más en circuito de tráfico, resulta muy desagradable tener que estar vigilando el espacio arriba y abajo porque no se respeten de forma escrupulosa las altitudes señaladas. Si se mantiene cien pies por encima o por debajo de la altitud debida no va a salir un caza a derribarlo, pero está poniendo en riesgo su seguridad y la de otros. Mantener la altitud es cuestión de seguridad, facilita que otros tráficos nos vean y que los veamos a ellos.

Compensador. El secreto para mantener la velocidad y/o la altura radica en un uso adecuado del compensador. Cuando adquiera una nueva actitud de vuelo, no trabaje de forma inútil con los mandos, compense el avión. Salvo que tenga una gran experiencia, es raro que el movimiento sobre los mandos sea el exactamente requerido, normalmente tendrá que realizar pequeños ajustes. Pues bien, cuando crea tener la velocidad deseada compense el avión, dele un poco de tiempo a adaptarse a la nueva situación, reajuste y vuelva a compensar. Si los aviones se volaran con el compensador no necesitarían otros mandos, así que no caiga en el mal hábito de volar con el compensador. Los mandos no solo controlan el avión sino que a través de ellos podemos sentir el desarrollo del vuelo (esto no es algo metafísico, sino que tiene que ver con la presión que ejerce el flujo de aire y las fuerzas desarrolladas sobre las superficies aerodinámicas).

5.9.5 Generalidades.

A lo largo de este capítulo, cuando se menciona abrir o cerrar gases se parte del supuesto de un avión equipado con hélice de paso fijo. Si el avión tiene hélice de paso variable o constante, debe manejar la palanca de gases y la de paso de hélice, recordando la regla del más valiente: "el paso de hélice es el primero en entrar y el último en salir". Para aumentar potencia primero mueva la palanca de paso y después la de gases, y para disminuir potencia al revés, primero se baja la palanca de gases y después la del paso de hélice.

Un defecto común a los aspirantes a piloto o poco experimentados es que en su deseo por controlar el avión se exageran los movimientos sobre los mandos (sobremando) con lo cual lo único que se consigue es interferir con la estabilidad básica del avión. Paciencia, no hay ninguna fórmula de cuanta cantidad de presión es necesaria sobre cada mando en cada momento, solo hace falta práctica.

A medida que gane experiencia, no tendrá ningún problema en establecer una actitud de vuelo de crucero observando la relación entre alguna parte de su aeroplano, normalmente el morro del avión y la punta de las alas, con el horizonte real.

Es normal que durante el vuelo ocurran pequeñas variaciones en velocidad, altura o rumbo. Si el avión comienza a ganar o perder altitud, realice pequeñas correcciones en la posición de cabeceo y/o la potencia, y ajuste el compensador para que el avión termine volando "sin manos". Si es el rumbo lo que varía, aplique alerones y timón de dirección (pedal) para nivelas las alas.
En algunas ocasiones el avión tiende a virar a la izquierda debido a que el piloto descansa su brazo de forma inconsciente sobre el volante de control, lo mismo que cuando se conduce un automóvil con la mano izquierda y el brazo apoyado en la puerta o la ventanilla.

Mantenga las alas niveladas y aplique si es necesario una ligera presión sobre el pedal derecho para corregir la guiñada adversa. La principal fuente de guiñada adversa se debe al flujo de aire rotatorio de la hélice incidiendo sobre un lado del fuselaje y sobre el empenaje vertical. Aunque los diseños tratan de minimizar este efecto, sobre todo en vuelo de crucero, cuando abra o corte gases puede que el flujo sea mayor o menor de lo previsto así que este prevenido a corregir este efecto. Si permite que el avión alabee este comenzará a virar en la dirección del ala abajo desviándose de su rumbo.

No hace falta que mantenga una tensión insoportable pero tampoco se duerma: "*es mejor realizar un pequeño ajuste ahora que uno mayor más tarde*".

En aire no turbulento, volar recto y nivelado requiere un mínimo de control si el avión está bien compensado, pero en aire turbulento será necesario un mayor esfuerzo con los controles y una mayor coordinación para mantener rumbo, velocidad y altitud.

Sumario.

- El vuelo recto y nivelado consiste en mantener el avión en la dirección establecida, con las alas lateralmente niveladas mientras se mantiene una altitud constante.
- Altura y velocidad constantes implican el equilibrio de dos pares de fuerzas opuestas: empuje/resistencia y sustentación/peso. Este equilibrio se puede lograr con distintas combinaciones de potencia y cabeceo.
- En función de la velocidad desarrollada en vuelo nivelado, se puede realizar una agrupación en tres categorías: baja velocidad, crucero y alta velocidad. Cada una de ellas supone distintos parámetros de potencia y actitud.
- Volar recto y nivelado requiere el uso *simultáneo* de dos controles: la palanca de gases para aumentar o disminuir la potencia y el volante de control para modificar el ángulo de ataque.
- Para acelerar hay que aumentar la potencia y disminuir el ángulo de ataque; para decelerar hay que disminuir potencia y aumentar el ángulo de ataque. Potencia y actitud están interrelacionadas; un cambio de potencia implica un cambio de actitud y viceversa.
- La lectura del altímetro proporciona al piloto la mejor indicación sobre el seguimiento del nivel de vuelo.
- A menos que esté acelerando o decelerando, el anemómetro debe marcar una velocidad constante. Si aumenta es que el morro está bajo, súbalo; si disminuye es que la actitud es de morro arriba, bájelo.

- Para conservar la dirección de vuelo la tarea más importante es mantener el aeroplano con las alas niveladas respecto al horizonte, cualquier grado de alabeo (si vuela coordinado) debe resultar en una desviación del vuelo recto y un cambio en la dirección de vuelo.
- El mejor instrumento para mantener un vuelo recto es el indicador de dirección; cualquier alabeo por pequeño que sea provocará en este instrumento un cambio de rumbo.
- Acostúmbrese a volar por referencias y chequear con los instrumentos. Para mantener el nivel de vuelo, elija un punto de referencia en el morro del avión y manténgalo constante respecto al horizonte; compruebe que la punta de las alas equidistan arriba o abajo del horizonte; una vez puesto el rumbo elija una referencia enfrente y vuele hacia ella.
- No haga esfuerzos inútiles, el secreto para mantener la velocidad y/o la altura radica en un uso adecuado del compensador.
- Recuerde que: "*es mejor realizar un pequeño ajuste ahora que uno mayor más tarde*".

---

(1). Aunque en este "manual" se utilizan indistintamente los términos "empuje" y "potencia", bajo el punto de vista de la física, ambos no son sinónimos. Empuje significa trabajo mientras que potencia es trabajo por unidad de tiempo. Por poner un ejemplo, un automóvil acelera de 0 a 100 km/h en un tiempo mientras que otro más potente acelera lo mismo pero en menos tiempo.

5.10 VUELO LENTO.

Durante la mayor parte del tiempo de vuelo, seguramente que Vd. mantendrá el aeroplano en un rango de velocidades moderadamente altas; sin embargo, hay momentos durante los cuales el avión estará volando con velocidades más bajas, tales como durante el despegue, en el aterrizaje, en el "motor y al aire" de un aterrizaje frustrado, y próximos a entrar en pérdida. Mantener la suficiente sustentación y un control adecuado del aeroplano en tales circunstancias requiere de una cierta velocidad mínima.

Precisamente este ejercicio, denominado también "maniobra a velocidad mínima controlable", tiene como objetivo desarrollar en el piloto:

- Sus percepciones en situaciones que preceden a la pérdida.
- Los reflejos para corregir una situación potencialmente peligrosa.
- La interiorización del "tacto" y uso correcto de los mandos para mantener el control efectivo del avión, especialmente el control de la altitud, la velocidad y la guiñada.
- Su familiarización con las características de vuelo y grado de controlabilidad del aeroplano, en condiciones de muy baja velocidad.
- Un refuerzo sobre la relación entre velocidad y actitud.

5.10.1 Velocidad mínima controlable.

Por definición, el término "velocidad mínima controlable" significa una velocidad en la cual cualquier incremento del ángulo de ataque o del factor de carga, o una reducción de potencia, causará una situación de pérdida inminente. Esta velocidad mínima dependerá de varias circunstancias: el peso y localización del centro de gravedad del aeroplano; el factor de carga impuesto por la maniobra; la altitud de densidad, etc.

En la fig.5.10.1 volvemos con nuestra vieja conocida: la curva de potencia, en la cual podemos observar tres regímenes de vuelo:

El rango de velocidades mínimas controlables (2), el régimen de menor resistencia (3) y el que corresponde a velocidades normales de vuelo (4).

El límite superior del régimen de vuelo normal viene dado por la velocidad máxima (5), mientras que el límite inferior de las velocidades mínimas controlables está en la velocidad de pérdida (1).

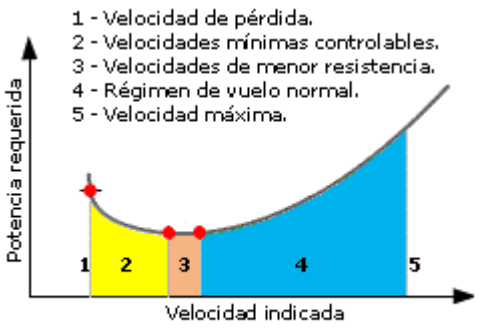


Fig.5.10.1 - Potencia requerida s/velocidad.

Aunque sea reiterativo, recordemos que tomando como base el régimen de menor resistencia (3), volar con velocidades superiores (4) supone menor ángulo de ataque, lo cual implica menos resistencia inducida, pero esta reducción no es suficiente para amortiguar el incremento de resistencia parásita, resultando que es necesario mayor potencia, como bien muestra la curva.

En el régimen que para este capítulo nos interesa, el de velocidades mínimas controlables (2), sucede a la inversa; la resistencia parásita se reduce en proporción a la velocidad, pero en cambio el incremento del ángulo de ataque para mantener la altitud provoca un acusado incremento de la resistencia inducida; resultado: se necesita mayor potencia. Por poner un ejemplo, reducir la velocidad a la mitad, cuadruplica la resistencia inducida, y aunque la resistencia parásita decrezca no es suficiente para evitar que la resistencia total se incremente.

5.10.2 Preparación previa.

Antes de realizar este ejercicio o cualquier otro de los especificados en capítulos siguientes, debemos realizar algunas operaciones previas tales como: tener altura de seguridad, configurar el avión para una correcta realización, y asegurarnos que no existen interferencias con otros posibles tráficos en la zona:

- **Altura de seguridad**. La práctica de ejercicios aéreos debe efectuarse a una altitud que permita una recuperación segura, no más baja de 1500 o 2000 pies sobre el terreno (AGL=Above Ground Level).
- **Preparación del avión**. Bomba de combustible ON (si el avión la tiene), luz de aterrizaje ON, poner calefacción al carburador si se sospecha posible riesgo de engelamiento, instrumentos en "verde", depósito más lleno, mezcla rica, etc. Si el avión tiene hélice de paso variable llevar la palanca todo adelante, a su posición de paso corto.
- **Virajes de barrido**. Con ellos se pretende comprobar que no interferimos ni somos interferidos por otros aviones volando en la zona. Para ello, anotamos mentalmente el rumbo que llevamos, iniciamos un giro de 90º (es indiferente por la izquierda o la derecha). Al finalizar ese giro, realizamos otro de 180º en sentido contrario, y una vez finalizado este volvemos a realizar otro de 90º al lado contrario con que volvemos al rumbo inicial.
  Durante todo este tiempo se debe escrutar detenidamente el espacio y estar atentos a otros tráficos en la zona, para eso se realizan los virajes de barrido.

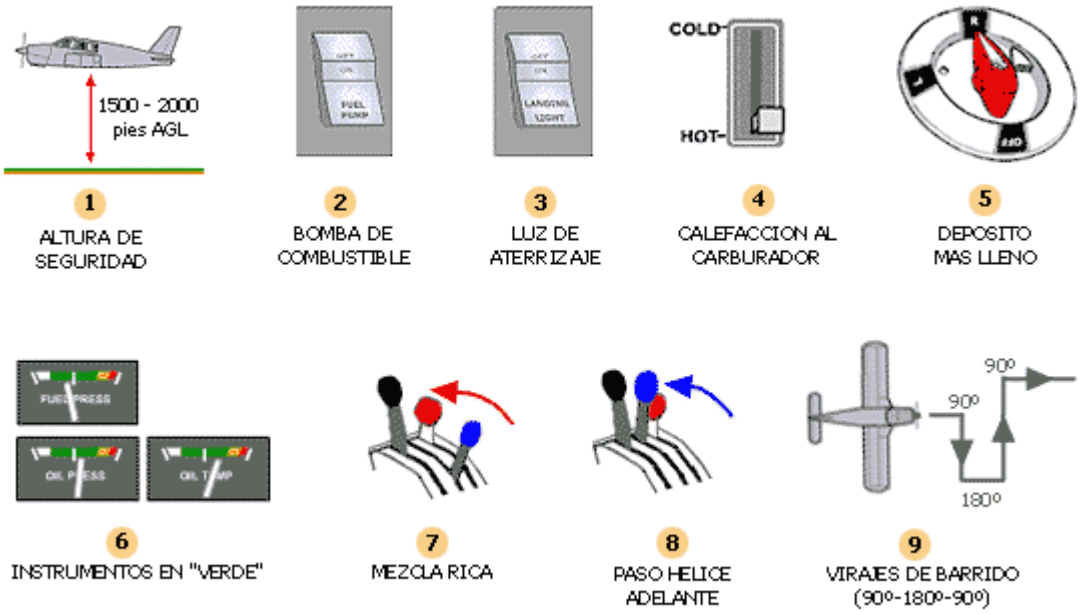


Fig.5.10.2 - Preparación del aeroplano previa a la realización de ejercicios.

La fig.5.10.2 muestra un ejemplo de preparación del aeroplano. Algunas de estas tareas son imprescindibles (altura, instrumentos en verde, mezcla rica, virajes de barrido); otras son también imprescindibles pero dependen de si el aeroplano cuenta o no con ese dispositivo (bomba de combustible, paso adelante de la hélice); otra es conveniente (luz de aterrizaje) pues hace más fácil que otros aviones nos vean, y por último otras son opcionales y dependerán de las circunstancias (calefacción al carburador, depósito más lleno).

Naturalmente, al finalizar la práctica, no debemos olvidarnos de volver a configurar el avión tal como estaba antes de la maniobra; quitar flaps si se pusieron, bomba de combustible OFF, apagar luz de aterrizaje, quitar calefacción al carburador, reajustar la mezcla y el paso de la hélice, etc.

5.10.3 Realización del ejercicio.

Es de suma importancia destacar que los números a tener en cuenta (velocidades, r.p.m., grados de alabeo, grados de extensión de flaps, etc.) durante la realización de este ejercicio son diferentes para cada modelo de avión.

1. En primer lugar elija un punto de referencia en el horizonte para mantener el rumbo fácilmente.
2. Con el avión en vuelo recto y nivelado, corte gases hasta ____ r.p.m. y mantenga la altitud aumentando progresivamente el ángulo de ataque.
3. Al aumentar el ángulo de ataque la velocidad disminuirá. Cuando alcance la máxima del arco blanco o un poco menos extienda el primer punto de flap. Compense el avión. A medida que la velocidad sigue disminuyendo extienda el segundo punto de flap y compense. Así hasta extender todo el flap, manteniendo la altura en todo momento.
4. Con el avión (con todo el flap extendido) aproximándose a la velocidad crítica de ___ nudos (un poco mayor que la de comienzo del arco blanco - velocidad de pérdida con full flap) necesitará añadir potencia para mantener velocidad y altitud (tal como vimos en la fig.5.10.1).
5. Controle que la velocidad y la altitud se mantengan constantes, mediante el volante de control y la palanca de gases. Mantenga el rumbo y la bola del indicador de coordinación centrada.
6. Con el avión estabilizado en altura y velocidad, realice virajes a izquierda y derecha, sin superar en ningún caso __ grados de alabeo. Puede necesitar algo más de potencia para mantener velocidad y altitud.
7. Mentalice la posición de morro a mantener, las respuestas de los mandos, y las reacciones del avión con esa baja velocidad.

Si pierde mucha velocidad o aplica poca potencia, tirar más del volante de control puede hacerle perder altitud o entrar en pérdida. También puede entrar en pérdida si en estas condiciones de vuelo realiza un viraje con excesivo alabeo, debido a la menor magnitud del componente vertical de la sustentación, o si mueve los mandos de forma abrupta.

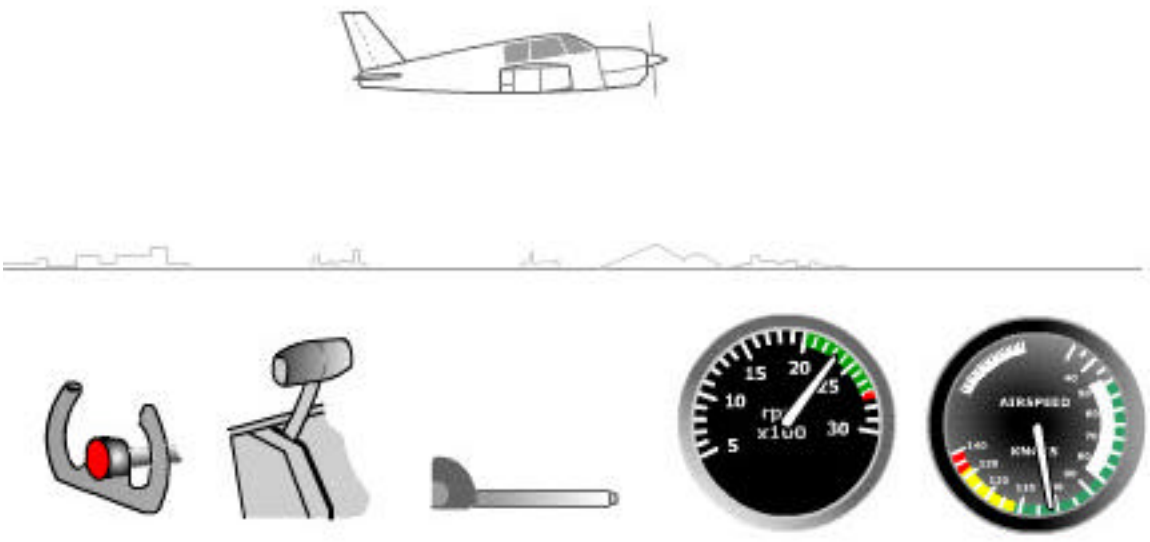


Fig.5.10.3 - Ejercicio de vuelo lento (animación flash).

5.10.4 Recuperación.

1. Asegúrese que la calefacción al carburador esta OFF y aplique gases a fondo.
2. Con toda la potencia aplicada, el avión puede que tienda a subir, así que disminuya el ángulo de ataque bajando un poco el morro del avión para mantener la altitud y deje que el avión acelere.
3. Quite un punto de flap y mantenga al avión estabilizado en altura.
4. A medida que el avión sigue acelerando, quite otro punto de flap y estabilice. Así hasta retraer todo el flap, por supuesto manteniendo la altitud.
5. Una vez recogido todo el flap, deje que el avión acelere a velocidad de crucero, y ajuste potencia y actitud para mantener velocidad y altura. Compense de nuevo.



Fig.5.10.4 - Recuperación del ejercicio (animación flash).

Algunos manuales anglosajones, sugieren realizar este mismo ejercicio de forma alternativa sin utilizar flaps, esto es: Con el aeroplano en vuelo recto y nivelado baje la potencia hasta la requerida para vuelo de máxima duración (régimen de menor resistencia); levante el morro del avión un poco; la velocidad decrecerá debido al incremento de la resistencia y el avión tenderá a perder altura; para evitarlo necesitará incrementar la potencia; así hasta mantener una velocidad algo mayor que la de pérdida sin cambiar de altitud.

IMPORTANTE: Recuerde que el arco blanco del anemómetro marca los límites de velocidades de operación con flaps extendidos.
Por tanto, la extensión de los mismos debe realizarse en este rango de velocidades, y por la misma razón su retracción debe hacerse mientras el avión mantiene la velocidad dentro de esos límites.
Por debajo del límite inferior el avión entrará en pérdida, por encima del límite superior los flaps pueden sufrir daños estructurales.

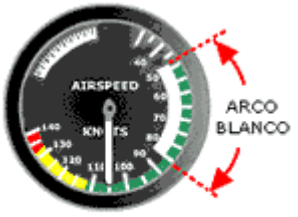


Fig.5.10.5 - Velocidades de operación con flaps.

5.10.5 Efectividad de los mandos.

La respuesta de los controles en vuelo lento es diferente de las experimentadas en vuelo normal.

La falta de respuesta de los alerones es lo más destacable, menos efectiva cuanto menor sea la velocidad. De hecho, en virajes, la resistencia de los alerones en muchos aeroplanos se hace bastante más pronunciada produce una notable guiñada adversa, opuesta a la dirección del giro deseado. Virar en vuelo lento implica aplicar pedal del lado del giro para compensar esta guiñada mediante el timón de dirección.

Los timones de profundidad y dirección siguen siendo efectivos en este régimen de velocidades, debido a la influencia de la estela de la hélice sobre los mismos.

La combinación de alta potencia, que implica una mayor estela de la hélice, junto a la elevada actitud de morro arriba, que supone un mayor empuje asimétrico de la hélice, implican una tendencia del avión a virar a la izquierda (guiñada adversa), la cual recordemos debe corregirse aplicado pedal derecho. La cantidad a aplicar dependerá de la combinación de potencia y velocidad.

También, la combinación de alta potencia y baja velocidad, desarrolla un efecto tuerca que tiende a inclinar el avión a la izquierda. Este efecto es menos notable que la guiñada adversa, pero no obstante debe ser compensado utilizando los alerones.

5.10.6 Otras consideraciones.

Volar a muy bajas velocidades exige una atención total al control y manejo del aeroplano por parte del piloto, debe atender tanto a las indicaciones de los instrumentos como a las referencias visuales exteriores. Es importante para él, habituarse a interpretar las indicaciones de los instrumentos de vuelo en cuanto a velocidad, altitud y actitud mientras vuela a muy bajas velocidades.

La operación de vuelo lento implica un fuerte consumo de combustible y si esta se prolonga en exceso el motor puede sufrir sobrecalentamiento por la pobre refrigeración. Si tiene necesidad de operar en vuelo lento por cualquier razón, procure reducir el tiempo de vuelo en este régimen al mínimo.

Tanto la extensión como la retracción de flaps debe hacerse de forma paulatina, punto por punto y nunca de golpe. Retraer todo el flap de una sola vez, resultará muy posiblemente en una pérdida de altitud e incluso en una pérdida.

Ya se ha dicho que el secreto de mantener altura y velocidad consiste en manejar adecuadamente el compensador. En estas condiciones de vuelo es más importante que nunca, utilícelo tan a menudo como sea necesario para compensar los cambios en la presión de los controles.

Dado que se vuela en velocidades cercanas a la pérdida, puede suceder que por algún descuido en la realización del ejercicio la velocidad caiga por debajo de la mínima controlable y entremos en pérdida. Cercanos a la velocidad de pérdida, factores tales como la densidad del aire, el peso del avión y la resistencia de los flaps pueden producir una situación en la cual sea imposible mantener la altitud. La recuperación de la pérdida, en esta y otras circunstancias, se detalla en el próximo capítulo.

Debe tenerse presente que el vuelo lento no implica dificultades serias de control del avión o condiciones implícitas de riesgo, sin embargo, este régimen de vuelo amplifica los errores de pilotaje, lo cual hace esencial desarrollar una técnica de vuelo adecuada y precisa.

Por otra parte, este ejercicio pone a prueba lo mencionado en el capítulo 1.10 en cuanto a que el mando de gases es el control primario de la altitud mientras que el volante de control ejerce el control primario sobre la velocidad.

Sumario.

- El término "velocidad mínima controlable" significa una velocidad en la cual cualquier incremento del ángulo de ataque o del factor de carga, o una reducción de potencia, causará una situación de pérdida inminente.
- Esta velocidad mínima dependerá de varias circunstancias: el peso y localización del centro de gravedad del aeroplano; el factor de carga impuesto por la maniobra; la altitud de densidad, etc.
- El ejercicio de vuelo lento, denominado también "maniobra a velocidad mínima controlable", tiene como objetivo desarrollar en el piloto la familiarización con el grado de controlabilidad y características de vuelo del aeroplano, así como tomarle el "tacto" a los controles en este régimen de vuelo.
- El régimen de vuelo lento comprende las velocidades comprendidas en el rango desde la velocidad de mínima resistencia hasta la velocidad inmediatamente anterior a la de pérdida.
- En este régimen, aunque la resistencia parásita disminuye, el incremento del ángulo de ataque para mantener la altitud produce un fuerte impacto sobre la resistencia inducida dando como resultado un aumento de la resistencia total.
- Antes de realizar este ejercicio, u otro similar, se deben efectuar una serie de operaciones previas tales como: tener suficiente altura de seguridad, configurar el avión, y asegurar la no posibilidad de interferencias con otros tráficos en la zona.
- En líneas generales, el ejercicio consiste en cortar gases hasta un determinado régimen de r.p.m., con velocidades en arco blanco ir extendiendo flaps, manteniendo la altura en todo momento, y una vez alcanzada una velocidad algo mayor que la de pérdida, mantener el avión estabilizado en velocidad y altitud.
- Volar con velocidad más bajas que la de menor resistencia, manteniendo la altitud por supuesto, implica mayor potencia, como muestra el gráfico de la curva de potencia necesaria. Por tanto, una vez alcanzada la velocidad mínima controlable será necesaria aplicar más potencia si se quiere mantener altitud y velocidad.
- La recuperación de la maniobra, consiste en aplicar gases a fondo, retraer flap paulatinamente mientras la velocidad se mantiene en el arco blanco, y una vez alcanzada la velocidad de crucero, ajustar gases y ángulo de ataque para mantener ese régimen.
- La respuesta de los controles en vuelo lento es diferente de las experimentadas en vuelo normal, siendo lo más destacable la poca efectividad de los alerones.
- La combinación de alta potencia y baja velocidad, junto a la elevada actitud de morro arriba, implican una tendencia del avión a virar a la izquierda (guiñada adversa), la cual debe corregirse aplicado pedal derecho en una cuantía proporcional.
- La operación en vuelo lento implica un fuerte consumo de combustible y si esta se prolonga en exceso el motor puede sufrir sobrecalentamiento por la pobre refrigeración. Procure reducir el tiempo de vuelo en este régimen al mínimo.
- Utilice el compensador tan a menudo como sea necesario, apoyarse en él hace que mantener velocidad y altitud sea más fácil y cómodo.

TÉCNICA DE VUELO (II)

6 DESARROLLO DE LA SECCIÓN.

6.1 CIRCUITO.
- 6.1.1 Esquema de circuito.
- 6.1.2 Sentido de los virajes.
- 6.1.3 Realización del circuito.
- 6.1.4 Detallando un poco más los tramos.
- 6.1.5 Entrada y salida del circuito.
- 6.1.6 Fallo de radio.
- 6.1.7 Aeródromos no controlados.
- 6.1.8 Otras consideraciones.

6.2 ATERRIZAJE - LANDING (I).
- 6.2.1 Listas de chequeo.
- 6.2.2 Preparación del aterrizaje.
- 6.2.3 Aproximación final.
- 6.2.4 Velocidad de aproximación.
- 6.2.5 Ángulo de descenso (senda).
- 6.2.6 Ayudándose de los sentidos.
- 6.2.7 Alineación con el centro de la pista.
- 6.2.8 Juzgando si está alto o bajo.
- 6.2.9 Indicadores visuales de aproximación.
- 6.2.10 Resumen de la aproximación final.

6.3 ATERRIZAJE - LANDING (II).
- 6.3.1 Utilización de flaps en aterrizaje.
- 6.3.2 Efecto del viento en la aproximación.
- 6.3.3 Corrigiendo la aproximación.
- 6.3.4 Recogida.
- 6.3.5 Mas sobre la recogida.
- 6.3.6 Toma y carrera posterior.
- 6.3.7 Otras percepciones y buenos hábitos.
- 6.3.8 Resumen del aterrizaje.

 ©M.A.Muñoz

TÉCNICA DE VUELO (II)

6.1 CIRCUITO.

En cualquier ciudad, el conductor de un automóvil puede moverse por cualquier calle (que no esté prohibida claro) y seguir el itinerario que le sea más cómodo para llegar a su destino, pero si se encuentra atrapado en un atasco no tiene mas remedio que parar y avanzar cuando pueda, aunque también puede optar por aparcar el automóvil y moverse por otro medio. En el aire, las cosas son distintas: un avión en ruta puede por lo general elegir el itinerario que más le convenga, naturalmente que ateniéndose a las normas y reglamentos vigentes, pero si se encuentra con una congestión de tráfico (previsiblemente en un aeródromo y sus cercanías) no puede efectuar una parada, todo lo más puede aminorar la marcha, y aun así estará moviéndose a una velocidad entre 60 y 150 nudos. En estas condiciones, para lograr un tráfico lo más ordenado y fluido posible, pero principalmente por seguridad, es necesario establecer esquemas o patrones de tráfico y procedimientos de control, estando obligado el piloto a conocerlos y aplicarlos en el aeropuerto en que vaya a operar.

Un patrón de tráfico se compone de dos partes: una, denominada aproximación (se publica como carta de aproximación), que incluye los itinerarios para aproximarse o abandonar el aeropuerto, los puntos de notificación y contacto con la torre de control, obstáculos, etc. y otra denominada circuito (publicada como circuito de tránsito de aeródromo) que comprende la trayectoria específica que debe volar un aeroplano en las cercanías de un aeródromo. La terminología que emplea el Reglamento de Navegación Aérea para lo que conocemos como circuito es "*circuito de tránsito de aeródromo*" y lo define como "*trayectoria especificada que deben seguir las aeronaves al evolucionar en las inmediaciones de un aeródromo*". Naturalmente, la trayectoria concreta de cada circuito depende de las condiciones del viento, la pista en servicio, obstáculos, etc.

6.1.1 Esquema de circuito.

El esquema básico de vuelo en circuito para cada aeródromo es fijo, pero su orientación depende de la pista en servicio en cada momento. La figura geométrica de un circuito corresponde a un rectángulo, cuyos lados se denominan tramos, posicionados en relación a la pista en servicio. Tomando esta como referencia, cada uno de estos tramos recibe el nombre siguiente (fig.6.1.1):

a. **Viento en cara**. Tramo correspondiente al despegue, su dirección y sentido coincide, como es obvio, con la pista en uso. Este tramo comprende desde que el avión deja el suelo hasta que comienza a virar hacia el tramo siguiente.
b. **Viento cruzado**. Es el siguiente lado del rectángulo, adyacente a viento en cara y una trayectoria perpendicular a la pista.
c. **Viento en cola**. Tramo paralelo a la pista pero de sentido contrario al despegue/aterrizaje. Este tramo suele realizarse a una distancia aproximada entre 1/2 y 1 milla de la pista.
d. **Base**. Perpendicular a la pista, como el tramo de viento cruzado pero de sentido opuesto.
e. **Final**. Tramo correspondiente a la trayectoria de aterrizaje, siguiendo la prolongación del eje de pista, obviamente su dirección y sentido son los de la pista.

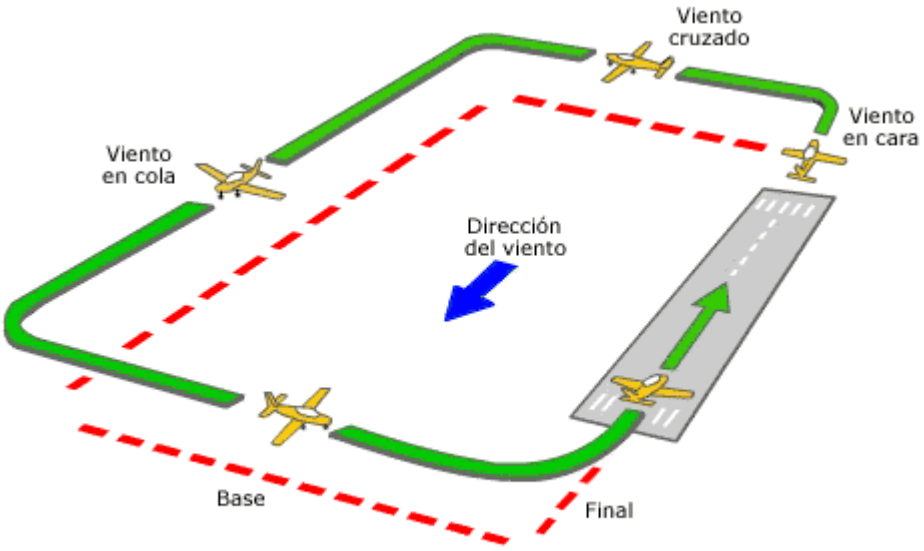


Fig.6.1.1 - Nomenclatura de los tramos de un circuito.

Aunque suenan un poco engorrosas para mi gusto, las denominaciones y definiciones del Reglamento de Circulación Aérea (R.C.A.) a este respecto son las siguientes:

- Tramo en contra del viento/viento en cara, es la trayectoria de vuelo paralela a la pista de aterrizaje en la dirección del aterrizaje.
- Tramo viento cruzado/viento a través, es la trayectoria de vuelo perpendicular a la pista de aterrizaje, a partir del final del tramo en contra del viento/viento en cara.
- Tramo a favor del viento/viento en cola" es la trayectoria de vuelo paralela a la pista de aterrizaje en la dirección opuesta al aterrizaje, a partir del final del tramo viento cruzado/viento a través.
- Tramo básico/pierna base (no sede donde sale esto de pierna) y lo define como la trayectoria de vuelo perpendicular a la pista de aterrizaje, a partir del final del tramo a favor del viento/viento en cola.
- Tramo final, es la trayectoria de vuelo en la dirección del aterrizaje a lo largo de la prolongación del eje de pista, a partir del final del tramo básico/pierna base, y que normalmente termina en la pista de aterrizaje.

6.1.2 Sentido de los virajes.

El mismo R.C.A. en su apartado 2.3.2.5, relativo a las operaciones en un aeródromo, sobre el mismo, o en sus cercanías, establece que: las aeronaves que operen en un aeródromo o en sus cercanías, tanto si se hallan o no en una zona de tránsito de aeródromo:

1. observarán el tránsito de aeródromo a fin de evitar colisiones;
2. se ajustarán al circuito de tránsito formado por otras aeronaves en vuelo, o lo evitarán;
3. harán todos los virajes hacia la izquierda al aproximarse para aterrizar y después del despegue, a menos que se les ordene lo contrario;
4. aterrizarán y despegarán contra el viento, a menos que sea preferible otro sentido por razones de seguridad, de configuración de la pista, o de tránsito aéreo.

Tal como especifica el punto 3 anterior, el circuito estándar se realiza a "izquierdas", todos los virajes se realizan hacia la izquierda y salvo que se diga otra cosa, en un aeródromo se debe seguir este estándar. Ahora bien, esto NO significa que TODOS los circuitos estén trazados así; los hay que se vuelan normalmente a "derechas".

A la hora de dibujar la trayectoria de un circuito, se procura hacerlo de forma que los virajes sean a izquierdas porque es lo más cómodo para el piloto, dada la posición que ocupa en el aeroplano, pero hay otros factores a tener en cuenta; por ejemplo: si una pista tiene a un lado un pueblo muy cercano pero al otro tiene un área deshabitada, es de sentido común que los aviones maniobren preferentemente sobre esta última evitando sobrevolar el pueblo, por seguridad y ahorrar molestias a sus habitantes. Lo mismo si hay obstáculos, etc.

Sigamos con más aclaraciones. Interpretando literalmente los apartados anteriores, podríamos llegar a la conclusión que una vez establecido el sentido de los virajes de un circuito, este permanece inmutable. Como resulta que según el punto 4 anterior, con buen criterio por cierto, hemos de despegar y aterrizar contra el viento, concluiríamos que para realizar los virajes *siempre* en el mismo sentido habríamos de volar el circuito unas veces por un lado de la pista y otras veces por el otro. Esta situación se ve en la fig.6.1.2: para realizar todos los virajes a izquierdas, si la pista en servicio fuera la 28 tendríamos que hacer el circuito azul, pero si estuviera en servicio la 10 tendríamos que hacer el circuito rojo. Pues bien, esta interpretación es incorrecta.

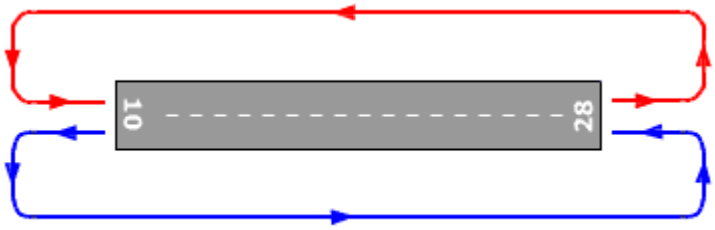


Fig.6.1.2 - Interpretación *errónea* del estandar de viraje.

En casi todos los lugares, y los aeropuertos no son una excepción, los vientos dominantes suelen soplar aproximadamente desde la misma dirección. Al construir una pista se procura hacer un estudio de dichos vientos para darle la mejor orientación y así favorecer las operaciones de despegue y aterrizaje, debido a lo cual estos se realizan habitualmente en el mismo sentido. Ahora bien, es inevitable que algunos días e incluso intervalos de horas, el viento venga de dirección distinta a la habitual y entonces sea necesario cambiar el sentido de las operaciones. El circuito no cambia, sigue teniendo el mismo patrón de vuelo, lo que ocurre es que ese día (o durante esas horas) se vuela por el mismo lado de la pista pero en sentido contrario (fig.6.1.3).

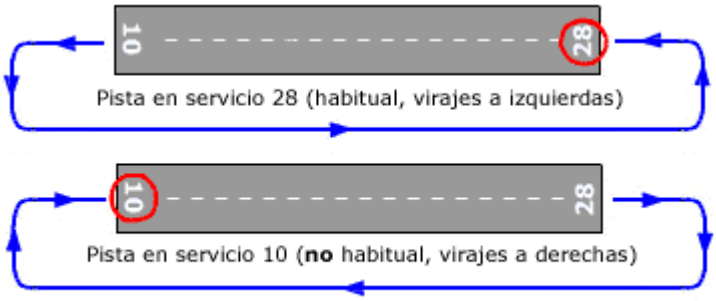


Fig.6.1.3 - Virajes en circuito según pista en servicio.

¿Cómo sabemos si el circuito es a izquierdas o derechas?. En primer lugar, se supone que antes de salir a volar se ha planificado el vuelo, y ello incluye, entre otras cosas, el estudio de las cartas y el conocimiento de como hacer la aproximación, frecuencia de la torre, puntos de notificación, patrón de circuito, etc. Si el vuelo está bien planificado no debería haber problemas al respecto. Aún así, en caso de duda lo más fácil y directo es preguntarlo al controlador cuando se establece contacto por radio para entrar en la zona de control del aeródromo.

Normalmente, el sentido de los virajes se puede deducir de las comunicaciones con la torre. Si al contactar para entrar en su zona de control recibimos una autorización del tipo "...MAG46 QNH 1030 notifique viento en cola *izquierda dos ocho*", el controlador está indicando que:

> La pista en servicio es la 28, por tanto el viento en cola (que recordemos se realiza en sentido opuesto a la pista en servicio) se hará con rumbo 100º (opuesto al 280º). Los virajes para aterrizar en esa pista son a la *izquierda*, por tanto durante la realización de los tramos, la pista de aterrizaje debe quedar a nuestra izquierda, o lo que es lo mismo el avión vuela el tramo viento en cola a la derecha de la pista.

En nuestra respuesta debemos incluir siempre el sentido del viraje: "...MAG46, con QNH 1030 notificaré viento en cola *izquierda* dos ocho".

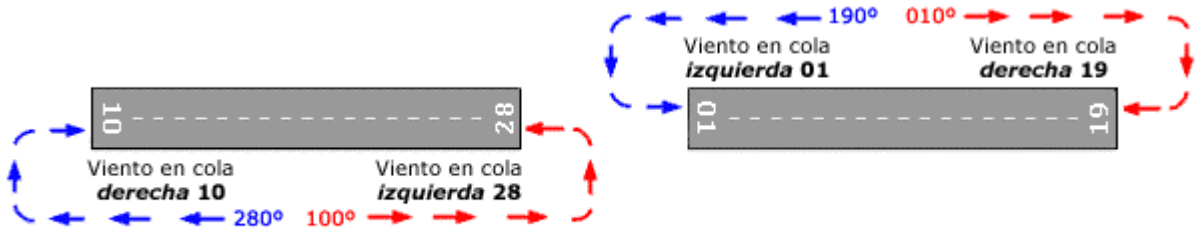


Fig.6.1.4 - Deducción de rumbos y virajes en circuito por la autorización de la torre.

6.1.3 Realización del circuito.

Viento en cara. Este tramo comienza con el despegue, continuándose en el mismo hasta alcanzar una altura que suele ser de unos 500 pies (salvo que se diga otra cosa). Alcanzada esa altura se realiza un viraje de aproximadamente 90º para entrar en el tramo de viento cruzado.

Viento cruzado. Como la altura de circuito suele ser de 1000 pies, lo normal es que al menos durante el comienzo de este tramo el aeroplano siga en ascenso. Dependiendo de la fuerza y dirección del viento, puede ser necesario poner un rumbo algo más abierto para corregir la deriva que nos empuja hacia el aeródromo. Por simple geometría, si el viento en cola queremos hacerlo a una distancia de la pista de entre 1/2 y 1 milla, la longitud del tramo de viento cruzado es también de entre 1/2 y 1 milla. Recorrida esa distancia, otro viraje de unos 90º nos situará al comienzo del tramo siguiente: viento en cola.

Viento en cola. Salvo condiciones ambientales adversas o que el aeroplano este equipado con un motor de poca potencia, lo normal es que al entrar en este tramo tengamos ya altitud de circuito.

El tramo de viento en cola se vuela paralelo a la pista de aterrizaje, a una distancia prudencial del aeródromo, tal que nos permita realizar una toma de emergencia en caso de fallo de motor. Conviene acostumbrarse a tomar referencias de la distancia a la pista en relación con el borde el ala.

Aunque se debe prestar atención al tráfico en todo momento, dado que las entradas al circuito se suelen realizar en la mitad aproximada de este tramo, debemos extremar la atención durante este recorrido.

A la altura de la cabecera de pista se suelen realizar los procedimientos previos al aterrizaje y se va reduciendo velocidad. Pasada la cabecera de pista una distancia adecuada para realizar la posterior maniobra de aterrizaje, un nuevo giro de 90º pone al aeroplano en el tramo siguiente: base.

Base. En este tramo, se termina de ajustar la velocidad de forma que el viraje a final se realice con la velocidad de planeo recomendada o si acaso muy cercana. El piloto debe calcular mentalmente a que distancia debe comenzar el viraje a final para que a la terminación del mismo se encuentre sobre la prolongación del eje de pista.

Final. También denominado aproximación final en algunos manuales, en este último tramo se efectúa la maniobra de aterrizaje propiamente dicha, solo queda seguir los procedimientos al respecto, mantener senda de planeo y velocidad adecuadas, el avión alineado con el eje de pista, y comunicar nuestra posición a la torre para que nos autorice el aterrizaje si es que no lo hizo en algún tramo anterior, y por supuesto lo más delicado: aterrizar.

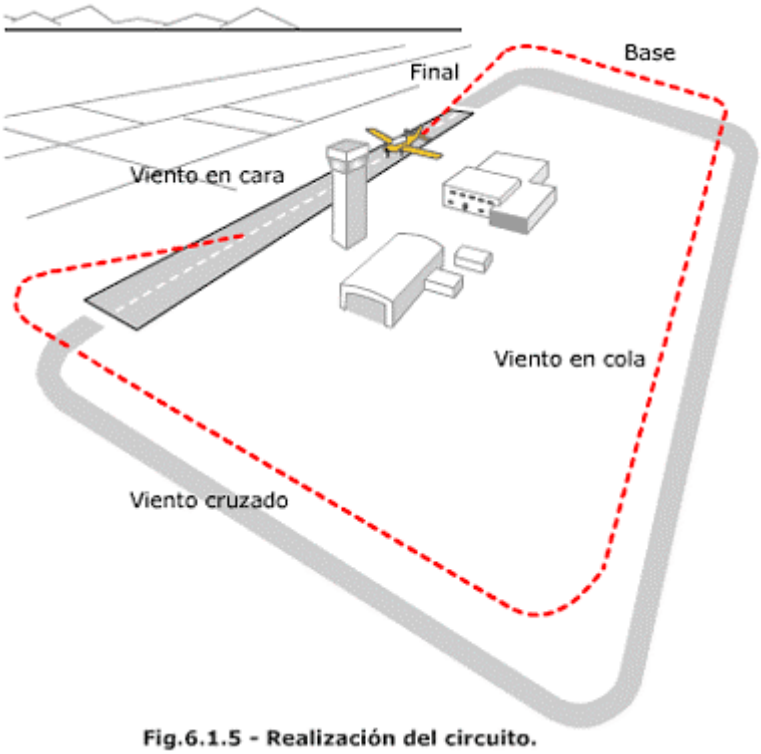


Fig.6.1.5 - Realización del circuito.

Como veremos en los siguientes capítulos, el secreto de un buen aterrizaje comienza por mantener una buena senda de descenso o planeo. Si no se mantiene la altitud de circuito y unas veces se cortan gases por ejemplo a 3000' y otra a 2900'; si en el momento de cortar gases el aeroplano tiene unas veces 100 nudos de velocidad y otras 80; o se comienza el descenso unas veces en el tramo de base y otras en final, etc. cada senda a realizar será diferente y habrá que estar corrigiéndola continuamente (eso sin contar con el factor viento). Si por el contrario, se cortan gases a la misma altura, con la misma velocidad del aeroplano, y sobre un punto determinado de un tramo, las sendas serán similares para el mismo avión y las correcciones deben ser mínimas. Volvemos a lo de siempre, adopte e interiorice unas buenas rutinas de vuelo.

6.1.4 Detallando un poco más los tramos.

Cuando la torre u otro piloto solicitan nuestra situación en el circuito, si además de indicar a nuestro interlocutor en que tramo estamos, se le concreta en que parte aproximada del mismo, que duda cabe que facilitamos la labor de localización.
Como los tramos de viento cruzado y base son más bien cortos, en ellos simplemente se comunica que estamos en ese tramo: "*MAG46 en base, MAG46 virando a final, ...*". En el tramo de viento en cola, puede ser suficiente con mencionar la situación en el primer, segundo o tercer tercio del tramo: "*MAG46 en primer tercio de viento en cola*". Por último, el término "corta final" se emplea para concretar nuestra situación en la última parte del tramo final, próximos a aterrizar: "*MAG46 en corta final*".

A veces, la torre puede solicitar que hagamos una base "corta", por ejemplo para aligerar el tráfico aéreo. Con ello, lo que se pide es que, sin menoscabo de la seguridad, reduzcamos al máximo los dos últimos tramos de base y final. En este caso, se suele poner al avión en planeo o semiplaneo a poco de rebasar la cabecera de pista, volando una trayectoria semicircular descendente que acabe en "corta final", con el avión centrado con la pista y en disposición de aterrizar inmediatamente.
También podemos solicitar nosotros la realización de una base corta, para tomarle el pulso al planeo del aeroplano y afianzar nuestra capacidad para aterrizar simulando una parada de motor en el tramo viento en cola. Es un ejercicio muy recomendable.

6.1.5 Entrada y salida del circuito.

La entrada al circuito se hace generalmente en el tramo viento en cola, entrando en un ángulo de 45º sobre el punto medio de dicho tramo. No obstante, la torre puede autorizar la entrada al circuito por cualquier punto del mismo o que vuele directo hacia el tramo final sin realizar el trazado habitual, en cualquier caso con la altitud especificada; si ha de realizarse un descenso o ascenso a altitud de circuito, este debe hacerse fuera del área del mismo. Se da por supuesto que ha entrado en la zona de control del aeródromo con autorización.

La salida del circuito se hace tras alcanzar la altura de seguridad virando 45º desde el tramo de viento cruzado y hacia fuera del circuito, para después continuar la dirección de vuelo prevista. En algunos casos se puede abandonar el circuito siguiendo la extensión del tramo viento en cara, pero si el circuito es a izquierdas y necesita virar a la derecha al final de este tramo para abandonar el circuito, debe contar con autorización de la torre.

6.1.6 Fallo de radio.

En la publicación de los circuitos de tránsito de aeródromo, suelen incluirse los procedimientos a seguir en caso de fallo de radio. Estos procedimientos pueden variar de uno a otro aeródromo; por ejemplo: en algunos se sigue un circuito alternativo, normalmente con un trazado y altitud diferentes (aunque en el mismo sentido que el circuito normal) y se está a la espera de las señales visuales de la torre. La fig.6.1.6 muestra un ejemplo de este tipo; el aeroplano con fallo de radio debe aproximarse tal como se especifica a una altura de 2600 ft. y volar alrededor de la torre a 2500 ft. hasta recibir de esta las señales visuales oportunas.

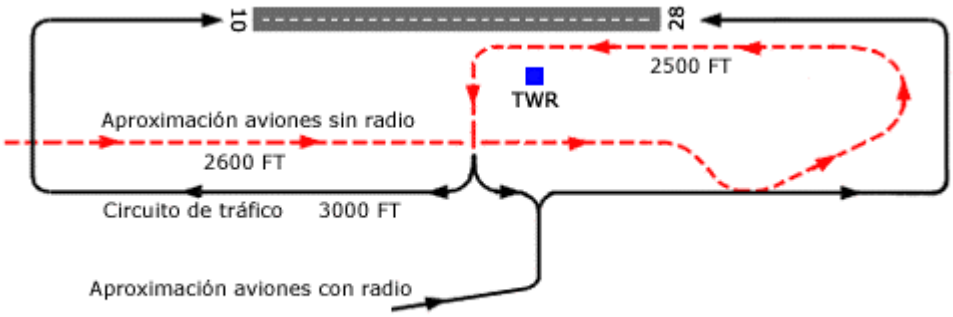


Fig.6.1.6 - Circuitos de tráfico normal y con fallo de radio.

En otros aeródromos, se puede exigir al piloto que mantenga al aeroplano en un área claramente delimitada con una altitud concreta (orbitando), a la vista de la torre, y a la espera de recibir las correspondientes señales visuales de la misma; etc. En la fig.6.1.7 se muestran un par de ejemplos de procedimientos de este tipo; el piloto orbitará en el área determinada, con la altitud que se especifica en cada caso (400 ft. AGL y 1500 ft. MSL respectivamente), a la espera de las señales visuales que procedan.

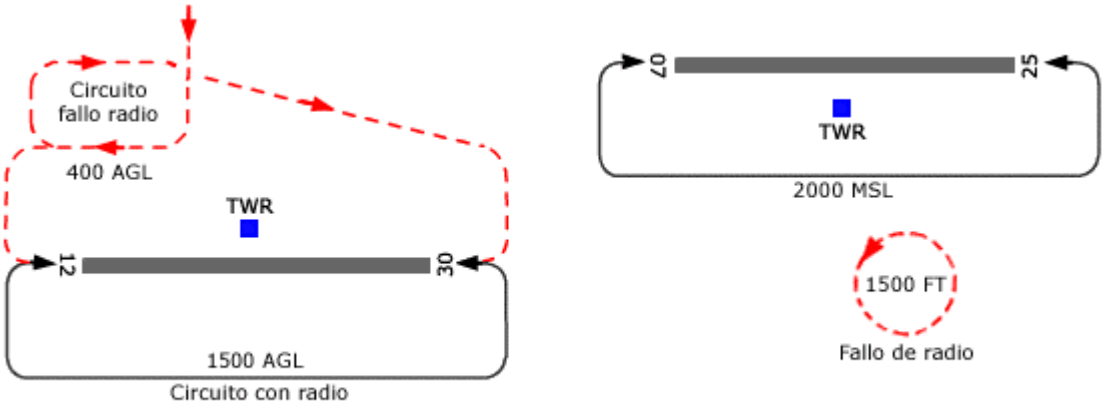


Fig.6.1.7 - Ejemplos de circuitos de espera con fallo de radio.

6.1.7 Aeródromos no controlados.

Cuando se opera en un aeródromo con torre de control, el piloto recibe por radio la información pertinente sobre el circuito y tráfico en el mismo. Si no hay torre de control, es responsabilidad del piloto determinar la dirección del circuito, cumplir con las reglas de tráfico y mostrar la cortesía común para con otros pilotos operando en el área. No se espera que el piloto tenga un conocimiento íntimo de los circuitos de todos los aeródromos, pero si que este familiarizado con el trazado rectangular estándar.

Si el aeródromo no está controlado, debemos sintonizar la frecuencia adecuada y prestar atención a las comunicaciones, no solo para obtener información sobre otros aparatos operando en el mismo, sino además porque en caso de duda sobre como es el circuito podemos preguntar a otro piloto. En el peor de los casos, p.ejemplo: estamos solos y desconocemos el aeródromo, deberíamos seguir el estándar siempre y cuando ello no suponga riesgo, viole otras normas (sobrevolar a baja altura áreas de población), o la presencia de obstáculos recomienden otro procedimiento.

Por idénticas razones, debemos dar a conocer nuestra incorporación al circuito *"MAG44 entrando viento en cola cero ocho*" así como el paso por cada tramo del circuito, principalmente en el tramo final "*MAG46 en final cero ocho*". Obviamente, en caso de fallo de radio se debe extremar la observación de otros tráficos y extremar las medidas de seguridad, antes de entrar en circuito y durante la realización del mismo.

6.1.8 Otras consideraciones.

Es muy importante acostumbrarse a volar el circuito por referencia a la pista, NO por las referencias en el suelo (árboles, lagunas, casas, etc.). De esta manera se desarrolla un mejor juicio que será valioso cuando haya que realizar una aproximación a otras pistas que pueden tener otro sentido o simplemente ser desconocidas.

Normalmente, la mayoría de los circuitos suelen realizarse a una altitud de 1000 pies sobre el terreno; si no hay nada establecido al respecto, esta es la altitud de circuito recomendada.

En las comunicaciones con la torre se omite la palabra "tramo"; por ejemplo: "*Vitoria, MAG46 en final 22*". En caso de tener que notificar la entrada o el paso por viento en cola, es recomendable que la comunicación se produzca al pasar frente a la torre, o si no hay torre sobre el punto medio de dicho tramo.

En función de la fuerza y dirección del viento, será necesario corregir la deriva para mantener una dirección de vuelo adecuada.

Es esencial mantener la atención a ambos lados, arriba y abajo, debido a la más que posible presencia de otros aeroplanos operando en el circuito. El uso de cualquier circuito, de los servicios de tráfico, y el seguimiento de los procedimientos no descargan al piloto de la responsabilidad de ver y evitar otros tráficos. La carga de trabajo añadida al piloto más la posible congestión de tráfico, hace que las cercanías de un aeródromo sea el lugar con más riesgo potencial de colisión.

Es extremadamente importante que el piloto esquematice mentalmente la posición de otros aeroplanos en el circuito o a punto de entrar en él, particularmente de aquellos que le preceden. Para ello debe escrutar el área circundante y prestar atención a la radio. Sea cuidadoso para no "cortar" la trayectoria de un avión precedente, virando de base a final antes de tiempo, mantenga su turno.
Recuerde que está prohibido aterrizar hasta que el avión precedente haya abandonado la pista, así que mantenga suficiente distancia para darle tiempo a que aterrice y abandone la pista, pues en caso contrario Vd. tendrá que realizar un "motor y al aire". Por otro lado, un exceso de distanciamiento en un circuito congestionado alarga innecesariamente la trayectoria de los aviones que vienen detrás, así que sin descuidar la seguridad procure juzgar adecuadamente la distancia a mantener según la velocidad del precedente.

El espaciamiento correcto se consigue alargando o estrechando la trayectoria o bien aumentando o disminuyendo la velocidad. No haga nunca un giro de 360º para mantener la distancia con el precedente sin solicitar autorización al controlador, salvo riesgo inminente. Si al aeródromo no está controlado, avise por radio la maniobra con anticipación suficiente.

Juzgue cuando ha de comenzar el descenso en planeo en función de la altura del aeroplano, su velocidad, y el ángulo con el cual observa la pista.

Si tiene pensado aterrizar con flap, puede ser una buena rutina bajar el primer punto viento en cola a la altura de la cabecera de pista; el segundo, dependiendo del flap que quiera bajar y de la extensión posible del mismo, durante el tramo de base, bajando el último punto (si procede) en el tramo final.

Algunos aeródromos en los cuales operan tanto aviones ligeros como ultraligeros, dadas las diferentes características y performances de ambos, tienen circuitos diferenciados para ambos tipos de tráfico. Pero aunque unos operen por un lado de la pista en servicio y otros por el otro, a la hora de aterrizar o despegar ambos comparten la pista. Así que conviene extremar la atención, más teniendo en cuenta que los ultraligeros pueden llevar radio o no llevarla (no es obligatorio).

Sumario.

- Para lograr un tráfico lo más ordenado y fluido posible, pero principalmente por seguridad, es necesario establecer esquemas o patrones de tráfico y procedimientos de control, estando obligado el piloto a conocerlos y aplicarlos en el aeropuerto en que vaya a operar.
- Un patrón de tráfico se compone de dos partes: la aproximación y el circuito.
- Un "*circuito de tránsito de aeródromo*" es la "*trayectoria especificada que deben seguir las aeronaves al evolucionar en las inmediaciones de un aeródromo*". Esta trayectoria concreta en cada circuito depende de las condiciones del viento, la pista en servicio, obstáculos, etc.
- La figura geométrica de un circuito corresponde a un rectángulo, cuyos lados se denominan tramos, posicionados en relación con la pista en servicio.
- Estos tramos reciben la denominación de: viento cruzado, viento en cola, base, y final.
- El estándar de virajes en circuito es realizarlos hacia la izquierda; no obstante, algunos pueden tener establecidos virajes no estándar, a la derecha.
- Normalmente, la autorización para entrar en el área de control de un aeródromo e incorporarse al circuito de tráfico del mismo, incluye el sentido de los giros a realizar: "MAG46 notifique viento en cola *izquierda* dos ocho".

- Cuando se inquiere sobre la posición del aeroplano en circuito, detallar de forma un poco más precisa el punto del tramo en que se encuentra facilita la labor de localización. Por ejemplo: en el primer tercio de viento en cola, virando a base, en corta final, etc.
- La entrada al circuito se hace generalmente en el tramo viento en cola, entrando en un ángulo de 45º sobre el punto medio de dicho tramo, aunque el controlador puede autorizar la entrada al circuito por cualquier punto del mismo o que vuele directo hacia el tramo final sin realizar el trazado habitual.
- Si ha de realizarse un descenso o ascenso a altitud de circuito, este debe hacerse fuera del área del circuito y antes de entrar al mismo.
- La salida del circuito se hace tras alcanzar la altura de seguridad, virando 45º desde el tramo de viento cruzado para después continuar la dirección de vuelo prevista, o continuando el vuelo como una extensión del viento en cara.
- En caso de fallo de radio, los procedimientos a seguir varían de un aeródromo a otro. En algunos se vuela un circuito alternativo con una altitud diferente al circuito normal, en otros se especifica la espera en un área determinada, en algunos se dice que se siga el circuito normal extremando las precauciones, etc. Con independencia del procedimiento, en un aeródromo con torre esta nos hará las señales visuales que corresponda, autorizando o denegando el aterrizaje.
- En aeródromos no controlados, es de vital importancia mantenerse en la frecuencia adecuada para estar al tanto de otros aeroplanos en sus cercanías o en el circuito de tráfico, así como comunicar nuestro paso por cada tramo, cuando menos al incorporarse al circuito y durante el tramo final.
- Acostúmbrese a volar el circuito por referencia a la pista, NO por las referencias en el suelo (árboles, lagunas, casas, etc.). Desarrollará con ello una experiencia que le será muy útil en aeródromos desconocidos.
- Es esencial mantener la atención a ambos lados, arriba y abajo, debido a la más que posible presencia de otros aeroplanos operando en el circuito. El uso de cualquier circuito, de los servicios de tráfico, y el seguimiento de los procedimientos no descarga al piloto de la responsabilidad de ver y evitar otros tráficos.
- Sea en todo momento consciente de la posición de otros aeroplanos en el circuito o a punto de entrar en él, particularmente de aquellos que le preceden. Para ello debe escrutar el área alrededor y prestar atención a la radio.
- Sea cuidadoso para no "cortar" la trayectoria de un avión precedente, virando de base a final antes de tiempo, mantenga su turno.
- Considere cuando ha de comenzar el descenso en planeo en función de la altura de vuelo, la velocidad, y el ángulo con el cual observa la pista.

TÉCNICA DE VUELO (II)

6.2 ATERRIZAJE (I)

Es frecuente entre los aspirantes a piloto creer que el aterrizaje de un aeroplano constituye la culminación del entrenamiento y que una vez aprendido, todo lo demás es complementario. Es verdad que el aterrizaje supone procedimientos y percepciones que son un poco distintos a los que implican otras fases del vuelo, pero la creencia anterior, de la que nadie está libre, si persiste, produce dos resultados desafortunados: el primero es que la tensión que supone la excesiva importancia dada a esta maniobra puede perjudicar el progreso de aprendizaje (incluido el propio aterrizaje), y segundo, que una vez se sabe aterrizar se descuida la obtención de una eficiencia adecuada para las demás fases de vuelo.

Aterrizar un aeroplano, consiste en permitir que este contacte con el terreno a la velocidad vertical más baja posible, y en circunstancias normales también a la velocidad horizontal (respecto al suelo) más baja posible, consistentes ambas con un control adecuado. En definitiva, se trata de poner al aeroplano en pérdida a muy pocos centímetros del suelo manteniendo el control direccional.

Por muchos aterrizajes que realice, puede que muchas veces las condiciones ambientales sean buenas, pero raramente serán ideales. Así que, aunque por razones didácticas se haga la clasificación siguiente, es muy posible que en más de un aterrizaje tenga que aplicar alguna combinación de procedimientos. Por ejemplo: normalmente el viento no sopla *exactamente* en cara casi nunca, pero si está solo ligeramente cruzado y tiene poca intensidad la técnica de aterrizaje "normal" es suficiente; ahora bien, si sopla muy cruzado y con cierta intensidad, tendrá que echar mano de los procedimientos de aterrizaje con viento cruzado; si además la pista es corta y blanda, y existen obstáculos en la senda de planeo es obvio que necesita combinar acertadamente varios procedimientos. En teoría pues, los aterrizajes pueden ser clasificados en:

- Aterrizaje normal.
- Aterrizaje con viento cruzado.
- Aterrizaje en campo corto.
- Aterrizaje en campo blando.

En estos primeros capítulos se desarrolla la realización de esta maniobra en circunstancias normales (aterrizaje normal), las técnicas que puede aplicar el piloto para mantener el control del aeroplano de forma positiva, y los factores que afectan al aeroplano en esta fase. Los fundamentos básicos detallados servirán para, con ligeras variaciones, abordar posteriormente los aterrizajes "no normales". Considero un aterrizaje "normal" aquel en que se dispone de potencia suficiente en el motor, el viento no es fuerte ni racheado y en la aproximación final sopla de frente o casi de frente, no hay obstáculos en la senda de descenso y la pista es suficientemente larga y bien pavimentada.

Antes de proseguir, la recomendación habitual: utilice el sentido común. No debe ponerse nunca (salvo que alguna circunstancia extraordinaria le obligue) en una situación tal que tenga que aterrizar en esa pista y precisamente ahora. Si está aproximándose a una pista corta y blanda, hay fuertes ráfagas de viento cruzado y el sol le ciega o hay poca visibilidad, puede ser mas seguro, si es posible, demorar el aterrizaje hasta que las condiciones mejoren o intentarlo en un aeródromo alternativo.

6.2.1 Listas de chequeo.

Muchos pilotos siguen escrupulosamente la lista escrita de chequeo durante el prevuelo, pero confían en su memoria durante la aproximación y aterrizaje. Esto no es muy bueno, pero es fácil de comprender: durante el prevuelo no se está atado al asiento por el cinturón de seguridad ni ocupado volando el avión; en esas condiciones tomarse unos minutos para encontrar la lista y leerla no tiene mayor importancia. Pero con el avión en la senda de planeo, no es momento ni lugar para ponerse a buscarla y leerla, así que se sugiere algunas de estas cosas:

1. Si utiliza habitualmente un "piernografo", pegue una copia de la checklist en el mismo.
2. Pegue una copia de la checklist en algún espacio fácilmente visible en el panel de instrumentos.
3. Asegúrese que la checklist corresponde al modelo de avión que está volando. Unos aviones tienen tren de aterrizaje retráctil y otros no; en algunos conviene poner calefacción al carburador casi siempre y en otros solo en circunstancias más críticas; la hélice propulsora puede ser de paso fijo o de paso variable; la velocidad de mejor descenso difiere de un avión a otro; etc.
4. Si prefiere memorizar la lista, viento en cola preparándose para el aterrizaje no es el mejor momento. Unas millas antes de entrar en el circuito de tráfico del aeródromo, lea la checklist, piense sobre ella y grábesela en la memoria, o recítela en voz alta si lo prefiere.
5. La checklist debería cubrir tres puntos: aproximación, aterrizaje y motor y al aire. Piense que en el momento que decide frustrar el aterrizaje se encuentra cercano a la pista y con poca velocidad, o sea bajo y lento. Las operaciones necesarias debe tenerlas memorizadas para realizarlas de forma rápida y precisa, no puede entretenerse con listas de chequeo.

Algunos manuales de operación incluyen en la lista de chequeo un único apartado de Aproximación y Aterrizaje (Approach and Landing); otros dividen las tareas en dos: Aproximación (Approach) y Preaterrizaje (Before Landing). Esta última forma me parece más lógica pues se ajusta mejor a la discontinuidad en el tiempo entre las distintas tareas. La fig.6.2.1 muestra un par de ejemplos de los procedimientos de Aproximación y Preaterrizaje; la lista de la izquierda corresponde a un aeroplano con tren fijo y hélice de paso fijo, la de la derecha a otro con tren fijo y hélice de paso variable.

8 - APROXIMACION	
- Selec.Combustible.....	MAS LLENO
- COM/NAV.....	FRECUENCIAS
- Altímetro.....	QNH
- Mezcla.....	RICA
- Luz aterrizaje.....	A/R
9 - ANTES DE ATERRIZAR	
- Bomba combustible.....	ON
- Luz aterrizaje.....	ON
- Flaps.....	A/R
- Velocidad aproximac.....	SEGUN FLAP
- Calefacc.carburador.....	A/R

11 - APPROACH	
- Fuel selector.....	FULLEST TANK
- COM/NAV.....	FREQ.SET
- Approach clearance..	RECEIVED
- Altimeter.....	QNH SET
- Mixture.....	RICH
12 - BEFORE LANDING	
- Elect.Fuel Pump.....ON	
- Throttle.....18" - 2500 rpm	
- Flaps.....A/R	
- Propeller/final leg.....FULL FORWARD	
- Carburator heat.....A/R	

Fig.6.2.1 - Ejemplos de lista de chequeo (Aproximación y Preaterrizaje).
(Para propósitos operacionales consulte el POH del avión)

De los ejemplos de la fig. 6.2.1, puede deducirse que los puntos incluidos en el apartado *Aproximación* se efectúan antes de entrar en circuito, es decir para "aproximarse" al aeródromo: sintonizar frecuencia, solicitar autorización para entrar en la zona de control del aeródromo, ajustar el altímetro al QNH recibido, etc. Conviene destacar en la lista de la izquierda, que la luz de aterrizaje "A/R" advierte que, si por ejemplo el aeródromo tiene mucho tráfico o volamos en una hora cercana al ocaso, es prudente llevar la luz de aterrizaje encendida al aproximarse.

Las probabilidades de una colisión en vuelo no son muy altas, pero la mayoría de ellas se concentran en las proximidades de los aeropuertos; por esta razón, cuando se procede a un aeródromo saturado, o la torre nos comunica que hay otros aviones en aproximación o realizando circuitos, es prudente encender la luz de aterrizaje para fácilitar que otros tráficos nos vean.

¿En que momento conviene realizar los procedimientos de la checklist?. Si como veremos después, en aproximación final el piloto ha de ocuparse (y según las condiciones puede que bastante) en mantener la velocidad, la senda de planeo y el alineamiento con la pista, corregir el efecto del viento lateral, si no ha recibido todavía permiso de aterrizaje por parte de la torre estar atento a su recepción, etc., parece sensato tener el avión previamente configurado para esta maniobra. No espere al último momento para hacerlo deprisa y corriendo ni se deje para el final operaciones que puede ejecutar antes.

Conviene recordar que las checklist indican las operaciones y el orden conveniente de las mismas de forma más a menos precisa, pero son deliberadamente ambiguas respecto al momento exacto que deben ejecutarse. Por ejemplo: "Antes de aterrizar" no dice si las operaciones han de hacerse *x* minutos, *x* millas de distancia o *x* píes de altura, antes del aterrizaje; solo indica que deben hacerse *antes* de aterrizar. Tampoco sugiere que todas las operaciones se efectúen inmediatamente una detrás de otra, dependerá de su conveniencia; por ejemplo: puede interesarle encender la bomba de combustible y la luz de aterrizaje mientras está viento en cola y posponer el encendido de la calefacción al carburador hasta la aproximación final.

Respecto a los procedimientos previos al aterrizaje (Before Landing), salvo alguno muy específico, como por ejemplo aplicar calefacción al carburador, es buena norma que estén completados **antes** de comenzar el descenso para aterrizar.

Como lo habitual es incorporarse al circuito aproximadamente por la mitad del tramo viento en cola, el paso del aeroplano perpendicular al comienzo de la pista (fig.6.2.2) constituye una buena referencia para comenzar a configurar el avión (bomba de combustible, mezcla rica, luz de aterrizaje, paso de la hélice y presión de manifold...). Si la incorporación al circuito se produce por el tramo de base o se entra directamente al tramo final, prevea realizar los procedimientos de la checklist con antelación suficiente.

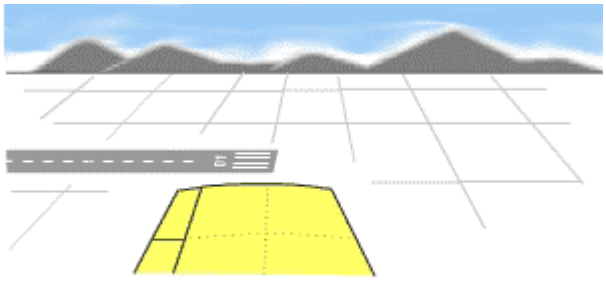


Fig.6.2.2 - Referencia para iniciar procedimientos previos al aterrizaje (Before Landing).

Puesto que lo más posible es que tenga que ejecutar los procedimientos habiéndolos memorizado previamente, es una buena costumbre seguir unas pautas concretas, las que prefiera y le sean más útiles, pero siempre las mismas. Si está realizando tomas y despegues, el tiempo para comprobaciones de checklist se reduce prácticamente a nada, así que lo mejor es que tenga perfectamente memorizados y muy claros los procedimientos a seguir y en que momento efectuarlos.

6.2.2 Preparación del aterrizaje.

Con fines exclusivamente didácticos, la maniobra de aterrizaje se suele dividir en fases arbitrarias, de las cuales la fig.6.2.3 ofrece una muestra como ejemplo. La mayoría de los manuales y libros que conozco limitan los detalles de la maniobra a las fases fundamentales, esto es: aproximación final (2), recogida (3) y aterrizaje o toma de contacto que en muchos casos se abrevia "toma" (4); muy pocos son los que detallan, o si lo hacen es de forma somera, los pasos previos a realizar antes de tener el avión en aproximación final. La denominación en inglés de las fases mostradas en la figura es: base leg, final approach, flare, touchdown y after landing roll.

Como lo habitual es que aprenda a aterrizar practicando tomas y despegues, para lo cual debe trazar el circuito una y otra vez, considero de interés incluir este apartado (que denomino preparación del aterrizaje porque no se me ocurría otro mejor) con una serie de recomendaciones y procedimientos a realizar en los tramos de circuito anteriores a la aproximación final.

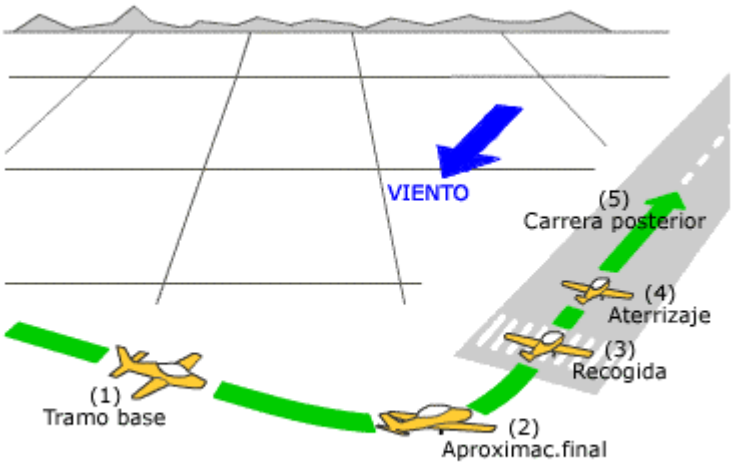


Fig.6.2.3 - Las distintas fases de un aterrizaje.

Viento en cola. En la parte final de este tramo:

- Si va a aterrizar con flap (full o parcial) este es un buen momento para extender el primer punto.
- Sin perder altura, comience a reducir velocidad acercándose paulatinamente (unos nudos por encima) a la recomendada por el fabricante para la aproximación final. Además de prepararse para la fase siguiente, al volar más lento esto le dejará un poco más de tiempo para realizar todas las operaciones restantes de forma pausada y con seguridad.
- Al llegar al punto que considere apropiado, en función de la velocidad que lleve y dependiendo de si le precede o no algún avión, realice un viraje suave hacia el tramo base. Una regla bastante utilizada en circuitos realizados a 1000 pies AGL es comenzar el viraje cuando el umbral de la pista quede por detrás unos dos planos de ala aproximadamente o poco más (fig.6.2.4).
- Si tiene aviones por delante, antes de virar a base espere a que el predecesor inmediato pase en dirección a la pista frente al borde de su ala. Ajuste su velocidad y distancia al precedente durante el resto de la maniobra para que aquel pueda aterrizar y dejar la pista libre antes de que Vd. se encuentre en corta final. Si se echa encima, la torre no le autorizará el aterrizaje y tendrá que realizar motor y al aire. Recuerde: no debe aterrizar mientras haya algún avión en la pista.

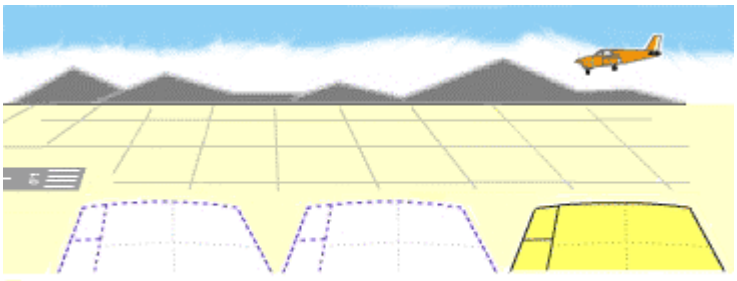


Fig.6.2.4 - Referencia para viraje a base.

Tramo base. En este tramo el piloto tiene que tomar dos decisiones que pueden afectar a la calidad del aterrizaje: una consiste en juzgar a que altitud y distancia debe comenzar el descenso para aterrizar en el lugar deseado; la otra es decidir en que punto virar a aproximación final para poner al avión en una senda de planeo, adecuada a las circunstancias y alineado con el eje de la pista. Lo habitual es que primero reduzca potencia, deje que la velocidad se acerque a la de descenso y después comience este. Muchos manuales sugieren que pasada la mitad del tramo base, reduzca potencia y comience un descenso en planeo, pues con ello se familiariza con la capacidad de planeo del aeroplano, experiencia valiosa si tuviera que realizar un aterrizaje de emergencia; ahora bien, esto obliga al piloto a "afinar", pues acorta la duración de la siguiente fase (aproximación final) y con ello el tiempo disponible para corregir posibles desviaciones.

Como regla general:

- Comience el tramo manteniendo la altura y vuele perpendicular a la pista. Como aterrizará contra el viento (no debe aterrizar con viento de cola), en este tramo le estará soplando de costado alejándolo de la pista, así que deberá corregir la deriva.
- Si todavía no ha terminado de completar la preparación del aeroplano para el aterrizaje no lo deje para mas tarde, hágalo ahora.
- Si piensa aterrizar con full flap y este tiene más de dos ángulos de calaje (puntos de flap) extienda el segundo punto de flap (el último se deja para la aproximación final). La regla habitual para aterrizar con full flap es ir desplegándolo en los tramos anteriores a la aproximación final, y en ese tramo bajar el último punto.
- Si su aeroplano tiene tren retráctil, bájelo y compruebe que está "abajo y bloqueado".
- Ajuste la dirección de vuelo para compensar la deriva por el viento y juzgue cuando comenzar el descenso por el ángulo con el cual observa la pista.
- Llegado a este punto, reduzca potencia y ajuste el cabeceo para lograr la velocidad de descenso recomendada; a continuación comience el descenso manteniendo esa velocidad.
- Exactamente en que punto comienza a descender y en cual vira a aproximación final (pueden coincidir ambos) depende principalmente de la altura del circuito, de la fuerza del viento, de la cantidad de flap extendido y naturalmente, de la presencia o ausencia de obstáculos.
- Con viento de cierta intensidad en aproximación final o si se extienden flaps para mantener un ángulo de descenso pronunciado, el tramo base debería volarse perpendicularmente mas cercano a la pista que si el viento es suave o va a aterrizar con el avión limpio, o sea sin flaps extendidos (fig.6.2.5).

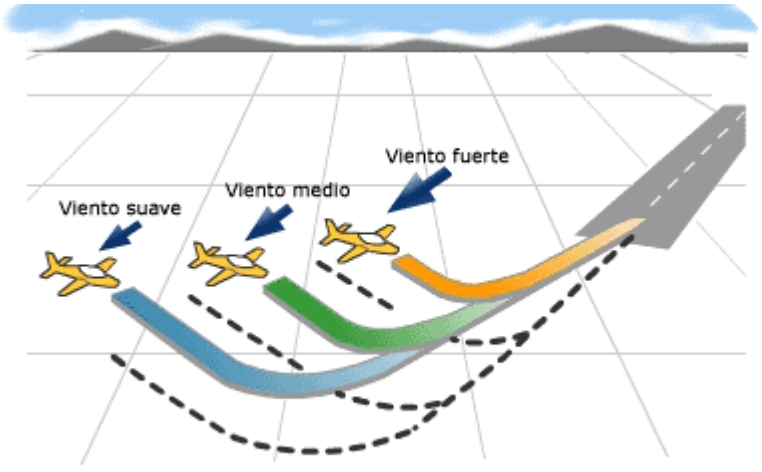


Fig.6.2.5 - Distancia de tramo base a la pista s/fuerza del viento

A medida que su entrenamiento progrese, se irá acostumbrando a visualizar la trayectoria de toda la aproximación mientras se encuentra en la última parte del tramo viento en cola; esto le ayudará a estimar la trayectoria del tramo base, donde reducir velocidad, cuando comenzar el descenso y cuando virar a aproximación final. Este último viraje debe dejar al aeroplano alineado con el eje de la pista, lo cual requiere del piloto estimar cuidadosamente el punto de comienzo y el radio de giro. Respecto al mismo conviene tener en cuenta un par de cosas:

- Normalmente no debe exceder de 30º (viraje medio) porque el aeroplano vuela a baja velocidad y cuanto mayor sea el ángulo de alabeo mayor es la velocidad en la cual el avión entra en pérdida; dado que se hace a relativamente baja altitud entrar en pérdida supone un desastre casi seguro. Si se encuentra con que tiene que realizar un viraje pronunciado (más de 30º) porque lo ha iniciado tarde y se aleja de la trayectoria que le pondrá centrado en la pista, puede ser preferible discontinuar la aproximación, hacer un motor y al aire y en el próximo intento planificar el comienzo del viraje un poco antes. Lo contrario es ponerse en una situación de riesgo innecesario.
- Debe realizarse a una altitud segura, que dependerá de la elevación del terreno y la altura de los posibles obstáculos a lo largo de la trayectoria, y a una distancia de la pista tal que no impida llegar a ella en caso de fallo de motor, pero que posibilite una aproximación final lo suficientemente larga para que el piloto pueda: (1) estimar con precisión el punto de contacto con la superficie mientras mantiene el ángulo de descenso y velocidad apropiados, y (2) corregir cualquier desviación en los parámetros anteriores durante este último tramo.

6.2.3 Aproximación final.

Es la parte del circuito de tráfico en el cual el aeroplano desciende, alineado con el eje de la pista, en línea recta hacia el punto de referencia estimado para aterrizar. Como la aproximación final no deja de ser un descenso, de cierta precisión pero descenso al fin y al cabo, conviene revisar los detalles de esta maniobra (capítulo.5.6).

El objetivo consiste en mantener el avión con una velocidad y ángulo de descenso tales que:

1. la siguiente fase -recogida- no sea crítica sino de fácil realización,
2. el aeroplano alcance el punto de contacto con la superficie en el primer tercio de la pista,
3. la velocidad mantenida no suponga riesgo de pérdida, y
4. que esa velocidad proporcione tras la recogida un mínimo de sustentación y velocidad respecto al suelo justo antes de contactar.

Aterrizar con el viento en cara colabora a reducir la velocidad horizontal; la velocidad vertical (tasa de descenso) mas baja posible acorde con las circunstancias, exige obtener la actitud y velocidad aerodinámica correctas en el momento preciso.

Esas son las claves esenciales a controlar en esta fase: *velocidad* y *ángulo de descenso*. Velocidad, porque no quiere apostar por una pérdida a baja altura ni tampoco presentarse en la recogida como un relámpago, "comiéndose" tanta pista que se le indigeste; ángulo de descenso porque quiere aterrizar próximo al punto de referencia, ni mucho antes ni mucho después, y ambas porque desea una recogida suave y fácil en vez de laboriosa y crítica.

No vaya a creer que las cuatro fuerzas fundamentales (sustentación, peso, resistencia y potencia) han desaparecido, ahí están omnipresentes. Lo que ocurre es que veremos como controlando las dos variables mencionadas, para lo cual es posible que tengamos que variar alguna de las fuerzas (salvo el peso que es invariable), el piloto controla la aproximación.

La geometría de una aproximación final se muestra en la figura 6.2.6: el aeroplano se encuentra a una altura (**a**) y distancia (**d**) del punto de la pista elegido como referencia para aterrizar, debiendo por tanto recorrer **d** millas mientras desciende **a** pies de forma simultánea, o si se prefiere de otra forma, descender **a** pies mientras recorre **d** millas.



Fig.6.2.6 - Geometría de la aproximación final (senda de descenso).

Obviamente, la distancia horizontal **d** recorrida es función de la velocidad del avión respecto al suelo, es decir, de la velocidad aerodinámica mas/menos la velocidad del viento, mientras que la distancia vertical **a** depende de la tasa de descenso. La relación entre **a** y **d** es lo que conocemos como *ratio de descenso,* el cual se expresa angularmente en la figura como ángulo de descenso. Así pues, la labor del piloto consiste en ajustar los parámetros de vuelo de forma que, con las premisas mencionadas anteriormente (velocidad y ángulo de descenso dentro de unos límites), el aeroplano recorra ambas distancias de forma simultánea.

Aun a riesgo de ser redundante, recordemos como se relacionan velocidad y tasa de descenso mediante la curva de potencia (fig.6.2.7):

1. Para una misma potencia (P1), la tasa de descenso (T1, T2) varía con la velocidad (V1 y V2 respectivamente).
2. Con una misma velocidad (V1), la tasa de descenso (T1, T3) varía con la potencia (P1, P2), a mayor potencia menor tasa de descenso.
3. Para una potencia concreta (P1 o P2), el mejor ratio de descenso (mayor distancia recorrida por unidad de altura perdida) lo proporciona una velocidad determinada (V1), por encima o debajo de esta el ratio de descenso se empobrece.

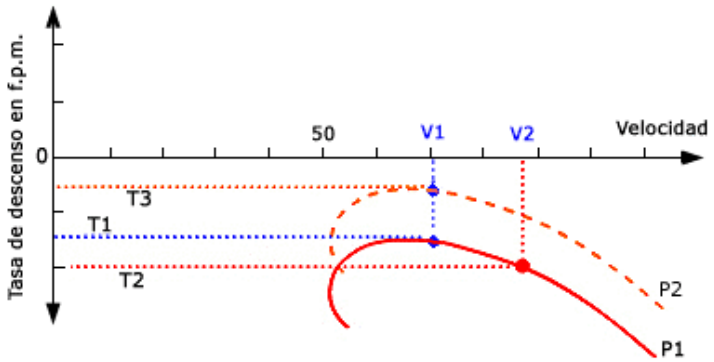


Fig.6.2.7 - La tasa de descenso varía con la potencia y la velocidad.

Como el ángulo de descenso depende de la altura **a** y la distancia horizontal recorrida **d**, si el piloto varía la velocidad, la potencia, o ambas cosas, está variando también el ángulo de descenso.

A efectos prácticos, no piense que tiene que realizar complejos cálculos sobre velocidades, tasas de descenso, potencia necesaria, velocidad del viento, densidad de la atmósfera, peso del avión, etc. De forma muy simplificada: en función de las circunstancias (pista, obstáculos, viento,...) el piloto estima la configuración adecuada (flaps, no flaps) y la senda a seguir; adopta la mejor velocidad de descenso para esa configuración y manteniendo la misma, sigue la senda que, salvando los obstáculos, le deje en el punto de referencia en las mejores condiciones para la recogida.

Su tarea como piloto es interiorizar la capacidad de descenso (distancia que recorre, cuanta altura pierde y con que ángulo desciende) de su aeroplano con distintas configuraciones; según las circunstancias adoptar la configuración adecuada, y en base a ello estimar distancia y altura de inicio para la aproximación. Si afina en esta estimación tendrá que realizar muy pocas correcciones en su descenso; por el contrario, una estimación incorrecta le obligará a efectuar correcciones más severas o en último extremo frustrar el aterrizaje.

6.2.4 Velocidad de aproximación.

De acuerdo con los objetivos perseguidos, podemos deducir claramente que la velocidad de aproximación debe ser más alta que la de pérdida pero no mucho más. Está claro, no queremos exponernos a una pérdida pero tampoco a que nos falte pista o que la recogida requiera una técnica de pilotaje extraordinaria. Pero si además, esa velocidad proporciona un buen ratio de descenso pues mucho mejor, el aeroplano recorrerá la mayor distancia posible descendiendo más lentamente y el ángulo de descenso estará dentro de unos márgenes razonables. ¿Y cual es esa velocidad?. Pues la respuesta la debe encontrar tabulada en el manual de operación del aeroplano. Los números que primero se aprenden (por la cuenta que le tiene) durante el entrenamiento, corresponden a velocidades de rotación y despegue y de aproximación para aterrizar.

Los fabricantes suelen incluir en los libros de operación las velocidades de aproximación recomendadas para distintas configuraciones de flap, velocidades que suelen corresponder a las de mejor ratio de descenso. Estas recomendaciones suponen avión con peso máximo, densidad estándar del aire, viento en calma etc. pero como no es factible recalcular la velocidad exacta a mantener para cubrir la mayor distancia por unidad de altura con distintas condiciones de peso, densidad, viento... lo normal es atenerse a esas velocidades. En muchos manuales y libros de pilotaje se dice que en ausencia de especificación del fabricante, descienda en aproximación final con una velocidad 1.3 Vs0, es decir un tercio por encima de la velocidad de pérdida del aeroplano en configuración de aterrizaje. Si por ejemplo su Vs0 es de 60 nudos la velocidad de aproximación debería ser aproximadamente 78 nudos (60*1.3=78).

Durante la aproximación final procure mantener la velocidad recomendada porque:

- mantiene un margen seguro sobre la velocidad de pérdida;
- la baja tasa de descenso asegura una transición suave en la recogida fácilitando la maniobra;
- la deceleración producida al recoger le dejará sobre la pista con una velocidad suficientemente baja como para mantener la sustentación mínima en la culminación de la maniobra (toma);
- este mínimo de sustentación permite posarse suavemente al avión (se supone que está a muy pocos centímetros de la superficie) sin fatigar el tren de aterrizaje;
- la carrera posterior a la toma consume el mínimo necesario de pista y permitirle decelerar el avión rápidamente sin castigar excesivamente los frenos.

Y aunque hablamos de velocidades, es muy importante recordar que:

- El mejor ratio de descenso o de planeo ocurre con un ángulo de ataque determinado, por lo que:
- la recomendación sobre velocidad de aproximación final es realmente una recomendación sobre el ángulo de ataque (ver 1.7).

Controlar el ángulo de ataque es importante en todas las fases de vuelo, pero muy especialmente en la aproximación final, con el avión volando lento y bajo intencionadamente. Una forma de mantener un ángulo de ataque determinado es mediante la percepción y el control de la actitud y el ángulo de descenso. Con o sin flaps extendidos, el ángulo de ataque depende de la diferencia angular entre la actitud y la dirección de vuelo; por tanto, manteniendo un valor definido para estos ángulos se mantiene también el valor del ángulo de ataque. Recuerde que compensar el avión para el ángulo de ataque deseado y volar moviendo ligeramente los controles ayuda de forma extraordinaria a mantener el ángulo de ataque; utilice el compensador.

Recuerde también que la mejor información sobre el ángulo de ataque la proporciona el indicador de velocidad, pero eso no debe significar que este demande toda su atención; el 10% de su atención es suficiente, el otro 90% mire fuera y utilice sus percepciones. Como ya se dijo, aprenda a percibir el ángulo de ataque. ¿Se ha planteado que puede averiarse el indicador de velocidad?, pues puedo asegurar que sucede porque lo he experimentado.

Una buena instrucción debería incluir aterrizar sin este instrumento (el instructor lo tapa). Controlar el ángulo de ataque es importantísimo; si el avión esta algo desalineado con la pista o ligeramente alto o lejos, esto no es trágico y veremos que tiene fácil solución (en último caso motor y al aire), pero si pierde el control del ángulo de ataque, ese descuido puede terminar con el vuelo de forma dramática y repentina (pérdida a baja altura). Insisto: *controle el ángulo de ataque*.

6.2.5 Ángulo de descenso (senda).

El ángulo de descenso está afectado por las cuatro fuerzas fundamentales, así que si estas fuerzas son constantes el ángulo de descenso también es constante en condiciones de viento nulo. El piloto puede controlar estas fuerzas (y con ellas el ángulo de descenso) ajustando la velocidad, la actitud (el ángulo de ataque), la potencia, y la resistencia. Como sabemos, el viento juega un papel prominente en cuanto a la distancia horizontal recorrida, y aunque el piloto no tiene control sobre el mismo si que puede corregir su efecto mediante los ajustes apropiados en actitud y potencia.

Y ahora la pregunta: ¿que ángulo de descenso es el apropiado?. La respuesta es en principio muy sencilla: aquel que manteniendo la velocidad deseada y sobrevolando los posibles obstáculos, lleve al aeroplano desde el comienzo de la aproximación final hasta el punto de referencia elegido sobre la superficie de aterrizaje. Mantener un determinado ángulo de descenso, que dependerá de la altura y distancia del aeroplano al punto de referencia, requiere una combinación adecuada de velocidad, potencia y resistencia (flaps), de manera que si se altera alguna de las variables anteriores, ello requiere un cambio coordinado de las restantes.

Dentro de un rango razonable de entre 3º y 6º, no es usualmente crítico el ángulo elegido, salvo que las circunstancias obliguen, pero es imprescindible que tenga en cuenta las siguientes consideraciones (fig.6.2.8):

- Si la senda (ángulo de descenso) es demasiado pronunciada, la maniobra de recogida será más crítica y dificultosa pues necesitará pasar de una actitud de descenso a vuelo nivelado con mayor rapidez, necesitará "afinar" mucho más en esa fase.
- Por el contrario, si la senda es demasiado "plana", tiene que estar seguro que ello le permite evitar los obstáculos y muy atento a corregir las posibles descendencias que se pueda encontrar. La recogida en este caso es muy suave, pero la desventaja (yo diría peligro) de este tipo de senda es que el avión está volando a baja altura más de la cuenta y eso le deja con muy pocas o ninguna opción en caso de fallo de motor.

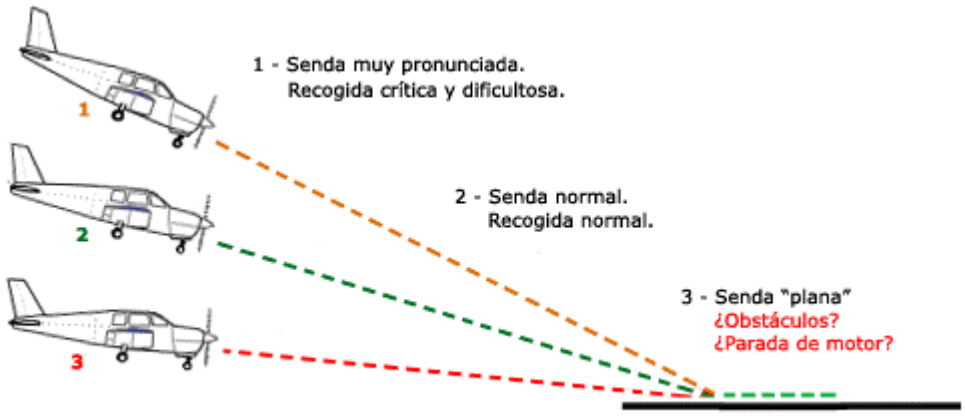


Fig.6.2.8 - Sendas y ángulos de descenso en aproximación final.

En cualquier caso debe ser extremadamente sensitivo a los cambios en este ángulo porque esta es la mejor indicación sobre si la toma se hará lejos del punto estimado o por el contrario no va a llegar al mismo.

Conclusión: "*Un buen aterrizaje es invariablemente el resultado de una aproximación bien efectuada*". Su tarea como piloto consiste en juzgar adecuadamente la senda de descenso y manejar correctamente la energía total del avión (velocidad + altitud) con el objetivo de posarse sobre la superficie con la mínima energía total posible. Ello exige mantener la velocidad aerodinámica y la senda de aproximación con un ángulo de descenso constante.

6.2.6 Ayudándose de los sentidos.

Aunque el sentido corporal del movimiento supone una asistencia primaria en los aterrizajes, en las primeras fases del entrenamiento no estará todavía suficientemente desarrollado, así que en principio debe apoyarse algo más en otros, principalmente en el sentido de la vista. El fenómeno de la perspectiva (una pista cambia de forma aparente cuando el punto de observación del piloto cambia) es el más importante para Vd.

Estimar con cierta precisión la distancia y la profundidad es cuestión de práctica, depende de cuan claramente se vean los objetos y requiere que la visión se enfoque propiamente, viendo con claridad los objetos importantes. La velocidad difumina los objetos cercanos, estos se ven moviéndose juntos, mientras que los objetos lejanos permanecen quietos y se ven claramente. En el momento del aterrizaje debe enfocar su visión hacia adelante aproximadamente a la misma distancia que lo haría viajando en un automóvil a la misma velocidad. "*La distancia a la cual enfocar la visión debe ser proporcional a la velocidad del aeroplano*". Así, a medida que la velocidad diminuye, la distancia a la cual es posible enfocar claramente los objetos se hace más cercana. Ahora bien, si su visión se enfoca muy cerca o directamente hacia abajo, los objetos se vuelven borrosos y las reacciones serán muy abruptas, muy tardías, o ambas cosas.

En aproximación final el comienzo de la pista se ve más ancha que el final de la misma, eso es obvio, como también lo es que si mantiene un ángulo de descenso constante la forma aparente de la pista también debe permanecer constante. El piloto ve la pista como un paralelogramo que converge hacia el horizonte, con el lado de la aproximación mucho más ancho que el lado opuesto, aunque este último tenga realmente la misma anchura. Si el ángulo de aproximación es muy pronunciado la pista se verá más alargada y estrecha; si este ángulo es muy pequeño, la pista se verá como si fuera más corta y ancha. Obviamente, a medida que la aproximación progresa la pista se verá cada vez más grande, pero si el ángulo permanece constante la relación entre los lados y ángulos del paralelogramo de la pista permanecerá también constante (fig.6.2.9).

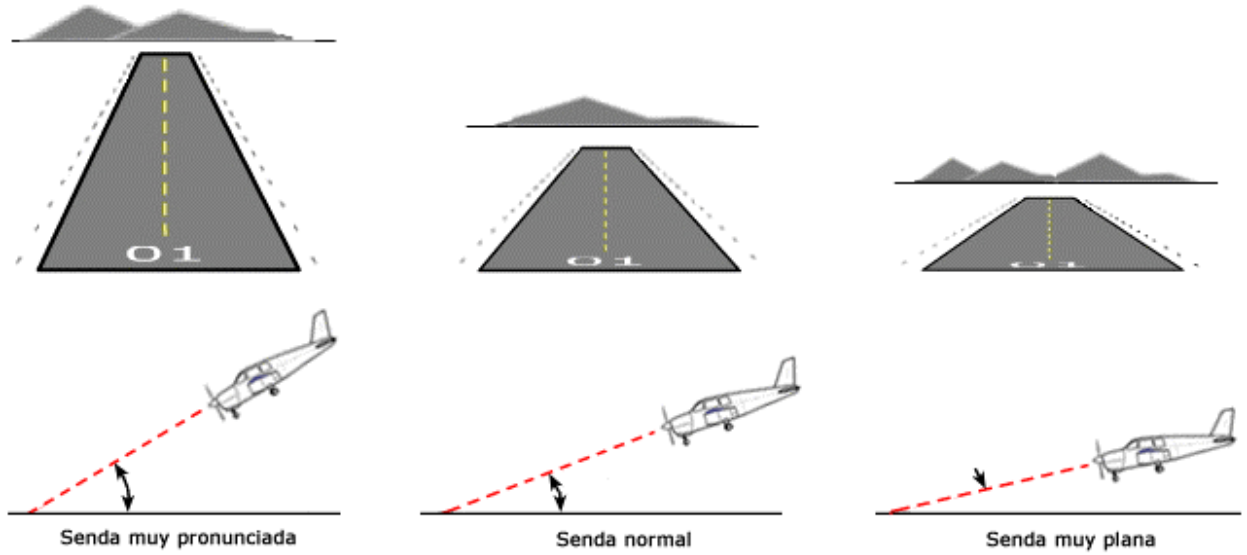


Fig.6.2.9 - Una pista tal como se percibe con diferentes ángulos de descenso.

6.2.7 Alineación con el centro de la pista.

En primer lugar, se supone que quiere aterrizar centrado en la pista, no quiere romper las luces de los bordes con el tren ni nada por el estilo, así que comience por alinearse con el eje de la pista. Si ha hecho bien el viraje al final del tramo base se ahorrará bastante trabajo con la alineación.

Aunque la tarea de alinearse con un objeto lejano sin ninguna referencia intermedia es poco familiar a mucha gente, percibir si está centrado o no con la pista es fácil si se fija un poco. Observe en la fig.6.2.10 como se vería la pista estando alineado con su eje o desplazado del mismo. Si mira la línea central y ve el punto mas lejano (**b**) encima del punto más cercano (**a**) entonces está volando centrado con la pista (alineado con la línea **a**-**b**, figura central). En los otros dos casos está alineado con el borde derecho o con el borde izquierdo y si no corrige la trayectoria aterrizará en ese borde o fuera de la pista.

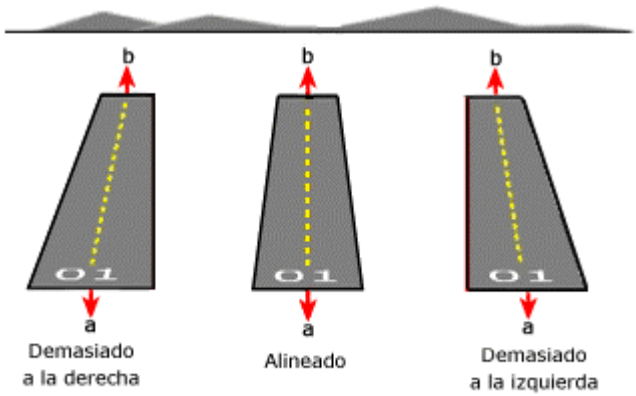


Fig.6.2.10 - Alineación con el eje de la pista.

Si percibe que está desalineado con la línea central, no vuele una trayectoria diagonal hacia el punto de referencia para el aterrizaje, sino que corrija el descentrado ***ahora*** y entonces vuele siguiendo la prolongación del eje de pista. El objetivo es tener el avión encima de la línea central de la pista y totalmente alineado con ella cuando haga la recogida. Si está al comienzo de la aproximación y el descentrado es relativamente grande puede corregir alabeando y/o mediante los pedales, pero en corta final, si el descentrado es poco, o para mantener la alineación, debe acostumbrarse a corregir solo con los pedales.

La mayoría de los instructores aconsejan, aunque suene un poco mal, comenzar la aproximación manteniendo el eje de la pista entre las piernas.

Desde que inicia la recogida hasta estar rodando sobre la pista, debido a la actitud de morro arriba, seguramente no vea la línea central de la pista; debe pues fijarse en otras referencias tales como los bordes de la pista. Recuerde: *la línea central de la pista desaparece de su vista en la recogida*.

6.2.8 Juzgando si está alto o bajo.

Más importante todavía que mantener la alineación derecha-izquierda con el eje de la pista, es tener la alineación adecuada arriba-abajo en la senda de aproximación.

El procedimiento de usar "trucos locales", tales como pasar a 1000 pies sobre la fábrica de harinas, a 800 pies sobre tal carretera, etc... no es nada recomendable: no funciona en otros aeródromos.

La forma más inteligente de controlar la senda de aproximación es observar y controlar directamente el ángulo de la misma. En una aproximación instrumental, el indicador electrónico define normalmente un ángulo de 3º; en algunos aeródromos existen ayudas visuales tales como el VASI (lo veremos después) que también lo definen, pero además de que Vd. no esta habilitado para vuelo instrumental (lo cual le prohíbe aterrizar en instrumental pero no le impide servirse del VASI), la mayoría de las veces no hay tales guías, así que necesita desarrollar su propia percepción de este ángulo. De nuevo ha de recurrir al fenómeno de la perspectiva.

La estrategia a seguir es la siguiente: durante la aproximación Vd. elige un lugar de referencia para aterrizar situado por debajo del horizonte un número determinado de grados; si este ángulo no varia, el aeroplano se dirige hacia ese punto; si se incrementa, está yendo a aterrizar más lejos de lo previsto (ojo con la longitud de la pista); si disminuye, se está quedando corto y no llegará.

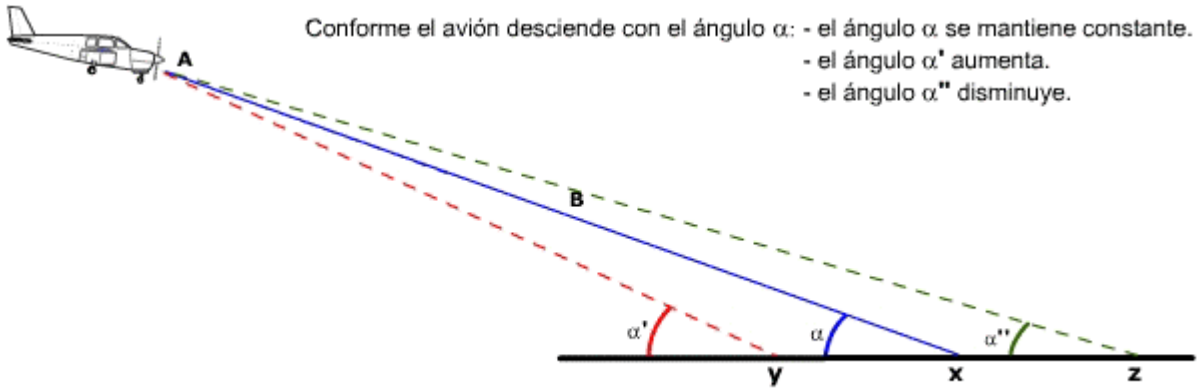


Fig.6.2.11a - Controlando la senda de aproximación - referencias angulares.

La fig.6.2.11a muestra un ejemplo de lo expuesto: el aeroplano situado en la posición **A** desciende en una senda cuyo ángulo **a** le llevará al punto de la superficie **x**. Tomemos ahora dos lugares arbitrarios en la superficie, anterior (**y**) y posterior (**z**) cuyos ángulos al punto **A** son respectivamente **a'** y **a''**. A medida que el avión vaya descendiendo de forma constante, el ángulo **a'** irá aumentando mientras que el **a''** irá disminuyendo, tal como se ve con el avión en la posición **B**; esto significa que el avión se pasará del punto **y** y no podrá llegar al punto **z** (fig.6.2.11b)**.** Si su intención era aterrizar en **y**, el incremento paulatino del ángulo de descenso le debía haber advertido que sobrevolaría dicho punto, mientras que si la idea era aterrizar en **z**, la disminución constante de dicho ángulo debería haberla interpretado como posición imposible de alcanzar. En ambos casos, se impondría que el piloto corrigiera la senda para aterrizar en el punto deseado. Cuando el avión pase por el punto **y** el ángulo **a'** será de 90º e incrementándose, mientras que al ángulo **a''** irá acercándose cada vez más al valor 0º.

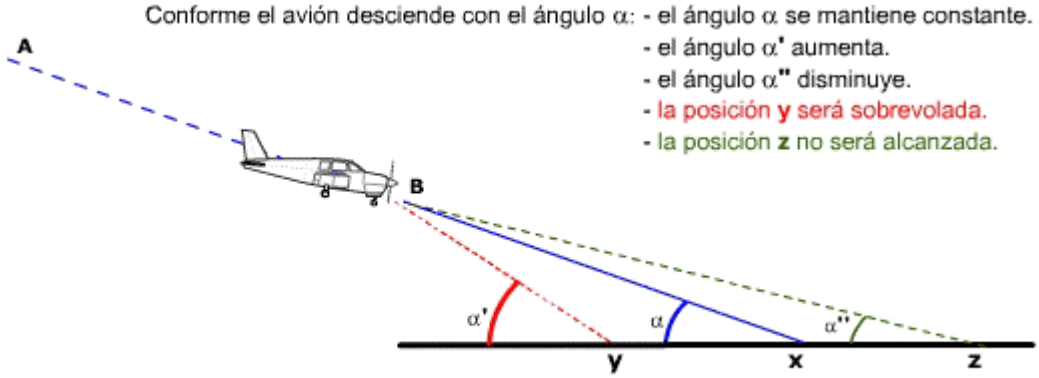


Fig.6.2.11b - Controlando la senda de aproximación - referencia angulares.

Para ayudarse en la percepción de este ángulo, Vd. puede fijar un punto de referencia en el morro o el cristal del avión; estabilizado este en la senda de descenso con una velocidad constante, la observación del suelo en relación con dicha referencia le muestra:

- Las posiciones en el suelo que aparentemente se mueven por debajo de la referencia, son posiciones que serán sobrevoladas.
- Aquellas que permanecen estacionarias respecto a la referencia son las que serán alcanzadas por el avión.
- Las que se mueven por encima son posiciones que no serán alcanzadas.

Resumiendo: la clave consiste en tomar una referencia angular y comprobar si la misma se mantiene o varía; si la senda de descenso es constante, el ángulo que forma el lugar estimado en la superficie respecto a la referencia en el avión o respecto al horizonte debe permanecer invariable; si el ángulo cambia Vd. aterrizará en un punto anterior o posterior al estimado en la superficie salvo que adopte alguna medida.

Aunque no le sirva de consuelo, no se desanime con las primeras tomas, practique, practique y practique, desarrollar la experiencia suficiente para reconocer exactamente donde va a aterrizar es cuestión de tiempo.

6.2.9 Indicadores visuales de aproximación.

Estos indicadores, instalados en muchos aeródromos aunque no en todos, proporcionan información visual sobre la pendiente de aproximación (senda), de manera que si el piloto mantiene el ángulo de descenso provisto por ellos, sorteará los posibles obstáculos aterrizando en el primer tercio de la pista. No hay que confundir este sistema visual (la información no tiene reflejo en ningún instrumento sino que la interpreta el piloto directamente por lo que ve) con el sistema instrumental ILS (el piloto lee e interpreta las indicaciones que los instrumentos reciben de ese sistema).

Aunque hay distintos tipos de dispositivos que proporcionan esta ayuda, aquí solo nos referiremos a los dos más comunes: el VASI y el PAPI. El principio operacional de ambos se basa en la visión por el piloto de dos colores: blanco y rojo.

El VASI (siglas de Visual Approach Slope Indicator) o VASIS (Visual Approach Slope Indicator System), que traducido libremente es algo así como Sistema Visual Indicador de Pendiente de Aproximación, consiste en un sistema de luces, agrupadas en hileras o barras horizontales, dispuestas de forma especial y visibles a 3-5 millas durante el día y hasta 20 millas o más por la noche. La pendiente de descenso definida por el VASI asegura la liberación de obstáculos dentro de un arco de + 10º y una distancia de 4 millas náuticas contadas desde el umbral de la pista.

Las instalaciones de VASI pueden constar de 2, 4, 6, 12 e incluso 16 lámparas dispuestas en 2 o 3 barras, pero la mayoría consisten en 2 barras con 2 luces cada una, instaladas usualmente en el lazo izquierdo de la pista. Normalmente definen una pendiente de 3º aunque en algunos lugares puede ser de hasta 4.5º para prevenir el sobrevuelo seguro de obstáculos. Los pilotos de aeroplanos con altas prestaciones deben prever que usar un VASI con ángulos superiores a 3.5º puede suponer un incremento notable de la longitud de pista requerida para aterrizar.

Las lámparas de cada barra proyectan un haz de luz de dos segmentos, cada uno en un angulo vertical diferente: el segmento superior es de color blanco y el inferior de color rojo y desde la perspectiva del piloto se ve uno u otro pero no ambos. Las combinaciones de las dos barras de luces y su significado son las que se muestran en la fig.6.2.12.

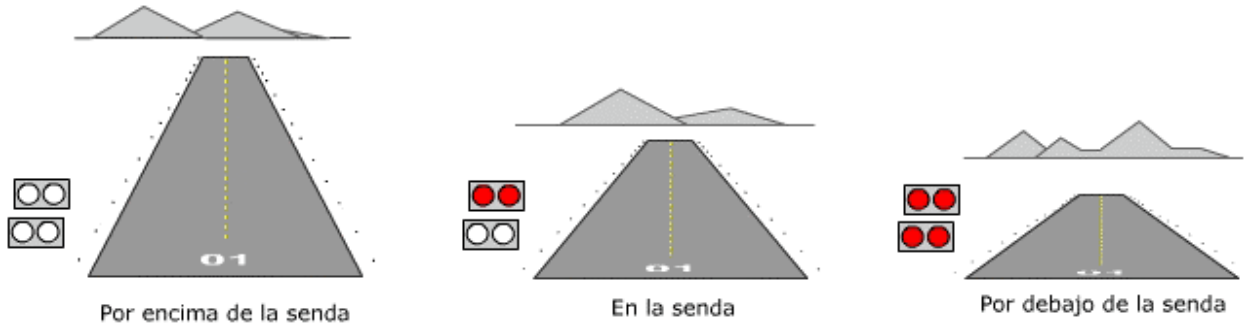


Fig.6.2.12 - Interpretación del VASI (Visual Approach Slope Indicator).

Con el avión en la senda correcta (figura central), el piloto debe ver una barra (la mas cercana) con luces blancas y otra (la mas lejana) con luces rojas; si desciende por encima de la senda (figura izquierda) verá ambas barras blancas mientras que si lo hace por debajo (figura derecha) las verá de color rojo. Resumiendo: si ve las dos barras de color blanco está alto, si las ve rojas está bajo, y si ve una de cada color está en la senda correcta.

El PAPI (Precision Approach Path Indicator) es un VASI de precisión con la única diferencia que en lugar de disponer las luces en dos barras se disponen en una sola. Usa el mismo principio que el VASI y sus indicaciones son las mostradas en la fig.6.2.13. Aunque en la figura se muestra la barra delante de la pista por cuestiones de dibujo, realmente la barra esta instalado en el lado izquierdo.

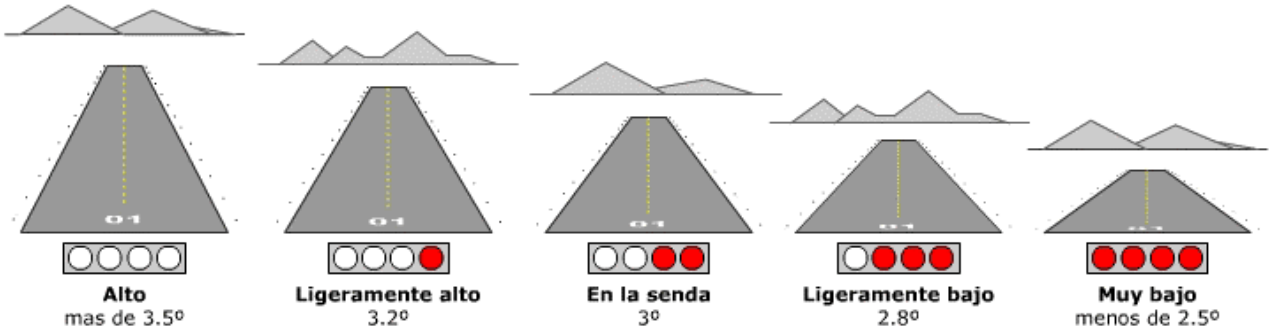


Fig.6.2.13 - Interpretación del PAPI (Precission Approach Slope Indicator).

Ambos indicadores son utilizables tanto de día como de noche y una misma pista puede tener un VASI en un extremo (p.ejemplo pista 04) y un PAPI en el otro (pista 22), o un VASI o PAPI en cada uno pero con ángulos diferentes, etc. No se si estaré desactualizado, pero por ejemplo entrando por la pista 04 de Lanzarote (Canarias) un PAPI define una senda de 3º mientras que por el lado contrario (entrando por la pista 22) la senda de 3.9º está indicada por un VASIS.

Bajo ciertas condiciones atmosféricas o con el sol de frente, los haces blancos pueden verse como amarillentos o algo anaranjados. No sucede lo mismo con los haces rojos que deben permanecer inalterables.

6.2.10 Resumen de la aproximación final.

Y ahora los criterios generales para realizar la aproximación final.

- Inmediatamente después de completar el viraje desde el tramo base, el eje longitudinal del aeroplano debería estar alineado con el eje de la superficie de aterrizaje, de manera que la deriva por viento lateral, si la hay, sea rápidamente reconocida y corregida.
- Alinee el avión con el centro de la pista y mantenga esta alineación durante toda la aproximación aplicando pedales (timón de dirección). El objetivo es estar volando encima del centro de la pista, totalmente alineados con ella cuando se haga la recogida. El caso de aterrizaje con viento cruzado se tratará en un capítulo posterior.

- Si va a aterrizar con full flap, termine de extenderlo ahora y espere un poco a que el avión se adapte a la nueva configuración.
- Puede que necesite hacer pequeños ajustes en actitud y potencia para mantener la velocidad y el ángulo de descenso.
- En cualquier caso, una vez tenga estabilizadas actitud y velocidad, compense el avión para volar "sin manos".
- Algunos aviones son especialmente dados a formar hielo en el carburador, principalmente con tiempo frío y descendiendo. Si es necesario aplique calefacción al carburador pero recuerde quitarla unos pies antes (unos 100) de comenzar la recogida. Si tuviera necesidad de realizar un motor y al aire, la calefacción al carburador le resta potencia y además al abrir gases a tope podría producirse detonación.
- Con hélice de paso variable, mueva la palanca todo adelante (paso corto). Si tiene que hacer motor y al aire este es el paso que le proporciona el mejor desarrollo de la potencia.
- Si todavía no ha recibido permiso de la torre para aterrizar, comunique su posición en final y espere la autorización. Recuerde que sin ella no debe aterrizar.
- El que la torre le conceda permiso no significa que deje de prestar atención a otros tráficos. La responsabilidad final sobre el aeroplano y sus ocupantes recae en el piloto.
- Controle la velocidad y el ángulo de descenso, manténgalos constantes. Ahora más que nunca recuerde que la palanca de gases controla la tasa de ascenso/descenso y el volante de control el ángulo de ataque y por añadidura la velocidad (ver 1.10). El objetivo es aterrizar en el centro del primer tercio de la pista con la velocidad adecuada.
- Si el aeródromo dispone de ayudas visuales a la aproximación (VASI o PAPI) sirvase de sus indicaciones, pero recuerde que son ayudas y no sustitutos de sus decisiones.
- Si ha hecho bien su trabajo en los tramos anteriores y calcula correctamente el comienzo de la aproximación, no tendrá que realizar apenas correcciones en velocidad y/o ángulo de descenso.
- Algunos aeroplanos tienen una baja tasa de descenso, recorren una buena distancia y descienden suavemente (planean mucho). Otros sin embargo tienen esta tasa más elevada y descienden más rápidamente (planean poco). En este último caso puede ser más cómodo para el piloto mantener un régimen suave de potencia y así aminorar la tasa de descenso. También, un régimen suave de potencia puede hacer más fácil la maniobra con full flap.

Como irá comprobando, la fácilidad o complicación de cada fase depende en gran medida de como se hayan realizado las anteriores. Por decirlo de alguna manera, los desajustes de una fase hay que corregirlos en la siguiente o si no se acumularán y habrá que corregirlos todos en el peor de los momentos: justo en la recogida cuando se está con poca velocidad y cercano al suelo.

Sumario:

- Aterrizar un aeroplano, consiste en permitir que este contacte con el terreno a la velocidad vertical más baja posible, y en circunstancias normales también a la velocidad horizontal (respecto al suelo) más baja posible, manteniendo un control adecuado. En definitiva, se trata de poner al aeroplano en pérdida a muy pocos centímetros del suelo manteniendo el control direccional.
- Tenga a mano y visible la lista de chequeo, procurando seguir unas pautas concretas que le proporcionen seguridad: "viento en cola...". Si prefiere memorizarla, hágalo antes de entrar al circuito de tráfico.
- La checklist debe cubrir tres fases: aproximación, aterrizaje y motor y al aire (aterrizaje frustrado). Asegúrese que la lista corresponde a su modelo de aeronave.
- En líneas generales, las fases de un aterrizaje son: tramo base (base leg), aproximación (approach), recogida (flare), toma (touchdown) y carrera final (after landing roll).
- Comience la preparación del aeroplano para el aterrizaje en el último tercio del tramo viento en cola. El paso del avión perpendicular al comienzo de la pista es una buena referencia para comenzar las operaciones. Trate de visualizar la trayectoria de toda la aproximación.

- Preste atención a la presencia de tráficos que le precedan en la maniobra. No vire a base hasta que el precedente inmediato pase en dirección a la pista por el borde de su ala; después ajuste velocidad y distancia para que aquel pueda aterrizar y abandonar la pista. Recuerde que no puede aterrizar si la pista no está totalmente despejada.
- Vuele el tramo base perpendicular a la pista corrigiendo la deriva producida por el viento.
- Hasta comenzar el descenso, mantenga la altitud de circuito y ajuste la velocidad a una cercana a la de aproximación.
- Siga completando los procedimientos de la checklist y calcule cuando comenzar el descenso y donde virar a aproximación final en función de su velocidad, configuración elegida para aterrizar, altura del circuito, fuerza del viento, etc.
- No haga virajes con un grado de alabeo pronunciado (superior a 30º) pues se encuentra con poca velocidad y a baja altura. Recuerde que a mayor grado de alabeo mayor es la velocidad de pérdida.
- El viraje a aproximación final debe dejar al aeroplano enfrentado al eje central de la pista. La altitud y distancia debe permitirle franquear los obstáculos y a su vez realizar una aproximación suficientemente larga, que le permita estimar y corregir tanto el punto de contacto como la senda de aproximación, pero no tan larga que no pueda llegar en caso de fallo de motor.
- Haga la aproximación final con la mejor velocidad recomendada según la configuración adoptada (flaps, etc.) y un ángulo de descenso que le permita hacer una recogida suave. El objetivo es aterrizar en el primer tercio de la pista.
- Aunque el control del ángulo de ataque es importante en todas las fases de vuelo, lo es mucho más en aproximación final, con el avión volando lento y bajo intencionadamente. Manténgalo mediante la percepción y el control de la actitud y el ángulo de descenso. Utilice el compensador y *controle el ángulo de ataque*.

- Si el ángulo de descenso es muy pronunciado o la velocidad muy elevada, la recogida se hace mas complicada. Si por el contrario, el ángulo de descenso es muy pequeño (senda plana), la posible fácilidad en la recogida no compensa en absoluto el riesgo de no alcanzar la pista si falla el motor.
- *Un buen aterrizaje es invariablemente el resultado de una aproximación bien efectuada*. Juzgue la senda de descenso y maneje correctamente la energía total del avión (velocidad + altitud) para posarse sobre la superficie con la mínima energía total posible. Mantenga la velocidad aerodinámica y la senda de aproximación con un ángulo de descenso constante.
- Utilice los sentidos, especialmente el de la perspectiva (en distancia y en profundidad) para mantener la alineación con la pista y el ángulo de descenso. *"La distancia a la cual enfocar la visión debe ser proporcional a la velocidad del aeroplano*".
- Juzgue si está alto o bajo del punto de referencia para aterrizar en función del ángulo con que observa dicho punto. Si a medida que desciende este ángulo se incrementa, sobrevolará esa referencia; si disminuye, no llegará a ella. En ambos casos se impone tomar alguna medida (siguiente capítulo).
- Aterrizar bien es cuestión de tiempo, la mejor recomendación es que: practique, practique y practique.

TÉCNICA DE VUELO (II)

6.3 ATERRIZAJE - LANDING (II)

6.3.1 Utilización de flaps en aterrizaje.

La extensión de los flaps cambia la curvatura del perfil alar, y en algunos casos también su superficie, lo que implica una transformación en las características aerodinámicas del ala, que se traduce, entre otros, en los siguientes efectos (ver capítulo 1.5):

1. El coeficiente de máxima sustentación (CL max.) se incrementa.
2. La resistencia también se incrementa.
3. El ángulo de incidencia es mayor.

Como consecuencia de lo anterior, la influencia de extender flaps en el aterrizaje es la siguiente:

- El aumento del coeficiente de sustentación implica una menor velocidad de pérdida, lo cual permite realizar la aproximación final y operaciones posteriores del aterrizaje con velocidades más bajas.
- Menor velocidad y mayor resistencia implican menor distancia horizontal recorrida por unidad de tiempo; se recorre menos distancia horizontal (fig.6.3.2).
- Observando la geometría de la aproximación final (ver 6.2.3), podemos deducir que si la distancia horizontal disminuye (o la altura se incrementa), el ángulo de descenso debe ser mayor (figs.6.3.1 y 6.3.2).
- Si recuerda la igualdad: actitudº + incidenciaº = ataqueº + ascensoº (ver 1.7.3) deducirá que, para mantener la trayectoria y el ángulo de ataque (ataque + ascenso), si aumenta la incidencia debe disminuir en la misma cantidad la actitud. En otras palabras, la actitud de morro es menos elevada. Por tanto, extender flaps facilita la visión al frente, aunque hace más trabajoso mantener la rueda de morro en el aire tras la toma.

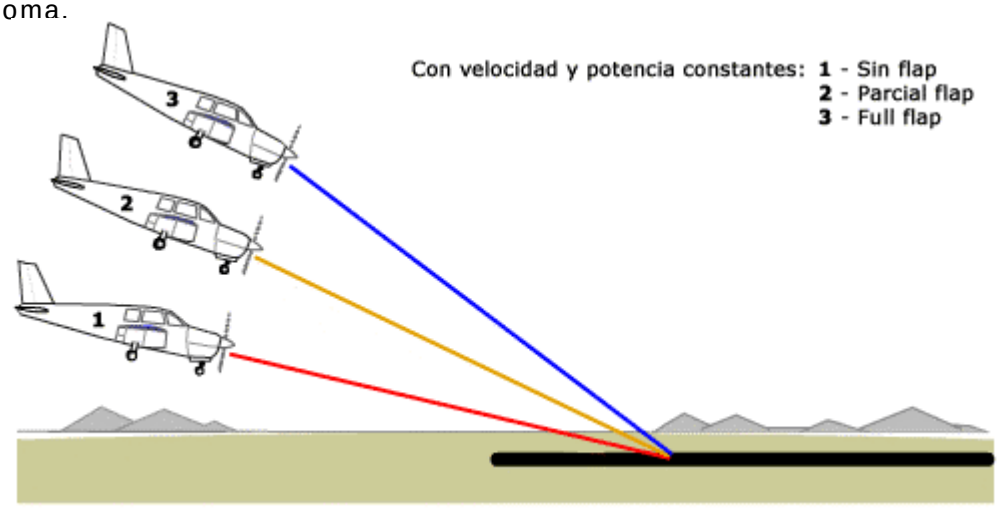


Fig.6.3.1 - Efecto de los flaps sobre el ángulo de descenso.

Tenemos pues, que los factores sustentación y resistencia puede ser variados por el piloto mediante el uso de flaps. Básicamente, cuando estos son bajados la velocidad tiende a disminuir debido a la mayor resistencia, salvo que incremente la potencia o baje el morro (menor ángulo de ataque), y el ángulo de descenso es mayor lo que implica una senda de aproximación más pronunciada.

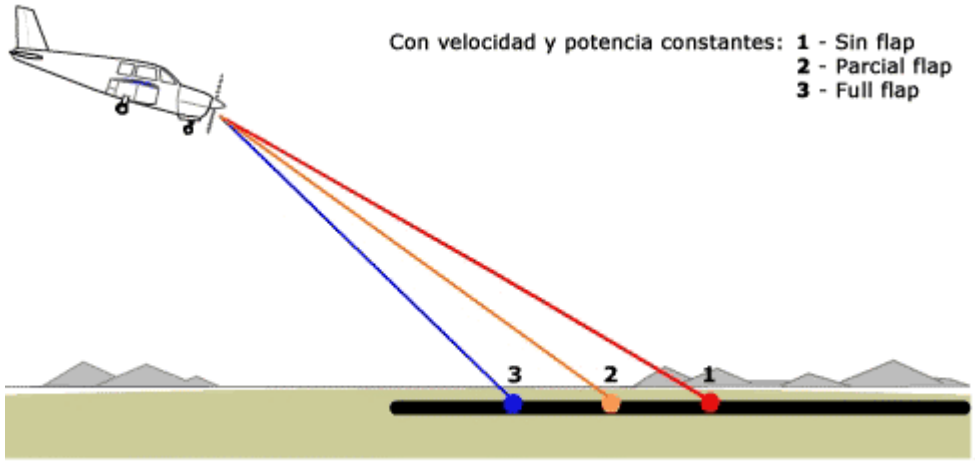


Fig.6.3.2 - Efecto de los flaps sobre el punto de aterrizaje.

En todos los aviones, extender el ultimo punto de punto (full flap) supone incrementar al máximo la resistencia y el ángulo de incidencia, pero en muchos aviones ligeros, típicos de entrenamiento, solo tiene un pequeño efecto en la reducción de la velocidad de pérdida. Por tanto, si no necesita extender el último punto de flap para incrementar aún más la resistencia, hay pocas razones para extender este último punto, salvo que el campo sea realmente corto y/o necesite la ligera reducción en velocidad producida por la extensión de dicho último punto.

Hay muchas circunstancias en las cuales el piloto debe recurrir a la extensión de flaps, por ejemplo:

- En un campo corto, estará interesado en aterrizar con una velocidad menor para acortar la cantidad de pista necesaria.
- Si el campo tiene obstáculos cercanos a la pista necesitará aproximarse con un ángulo relativamente mas acentuado. Tendrá que echar mano de los flaps y aprovechar el incremento de resistencia provocado por su extensión.
- En un campo blando, convendrá que el aeroplano contacte con el suelo a la mínima velocidad posible.
- Si observa que la senda actual le lleva más allá del punto seleccionado para aterrizar (lo sobrevolará), sacar flaps proporcionará un ángulo de descenso más acentuado manteniendo una velocidad de aproximación dentro del rango recomendado.
- Si ha calculado mal el comienzo de la aproximación y se encuentra con exceso de energía (altitud, velocidad, o ambas) puede disiparla gracias a la resistencia añadida y a un ratio de descenso mayor.

Debe saber que los aeroplanos antiguos no tenían flaps, si el piloto estaba alto y/o con una velocidad superior a la recomendable (exceso de energía) debía recurrir a "resbalar" para corregir ese exceso. Léase el manual de operaciones del avión antes de hacer resbales con flaps extendidos, en algunos modelos de avión los constructores lo desaconsejan.

Velocidad de aproximación con flaps. Con flaps abajo, las velocidades de aproximación son mas bajas que si esta se hace con flaps arriba. Algunos manuales indican que la aproximación debe hacerse entre **x** nudos de velocidad sin flaps e **y** nudos con full flap, dejando la tarea de interpolar las velocidades con extensiones intermedias (partial flap) para el piloto; otros indican la velocidad sin flap y la reducción a realizar por cada punto de flap extendido, y otros indican las velocidades para todas las posiciones de flap.

En la práctica, las escuelas (al menos las que yo conozco) suelen establecer una velocidad máxima de aproximación sin flap, algo más alta de la recomendada para evitar problemas, y por cada punto de flap extendido reducen la velocidad en 5 nudos.

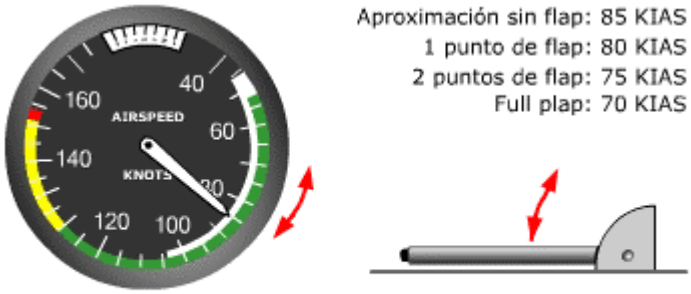


Fig.6.3.3 - Ejemplo de velocidades de aproximación
Para propósitos operacionales consulte el POH del avión

No olvide que al extender flaps debe adaptar los parámetros de vuelo (actitud, etc.) a esa nueva configuración y volver a compensar el avión; utilice los compensadores. Tampoco olvide que no debe extender flaps mientras vuele con una velocidad superior a la indicada por el fabricante (mayor valor del arco blanco).

6.3.2 Efecto del viento en aproximación.

Suponga que un día cualquiera, comienza su aproximación exactamente a la misma altura y distancia que días anteriores, los parámetros de vuelo (velocidad, potencia, actitud, etc.) son perfectos. Sin embargo, a medida que desciende observa que no se aproxima lo suficiente, cada vez está mas bajo y la pista sigue estando lejos; si sigue así no llegará y aterrizará en cualquier lugar *antes* de la pista. Naturalmente, sigue el procedimiento normal y aumenta la potencia a la vez que levanta un poco el morro del avión para mantener la velocidad. ¿Que ha sucedido? Pues muy sencillo, no ha tenido en cuenta la intensidad del viento. Veamos:

La distancia horizontal recorrida por un aeroplano depende de su velocidad *respecto al suelo* (Ground Speed - **GS**), o sea que es igual a la velocidad verdadera (True Airspeed - **TAS**) +/- la velocidad del viento. En ausencia de viento (en calma), la GS coincide con la TAS y por tanto la distancia recorrida es la esperada, pero en presencia de viento no es así (figs.6.3.4a y 6.3.4b).

Con viento en calma la velocidad del avión es la misma respecto al suelo que respecto al aire (GS=TAS), así que la distancia recorrida y por añadidura el ángulo de descenso son los esperados. Si los parámetros de vuelo son correctos, el avión seguirá el trazo de la senda hasta el punto de referencia.

Con viento en cara de una intensidad moderada, el avión está volando en una masa de aire que se desplaza en sentido contrario, visto desde el suelo es como si ese viento "frenara" al avión. La TAS sigue siendo la misma, pero la GS es menor y eso hace que disminuya la distancia recorrida respecto a la aproximación anterior. En esas condiciones, el ángulo de descenso va haciéndose mayor paulatinamente y el avión se aproximará cada vez un poco más por debajo de la senda; de seguir así no llegará al punto de referencia.
Como el piloto advierte que vuela por debajo de la senda y no llegará al punto elegido, añade potencia y sube un poco el morro del avión para mantener la velocidad. Puesto que distancia=velocidad*tiempo, para una misma distancia, si la velocidad disminuye habrá que aumentar el valor tiempo ¿no?. Pues eso es lo que ha hecho: al poner más potencia la tasa de descenso es menor, el avión cae más lentamente y permanecerá más tiempo en el aire.

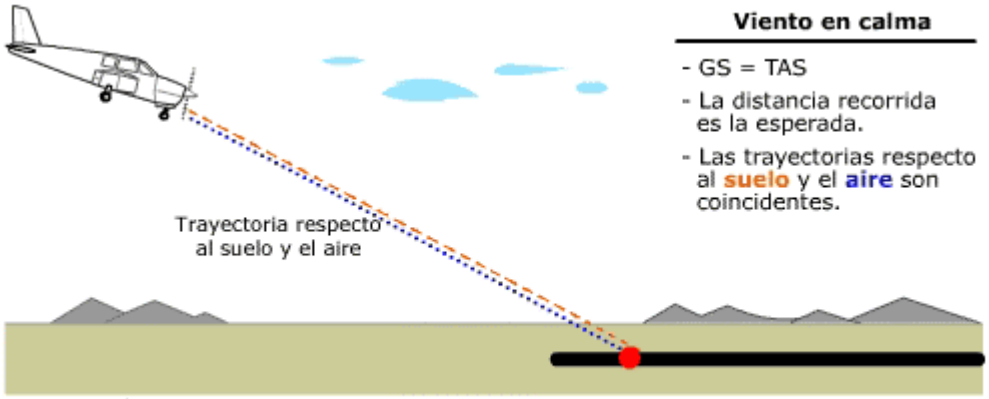


Fig.6.3.4a - Efecto del viento en la aproximación.

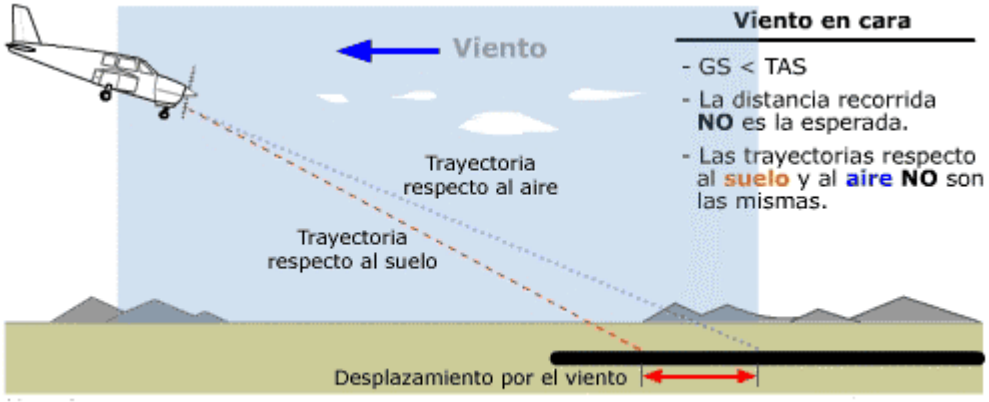


Fig.6.3.4b - Efecto del viento en la aproximación.

Con viento en cola no debe aterrizar, pero si lo hiciera este le empujaría, resultando una mayor distancia recorrida e ir más allá del punto de referencia; esto le exigiría una longitud de pista adicional de la cual quizá no disponga.

Resumiendo: durante el aterrizaje, el viento en cara agudiza la senda de aproximación y reduce la distancia recorrida, mientras que el viento en cola reduce el ángulo de la aproximación e incrementa la distancia recorrida. El piloto debe tener en cuenta el viento antes de aterrizar.

Otro aspecto a tener en cuenta es que: *en presencia de viento la dirección de vuelo relativa al suelo no es la misma que la dirección de vuelo a través del aire*. Con viento nulo ambas coinciden, pero con viento en cara, y por supuesto en cola, difieren. En el ejemplo de la fig.6.3.4 vemos como para corregir el desplazamiento por viento y mantener la senda que lleva a la pista (línea de rayas discontinuas) el avión sigue una línea de vuelo *respecto al aire* menos pronunciada (línea de puntos). Digamos que mientras la senda a la pista sigue siendo de 3º la dirección de vuelo en el aire es de solo 2º.

Como el viento relativo es el recíproco de la dirección de vuelo a través del aire y afecta al ángulo de ataque (el cual se mide respecto a aquel), para mantener el ángulo de ataque apropiado en el caso expuesto, la actitud de morro arriba con el viento dado debería ser más alta que con viento en calma. Conclusiones:

1. Necesita percibir la dirección de vuelo relativa al suelo para asegurar que arribará al punto de referencia elegido para aterrizar.
2. Necesita percibir la dirección de vuelo a través del aire para determinar que actitud de morro es la que proporciona el ángulo de ataque apropiado.
3. Si está descendiendo con viento en cara necesitará una tasa de descenso menor.
4. En cualquier situación donde tenga menor tasa de descenso necesitará menos actitud de morro abajo.

Hasta aquí la teoría, pero ¿como corregir esta situación en la práctica?. Pues podría por ejemplo comenzar la aproximación un poco más cercano a la pista (esto se dijo en el capítulo anterior), o realizar el descenso con un poco más de potencia, o ambas cosas, pero calcular cuanto más cerca o cuanta más potencia no es fácil. La solución más sencilla reside en una regla de oro: "*con viento de intensidad moderada o alta, incremente la velocidad de aproximación en 1/4 de la velocidad del viento*". Si el viento en cara es de 20 kts, entonces debe incrementar su velocidad en 5 kts (20/4=5). Salvo que el campo sea corto, este incremento no le debe suponer problemas con la longitud de la pista y tiene la ventaja que si el viento decrece en intensidad y le "roba" unos nudos de velocidad aerodinámica seguirá estando suficientemente por encima de la velocidad de pérdida.

6.3.3 Corrigiendo la aproximación.

Como hemos visto, hay numerosos factores afectando a la aproximación, de manera que existe un buen porcentaje de probabilidades de que no acierte plenamente con los parámetros (principalmente la distancia porque la altura se supone fijada) y desarrolle toda esta fase sin hacer alguna corrección, aunque sea mínima. Ello se puede deber a varios factores, como por ejemplo:

- No ha mantenido la altitud del circuito y al comenzar la aproximación está desplazado verticalmente de la senda de descenso (factor **a** de la fig.6.2.6).
- Ha mantenido la altitud escrupulosamente pero se le ha ido de las manos la velocidad. Si es más baja de la recomendada ¡peligro¡ se está acercando a la velocidad de pérdida y tiene poca altura para recuperarla; si es mucho más alta, puede encontrarse practicando la recogida subido en un misil. En ambos casos, estará descendiendo con una tasa más elevada (mas fpm) y un ángulo mayor (senda más pronunciada).
- Su estimación de distancia es perfecta y la velocidad la adecuada, pero no ha tenido en cuenta la intensidad del viento con lo que la velocidad respecto al suelo no es la esperada, lo mismo que la distancia que recorrerá.
- Hoy no está el instructor a su lado y el avión soporta menos peso, o lleva a un par de amigos a los que ha convencido para volar y además de mayor peso su distribución es ligeramente diferente.
- Ha calculado todo al milímetro y ha hecho su trabajo a la perfección pero hoy no es su día para un aterrizaje de libro. Una ascendencia/descendencia, justo unos metros antes de la pista, tira misteriosamente del avión hacia arriba/abajo, o el viento rola a otra dirección, o disminuye/aumenta su intensidad, o...
- Etcétera.

Aun a riesgo de ser repetitivo, de forma general y en base a lo expuesto hasta ahora, veamos algunas sugerencias para corregir la senda de aproximación:

Al comenzar la aproximación final, el piloto debe estimar el punto de aterrizaje juzgando el ángulo de descenso. Si en algún momento estima que sobrepasará dicho punto, está alto: **a**) Si tiene potencia aplicada disminúyala; manteniendo la misma velocidad, la actitud es de morro más bajo, la tasa de descenso es más alta y la senda más empinada. **b**) Incremente la extensión de flaps para aumentar la resistencia, adapte el aeroplano a la nueva velocidad cambiando la actitud de morro en la cantidad necesaria. Menos potencia y/o más flaps producirán una aproximación más inclinada (fig.6.3.5a).

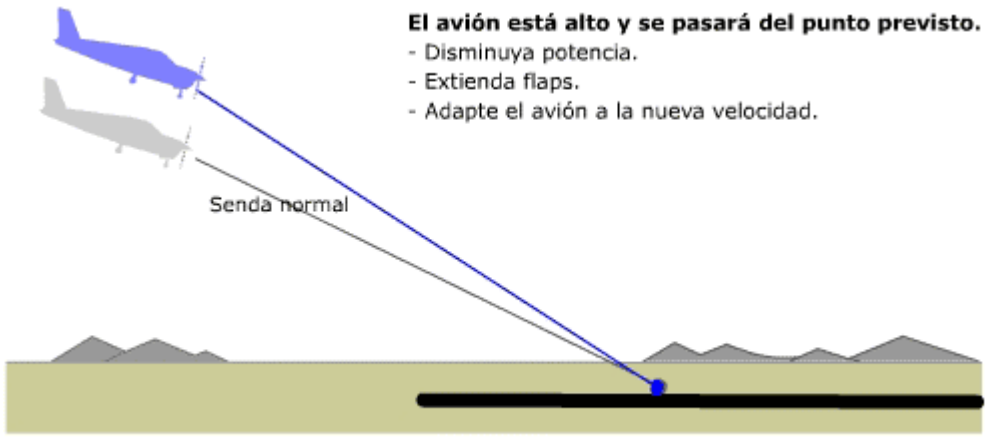


Fig.6.3.5a - Corrección de la senda de aproximación.

Si por el contrario, estima que no llegará al punto elegido, está bajo: **a**) Incremente la potencia (así reduce la tasa de descenso) y el ángulo de ataque para mantener la velocidad. **b**) Reajuste la senda (fig.6.3.5b). Salvo que se encuentre con altitud suficiente para reaccionar, como norma general *nunca* intente corregir esta situación retrayendo flaps, ello provocaría una disminución súbita de la sustentación y que el aeroplano se hunda más rápido todavía.

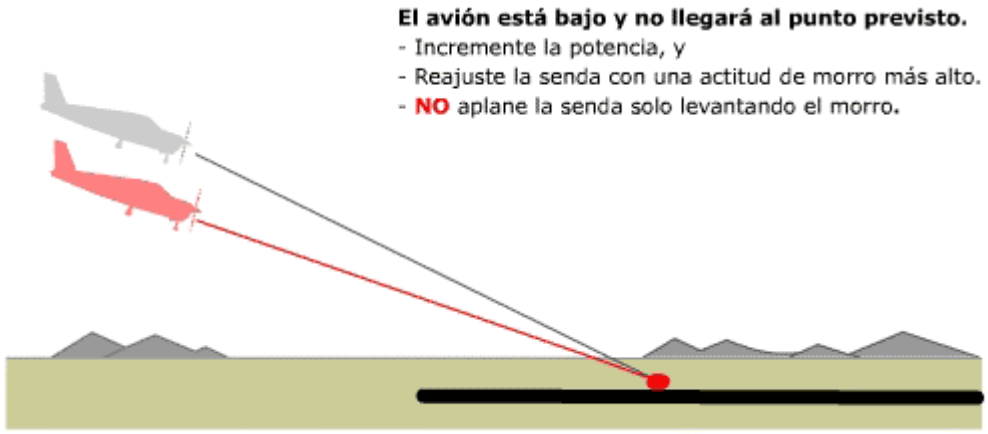


Fig.6.3.5b - Corrección de la senda de aproximación.

No caiga en la tentación de tratar de aplanar la senda simplemente levantando el morro del avión. Con eso lo único que conseguirá es aumentar el ángulo de ataque, reducir la velocidad e incrementar la resistencia (tenía un déficit de energía y encima lo empeora). Además de que puede acercarse peligrosamente a la velocidad de perdida (atención a eso), el ratio de descenso será peor, el avión se hundirá más rápidamente y no alcanzará su punto de referencia. Por esta razón, si ve que en su descenso se queda corto **nunca** intente aplanar la senda **solo** levantando el morro; en lugar de ello, levante el morro y **además** añada potencia simultáneamente (tire de la curva de potencia hacia arriba para disminuir la tasa de descenso).

Controle la velocidad mediante la actitud de morro (ángulo de ataque) y el ángulo de descenso con la potencia. Si cambia una de estas variables debe cambiar simultánea y coordinadamente la otra, es decir: el ángulo de descenso y la velocidad apropiadas deben ser mantenidos coordinando los cambios de actitud con cambios en potencia.

Una regla importante. Si en aproximación final el morro del avión está bloqueando nuestra visión del punto de referencia, debemos estar atentos. Hay varias posibilidades:

1. Posiblemente la actitud es de morro muy alto lo cual significa que podemos estar cercanos a la pérdida.
2. Otra posibilidad es que estamos altos, no nos dirigimos realmente al punto escogido sino que aterrizaremos más lejos.
3. Es posible que tengamos ambos problemas, mucha altura y poca velocidad.
4. Puede ser algo deliberado. Hemos descubierto que nos aproximamos con mucha velocidad y poca altitud así que levantamos el morro para volver a la senda, recuperamos altitud a costa de perder velocidad. Durante esta corrección el morro bloqueará nuestra visión adelante, pero ojo, si el morro del avión tiene una posición como la descrita debe ser por una razón muy especial y solo de forma muy temporal.

Recomiendo la lectura del capítulo 1 (Energy Awareness and Energy Management) del manual online See How It Flies, en el cual su autor, John Stewart Denker, hace una exposición realmente brillante sobre algunos aspectos del vuelo, enfocándolos bajo un punto de vista "energético". Considero que lo allí expuesto es realmente útil en cualquier fase del vuelo, pero especialmente en aproximación final.

6.3.4 Recogida.

El término *recogida* (en inglés *flare* o *roundout*) se refiere a la fase del aterrizaje en la cual el piloto efectúa una suave transición desde la actitud de morro abajo, propia del descenso, a una actitud de morro arriba propia para contactar con la superficie, obviamente tirando de la palanca de control. El objetivo es pasar de una dirección de vuelo descendente a una dirección de vuelo paralela a la pista, con el avión a unos pocos centímetros sobre esta y decelerando paulatinamente hasta que la insuficiente sustentación le haga contactar con el terreno con la menor energía (velocidad+altura) posible. (1)

Para una buena realización de la maniobra, debe prestar atención a tres escalas de tiempo, cuanto debe transcurrir desde el comienzo de la recogida hasta que:

1. Su dirección de vuelo sea horizontal.
2. Alcance el nivel de vuelo más cercano al suelo.
3. Decelere hasta la velocidad adecuada para contactar con la superficie.

Estos tres elementos son las principales variables que determinan el resultado de la maniobra; en consonancia, las tres claves independientes que debe tener en cuenta para controlarla son:

1. La velocidad que tiene el avión en el momento de la recogida.
2. La altitud a la cual se inicia esta.
3. La cadencia con la cual cambia la actitud de morro abajo a morro arriba.

Típicamente, Vd toma las decisiones en ese orden: 1) establece una velocidad de aproximación; 2), esa velocidad determina la altitud a la cual comenzar la recogida (a mayor velocidad mayor altura de comienzo); y 3), ajusta la cadencia del cambio de actitud conforme a esa circunstancia.

Como puede suponer, cada autor tiene su propia idea de como explicar la maniobra de la forma más didáctica, así la misma secuencia de hechos puede recibir nombres y/o divisiones distintas. Algunos denominan recogida (flare o roundout) a todo el proceso hasta que el avión toca con el tren en el suelo (touchdown), otros dividen los mismos hechos en recogida (roundout) y fase de hundimiento (skimming), etc. Por mi parte, me apunto a la forma primera.

Realización de la recogida. Cuando el aeroplano se encuentre a una distancia del suelo que dependerá principalmente de la velocidad (veremos después algunos consejos), comience la recogida tirando del volante de control para ir cambiando la actitud de morro (de descenso a vuelo nivelado), movimiento que debe continuar de forma suave y progresiva hasta que el aeroplano vuele paralelo a la pista y a muy pocos centímetros de esta. A medida que cambie de actitud, el ángulo de ataque irá aumentando con lo cual:

a. De forma paulatina la sustentación va en aumento con lo que la tasa de descenso disminuye, hasta el punto que, si la maniobra está bien hecha, cuando el avión esté a pocos centímetros de la pista debería volar nivelado.
b. La resistencia es cada vez mayor, de manera que el avión decelera progresivamente.

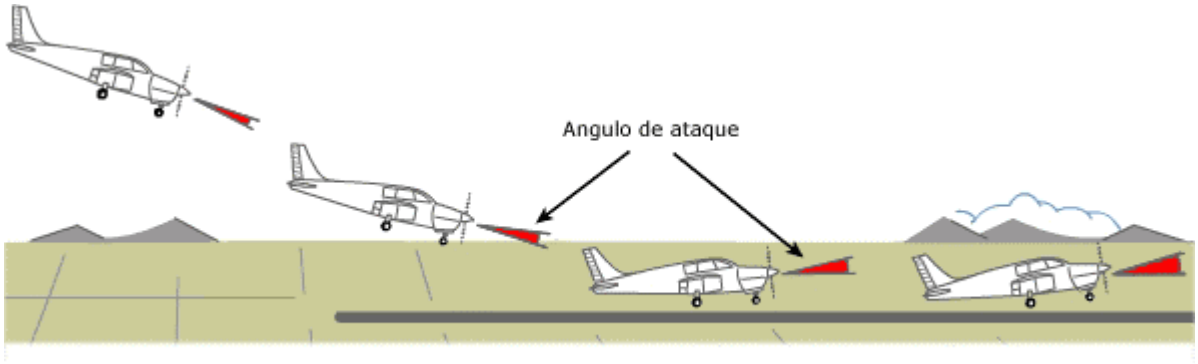
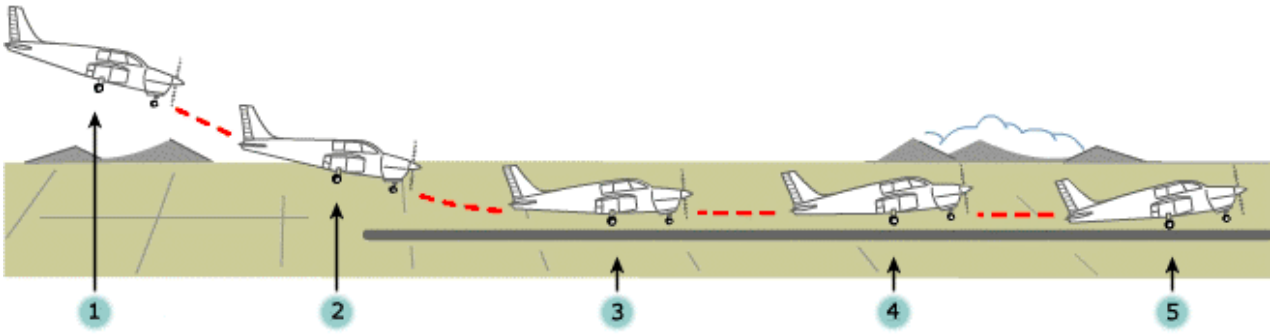


Fig.6.3.6 - Incremento del ángulo de ataque en la recogida.

Este proceso tiene lugar durante un corto espacio temporal, con la recogida Vd ha ido cambiando en la fórmula de la sustentación los valores velocidad y coeficiente de sustentación de manera que ha cambiado de trayectoria y se encuentra sobre la pista con un ángulo de ataque mayor que el que tenía y una velocidad sensiblemente menor.

Como ha cortado gases, bien en el momento de comenzar la recogida o justo con el avión paralelo a la pista, los nuevos valores, ángulo de ataque y velocidad, no proporcionan suficiente sustentación y el avión tiende a hundirse. A medida que el avión quiere caer siga levantando gradualmente el morro del avión, lo justo para mantener la poca altura que tiene, sin elevarse. Con esto consigue dos cosas: una, el cada vez mayor ángulo de ataque produce por un lado que se mantenga temporalmente la altura y por otro que el avión siga decelerando y perdiendo energía; dos, que la actitud de morro arriba propicie que el avión contacte con el suelo con el tren principal y la rueda de morro en el aire (en aviones con tren triciclo). Continúe con este proceso hasta que velocidad decaiga tanto que el avión entre en pérdida, momento en el cual se hundirá suavemente y contactará con el suelo de forma poco perceptible.



1 - Comience la recogida tirando del volante de control, a una altitud que dependerá de la velocidad principalmente.
2 - Continue tirando del volante de control de forma suave y progresiva para cambiar la trayectoria de vuelo.
3 - Siga con este proceso hasta encontrarse a pocos centímetros de la pista volando paralelo a ella.
4 - Mantenga la poca altitud aumentando el ángulo de ataque a medida que el avión pierde velocidad y quiere hundirse.
5 - Ha decelerado tanto que el avión no puede sostenerse en el aire y toma suavemente con el tren principal.

Fig.6.3.7 - Realización de la recogida (flare o roundout).

Tenga en cuenta que en aviones con tren triciclo se toma con el tren principal manteniendo la rueda de morro en el aire sin soportar ningún peso, pero en aviones con patín de cola la maniobra difiere ligeramente pues se requiere tomar con las tres ruedas simultáneamente.

¿Cuando comenzar la recogida?. Aunque el punto donde comenzar la recogida varía según el peso del avión, la velocidad, si aterriza con flaps o el avión limpio, etc. he aquí algunas sugerencias que pueden servir de ayuda:

- Intente juzgar la altura a la que se encuentra el avión por encima de la superficie en base a la altura de objetos conocidos.
- Lo mismo pero en función de la perspectiva con que ve la pista.
- Si el punto donde parece que va a tocar el suelo se aproxima rápidamente es que cae demasiado rápido, minore la tasa de descenso tirando un poco más del volante de control.
- Use su sentido del tiempo. A cada momento en corta final pregúntese cuanto tiempo debe pasar a la velocidad actual hasta que su avión se encuentre a 0 pies AGL. No es difícil coger el ritmo. De alguna manera esto es lo que hacen los pilotos de aviones comerciales: a partir de cierta altitud (500 pies AGL) el copiloto va "cantando" el altímetro de 100 en 100 pies (500, 400,...) pero cuando llegan a los 50 "cantan" de 10 en 10 (50, 40, 30, 20...). Si el piloto percibe el ritmo demasiado rápido es que el suelo se acerca deprisa, la recogida está siendo lenta y se va a aterrizar bruscamente; si lo percibe demasiado despacio está recogiendo muy deprisa, el suelo quedará lejos y el avión alto, también aterrizará duramente.

Estas otras pautas no son recomendables:

- Espere a que se le erice el pelo al instructor y entonces comience la recogida. Esto no es un buen método si algún día quiere volar solo.
- Algunos libros sugieren que comience a la altura de un hangar típico. Esto no es tampoco bueno, porque los hangares tiene distintas alturas y en muchos aeródromos no hay hangares. Por la misma razón, no es conveniente la sugerencia sobre comenzar la recogida a la altura típica de un árbol (¿una encina?, ¿un abeto?, ¿un olivo?, ¿un bonsái?...).
- Puede espera a que el ancho de la pista subtienda un cierto ángulo en su campo de visión. Eso le puede poner en problemas si aterriza en aeródromos con pistas muy anchas o muy estrechas.
- Puede pensar en utilizar la percepción de como de deprisa se le acerca el suelo. No está mal, pero es difícil de percibir y poco sensitivo a la fuerza del viento.

Algunos autores sugieren comenzar la recogida a una altura de entre 15 y 30 pies, dependiendo de la velocidad que lleve, otros entre 10 y 20 pies.

Cadencia de la recogida. La cadencia con la cual efectuar la recogida depende de la altura a la cual comienza, el ratio de descenso y la actitud de morro. Si comienza alto, la recogida debe hacerse con una cadencia más suave que con una altura menor; si el terreno se aproxima velozmente no se alarme, pero acelere la recogida si no quiere comérselo; si por el contrario el suelo se acerca despacio la cadencia debe ser más lenta, aunque cuidando de no quedarse demasiado alto.

La actitud de morro del aeroplano con flaps extendidos es más baja que con flaps arriba, más morro abajo cuanto mayor sea la extensión de flaps. En estos casos, para obtener la actitud adecuada el morro debe "viajar" de abajo a arriba una cantidad mayor que si no lleva flaps. A esto se le une que cuanta más extensión de flaps lleve más pesado se vuelve el morro. Si comienza la recogida a la altitud habitual verá acercarse el suelo más rápidamente, así que o comienza un poco antes, o recoge con más rapidez, o ambas cosas (fig.6.3.8).

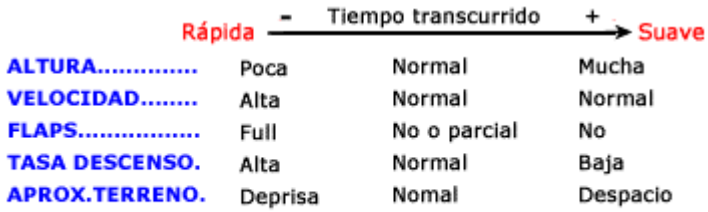


Fig.6.3.8 - Cadencia de la recogida según condiciones.

Resumiendo, el secreto de la recogida es: Si comienza a la altitud correcta y cambia la actitud de morro con la cadencia necesaria, conseguirá tener al avión volando paralelo a la pista y muy cercano a ella, con poca velocidad y tendiendo a hundirse; en esa circunstancia solo tiene que intentar mantener la altitud tirando de cuernos suave y progresivamente hasta que la pérdida de sustentación haga contactar el tren principal del avión suavemente con el terreno.

6.3.5 Más sobre la recogida.

Si su aeroplano tiene tren triciclo y Vd toma con las tres ruedas a la vez (las dos del tren principal y la de morro), eso es una prueba de que su ángulo de ataque es muy bajo y su velocidad muy alta. Si sucede que la fase de sobrevuelo dura más tiempo de lo necesario, entonces es que Vd. ha comenzado la recogida con mucha velocidad y/o la ha iniciado demasiado tarde; la próxima vez cuide la velocidad y comience la recogida antes.

La actitud propia de morro arriba (en aviones con tren triciclo) bloquea la visión adelante y no deje ver la línea central de la pista. Por tanto, durante la primera parte de la recogida, la toma, y el comienzo de la carrera posterior a esta, debe mantener el aeroplano centrado en base a otras referencias, quizá los bordes de la pista le sirvan. Si pretende mantener la línea central siempre visible eso implica una actitud de morro bajo y una velocidad muy alta, no le conviene.

Si el avisador de pérdida se enciende y/o suena mientras vuela horizontalmente a muy pocos pies sobre la pista es una buena señal, está a punto de tomar suavemente. Por el contrario, si eso sucede al inicio de la recogida o durante la misma eso es mala señal, seguramente se encuentra demasiado arriba de la pista y descendiendo: aplique potencia inmediatamente. Esto último le ayuda debido a que:

1. la velocidad de pérdida con potencia añadida es menor que con potencia 0, debido a la incidencia del aire movido por la hélice sobre las alas. Eso puede darle suficiente sustentación para continuar la maniobra.
2. la tasa de descenso es menor y eso hará que el aeroplano no caiga tan rápidamente, y
3. una mayor cantidad de energía puede ayudarle a "reconstruir" su velocidad.

Por contra, esa adición de potencia implica más tiempo con el avión en vuelo y por añadidura más distancia horizontal recorrida, esté atento a la cantidad de pista adicional necesaria.

El movimiento del volante de control debe ser pausado en el tiempo para que resulte suave y continuo, manteniéndolo hasta que el avión se encuentre a punto de contactar con la superficie. Es un error muy común levantar el morro a "tirones", esto es, levantarlo un poco, esperar a ver que sucede y entonces levantarlo un poco más, y así sucesivamente. No debe preguntarse "cuanto debo levantar el morro" sino que es mejor plantearse "con que cadencia debo levantar el morro".

La culminación de la recogida debe ser juzgada por el cambio de actitud del aeroplano más que por la cantidad de movimiento del volante de control. Esta actitud debe ser mantenida o modificada por referencia al horizonte y el frontal del aeroplano.

Una vez comienza la recogida y hasta el contacto con el suelo, el volante de control no debe empujarse hacia adelante para corregir errores por haber tirado mucho del mismo. Si ha ejercido mucha presión tirando del volante, esta puede ser relajada un poco.

Algunos alumnos piensan que es una buena idea esperar hasta el último momento posible y entonces levantar el morro de una vez, bruscamente, esto es lo que se llama una recogida "plana". Incluso aunque pueda hacer esto bajo cualquier circunstancia, hacerlo es una idea cuando menos desafortunada porque:

- No deja margen para el error. Si juzga mal la altura o espera un poco más de lo debido para iniciar la recogida puede que deje un hoyo en el suelo con forma de avión.
- No funciona en todas las circunstancias. Puede funcionar en aviones de entrenamiento cuando su velocidad es mucho más rápida que la de pérdida, pero en aeroplanos con una velocidad de pérdida alta, las alas no son capaces de desarrollar la sustentación suficiente para un cambio súbito en la dirección de vuelo.
- Es difícil conocer con exactitud cuanto debe tirar de cuernos. Si tira un poco más o un poco menos, o si el avión soporta más peso en ese vuelo, o si la aproximación se realiza con una velocidad inusual (por ejemplo con full flap), este tipo de recogida es muy crítica y no le deja tiempo para compensar cualquier pequeña desviación.

NO aprenda a efectuar recogidas "planas" que funcionan solo con su aeroplano y no en todas las circunstancias. Con el mismo esfuerzo puede aprender la técnica "normal" que funciona razonablemente bien en todos los tipos de avión y en prácticamente todas las circunstancias.

6.3.6 Toma y carrera posterior.

Ya se ha mencionado anteriormente la necesidad de mantener el avión centrado con la pista. No permita que durante el sobrevuelo de la pista, la toma y la carrera posterior, el avión pierda la alineación, maneje los pedales para mantener el eje longitudinal del avión alineado con el eje de pista. Si suele aterrizar en pistas anchas no se acostumbre a hacerlo desplazado del eje, disciplínese, si una racha de viento le mueve lateralmente, dispondrá de mayor margen.

No aterrice con los frenos aplicados. Por supuesto, sus pies deben permanecer en la parte baja de los pedales (timón de dirección y rueda delantera). Asegúrese que no está presionando los frenos de forma accidental. Espere a que la totalidad del peso del avión se transfiere de las alas a las ruedas (es decir, a tener las tres ruedas en el suelo) antes de aplicar frenos.

La toma debería ser lo suficientemente suave para que la rueda de morro permanezca en el aire durante la misma y los 50 primeros pies de la carrera posterior. Mantener el morro en el aire ayuda a frenar el aeroplano (freno aerodinámico) y aunque esto no sea especialmente importante salvo en pistas muy cortas, ahorra dinero en frenos y neumáticos.

Mantenga el control durante toda la carrera, recuerde que el vuelo no acaba hasta que tenga el aeroplano en el aparcamiento, totalmente frenado y con los procedimientos de parada efectuados.

En aviones con tren triciclo, una vez tome con el tren principal no relaje la presión atrás sobre la columna de control, mantenga en el aire la rueda de morro y a medida que la velocidad decrece y los mandos se vuelven menos efectivos permita que esta baje suavemente y contacte con el terreno. Espere que la velocidad se reduzca antes de comenzar a frenar y entonces no lo haga bruscamente sino por emboladas.

Para parar en la menor distancia posible, si aterrizó con flaps retráigalos cuando el avión tenga las tres ruedas en el suelo, aplique frenos por emboladas y después tire del volante de control atrás un poco.

Si tiene que retroceder por la pista para ir al aparcamiento, no lo haga sin permiso de la torre "*MAG47 solicita backtrack sobre pista dos ocho*" y en aeródromos no controlados informe a los demás tráficos sobre este hecho "*MAG47 haciendo backtrack sobre pista cero nueve*". Por supuesto que debe cerciorarse que puede hacerlo con seguridad y sin interferir las maniobras de otros tráficos.

Después de abandonar la pista por la salida de rodaje, efectúe los procedimientos de post-aterrizaje. Estos suelen incluir: calefacción al carburador OFF, subir flaps, bomba de combustible OFF, luces de navegación OFF,... (fig.6.3.9). Los procedimientos posteriores al aterrizaje se realizan realmente cuando se abandona la pista principal. Hasta que no tenga el avión totalmente parado no ha terminado el vuelo, no pierda la concentración.
Mi experiencia personal se lo aconseja, el único accidente que he sufrido sucedió así: después de una buena toma durante mi instrucción, de vuelta al aparcamiento por una calle muy estrecha, mi instructor se relajó en exceso saludando a algunas personas que estaban por allí y aunque yo estaba atento a la rodadura calculé mal la distancia del extremo de un ala a los aviones aparcados. Resultado: rompí el borde del ala al golpear el morro de un avión estacionado y el avión no pudo volar en dos semanas. No hubo daños personales, salvo en mi orgullo y en el del instructor, pero provocamos innecesariamente pérdidas económicas a la escuela de vuelo. Puedo asegurar que desde entonces procuro hacer los rodajes, previos y posteriores al vuelo, con extrema atención.

10 - DESPUES DE ATERRIZAR	
- Bomba de combustible.....	OFF
- Flaps.....	Retraer
- Luz de aterrizaje.....	OFF
11 - APARCAM. Y PARADA MOTOR	
- Freno aparcamiento.....	Puesto
- COM/NAV/Transponder.....	OFF
- Gases.....	1000 rpm
- Mezcla.....	Cortar
- Magnetos.....	Quitar
- Master.....	OFF
- Luz anticolisión.....	OFF
Asegurese cerrar el plan de vuelo.	

13 - LEAVING THE RUNWAY	
- Landing Light.....	OFF
- Fuel Pump.....	OFF
- Flaps	UP
14 - PARKING & STOPPING ENGINE	
- Parking Brakes.....	SET
- Com/Nav/Transponder.....	OFF
- Throttle.....	900 rpm
- Mixture.....	Cut Off
- Magnetos.....	OFF
- Master Switch.....	OFF
- Anticolision Lights.....	OFF
Close your flight plan	

Fig.6.3.10 - Lista de chequeos post-aterrizaje y parada del avión.

6.3.7 Otras percepciones y buenos hábitos.

Aunque debe chequear a menudo el indicador de velocidad durante la aproximación final, ignórelo durante la recogida. Es verdad que el indicador de velocidad es el mejor instrumento que tiene para medir el ángulo de ataque (como ya se dijo), pero en este caso quiere aterrizar el aeroplano con un alto ángulo de ataque y debe percibir este ángulo mediante ayudas visuales. Durante la recogida, el indicador de velocidad no le dice nada sobre el ángulo de ataque o cualquier otro dato que necesite conocer.

No es mala idea controlar su velocidad de acuerdo a su impresión del movimiento del avión respecto al suelo, pero sobre todo permanezca atento al ángulo de ataque. Las percepciones de velocidad respecto al suelo cambian conforme a:

- La fuerza del viento en cara.
- El modelo de aeroplano.
- Densidad de altitud.

Esta percepción le puede ayudar, porque si nota que la velocidad respecto al suelo es desmesurada debe plantearse si no estará aterrizando con viento de cola. En ese caso haga motor y al aire, observe bien la dirección del viento e inténtelo de nuevo con el viento en cara.

Recuerde también que la indicación de velocidad vertical (fpm) y la potencia requerida en la aproximación final le dice mucho sobre si tiene viento en cara o en cola.

La aplicación de los controles en el descenso es algo diferente si este se hace asistido por la potencia del motor o si se realiza sin potencia (planeo), la maniobra de planeo requiere una técnica algo más refinada. La diferencia está causada principalmente por dos factores: por un lado la ausencia del flujo de aire proporcionado por la hélice y por otro la menor efectividad relativa de las superficies de control a baja velocidad (controles perezosos). Recuerde que, tal como se evidencia en la maniobra de vuelo lento, durante la recogida y el aterrizaje la velocidad es baja y la hélice lleva pocas r.p.m. Esto significa que los mandos están "perezosos" y que es necesario más cantidad de movimiento del volante de control que en vuelo normal.

Desde el principio, habitúese a manejar el volante de control con una mano (izquierda) y mantener la otra (derecha) sobre la palanca de gases durante todo el aterrizaje (lo mismo en los despegues). Cuesta un poco pero es necesario. Si se desarrolla alguna situación que requiera la inmediata aplicación de potencia, el tiempo necesario para reconocer el problema, mover la mano a la palanca de gases, abrirlos y que el motor responda se puede hacer demasiado grande. Los rebotes sobre la pista en los primeros aterrizajes no son infrecuentes y el uso apropiado de la palanca de gases en el momento exacto es imperativo.

Practique tanto las aproximaciones asistidas con potencia como planeando con los gases cortados. Este último tipo de aproximación es muy necesario para tomarle el pulso al planeo del aeroplano, sentido que le ayudará en caso de un aterrizaje de emergencia.

6.3.8 Breve resumen del aterrizaje.

1. Seleccione un punto de referencia para la toma en el primer tercio de la superficie.
2. Establezca una aproximación estabilizada en velocidad y potencia.
    a. Use el cabeceo arriba o abajo para mantener la velocidad. Suba el morro para disminuirla o bájelo para incrementarla.
    b. Use potencia para mantener la altura en la senda; más potencia para aumentar la altura (subir a la senda) o menos potencia para disminuirla (bajar a la senda).
3. Mantenga la alineación con el eje de la pista aplicando coordinadamente alerones y pedal. Si está en corta final mantenga esa alineación usando solo los pedales.
4. Cuando se encuentre a la altitud de recogida, si lleva alguna potencia redúzcala suavemente a 0. En aviones que caen rápidamente o si aterriza con full flap puede interesarle cortar potencia algo más tarde e incluso justamente con el avión nivelado sobre la superficie, pero tenga en cuenta que cuanto mas tarde en cortar gases mayor será la longitud de pista necesaria para aterrizar.
5. Suave y continuamente tire de cuernos para recoger; si lo hace demasiado despacio el avión impactará en la pista, y si demasiado deprisa se encontrará con un "globo". La cadencia en la recogida depende de la altura a la que comience esta y las velocidades vertical (tasa de descenso) y horizontal que lleve en ese momento.
6. Mantenga el avión sobrevolando la pista a muy pocos pies de esta. A medida que tiende a hundirse siga levantando el morro suave y continuamente. Si la longitud de pista lo permite, manténgalo así tanto tiempo como pueda. El aeroplano irá perdiendo velocidad y cuando esta sea insuficiente para mantenerlo en el aire caerá suavemente con el tren principal en la pista.
7. Después que el avión toque con la superficie, siga manteniendo la presión sobre el volante de control para mantener la rueda de morro en el aire; según disminuye la velocidad aminore poco a poco esa presión para dejarla caer suavemente sobre la pista.
8. Con todas las ruedas en el suelo, dependiendo de la longitud de la pista, deje que el avión decelere y entonces use los frenos. No los aplique violentamente, si necesita frenar en poco espacio frene a emboladas. Si llevaba flaps extendidos, recogerlos ayuda a la frenada.
9. Ruede con el avión controlado hasta la salida más próxima a las calles de rodaje.

Sumario:

- Los factores sustentación y resistencia puede ser variados por el piloto mediante el uso de flaps. Cuando se extienden flaps la velocidad disminuye debido a la mayor resistencia, el ángulo de incidencia es menor, lo cual supone una menor actitud de morro menos elevada, y la senda de aproximación se hace más pronunciada.
- Puede necesitar extender flaps por varias razones: para aterrizar con una velocidad menor si el campo es corto o blando; si tiene obstáculos cercanos a la pista que obliguen a aproximarse con un ángulo relativamente mas acentuado; para corregir un exceso de altitud en la senda, etc.
- Con flaps abajo, las velocidades de aproximación son mas bajas que si esta se hace con flaps arriba. El piloto debe conocer con exactitud las distintas velocidades con diferentes extensiones de flap.
- Al extender flaps debe adaptar los parámetros de vuelo a esa nueva configuración y compensar el avión. No debe extender flaps mientras vuele con una velocidad superior a la indicada por el fabricante (mayor valor del arco blanco).
- El viento en cara agudiza la senda de aproximación y reduce la distancia recorrida, mientras que el viento en cola reduce el ángulo de la aproximación e incrementa la distancia recorrida. El piloto debe tener en cuenta el viento antes de aterrizar.
- En presencia de viento la dirección de vuelo relativa al suelo no es la misma que la dirección de vuelo a través del aire. Con viento nulo ambas coinciden, pero con viento en cara o en cola, difieren.
- Para corregir el efecto del viento en cara, puede comenzar la aproximación un poco más cercano a la pista, o aproximarse con un poco más de potencia, o ambas cosas, pero la solución más sencilla reside en una regla de oro: "*con viento de intensidad moderada o alta, incremente la velocidad de aproximación en 1/4 de la velocidad del viento*".
- Al comenzar la aproximación final, el piloto debe estimar el punto de aterrizaje juzgando el ángulo de descenso. Si en algún momento estima que sobrepasará dicho punto: **a**) si tiene potencia aplicada disminúyala, **b**) incremente la extensión de flaps para aumentar la resistencia, y **c**) adapte el aeroplano a la nueva velocidad cambiando la actitud de morro en la cantidad necesaria.
- Si estima que no llegará al punto elegido: **a**) Incremente la potencia y el ángulo de ataque para mantener la velocidad, **b**) reajuste la senda. Como norma general *nunca* intente corregir esta situación retrayendo flaps, ello provocaría una disminución súbita de la sustentación y que el aeroplano se hunda más rápido todavía.
- No caiga en la tentación de tratar de aplanar la senda simplemente levantando el morro del avión. Si ve que en su descenso se queda corto **nunca** intente aplanar la senda **solo** levantando el morro; en lugar de ello, levante el morro y **además** añada potencia simultáneamente.
- Controle la velocidad mediante la actitud de morro y el ángulo de descenso con la potencia. Si cambia una de estas variables debe cambiar simultánea y coordinadamente la otra.
- La *recogida* es la fase del aterrizaje durante la cual el piloto hace una suave transición desde la actitud de morro abajo, propia del descenso, a una actitud de morro arriba propia para contactar con la superficie.
- El objetivo de la recogida es pasar de una dirección de vuelo descendente a una dirección de vuelo paralela a la pista, con el avión a unos pocos centímetros sobre esta y decelerando paulatinamente hasta que la insuficiente sustentación le haga contactar con el terreno con la menor energía (velocidad+altura) posible.
- Para realizar una buena recogida, debe estimar correctamente cuanto debe transcurrir hasta que: a) la dirección de vuelo sea horizontal, b) alcance el nivel de vuelo más cercano al suelo, y c) decelere hasta la velocidad adecuada para contactar con la superficie.
- El tiempo a estimar depende de la velocidad que tiene el avión en el momento de la recogida, la altitud a la cual se inicia esta, y la cadencia de cambio de actitud de morro abajo a morro arriba.

Esta cadencia depende de la altura de comienzo de la recogida, el ratio de descenso y la actitud de morro. Si comienza tarde, lleva full flaps, observa que el terreno se aproxima velozmente o su tasa de descenso es alta, la cadencia debe ser más rápida que en condiciones normales. Si por el contrario comienza demasiado pronto, no lleva flaps extendidos, el suelo se acerca despacio o la tasa de descenso es pequeña, esta cadencia debe ser más lenta.

- En aviones con tren triciclo se toma con una actitud tal que el avión contacte con el tren principal en la superficie mientras la rueda de morro permanece en el aire; con patín de cola se toma con las tres ruedas a la vez.
- Durante la recogida, la toma, y el comienzo de la carrera posterior a esta la línea central de la pista no es visible debido a la actitud de morro arriba del avión. Debe centrar el aeroplano por otras referencias, quizá los bordes de la pista. Si pretende mantener la línea central siempre visible eso implica una actitud de morro bajo y una velocidad muy alta, no es conveniente.
- El movimiento del volante de control en la recogida debe ser suave y continuo, manteniéndolo hasta que el avión se encuentre a punto de contactar con la superficie. No levante el morro a "tirones". Es mejor tener en cuenta "con que cadencia debe levantar el morro" que no "cuanto debe levantar el morro".
- NO aprenda a efectuar recogidas "planas" que funcionan solo con su aeroplano y no en todas las circunstancias.
- Mantenga los pies en la parte baja de los pedales para aterrizar centrado sobre la pista y asegúrese que no presiona los frenos de forma accidental. Antes de aplicar frenos espere a que la totalidad del peso del avión se transfiera de las alas a las ruedas.
- Recuerde que el vuelo no acaba hasta que tenga el aeroplano en el aparcamiento, totalmente frenado y con los procedimientos de parada efectuados. No pierda la concentración tras la toma.
- Tome el hábito de manejar el volante de control con una mano y mantener la otra sobre la palanca de gases durante todo el aterrizaje.
- Practique aproximaciones asistidas con potencia y planeando con los gases cortados. Esto último es muy necesario para tomarle el pulso a la capacidad de planeo del aeroplano, sentido que le puede salvar la piel en un aterrizaje de emergencia.

---

(1). Recuerde que este manual trata sobre aviones ligeros. Si se fija como aterrizan los grandes aviones comerciales observará que ya vienen desde bastante lejos con el morro arriba. Eso no significa que no "recojan", sino que comienzan esta maniobra muchísimo antes y de manera más pausada. La razón es fácil de entender, cuanto mayor sea el peso del avión mayor es su inercia (resistencia al cambio de dirección) y antes ha de comenzarse a "nivelar" y cambiar la actitud de morro.

NAVEGACIÓN

7. DESARROLLO DE LA SECCIÓN.

Normalmente, una persona que emplea su tiempo, dinero y esfuerzo, en aprender a volar, no lo hace solo por el placer de maniobrar un aeroplano, debemos suponer razonablemente que pretende además desplazarse de un lugar a otro con el mismo. Para ello es imprescindible saber llevar el aeroplano de un lugar a otro con eficiencia y seguridad, es decir, navegar.

La navegación aérea debe ocupar una parte de nuestro entrenamiento casi tan importante como aprender a volar. Y digo casi, porque es obvio que sin saber volar no tiene mucho sentido pretender navegar. Esta sección tiene por objeto desarrollar conceptos, procedimientos y consejos básicos sobre navegación aérea, de forma que puedan servir al piloto en la adquisición de una buena práctica y experiencia. Este es su contenido:

7.1 INTRODUCCION A LA NAVEGACIÓN.
- 7.1.1 Vuelo local y de travesía.
- 7.1.2 Características de la navegación aérea.
- 7.1.3 Métodos básicos de navegación.
- 7.1.4 Técnicas combinadas.
- 7.1.5 VFR e IFR.

7.2 GENERALIDADES.
- 7.2.1 El planeta Tierra.
- 7.2.2 Paralelos y meridianos.
- 7.2.3 Latitud y longitud.

 © M.A.Muñoz

NAVEGACIÓN

7.1 INTRODUCCION A LA NAVEGACIÓN.

En su forma más sencilla, el diccionario nos dice que navegación es:

a) la acción de navegar,
b) el viaje que se hace con una nave. En el caso que nos ocupa, una definición un poco más precisa es: navegación aérea es la ciencia y tecnología que tiene como objetivo determinar la posición de un aeroplano respecto a la superficie de la tierra y mantener con exactitud la ruta deseada.

Así pues, se entiende por navegación aérea el proceso de pilotar un aeroplano, dirigiéndolo de un lugar geográfico a otro a través de una ruta establecida y monitorizando su posición a lo largo de la misma. A grandes rasgos, navegar requiere:

a) definir la ruta a seguir para llegar al lugar deseado;
b) monitorizar el vuelo a lo largo de esa ruta;
c) corregir las posibles desviaciones de la misma, y
d) adoptar procedimientos alternativos en caso de imposibilidad para alcanzar el destino previsto.

7.1.1 Vuelo local y de travesía.

Si Vd. vuela habitualmente dentro de un radio relativamente cercano al aeródromo en el cual suele operar, es como si se moviera por su barrio, conoce y distingue sin duda las características del paisaje que le rodea, donde está cada lugar, y sabe en todo momento donde se encuentra. Para dirigirse a un punto determinado simplemente se encamina hacia el mismo (enfila el morro del avión hacia allí) y ya está. Este tipo de vuelo suele denominarse ~~vuelo local~~, comienza y termina normalmente en el mismo aeródromo, predomina el pilotaje del avión y apenas es necesario poner en práctica procedimientos de navegación.
Pero si por alguna circunstancia se aleja más de lo previsto y el paisaje ya no le es familiar, o no le es posible distinguir sin ningún genero de duda los lugares conocidos, bien porque la meteorología empeore reduciéndose la visibilidad o porque está volando cercano al ocaso, o no ha cuidado el repostaje del aeroplano y se ve en la necesidad de dirigirse a un aeródromo inmediato pero desconocido, en estos casos o sabe navegar o estará literalmente perdido. La falta de conocimientos y experiencia en navegación puede dar lugar a situaciones comprometidas e incluso peligrosas.

El ~~vuelo de travesía~~ ("cross country") se refiere esencialmente a todos aquellos vuelos que tienen lugar más allá de la proximidad de un aeródromo. Aunque no existe ningún criterio al respecto, ni falta que hace, suelen comenzar en un aeródromo y terminar en otro distinto relativamente alejado del de partida. En vuelo de travesía, ciertos detalles básicos que en vuelo local son importantes, adquieren una relevancia especial e incluso crítica, como por ejemplo:

- En las cercanías de un aeródromo puede aterrizar y repostar casi a voluntad, pero en un vuelo de travesía necesitará calcular previamente el combustible a consumir y planificar donde repostarlo.
- En la proximidad de un aeródromo, si el tiempo empeora repentinamente puede aterrizar y permanecer a la espera de que la situación mejore. En vuelo de travesía necesitará estudiar con más detalle las previsiones meteorológicas y permanecer atento a los posibles cambios en ruta. No solo eso, tendrá incluso que prever el desvío a un aeródromo alternativo.
- De su aeropuerto habitual, presumiblemente conoce la longitud de la pista, los puntos de notificación para entrar en circuito, como se realiza el mismo, las frecuencias de comunicaciones, si dispone o no de ayudas a la navegación, etc.

Todos estos detalles y algunos más sobre el aeródromo de destino, deberá tenerlos estudiados y planificados en un vuelo de travesía. Por ejemplo, puede resultar peligroso realizar un circuito a izquierdas cuando los demás tráficos lo hacen a derechas; o encontrarse en corta final alto y rápido para descubrir en la recogida que la pista es muy corta, o notificar una posición sobre un lugar cuando en realidad se está en otro distinto, etc.

- Cercano a su aeropuerto, conocerá seguramente por donde puede volar y por donde no, que zonas están prohibidas al vuelo, cuales están restringidas y como son esas restricciones, o que zonas son peligrosas. Igualmente, que altitud debe mantener en cada área no solo para franquear obstáculos sino porque pueden existir restricciones, pasillos aéreos, etc. Naturalmente, deberá tener en cuenta todos estos factores a la hora de diseñar y realizar una ruta.

En definitiva, para realizar un vuelo de travesía es imprescindible una buena navegación. Realizar un vuelo y llegar con seguridad y a tiempo a nuestro destino, de acuerdo con un plan predeterminado, puede ser muy satisfactorio. Por el contrario, una navegación pobre puede ser frustrante, e incluso en determinadas circunstancias peligrosa.

7.1.2 Características de la navegación aérea.

La navegación aérea posee algunas características particulares que la distingue de otros tipos de navegación como puede ser la marítima o la terrestre.

- **Un avión no puede detenerse en vuelo**. Al contrario que un automóvil, e incluso un barco, que pueden detenerse para resolver alguna situación de incertidumbre o a la espera de una mejora en las condiciones ambientales para reanudar la marcha, un avión no puede salvo aterrizando.
- **La autonomía es limitada.** Esto es común a todos los aparatos movidos por un motor, se mantienen en movimiento en tanto tienen suficiente combustible del cual extraer energía y transformarla en movimiento. Pero mientras que un barco, un automóvil, etc. simplemente se paran cuando agotan el combustible, un aeroplano no solo se para, además se cae.
- **Alta velocidad.** Esta ventaja del aeroplano respecto a otros medios de transporte, en el caso de la navegación puede ser un inconveniente: el paisaje que sirve de referencia pasa más deprisa y se dispone de menos tiempo para observarlo con detalle; una desviación de un par de grados durante unos minutos nos alejará del punto previsto unas cuantas millas; en caso de desorientación, mientras que se toma conciencia de la misma y se deciden las pautas a seguir, el avión sigue volando y tragando millas. Cuanto más alta sea la velocidad mayores deben ser el rigor y la precisión en la navegación.
- **Meteorología.** Las condiciones meteorológicas afectan a todos los medios de transporte en mayor o menor medida, pero en el caso de los aeroplanos juegan un papel fundamental. La falta de visibilidad impide ver con claridad las peculiaridades del terreno, una tormenta puede obligarnos a desviarnos de la ruta y aterrizar en un aeródromo alternativo e incluso tener que realizar un aterrizaje de emergencia; la capacidad de soportar vientos de cierta intensidad es limitada; el viento nos puede desviar de la ruta prevista; la presencia de nubes bajas puede obligarnos a mantener una altitud menor a la prevista y si esta no es suficiente para sortear los posibles obstáculos obligarnos a cambiar de ruta o dar la vuelta; etc.
- **Normativas**. Existen reglamentos y normas a cumplir, pero en el aire no hay señales de tráfico que prohíban nada, señalen alguna dirección, o aconsejen una determinada velocidad o altitud. Sería fantástico ir volando y encontrarse con señales del tipo "Bienvenido a Teruel", "Atención: altitud mínima 7500 pies", "Peligro: área de maniobras de aviones militares", o que al menos todos los pueblos tuvieran escrito su nombre en letras grandes y claras sobre algún lugar fácilmente visible, pero la realidad no es esa.

7.1.3 Métodos básicos de navegación.

Además de una planificación previa, cuyos detalles se explican en capítulos posteriores, para navegar eficazmente el piloto necesita determinar la posición relativa del aeroplano respecto a la superficie terrestre y dirigirlo en la dirección apropiada. Ambas cosas pueden hacerse mediante uno cualquiera de los siguientes métodos:

- **Navegación observada** (pilotage). El piloto determina la posición actual y la dirección a seguir, observando las referencias en la superficie terrestre y reconociéndolas sobre la carta. Estas referencias usualmente corresponden a los aspectos más relevantes del terreno (ríos, carreteras, lagos, etc.).
- **Navegación a estima** (dead reckoning). Calculando el tiempo transcurrido volando en una determinada dirección y la velocidad respecto al suelo, el piloto "estima" tanto la posición actual como la dirección a seguir.
- **Radionavegación**. También denominada navegación por instrumentos, aunque personalmente prefiera el término "navegación asistida por instrumentos", se refiere a la navegación realizada en función de las indicaciones de los equipos de navegación instalados a bordo. Existe una gran variedad de sistemas de instrumentos, unos basados en la recepción de señales de estaciones terrestres (VOR por ejemplo), otros de señales procedentes de satélites (GPS por ejemplo), otros que son autónomos y no necesitan de señales externas (sistema inercial por ejemplo), etc.
- **Otros**. Existen otros métodos de navegación, como por ejemplo la celestial, basada en referencias a los cuerpos celestes, pero dado que no están extendidos ni son frecuentes en aviación ligera, pasaremos por alto dichos métodos.

7.1.4 Técnicas combinadas.

La combinación de navegación visual y a estima es muy potente; los cálculos de la estima ayudan a establecer los próximos puntos de la ruta, el rumbo a seguir y el tiempo previsto en alcanzarlos, mientras que la navegación visual permite reconocer la posición actual con certeza, de manera que los pequeños e inevitables errores de estimación no se acumulen. De hecho, ambos métodos son tan interdependientes que constituyen esencialmente uno único, conocido como navegación observada y a estima. Si a ello le añadimos la utilización de procedimientos basados en instrumentos de navegación, con este "cóctel" la navegación será más cómoda y segura.

Como piloto, no se autolimite a una sola técnica de navegación, no vacile en combinar navegación visual a estima y navegación por instrumentos. Por ejemplo, puede utilizar la señal de un VOR para mantener el rumbo, y calcular tiempo y distancia desde el último sitio conocido para chequear su progresión sobre la ruta. De la misma forma, puede navegar a estima para mantener el rumbo y reconocer el progreso en la ruta ayudándose de las señales VOR. En caso de incertidumbre, las ayudas radioeléctricas pueden ayudarle a confirmar o desmentir los cálculos de posición o rumbo obtenidos por el procedimiento de estima.

Si el aeroplano dispone de instrumentos de navegación, el aspirante a piloto se podría preguntar ¿para que aprender otros métodos menos confortables?. Pues bien, aunque navegar por instrumentos es relativamente fácil, cómodo y seguro, fiar nuestra navegación exclusivamente a los instrumentos no parece muy de sentido común: además de que son susceptibles de averiarse, dependen de un suministro eléctrico. Si Vd. navega habitualmente con un GPS por ejemplo, encontrará que no hay razón para hacerlo de otra manera, pero si este se avería o lo que sería más tragicómico, se le acaban las pilas, la navegación observada y/o a la estima serán las que literalmente le salven el pellejo.

El proceso de aprendizaje, debería razonablemente ser escalonado, comenzando por adquirir experiencia en navegación conforme a los métodos básicos (observada y a la estima), para después perfeccionar y ampliar esta experiencia navegando con radioayudas, y si llega el caso culminar el proceso navegando con sistemas exclusivamente basados en instrumentos, pero en ningún caso despreciando u olvidando los sistemas básicos. Primero, aprenda a navegar con un mapa, un reloj y una brújula; después con los instrumentos electrónicos; no fíe su destino a la carga de unas pilas.

7.1.5 VFR e IFR.

Antes de pasar a otros capítulos, conviene aclarar algunas diferencias entre VFR (Visual Flight Rules) que se traduce por "Reglas de Vuelo Visual", e IFR (Instrument Flight Rules) que se traduce por "Reglas de Vuelo por Instrumentos".

Las denominaciones puede que sean algo engañosas e induzcan a pensar, por ejemplo, que cuando se vuela con instrumentos se está volando en IFR; o que si se navega a estima, se está volando en VFR. No es así ni mucho menos; nada le prohibe al piloto utilizar todos los instrumentos a su alcance volando en VFR, o que en IFR el piloto quiera chequear la posición indicada observando las marcas en el terreno. Que un vuelo pueda realizarse en "visual" o en "instrumental" depende principalmente de si las condiciones ambientales posibilitan volar por referencias "visuales" o por el contrario fuerzan a volar por instrumentos. Por ejemplo, en VFR no se puede volar dentro de nubes porque no hay referencias visuales (ni del terreno ni de la posición del avión respecto al horizonte).

La primera diferencia, estriba en las condiciones meteorológicas. Si estas son "buenas" tal como lo define el Reglamento de Circulación Aérea (que llamaremos en adelante R.C.A.), entendiendo como "buenas" una visibilidad y una distancia a la base de las nubes mínimas, se puede volar en VFR. Si esas condiciones mínimas no se cumplen, el vuelo ha de ser obligatoriamente IFR. Digamos que hay dos niveles de restricción: uno en el cual se puede volar VFR, y por supuesto también IFR, y otro más estricto en el cual solo se puede volar IFR.

CONDICIONES DE VISIBILIDAD Y DISTANCIA DE NUBES PARA VUELOS VFR

Clase de espacio aéreo	A	B	C-D-E	F - G	
				Con altitud por encima del mayor de los valores: - 900 mt (3000 ft) AMSL o - 300 mt (1000 ft) AGL	Con altitud igual o menor al mayor de los valores: - 900 mt (3000 ft) AMSL o - 300 mt (1000 ft) AGL.
Distancia de las nubes	NO VFR	Libre de nubes	1500 mt horizontalmente 300 mt (1000 ft) verticalmente.		Libre de nubes y a la vista de la superficie
Visibilidad de vuelo	NO VFR	8 km. a 3050 mt (10000 ft) AMSL o por encima 5 km. por debajo de 3050 mt (10000 ft) AMSL			5 km.

Fig.8.1.1 - Tabla de mínimos VFR

La fig.8.1.1 muestra las condiciones mínimas de visibilidad adelante y distancia a las nubes que deben darse para volar en VFR en cada clase de espacio aéreo. Por ejemplo: en un espacio de clase G, con una altitud superior a 300 metros (1000 pies) por encima del suelo (AGL) y una lectura de altímetro mayor de 3000 pies, la distancia mínima a las nubes (si hubiera) debe ser de 1500 metros en horizontal y 300 en vertical para poder volar en VFR. La visibilidad, debería ser como mínimo de 8 km. a 10.000 pies o más de altitud, y de 5 km. con altitudes menores. Si no se puede cumplir alguno de los mínimos anteriores, el vuelo debe hacerse en IFR.
Mantener la separación vertical de las nubes, no puede suponer nunca volar tan bajo que se viole la norma fundamental sobre altitud mínima de vuelo. Si no puede mantener esta altitud mínima a la vez que la separación adecuada de las nubes no puede volar en VFR.

El segundo condicionante, mostrado también parcialmente en las figs. 8.1.1 y 8.1.2, radica en los espacios en los cuales se puede volar en VFR, y bajo que condiciones. La fig. 8.1.2 muestra otros criterios adicionales impuestos por el R.C.A., tales como limitaciones de velocidad, necesidad o no de autorización, obligatoriedad de equipos de radio, etc. para operar en VFR según cada clase de espacio aéreo. Estos y otros detalles se tratarán en la sección correspondiente a Control del Espacio Aéreo.

Clase de espacio aéreo	A	B	C-D	E-F-G
Autorización	NO VFR	ATC		No necesaria
Radio		Obligatoria		No necesaria
Limitación de velocidad		No	250 KIAS por debajo del nivel FL100	

Fig.8.1.2 - Otros requerimientos VFR

El tercer factor, reside en las altitudes de vuelo. El R.C.A. especifica una serie de reglas sobre altitudes de vuelo, las cuales son ligeramente diferentes para VFR e IFR. Los vuelos VFR en vuelo horizontal de crucero, cuando operen por encima de 3000 pies por encima del suelo (AGL - Above Ground Level), se efectuaran con una altitud que dependerá de su ruta magnética de la forma siguiente:

- En rutas comprendidas entre 000º y 179º, la altitud debe corresponder a una cifra cuya cantidad de miles sea **IMPAR**, a la cual se le agregan 500 pies (p.ejemplo: 3500, 5500, 7500, ...).
- En rutas comprendidas entre 180º y 359º, la altitud a mantener será una cifra cuya cantidad de miles sea **PAR**, a la cual se le agregan 500 pies (p.ejemplo: 4500, 6500, 8500, ...).

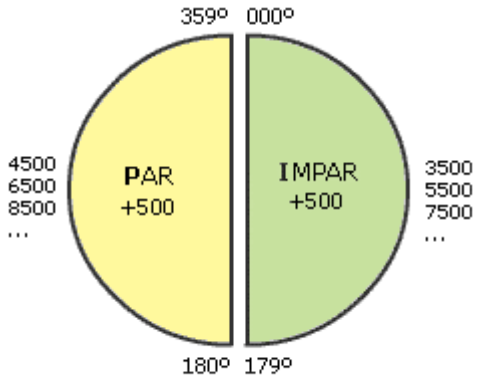


Fig.8.1.3 - Altitudes VFR s/ruta magnética.

Si se fija en la fig.8.1.3 le será fácil memorizar un círculo y la palabra "PI" (**P**ar - **I**mpar), con lo cual ya tiene una regla nemotécnica para acordarse de esta norma. ¿Que cambia en esta norma para IFR?. Pues que no hay que agregar 500 pies, o sea que en IFR las altitudes son múltiplos exactos de 1000.

Importante: Suponga que al trazar una ruta en el mapa, la dirección magnética para desplazarse de un punto a otro es 005º, pero en vuelo, un fuerte viento cruzado que viene de la izquierda provoca una deriva y para corregirla se ve obligado a mantener rumbo 355º. ¿Que altitud mantener?. Aunque su avión apunta ligeramente al Oeste (rumbo 355º) su trayectoria de vuelo es hacia el Este (ruta 005º), por tanto debe mantener una altitud acorde con esta última, es decir: Impar + 500.

Por último, Vd. no puede volar IFR si no dispone de la calificación aeronáutica pertinente. En España, la licencia de piloto privado habilita para volar en VFR únicamente.

Los pilotos pueden volar IFR aunque las condiciones sean VFR pero no al contrario. Hay ocasiones en que es prudente volar IFR incluso con condiciones VFR; por ejemplo: con un aeroplano monomotor sobre el mar a última hora de la tarde, cuando el horizonte es difícil de discernir.

Resumiendo: Los reglamentos aéreos permiten volar en VFR siempre y cuando se den unas condiciones mínimas de distancia a las nubes y visibilidad, apoyándose en instrumentos y radioayudas según su voluntad. Por debajo de esas condiciones mínimas y en determinados espacios aéreos, solo puede volar en IFR y únicamente si posee la calificación correspondiente.

Sumario:

- Navegación aérea es el proceso de pilotar un aeroplano, dirigiéndolo de un lugar geográfico a otro a través de una ruta establecida y monitorizando su posición a lo largo de la misma.
- A grandes rasgos navegar requiere: a) definir la ruta a seguir; b) monitorizar el vuelo a lo largo de ella; c) corregir las posibles desviaciones, y d) adoptar procedimientos alternativos en caso de imposibilidad para alcanzar el destino previsto.
- Se denomina vuelo de travesía a todos aquellos que esencialmente tienen lugar más allá de la proximidad de un aeródromo.
- En un vuelo local, ciertas cuestiones como por ejemplo: repostar combustible, tomar la decisión de retornar porque empeoran las condiciones meteorológicas, etc. pueden resolverse con relativa facilidad. En un vuelo de travesía estas cuestiones y algunas otras adquieren una relevancia especial e incluso crítica.
- Igualmente, mientras que en vuelo local apenas se tiene necesidad de poner en práctica procedimientos de navegación, en vuelo de travesía una buena navegación es fundamental.
- La navegación aérea presenta algunas características propias, derivadas del propio aparato y del medio en que este se mueve. Estas particularidades son entre otras: el avión no puede detenerse en vuelo; la autonomía es limitada y si el combustible se agota el aeroplano se cae; la velocidad dificulta la navegación y obliga a una mayor precisión; las condiciones meteorológicas juegan un papel preponderante; en el aire no hay señales que nos recuerden u obliguen a cumplir las normas y reglamentos; etc.
- Los métodos de navegación básicos son: navegación visual, a estima, y ayudada por instrumentos. Estos métodos de navegación no son excluyentes entre si, son complementarios.
- El proceso de aprendizaje de la navegación conviene que sea escalonado, de forma que cuando el piloto culmine su experiencia y sea capaz de navegar basándose únicamente en instrumentos, en caso de inutilización de los mismos por cualquier causa, pueda navegar una ruta y llegar a su destino con seguridad mediante los métodos básicos.
- Volar en VFR (Visual Flight Rules) o en IFR (Instrumental Flight Rules) no depende de que el vuelo se base en la utilización o no de instrumentos y radioayudas, sino de las condiciones mínimas de visibilidad, distancia a mantener de las nubes, y de la clase de espacio aéreo en que se vuele.
- Existen unos mínimos establecidos para volar en "visual" por debajo de los cuales solo se puede volar en "instrumental".
- Si no puede mantenerse alejado verticalmente de las nubes sin violar la norma establecida sobre altitud mínima a mantener, no puede volar en VFR.
- Para determinar el nivel o altitud de vuelo recuerde la imagen de un círculo con la palabra "PI" en su interior; en el semicírculo de la izquierda (Oeste) la P de par y en el de la derecha (Este) la I de impar.
- La autoridad aérea competente puede en determinados casos, autorizar un vuelo VFR aun cuando las condiciones estén por debajo de las mínimas reglamentadas; no obstante, sea consciente de que la responsabilidad última sobre la nave y sus ocupantes recae sobre el piloto.
- Para volar IFR es obligatorio poseer la calificación correspondiente.
- Los pilotos pueden volar IFR aunque las condiciones sean VFR pero no al contrario. En ocasiones puede ser prudente volar IFR incluso con condiciones VFR.

7.2 LATITUD Y LONGITUD.

En el capítulo anterior vimos que para poder desplazarse de un punto a otro (navegar) es imprescindible al menos: determinar la situación geográfica de los lugares origen y destino; calcular la dirección de vuelo para llevar al aeroplano de un lugar a otro, y por último computar la distancia entre ambos lugares. Todas estas operaciones tienen como referencia el planeta en que vivimos: la Tierra.

7.2.1 El planeta Tierra.

La Tierra es el tercer planeta del sistema solar en orden creciente de distancias al sol y el quinto en tamaño dentro de este sistema. La acción de las fuerzas gravitacionales lo han moldeado dándole una forma muy semejante a la de una esfera achatada por los polos y abombada en el ecuador, esfera cuyas dimensiones son aproximadamente:

> El diámetro ecuatorial mide 12.756 Km. y el polar 12.715 Km.
> La longitud de la circunferencia ecuatorial es de 40.075 Km. y la de un meridiano 40.008 Km.

De los datos anteriores se deduce que el achatamiento de la Tierra es muy pequeño por lo que a efectos prácticos se la suele considerar y representar como una esfera.

Como los demás planetas del sistema solar, la Tierra está sometida a la dinámica celeste mostrando dos movimientos principales; uno de traslación alrededor del Sol y otro de rotación sobre su eje. Ambos movimientos están perturbados en parte por otros dos movimientos menores denominados precesión y nutación.

En su movimiento de traslación, la Tierra describe una órbita elíptica que recorre en 365,142 días, distando del Sol unos 147 millones de Km. en su punto más cercano de la órbita (Enero) y unos 152 millones de Km. en su punto más alejado (Julio). Esta diferencia no es lo sucientemente grande para que afecte al clima del planeta (la diferencia entre ambas distancias es de solo un 3,5%). De la segunda ley de Kepler "*los vectores radio que unen al Sol con el planeta barren áreas iguales en igualdad de tiempo*", se deduce que la velocidad de traslación del planeta en su órbita no es uniforme, siendo máxima en el *perihelio* (mínima distancia al Sol) y mínima en el *afelio* (máxima distancia al Sol).

La Tierra rota sobre un eje imaginario, que pasa por el centro de la Tierra y cuyos extremos son los polos Norte y Sur, en sentido de Oeste a Este respecto al Sol (por eso le vemos aparecer por el Este y desaparecer por el Oeste) de forma que una misma zona queda expuesta al sol y luego se aleja de él dando lugar a los días y las noches. Este movimiento tiene una duración de 23h 56m y 4 s.
Aunque el eje polar se suele representar vertical por comodidad, en realidad este eje está orientado a la Estrella Polar, lo cual representa una inclinación de 23º30' respecto al plano de traslación.

Si dividimos la Tierra en dos hemisferios, Norte y Sur, a partir del ~~ecuador~~, la inclinación del eje terrestre produce que en unos tramos de la órbita, los rayos del Sol incidan más directamente sobre un hemisferio que sobre el otro. Este hecho determina las estaciones, la duración del día en distintas latitudes, la diferencia de climas, la dirección de los vientos predominantes, la cantidad de radiación solar y el movimiento aparente de los astros. La diferencia entre las distancias máxima y mínima al Sol (4,8 Mill.Km.) no es lo suficientemente grande como para afectar al clima del planeta; de hecho, la Tierra está más cerca del Sol en Enero que en Julio.

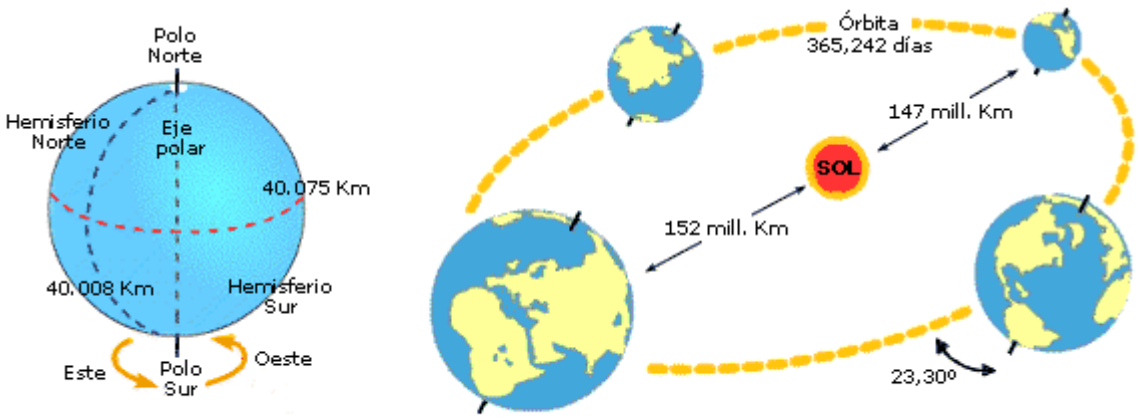


Fig.8.2.1 - La Tierra - Movimientos de rotación y traslación.

7.2.2 Paralelos y meridianos.

Para una mejor comprensión de los conceptos desarrollados seguidamente conviene conocer algunas características geométricas de una esfera:

Circulo máximo. Es aquel formado por un plano que pasa por el centro de la esfera y la divide en dos partes iguales.
Circulo menor. Esta formado por la intersección de la esfera con un plano que no pasa por el centro de la misma.
En una esfera pueden trazarse infinitos círculos máximos y menores que pasen por un punto, pero solamente uno si la condición es que pase dos puntos.
La distancia más corta entre dos puntos de una esfera es un arco de círculo máximo.

Antes de entrar a desarrollar los conceptos de latitud y longitud veamos que son los paralelos y los meridianos.

Paralelos.

Comencemos por el **ecuador**. Este es un círculo *máximo* imaginario *perpendicular* al eje de rotación de la Tierra, que como se ve en la fig.8.2.2 es único, no hay otro con esas características.

Este círculo, equidistante de los polos, divide la Tierra en dos hemisferios: *hemisferio Norte*, semiesfera que abarca desde el ecuador hasta el polo Norte, y *hemisferio Sur*, la otra semiesfera que comprende desde el ecuador hasta el polo Sur.

Al norte y al sur del ecuador y paralelos al mismo, se pueden trazar una sucesión de círculos menores imaginarios que se hacen más pequeños a medida que se acercan a los polos. Estos círculos menores (también el ecuador) reciben el nombre de **paralelos**.

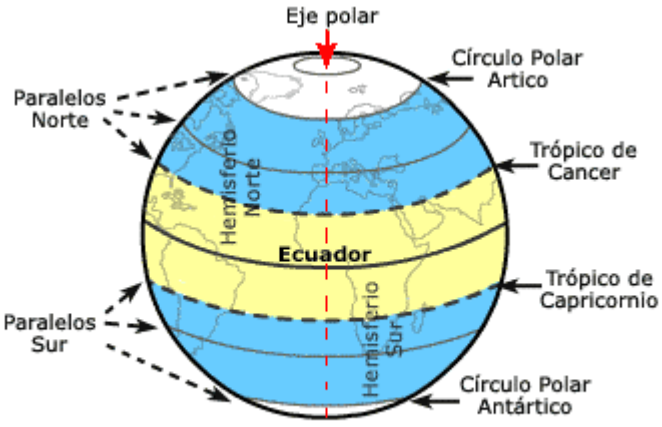


Fig.8.2.2 - Paralelos terrestres

Por cualquier punto de la superficie terrestre se puede trazar un paralelo.

Los paralelos se denominan por su distancia angular (latitud) respecto al ecuador, pero como esto por si solo es impreciso pues no se sabe si esa distancia está al norte o al sur del ecuador (paralelo 0º), se identifican además como paralelos Norte o paralelos Sur según se encuentren al norte o al sur del ecuador respectivamente. En el siguiente párrafo se puede ver entre paréntesis la denominación de cuatro paralelos particulares.

En muchos globos y mapas los paralelos se muestran usualmente en múltiplos de 5º. También suelen indicarse por su especial significado cuatro paralelos concretos:

El *Trópico de Cáncer* (23º27'N) y el *Trópico de Capricornio* (23º27'S), los cuales marcan los puntos mas al norte y al sur del ecuador donde los rayos del sol caen verticalmente, es decir, son las latitudes máximas que alcanza el sol en su movimiento anual aparente. En el solsticio de junio (21-22 de junio) el sol parece hallarse directamente sobre el Trópico de Cáncer mientras que en el solsticio de diciembre (22-23 de diciembre) el sol parece estar directamente sobre el Trópico de Capricornio.

El *Circulo Polar Ártico* (66º33'N) y el *Círculo Polar Antártico* (66º33'S) que marcan los puntos mas al norte y al sur del ecuador donde el sol no se pone en el horizonte o no llega a salir hacia unas fechas determinadas (solsticios). Desde esos círculos hacia los polos respectivos el número de días sin sol se incrementan y luego disminuyen hasta el punto que en los polos se suceden seis meses de oscuridad con otros seis meses de luz diurna.

Resumiendo: Los paralelos sirven para medir la distancia angular de cualquier punto de la superficie de la Tierra en dirección Norte o Sur respecto a la línea imaginaria del ecuador.

Meridianos.

Se trata de semicírculos que pasando por los polos son perpendiculares al ecuador, algo parecido a los gajos de una naranja.

Cada meridiano esta compuesto por dos semicírculos, uno que contiene al meridiano considerado y otro al meridiano opuesto (antimeridiano). Cada meridiano y su antimeridiano dividen la tierra en dos hemisferios, occidental y oriental. El oriental será el situado al este del meridiano considerado y el occidental el considerado al oeste.

Un meridiano "especial" es el de Greenwich, el cual divide la tierra en dos hemisferios: Este u oriental situado al este de dicho meridiano y hemisferio Oeste u occidental al oeste del mismo. Los meridianos se denominan, de manera similar a los paralelos, por su distancia angular (longitud) respecto al meridiano de Greenwich y para evitar imprecisiones se denominan meridianos Este u Oeste según estén al este o al oeste de aquel meridiano.



Fig.8.2.3 - Meridianos terrestres.

Por cualquier punto de la superficie terrestre se puede trazar un meridiano.

Resumiendo: Los meridianos sirven para medir la distancia angular de cualquier punto de la superficie de la Tierra en dirección Este u Oeste respecto al meridiano 0º (Greenwich).

7.2.3 Latitud y longitud.

De la misma manera que para determinar la posición de un punto cualquiera sobre un plano se utiliza un sistema de coordenadas (1) cartesianas, para localizar con exactitud cualquier punto de la superficie terrestre nos servimos de un sistema de coordenadas geométricas expresadas mediante una pareja de números denominados latitud y longitud que expresan mediciones angulares sobre la superficie de una esfera.

La Tierra tiene forma de esfera y como tal, lo mismo que los ángulos o los círculos, se puede medir también en grados; así, representada sobre globos o mapas, la Tierra está dividida en 360º. La ventaja que tiene emplear expresiones angulares, es que el ángulo formado por dos rectas es independiente de la longitud de estas. Por ejemplo, en navegación astronómica no importa la distancia a que se encuentren los astros de referencia, importa el ángulo que forman respecto al lugar de observación.

Cualquier lugar de la tierra puede ser situado exactamente por la intersección de un meridiano y un paralelo, es decir por dos números (coordenadas) que representan la latitud y la longitud de ese lugar, indicando cada número la cantidad de grados Norte o Sur desde el ecuador (latitud) y Este u Oeste desde el meridiano 0º (longitud). Así pues, latitud y longitud son expresiones angulares, indicadas en grados, minutos y segundos; cada grado (indicado por el símbolo **°**) se divide en 60 minutos (indicados por el símbolo **'** comilla simple) y cada minuto en 60 segundos (simbolizados por **''** comilla doble).

La regla seguida para especificar estas coordenadas, es indicar primero la latitud y luego la longitud; es por comodidad pues no puede haber confusión debido a que las latitudes solo pueden ser Norte o Sur (N o S) y las longitudes Este u Oeste (E u O).

Latitud.

La latitud proporciona la localización de un lugar, en dirección Norte o Sur desde el ecuador y se expresa en medidas angulares que varían desde los 0º del Ecuador hasta los 90ºN del polo Norte o los 90ºS del polo Sur. Como podemos ver en la fig.8.2.4, si trazamos una recta que vaya desde el punto **P** hasta el centro de la esfera **O**, el ángulo **a** que forma esa recta con el plano ecuatorial expresa la latitud de dicho punto.

El ecuador es el origen de latitud (paralelo 0º), o sea que la distancia angular Norte-Sur de cualquier punto se entiende medida desde el plano ecuatorial. El ecuador esta a 0º de latitud y los polos a 90ºN (polo Norte) y 90ºS (polo Sur). El valor máximo de la latitud es por tanto de 90º, y cualquier punto en la línea del ecuador tendrá una latitud 0º.

Los grados de latitud están espaciados regularmente, pero el ligero achatamiento de la Tierra en los polos causa que un grado de latitud varíe de 110.57 Km. (68.80 millas) en el ecuador hasta 111.70 Km. (69.41 millas) en los polos.

El término latitud también es utilizado en sistemas de coordenadas celestiales.

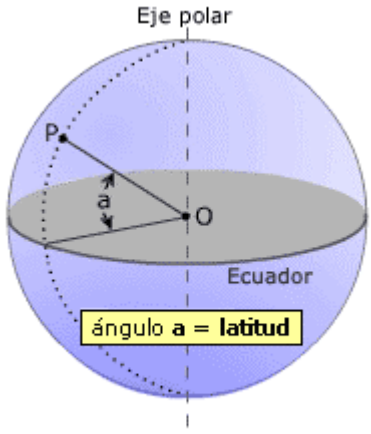


Fig.8.2.4 - Latitud de un punto P.

Tradicionalmente, la latitud se obtenía mediante un sextante o cualquier otro instrumento capaz de medir el ángulo entre el horizonte y cualquier cuerpo celestial, por ejemplo la estrella Polar. Se podía determinar la latitud mediante tablas que daban la posición del Sol y otros cuerpos celestes según fecha y hora (almanaque). Como todos los puntos de cualquier paralelo equidistan del ecuador, la latitud es la misma a lo largo de todo el.

Resumiendo: Latitud es la distancia angular desde el ecuador a un punto dado de la superficie terrestre. Puntos situados al norte del ecuador tienen latitud Norte (N), los situados al Sur tienen latitud Sur (S).

Longitud.

Aunque el Ecuador fue una elección obvia como referencia de latitudes, dado que es el mayor círculo perpendicular al eje Norte/Sur, no sucedía lo mismo con los meridianos pues todos son círculos máximos. La latitud era posible calcularla desde tiempos inmemoriales en la forma que se ha indicado, quizá por eso los grandes viajes de navegación hasta Colón se hicieron casi siempre en dirección Norte-Sur. Pero para conocer la posición Este-Oeste era necesario sobre todo tener un cronómetro lo suficientemente preciso y que no fuera afectado por las oscilaciones de la nave. Tomando la posición del sol a mediodía (el sol "pasa el meridiano") y la hora exacta en el cronómetro se determina la longitud.

Hasta bien avanzado el siglo XIX cada nación tenía su meridiano origen de longitudes con el resultado que muchos mapas anteriores carecen de unas referencias estandarizadas. El problema fue resuelto en 1884 cuando una comisión internacional designó como meridiano 0º aquel que pasa por el London's Greenwich Observatory (de ahí su denominación) en reconocimiento a su labor investigadora.

La longitud proporciona la localización de un lugar, en dirección Este u Oeste desde el meridiano de referencia 0º, también conocido como meridiano de Greenwich, expresándose en medidas angulares comprendidas desde los 0º hasta 180ºE y 180ºW.

Se puede ver en la fig.8.2.5, que el ángulo **b** mide la distancia angular del meridiano del lugar **P** con el meridiano 0º (meridiano de Greenwich). Es lo mismo medir este ángulo sobre el círculo del ecuador que sobre el círculo del paralelo que pasa por el punto **P**, el valor angular de **b** es igual en ambos casos. En el ejemplo de esta figura, la longitud es Oeste (W) puesto que el meridiano del punto **P** está al Oeste del meridiano de Greenwich.

Mientras que un grado de latitud corresponde a una distancia casi idéntica (entre 110.57 y 111.70 Km.), no sucede lo mismo con un grado de longitud dado que los círculos sobre los cuales se miden convergen hacia los polos. En el ecuador, un grado de longitud equivale a 111,32 Km. (69.72 millas) que es el resultado de dividir la circunferencia ecuatorial entre 360º.

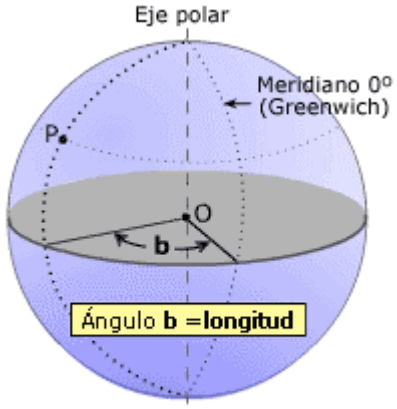


Fig.8.2.5 - Longitud de un punto P.

Resumiendo: Longitud es la distancia angular desde el meridiano 0º (Greenwich) a un punto dado de la superficie terrestre. Los lugares situados al Oeste del meridiano 0º (Greenwich) tienen longitud Oeste (W) mientras que los situados al Este de aquel meridiano tienen longitud Este (E).

Notas.

Salvo que disponga de un GPS, no existe en los aviones ligeros ningún instrumento convencional que indique latitud y longitud ni nada que se le parezca. Entonces ¿que efecto práctico tiene aprender todo esto?. En primer lugar porque es muy posible que en algún test le salga alguna pregunta a este respecto; en segundo, porque no parece razonable querer saber de navegación ignorando conceptos tan básicos, y en tercer lugar porque es conveniente que conozca que son esas líneas verticales (meridianos) y horizontales (paralelos) que aparecen en los mapas junto con unos números (coordenadas).

Si latitud y longitud no son muy utilizadas en navegación aérea es precisamente por la falta de instrumentos que proporcionen tal dato; sin embargo en navegación marítima son muy utilizadas, piense que en la inmensidad del mar no hay referencias visuales. Gracias a esta información por ejemplo, el Titanic informó que había colisionado con un iceberg en las coordenadas 41°33'N 50°01'W (Atlántico Norte), lugar al que acudieron en su socorro los buques que navegaban por la zona.

Sumario:

Latitud y longitud son los componentes de un sistema de coordenadas que sirven para precisar la localización de cualquier lugar sobre la superficie terrestre.

Aunque es algo achatada por los polos, la Tierra se representa como una esfera. El planeta en que vivimos, tiene dos movimientos principales: uno de rotación alrededor del sol que dura un año y otro alrededor de su eje polar que dura un día.

El eje polar de la Tierra está inclinado 23º30º respecto al plano de traslación. Este hecho da lugar a las diferentes estaciones, la duración de los días y las noches, los diferentes climas, los vientos predominantes, etc.

El ecuador es el círculo máximo perpendicular al eje terrestre. Este círculo divide al planeta en dos hemisferios: hemisferio Norte y hemisferio Sur según esté al Norte o al Sur del ecuador respectivamente, y es el origen de latitudes (latitud 0º).

Los círculos menores paralelos al ecuador se denominan precisamente eso: paralelos. Por cualquier lugar de la superficie terrestre se puede trazar un paralelo.

Los paralelos se denominan por su distancia angular (latitud) respecto al ecuador, y para obviar imprecisiones se identifican además como paralelos Norte o paralelos Sur según se encuentren al norte o al sur del ecuador respectivamente.

Los paralelos sirven para medir la distancia angular de cualquier punto de la superficie de la Tierra en dirección Norte o Sur respecto a la línea imaginaria del ecuador que es el paralelo 0º.

Los meridianos consisten en semicírculos que pasando por los polos son perpendiculares al ecuador. Cada meridiano esta compuesto por dos semicírculos, uno es el meridiano considerado y otro el meridiano opuesto (antimeridiano). Cada meridiano y su antimeridiano dividen la tierra en dos hemisferios, occidental y oriental. El oriental situado al este del meridiano considerado y el occidental al oeste. Por cualquier punto de la superficie terrestre se puede trazar un meridiano.

El origen de meridianos es el meridiano 0º o de Greenwich el cual divide la tierra en dos hemisferios: Este u oriental situado al este de dicho meridiano y hemisferio Oeste u occidental al oeste del mismo. Los meridianos se denominan por su distancia angular (longitud) respecto al meridiano de Greenwich y para evitar imprecisiones se denominan meridianos Este u Oeste según estén al este o al oeste de aquel meridiano.

Los meridianos sirven para medir la distancia angular de cualquier punto de la superficie de la Tierra en dirección Este u Oeste respecto al meridiano 0º (Greenwich).

Cualquier lugar de la tierra puede ser situado exactamente por la intersección de un meridiano y un paralelo, es decir por dos números (coordenadas) que representan la latitud y la longitud de ese lugar.

Latitud y longitud son expresiones angulares, indicadas en grados, minutos y segundos; cada grado se divide en 60 minutos y cada minuto en 60 segundos. La regla seguida para especificar estas coordenadas, es indicar primero la latitud y luego la longitud.

Un grado de latitud corresponde a una distancia entre 110.57 y 111.70 Km. debido al achatamiento de la tierra, sin embargo un grado de longitud no tiene medida concreta dado que los círculos sobre los cuales se miden convergen hacia los polos. En el ecuador, un grado de longitud equivale a 111,32 Km. (69.72 millas) que es el resultado de dividir la circunferencia ecuatorial entre 360º.

---

(1). Las coordenadas son grupos de números que describen una posición: a lo largo de una línea, en un plano o en el espacio tridimensional. Latitud y Longitud o Ascensión recta y Declinación son sistemas de coordenadas en la superficie de una esfera, en el globo terráqueo o en el globo celeste.