



Apuntes de aviación. Velocidades operativas

Paco Sánchez. Noviembre 2019

Algo fundamental que todos los pilotos debemos conocer son las velocidades operativas del avión con el que volamos. Si en un momento determinado necesitamos la mayor tasa de ascenso o un ascenso más pronunciado, lo conseguiremos estableciendo una determinada velocidad para cada circunstancia. Del mismo modo, hay una velocidad que nos permitirá cubrir la mayor distancia planeando y otra que nos mantendrá en el aire el mayor tiempo posible. Si algún día por cualquier motivo tenemos de prisa, nos ayudará recordar que que hay una velocidad óptima, más allá de la cual, meter gases es sólo un gasto inútil de combustible.

El indicador de velocidad.

Comencemos entendiendo un poco mejor nuestro indicador de velocidad relativa, al que en la bibliografía de habla inglesa se le llama ASI (Airspeed Indicator). Se trata de un medidor de presión que mide e indica la diferencia entre la presión medida en el pitot (dinámica más estática) y la presión estática. Estas dos presiones son iguales cuando el avión está parado, pero cuando el avión se mueve a través del aire, la presión en el tubo pitot es mayor que la presión en las líneas estáticas. El indicador señala esta diferencia de presión y la muestra en una escala de velocidades calibrada en millas por hora, nudos o kilómetros por hora.

El indicador de velocidad está calibrado para asumir una densidad atmosférica estándar al nivel del mar para calcular la velocidad relativa, sin embargo estas condiciones son sólo un modelo, por ello debemos distinguir entre los siguientes conceptos:

- Velocidad indicada (IAS) es la velocidad registrada directamente por el instrumento, sin corregir por variaciones de la densidad del aire, errores de instalación o errores del instrumento.

Los fabricantes usan esta velocidad como base para determinar las actuaciones de la aeronave. Así se indican las velocidades de despegue y aterrizaje, la de pérdida y, en general, todas las velocidades que se indican en el POH y que normalmente no varían con la altitud o temperatura.

- Velocidad calibrada (CAS) se trata de la IAS corregida por errores de instalación y errores del instrumento. A pesar de que Los fabricantes intentan minimizar estos errores, no es posible eliminarlos del todo. En general el error será mayor a bajas velocidades y normalmente IAS y CAS serán aproximadamente iguales a velocidades de crucero.
- Velocidad real (TAS): es la CAS corregida por altitud y temperatura diferente de la estándar. Indica la velocidad real del avión respecto a la masa de aire en la que se mueve. Dado que la densidad del aire disminuye con la altitud, es de esperar que a mayor altitud un avión necesite volar más rápido para experimentar la misma diferencia entre la presión dinámica y la estática. Por lo tanto para una CAS dada, la TAS aumenta a medida que aumenta la altitud. La forma de corregir esta diferencia es mediante un computador de vuelo, aunque es fácil hacerlo de forma aproximada, agregando a la CAS un 2% por cada 1,000 pies de altitud.
- Velocidad sobre el terreno (GS) es la velocidad del avión sobre el suelo. Es la TAS ajustada por el viento que experimente al avión. Como es natural la GS disminuye con viento de frente y aumenta con viento en cola.

Los aviones tienen un ASI dotado con un sistema de marcas codificadas por colores que permiten a los pilotos identificar de un vistazo las limitaciones y

rangos de velocidad para la operación de la aeronave.

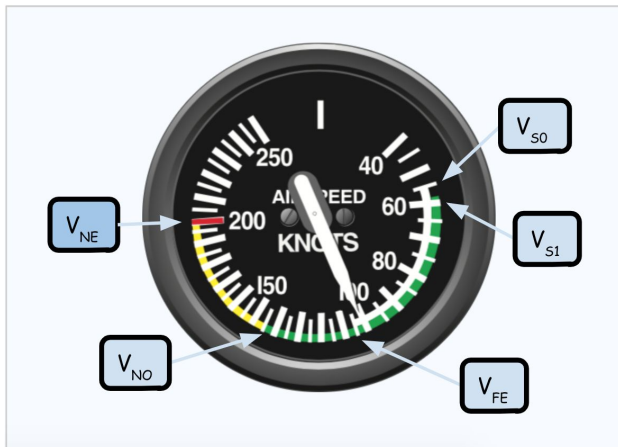


Figura A. Indicador de velocidad relativa (ASI) y sus marcas estándar.

Según se muestra en la Figura A las marcas estándar de un ASI son las siguientes:

- Arco blanco: marca el rango de velocidades de operación con flaps.
- Límite inferior del arco blanco (V_{S0}): es la velocidad de pérdida o la velocidad mínima de vuelo, con motor al ralentí, a peso máximo y en configuración de aterrizaje (tren abajo y flaps totalmente extendidos).
- Límite superior del arco blanco (V_{FE}): es la máxima velocidad permitida con los flaps totalmente extendidos.
- Arco verde: el rango de operación normal de la aeronave.
- Límite inferior del arco verde (V_{S1}): es la velocidad de pérdida o la velocidad mínima de vuelo obtenida en una configuración especificada, normalmente con el motor a ralentí, a peso máximo de despegue y con el avión limpio de flaps.
- Límite superior del arco verde (V_{NO}): es el máximo estructural de velocidad de crucero que sólo puede excederse en aire tranquilo.
- Arco amarillo: es un rango de precaución. Sólo volaremos en este rango de velocidades en condiciones de aire no turbulento y siempre con precaución.
- Línea roja (V_{NE}): nunca se debe exceder esta velocidad ya que la integridad del avión queda comprometida, pudiendo causar daños o fallos estructurales.

Mejor ángulo y mejor tasa de ascenso

El ángulo de ascenso es una comparación de la altitud alcanzada en relación con la distancia recorrida, es por tanto la inclinación de la senda de ascenso. La **velocidad de mejor ángulo de ascenso**, que llamamos V_x , nos permite conseguir la mayor ganancia de altitud recorriendo la menor distancia horizontal.

En algunas situaciones necesitaremos librar un determinado obstáculo en el despegue y por ello nuestro objetivo será alcanzar una altitud de seguridad que nos permita superar el obstáculo mientras recorremos la menor distancia horizontal sobre la superficie.

El método para ascender a este régimen es tener disponible el mayor exceso de empuje posible. Esencialmente, cuanto mayor es la fuerza que empuja el avión hacia arriba, más empinada será la subida. Esto se conseguirá con los gases a fondo y un ángulo de ataque alto, manteniendo el morro arriba y una velocidad indicada baja. Este vuelo lento añade un elemento de riesgo. Pero por otro lado, si un ascenso pronunciado nos permite librar un obstáculo con un mayor margen entonces es en sí mismo un elemento de seguridad.

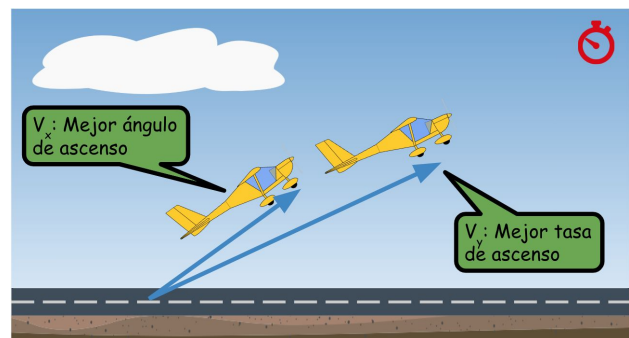


Figura B. La velocidad de mejor ángulo de ascenso (V_x) proporciona la mayor ganancia de altitud para una distancia dada sobre el suelo. Se usa cuando haya obstáculos que librar en el despegue. La velocidad de mejor tasa de ascenso (V_y) proporciona la mayor ganancia de altitud en un tiempo determinado. Se usa para las operaciones normales de ascenso.

Por otro lado, la tasa de ascenso es la altitud ganada en relación con el tiempo. Para obtenerla volamos a la **velocidad de mejor tasa de ascenso**, que denominamos como V_y . La tasa de ascenso de un avión depende del exceso de potencia, que es la diferencia entre la cantidad de potencia necesaria para simplemente sostener el avión y la que el motor y la hélice están desarrollando realmente. La velocidad que proporciona la mejor tasa de ascenso

es la que deja el mayor margen de exceso de potencia.

Cuando volamos a baja velocidad, necesitamos muy baja potencia para mantener el avión, pero al mismo tiempo la potencia desarrollada también es baja y el margen de exceso de potencia no es muy alto. A medida que el avión acelera hacia unas velocidades intermedias, los requerimientos de potencia aumentan porque aunque la resistencia disminuye, una mayor velocidad representa una mayor demanda de potencia. Por otro lado la potencia desarrollada aumenta más rápidamente a velocidades algo mayores porque el motor y la hélice son más eficientes. El resultado es que los aviones ascienden más rápido cuando se vuela algo rápido que la velocidad de mejor ángulo de ascenso, a aproximadamente la misma velocidad que proporciona el planeo más largo.

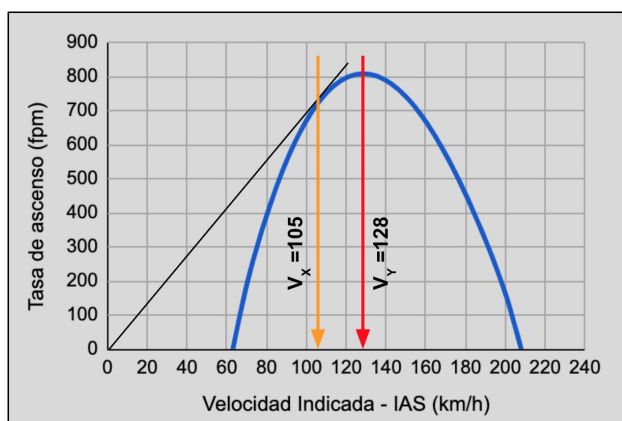


Figura C. La tasa de ascenso (línea azul) es una función de la velocidad cuyo máximo ocurre para V_y . La línea que pasa por el origen y es tangente a la curva de ascenso marca la V_x .

La tasa de ascenso del avión es una función de la velocidad típicamente como la mostrada en la Figura C. El máximo de la curva nos define la velocidad de mejor tasa de ascenso V_y . Por otro lado la tangente a esta curva que pasa por el origen representa la cantidad máxima de ganancia vertical para una cantidad dada de desplazamiento horizontal y, por tanto, el punto de contacto de esta tangente nos marca la V_x .

Estas velocidades se ven afectadas por el peso del avión. Un cambio en el peso cambia la resistencia y por tanto la potencia requerida, esto altera el exceso de potencia disponible y afecta tanto al ángulo de ascenso como a la tasa de ascenso. Un aumento de peso reduce la tasa de ascenso y el avión debe operarse a una velocidad mayor para lograr una tasa de ascenso menor.

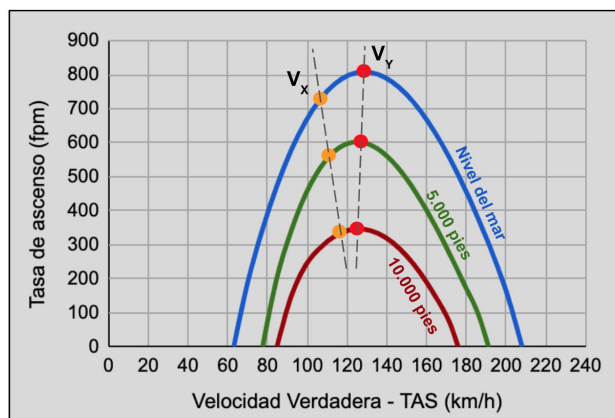


Figura D. La curva de tasa de ascenso alcanza tasas menores a mayores altitudes. Esto resulta en que V_x y V_y se aproximan a medida que subimos a altitudes mayores.

La altitud también tiene un impacto en estas velocidades, un aumento en la altitud aumenta la potencia requerida y disminuye la potencia disponible. Por lo tanto, el rendimiento de ascenso de un avión disminuye con la altitud. A medida que aumenta la altitud V_x y V_y se van acercando y en el límite del techo absoluto terminan convergiendo, ya que no queda exceso de potencia y solo una velocidad permite el vuelo recto y nivelado. Recordemos que en el techo absoluto una aeronave tiene una tasa de ascenso nula, mientras que en el techo de servicio la aeronave no puede ascender a una velocidad superior a 100 pies por minuto (fpm).

En la figura D se muestra como cambia la curva de tasa de ascenso con la altitud. Nótese que la velocidad se muestra en TAS porque nos permite observar mejor los efectos de la altitud en el rendimiento del avión. Recordemos que la TAS aumenta a medida que aumenta la altitud (aproximadamente el 2% respecto de la IAS por cada 1,000 pies). En el gráfico se ve cómo varía la velocidad máxima alcanzable debido a la disminución de la potencia a medida que aumenta la altitud y por la misma razón también disminuye la mejor tasa de ascenso. El gráfico muestra también la variación de V_y y V_x y cómo estos van acercándose a medida que ganamos altitud y eventualmente convergen en el techo absoluto (Figura E).

Velocidad de máximo planeo

La **velocidad de máximo planeo** (V_{bg}) nos permite recorrer la mayor distancia para una altitud dada sin apoyarnos en la potencia del motor.

Sabemos que cuando el avión vuela muy rápido, la resistencia parásita, que es la que se produce por

las partes del avión expuestas al viento relativo, resulta prohibitivamente alta, pues aumenta con el cuadrado de la velocidad. Por otro lado, el avión está también expuesto a la resistencia inducida, que es la resistencia que desarrollan las alas como parte de su acción sustentadora. La resistencia inducida es muy alta cuando el avión vuela lento y disminuye rápidamente a medida que el avión se acelera, desvaneciéndose prácticamente a alta velocidad, con ángulos de ataque bajos.

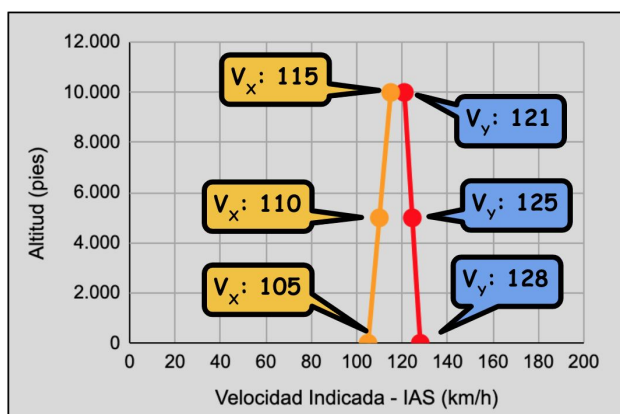


Figura E. V_x y V_y se aproximan a medida que subimos a altitudes mayores. En el límite del techo absoluto del avión ambas velocidades serían iguales.

Por todo esto, la velocidad de máximo planeo es una velocidad de compromiso a mitad de camino entre una velocidad alta, donde la resistencia parásita es prohibitiva, y una velocidad muy baja donde la resistencia inducida es prohibitiva. Esta situación alcanza su punto óptimo para la velocidad en que el cociente sustentación resistencia (L/D) es el mejor posible (Figura F).

Las variaciones en el peso de la aeronave no afectan el ángulo de planeo volando a esta velocidad. Un avión más ligero tardará más tiempo que uno rápido en recorrer la distancia de planeo, pero ambos lo harán por la misma senda.

Velocidad de máximo alcance

Muy relacionada con la anterior, está la **velocidad de máximo alcance**, que nos permitirá volar la máxima distancia en un vuelo con motor para una cantidad de combustible dada. Es lógico pensar que la velocidad de máximo planeo también proporcionará la mayor distancia en un vuelo con motor para una cantidad de combustible. Sólo hay una pequeña diferencia y es que en planeo la hélice parada supone una resistencia adicional que no existe cuando tenemos el motor en marcha. En planeo sin motor, la resistencia de la hélice es un

factor que hace aconsejable volar algo más lento. Pero con el motor en marcha, este factor desaparece haciendo posible volar un poco más rápido. Además el consumo adicional de combustible al volar algo más rápido se compensará por el hecho de que el motor es más eficiente que a velocidades algo menores. Por eso con motor en marcha el punto donde L/D es máximo se desplaza ligeramente hacia velocidades algo mayores.

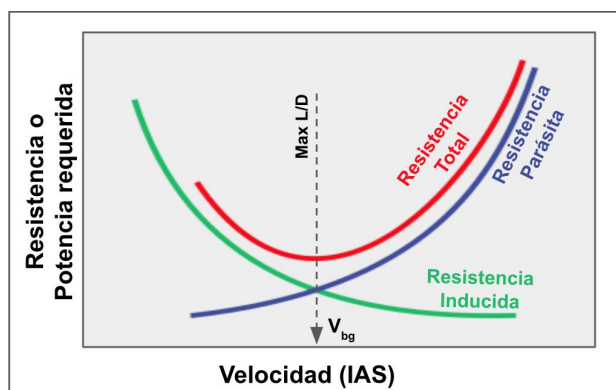


Figura F. La velocidad de mejor planeo viene dada por el punto en que la resistencia total, representada por la curva roja, es mínima. En este punto ocurre también que el cociente sustentación resistencia es máximo.

¿Y qué pasa con los efectos del viento? El viento de cara o el de cola afecta sorprendentemente poco a la velocidad de máximo alcance. Con viento en cara, nos interesará aumentar un poco velocidad, mientras que con viento en cola será mejor disminuirla ligeramente. Los cálculos exactos son excesivamente complejos, por eso vamos a poner unos ejemplos para transmitir el orden de magnitud de las correcciones. Si la velocidad de máximo alcance en aire en calma está sobre los 125 km/h, en contra de un viento de 10 nudos será de unos 128 km/h, si el viento es de 20 nudos estará sobre los 133 km/h. Con un viento en cola de 20 nudos, la velocidad de máximo alcance será de unos 122 km/h. Resumiendo, el viento prácticamente no afecta a la velocidad de máximo alcance. Es importante recordarlo, especialmente en una situación de viento en cara debemos evitar la tentación de volar más rápido de lo necesario.

Velocidad de máxima autonomía

En algunas situaciones necesitaremos permanecer el mayor tiempo posible en el aire, por ejemplo esperando a que abran un aeródromo que está temporalmente cerrado o esperando a que se disipe una niebla. Este tiempo de máxima autonomía en vuelo se produce a una velocidad donde se requiere

la mínima potencia para permanecer en el aire y, por lo tanto, el consumo combustible es mínimo.

A primera vista, puede parecer que esta velocidad debe ser la de mejor L/D ya que en esta situación se requiere un empuje mínimo. Esto podría ser cierto si no fuera por el hecho de que la resistencia parásita y la inducida se comportan de forma diferente. La resistencia parásita crece más rápido al aumentar la velocidad de lo que lo hace la inducida al disminuirla. Por lo tanto, volar un poco por debajo de la mejor velocidad L/D, incluso a expensas de aumentar la resistencia inducida, reduce la potencia requerida para mantener el vuelo nivelado.

Es por eso que la **velocidad de máxima autonomía**, que es la velocidad de menor potencia requerida, se sitúa por debajo de la velocidad mínima resistencia (o mejor L/D). De hecho es aproximadamente el 75% de la velocidad de mejor planeo para la mayoría de los aviones impulsados por hélices.

Con el motor parado pasa un tanto de lo mismo. Un avión en planeo hará el descenso más lento si se mantiene un planeo lento. En estas condiciones no haremos un planeo largo en distancia, más bien al contrario, el ángulo de descenso será muy pronunciado, pero el avión permanecerá en el aire más tiempo que si se volase a cualquier otra velocidad.

Quizá el uso más importante de esta velocidad está en conexión con el aterrizaje forzoso. Supongamos que se nos para el motor baja altura y queremos hacer un giro de 180 grados con la menor pérdida de altitud posible, quizá aterrizar en pista contraria o para aproar el avión al viento para el aterrizaje. El avión dará la vuelta con la menor pérdida de altitud posible si se vuela con la velocidad de máxima autonomía y alabeando a 45 grados. Al intentar esto recuerda que, en un giro de con un alabeo de 45 grados, la velocidad de pérdida aumenta un 20% y la velocidad de máxima duración o de descenso más lento aumenta en la misma proporción, PERO ojo esta velocidad está próxima a la pérdida y si estamos a baja altura debemos extremar la precaución.

Velocidad de crucero óptimo

La velocidad de crucero óptimo es la que nos ofrece un mejor compromiso entre alcance y consumo de combustible. Como la velocidad de máximo alcance es generalmente mucho más lenta de lo deseable, será aconsejable volar algo más rápido, aunque no tanto como para consumir el combustible

demasiado pronto. Si consideramos el flujo de combustible por nudo, la velocidad óptima sería el punto donde este parámetro alcanza un mínimo.

Los cálculos son complicados pero existe un factor que nos permite relacionar algunas velocidades y esto es más fácil de recordar. Se trata del factor de Carson que es $3^{1/4}$ (aproximadamente 1.316) y relaciona la velocidad de mejor planeo, con la de máxima autonomía, la máximo alcance y la de crucero óptimo. Estas con las relaciones:

$$V_{\text{max autonomía}} = V_{\text{bg}} \div 1.316 \quad (\sim 75\% V_{\text{bg}})$$

$$V_{\text{max alcance}} = V_{\text{bg}}$$

$$V_{\text{crucero óptimo}} = V_{\text{bg}} \cdot 1.316$$

Además basta recordar que siempre podremos encontrar la velocidad de mejor planeo en el POH de nuestro avión.

Velocidad de maniobra

Ya hemos cubierto la velocidad de maniobra en números anteriores. Sólo recordaremos aquí que la velocidad de maniobra es aquella velocidad que protege al avión de un fallo estructural en aire turbulento o en maniobras bruscas o acrobáticas. La idea es volar lentamente para que, cuando el avión comienza a experimentar cargas pesadas, las alas no aguanten ese peso adicional y, en su lugar, entren en pérdida aliviando así la carga que han de soportar.

En la mayoría de los aviones, la velocidad de maniobra es el doble de la velocidad de pérdida en vuelo recto y nivelado. Si vuelas a esta velocidad, sabes que cuando el avión imponga a sus alas una carga mayor que cuatro veces su peso, éstas entrarán en pérdida.

Para este artículo he usado las siguientes fuentes:

1) Stick And Rudder (1944) Wolfgang Langewiesche. Capítulo 19. Se trata de un fabuloso libro de lectura más que recomendable para todo piloto.

2) Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge (2016) (FAA-H-8083-25B). Es un manual de la FAA que cubre un amplio espectro de temas para el entrenamiento de pilotos.

3) Rod Machado's How to Fly an Airplane Handbook (2016). Rod Machado. El autor es un comunicador nato y en este manual repasa los elementos clave para la seguridad en vuelo.