

# Vuelo Sin Motor

## Medidas de performances en los veleros

Por R. MALETZKE

(De Luftfahrtforschung)

### Introducción

LA finura o rendimiento de un velero se determina por su velocidad de descenso. Esta depende de la velocidad horizontal. Cuanto menor sea la velocidad de descenso para mayores presiones dinámicas, tanto más apto será el velero para los vuelos de distancia.

El constructor de veleros calcula, en primer término, la velocidad de descenso del aparato por la fórmula

$$V_z = \frac{C_w}{C_a^{1/5}} \sqrt{\frac{G}{F \times \frac{\rho}{2}}}$$

y desea y espera que esta velocidad teórica quede luego confirmada en la realidad. Pues bien: a pesar de que la comprobación experimental de esta fórmula constituye una urgente necesidad para el constructor de veleros, no son muchas las mediciones de valor positivo de que se dispone para este caso. Por otra parte, una medición aceptable ofrece en la práctica extraordinarias dificultades cuando, de acuerdo con las necesidades del constructor, se exige una precisión de  $\pm 1$  centímetro por segundo en la velocidad de descenso.

### Primeras investigaciones

El Instituto Alemán para la Investigación Científica del Vuelo a Vela (*Deutsches Forschungsinstitut für Segelflug*) ya en el año 1934 realizó diversas mediciones de performances. Para estos experimentos se disponía de:

1. Un dinamobarógrafo con capacidad para una hora de marcha y escala de 0 a 150 kilómetros por hora.
2. Un barógrafo con capacidad para una hora de marcha y escala hasta 2.000 metros.

Esta escala, relativamente pequeña, es necesaria para obtener las desviaciones lo mayores posibles en la graduación de las alturas. Para la interpretación se tomaron en primer lugar aquellos trozos de dinamobarograma que muestran la misma presión dinámica. Por sincronización de ambos instrumentos se pudieron hallar los correspondientes elementos de la curva barográfica. En la hipótesis de una marcha uniforme del mecanismo de relojería se calculó la diferencia de alturas por determinación del ángulo de inclinación de la curva. No entraremos aquí en pormenores acerca del método de interpretación, pues ya los daremos al hablar del instrumento óptico. El método ha dado toda una serie de resultados utilizables. Sin embargo, se observó que la exactitud de las mediciones no era la suficiente para satisfacer los requisitos exigidos por el constructor. Las posibilidades de error residen fundamentalmente en las determinaciones de la altura y del tiempo. Como los trozos utilizados fueron muy pequeños, dada la condición de presión dinámica constante, no era prácticamente posible expresar los tiempos con la precisión de un segundo. El campo de medición para las alturas tampoco era suficiente para poder obtener resultados más exactos.

### Cuestiones fundamentales relativas a la medida barométrica de las alturas

En relación con esto me parece oportuno el indicar brevemente algo sobre la medida barométrica de las alturas. La presión no disminuye proporcionalmente con la altura, sino según una función que encuentra su expresión matemática en la fórmula barométrica de la altitud. De acuerdo con esta ley varía también la altura para la unidad de presión (un milímetro de columna de mercurio). En la proximidad del suelo una variación de un milímetro en la altura de la columna de mercurio significa una variación de altitud de unos 10 metros. En cambio, a 2.000 metros la misma variación corresponde aproximadamente a 13 metros. Por lo tanto, si se toman como base las condiciones al nivel del suelo, hay que leer la presión con una precisión de 1/10 de milímetro si se quieren determinar exactamente las alturas con la tolerancia de un metro. Pero si se han de determinar las alturas con la precisión de un centímetro, entonces las presiones han de ser leídas en la columna de mercurio hasta la milésima de milímetro. Naturalmente, en la práctica esto no es posible, pues ya con un barómetro fijo normal, que es el que sirve de base para la escala, no se puede leer más que 1/10 de milímetro de diferencia de presión. En un barograma normal tampoco es posible alcanzar tal exactitud en la lectura de las presiones. Ahora bien: como el registro barográfico en vuelo regular tiene un curso casi constante, es posible el reconocer las variaciones de inclinación condicionadas por la modificación de la velocidad de descenso más pronto de lo que sería posible por las medidas de la presión. De este modo se puede alcanzar una gran exactitud relativa. Para poder sacar todo el partido posible de este hecho, el barógrafo ha de cumplir con la condición de permitir hacer la lectura de los tiempos con mucha exactitud (con precisión de un segundo). El índice registrador ha de estar en lo posible exento de inercia. La práctica exige ante todo que el registro de la presión dinámica y el registro barográfico coincidan en una misma cinta registradora, pues sólo de este modo puede ser alcanzada la buena sincronización del registro.

### Mediciones efectuadas con el registrador cuádruple Askania

Estas razones nos condujeron a utilizar para las mediciones el registrador múltiple Askania, basado en un principio óptico. Fundamentalmente está construido de tal modo que a los elementos de medición va unido un sistema de espejos que guían un rayo luminoso que se desplaza en consonancia con el movimiento de dichos elementos. El rayo luminoso, que en reposo sólo marca un punto, convierte esta señal en una línea al desplazarse a lo largo de una tira de película fotográfica. Este tipo de registro tiene la ventaja de que prácticamente quedan descartadas las resistencias de fricción. Este instrumento posee en total cuatro elementos de medición: uno para el registro de la presión dinámica, otro para el de la temperatura y dos para el de la presión estática o altura (uno para la escala de 0 a 1.000 metros y otro para la de 0 a 2.000 metros). La elección de estas

dos escalas se ha hecho para poder contar con una amplia representación de las magnitudes escalares y al mismo tiempo no estar ligado al límite de los 1.000 metros. Esto último es importante cuando se quieren obtener diferentes presiones dinámicas y en consecuencia distintas velocidades de descenso en un mismo registro, en particular a causa de las condiciones atmosféricas; éstas raras veces permiten, en especial en los meses calurosos, efectuar un vuelo por completo tranquilo, es decir, libre de todo movimiento vertical del aire. Que tales condiciones se presentan muy pocas veces en el aerodromo de

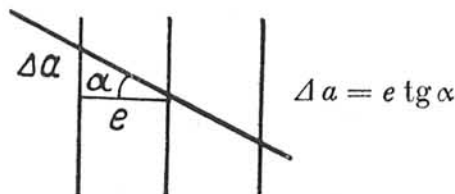


Fig. 1. -- Esquema para la determinación de la variación de presión.

Griesheim, que precisamente por su excelente térmica constituye un buen campo para vuelos de altura, nos lo han indicado los resultados de las medidas; pero a esto viene a sumarse que, por estar situado Darmstadt en el centro de una región continental, el aerodromo está expuesto a las perturbaciones atmosféricas provocadas por los antagonismos térmicos. Mediciones irreprochables sólo pueden ser realizadas en los meses calurosos del año en lugares costeros, pues su atmósfera está en relación con la que yace sobre grandes superficies de agua. El invierno es fundamentalmente la época más adecuada para estas mediciones por su atmósfera estable; pero con frecuencia lleva consigo la dificultad de que en los días apropiados hay generalmente niebla al ras del suelo, lo cual, como se comprende, impide el vuelo, en especial si es remolcado.

Los cuatro elementos de medición registran simultáneamente sobre una vertical, de modo que los puntos correspondientes se pueden reconocer en seguida. Otra ventaja del instrumento consiste en la reglabilidad de la marcha (avance del aparato de relojería), que se puede calibrar en seis escalones de velocidad

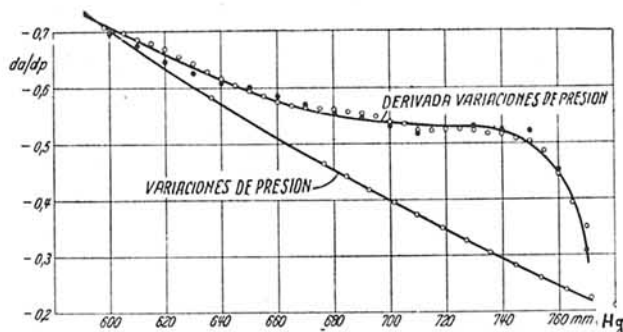


Fig. 2. -- Curva de las variaciones de presión tomada con el registrador cuádruple Askania, de funcionamiento óptico. (Escala de altura: de 0 a 2,000 metros.)

de 0,01 a 10 milímetros por segundo. Para eliminar las irregularidades del avance es posible la conexión a un reloj eléctrico de contactos que en intervalos regulares de tiempo va marcando la tira de película sobre la que se efectúa el registro.

Interpretación de las medidas

La interpretación del barograma se puede hacer de dos modos. Al uno se le denominará método diferencial y al otro integral. El primero se caracteriza por tomar para la determi-

nación de la velocidad de descenso pequeños elementos de la curva, mientras que el segundo se realiza tomando trozos de curva más amplios.

Antes de entrar en el detalle de la interpretación hemos de resumir todavía las particularidades del registro. La curva de las presiones dinámicas varía en la mayoría de los casos en cantidades relativamente muy pequeñas. El avance, que hace posible la determinación del tiempo, no es constante. La causa de esto ya reside primeramente en la forma de construcción del registrador cuádruple, pues el cilindro que arrastra a la película aumenta de diámetro a medida que se va consumiendo ésta; en segundo lugar, han de tenerse en cuenta las causas de error por imperfección en el mecanismo del reloj de contactos, y, en tercer lugar, las irregularidades en la corriente pueden ser causa de diferencias en los intervalos cronométricos. El registro barográfico de las alturas, a causa del gran avance del cilindro o tambor del registrador, tiene una inclinación muy pequeña.

La interpretación diferencial se hace del siguiente modo: En la curva de las presiones tomamos un trozo correspondiente, por ejemplo, a un intervalo de 5", que en el registro corresponde a un segmento de unos cinco milímetros. La distancia de ambos segmentos se puede medir con una precisión de 1/100 de

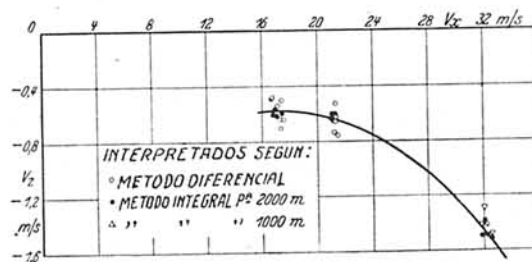


Fig. 3. -- Polar de velocidad del velero D-São Paulo. (Medición efectuada el 27-5-1935 a las 6 horas 40 minutos.)

milímetro; también se puede determinar exactamente el ángulo  $\alpha$  que da la inclinación de la curva barográfica. Si ahora fijamos la presión inicial  $p_1$  con la precisión acostumbrada, sólo resta determinar con la mayor exactitud posible la diferencia de presión  $p_2$ , que existe hasta la próxima señal cronométrica. Por la diferencia de presiones se puede averiguar, por sencillo cálculo, la diferencia de alturas. Para la determinación de la diferencia de presiones se pueden seguir dos caminos. El primero es como sigue: En el triángulo rectángulo de la figura 1 se puede deducir el valor de  $\Delta a$  en milímetros. El segmento representa una diferencia de presiones, cuyo valor puede ser obtenido conociendo la ecuación de la curva de las variaciones de presión; se puede conseguir por medio de la fórmula de interpolación de Newton:

$$a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n = 0.$$

Se vió que basta con llegar al miembro  $x^5$  para alcanzar el grado de exactitud requerido. Este procedimiento es, sin embargo, muy aleatorio por el excesivo trabajo de cálculo que implica, en especial para la determinación de los coeficientes.

Mucho más práctico es utilizar la derivada de la curva de las variaciones de presión. Si volvemos al triángulo de la figura 1, se puede determinar, en forma ya conocida, la magnitud de las variaciones de la presión.

Ahora sólo falta obtener para las medidas longitudinales la correspondiente escala de presiones. A cada variación de la curva corresponde una variación de presión. En la curva

de las variaciones de presión (véase fig. 2), la relación de ambas magnitudes representa la inclinación de la curva:

$$\frac{\Delta a}{\Delta p} = \operatorname{tg} \beta$$

de donde se tiene:

$$\Delta a = \Delta p \times \operatorname{tg} \beta$$

y, en consecuencia, una escala en presiones para las longitudes  $\Delta a$ . La diferencia de presiones que corresponde a la variación  $\Delta a$  se obtiene de:

$$\Delta p = \frac{\Delta a}{\operatorname{tg} \beta} = e \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta}$$

y de aquí se deduce la diferencia de alturas:

$$\Delta h = - \frac{\Delta p}{\rho} = - \frac{e}{\rho} \times \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta}$$

En esta fórmula se determina  $e$  por la medida de los segmentos,  $\alpha$  por la lectura del ángulo,  $\rho$  por la presión, temperatura y humedad del lugar, y  $\operatorname{tg} \beta$  por la derivada de la curva de las variaciones de presión.

Para la interpretación de los resultados, es de gran importancia el determinar de una vez los límites de precisión que se pueden alcanzar con este método. El segmento  $e$ , se puede leer con exactitud relativa ( $\pm 1/100$  de mm.). Si la lectura del ángulo se puede garantizar con una aproximación de  $\pm 10'$ , entonces en la variación  $\Delta a$  se obtiene un error máximo de  $2/100$  de milímetro. (La lectura del ángulo con aproximación de  $\pm 10'$  no ofrece en sí misma dificultad alguna, siempre que sea suficientemente grande el segmento al cual ha de aplicarse el transportador; pero en los pequeños segmentos, que en nuestro caso sólo forman el nacimiento de un ángulo, la lectura se ha de hacer por observación microscópica.) El error en la lectura de la inclinación de la curva de las variaciones de presión es de  $\pm 0,02$ , aun en el caso de escoger el intervalo de presiones más desfavorable; entonces, el error total que resulta en la determinación de la presión es de  $1/100$  de milímetro de la columna de mercurio. Esto significa en la determinación de las alturas un error máximo de 10 centímetros. Como estos datos están calculados para un intervalo de cinco segundos, resulta en la unidad de tiempo un error máximo de dos centímetros. Dicho de otro modo, la medida de la velocidad de descenso va ligada a un error de dos centímetros por segundo. Este resultado se obtendría en la hipótesis de que la determinación cronométrica pudiera ser realizada sin inconvenientes (para la precisión de  $1/100$  de milímetro, significa esto una exactitud de  $1/100$  de segundo). Se demostró hace muy poco tiempo, que, por desgracia, el mecanismo de relojería no trabaja de modo perfecto, de modo que el error cronométrico es una magnitud desconocida y puede falsear los resultados en forma no precisable. Este hecho se manifiesta muy claramente en la representación gráfica que reproduce la velocidad de descenso en función de la velocidad horizontal, pero antes de entrar en esto, nos ocuparemos del segundo método de interpretación, denominado método integral. En éste se toman segmentos más amplios, y se obtiene una especie de promedio. La determinación de la diferencia de presiones se hace por la lectura de la presión en los dos extremos de un segmento. A modo de comprobante la interpretación se hace tomando primero pequeños segmentos de treinta a ochenta segundos, y luego, la totalidad de una curva de presión dinámica (de tres a cuatro minutos). Un sencillo cálculo da en seguida una idea de los límites de precisión de este método. Con una velocidad de un metro por segundo (para utilizar números redondos), desciende

el velero en tres minutos 180 metros; esto significa en la proximidad del suelo una diferencia de presión de unos 18 milímetros. El error que puede haber en la lectura de la presión en la curva de las variaciones de presión es de  $\pm 2/10$  de milímetro de mercurio. Esto representa una diferencia en las alturas de unos cuatro metros. La velocidad de descenso resulta entonces 1,02 metros por segundo. Más desfavorables son los resultados cuando se eligen más pequeños los segmentos para interpretar, pues en este caso, los errores parciales de la determinación cronométrica y de las alturas juegan un papel mucho más importante. En una representación gráfica de los resultados del cálculo se ve que la diferencia en la velocidad de descenso, calculada a base de la interpretación de pequeños segmentos, no es de mucha importancia comparada con el promedio basado en la presión dinámica constante total. Es naturalmente evidente, que el error por desviación del promedio, depende mucho de la limpieza del vuelo. Si la presión dinámica oscila con diferencias pequeñísimas en torno a su valor medio, entonces los datos coincidirán perfectamente con el promedio. En caso contrario, las desviaciones serán, natu-

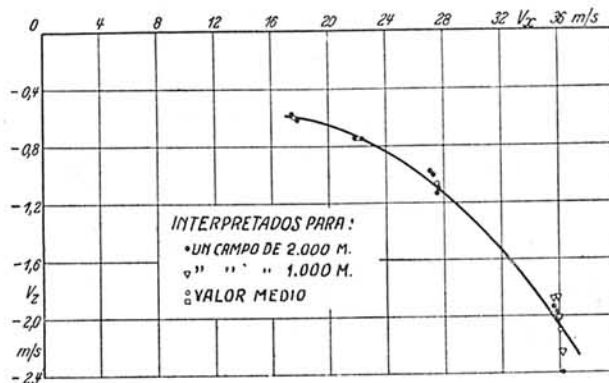


Fig. 4. - Polar de velocidad del velero D-São Paulo. (Medición efectuada el 21-6-1935 a las 7 horas.)

ralmente, mucho mayores. En la representación gráfica de la velocidad de descenso en función de la velocidad horizontal, se comprueba la verdad de este razonamiento. A grandes velocidades, les resulta sencillamente imposible a los pilotos el volar con constante presión dinámica. En este caso, las velocidades de descenso exhiben la máxima variación en torno al valor medio.

Sólo resta por decir algo respecto al procedimiento general. Ya hemos visto antes que la presión disminuye con la altura según determinada función. Con esta variación de presión también varía simultáneamente la densidad del aire, es decir, disminuye con la altura. Ahora bien: la densidad tiene una notable influencia, tanto sobre la velocidad de descenso como sobre la presión dinámica. Por tanto, para obtener resultados comparables entre las medidas a gran altura y al nivel del suelo es necesario relacionar todos los valores con una densidad tipo. Como, en general, la densidad al nivel del suelo se supone igual a 0,125, introdujimos también este valor en nuestros cálculos.

Las figuras 3 y 4 muestran la medida de las performances del velero D-São Paulo tipo Fafnir II. Para una velocidad horizontal de 17 metros por segundo, el velero desciende unos 0,60 metros por segundo, y para una velocidad horizontal de 32 metros por segundo, desciende alrededor de 1,5 metros por segundo. Las curvas de ambas figuras se diferencian en pequeñas cantidades (hasta 10 centímetros por segundo). Esta diferencia se ha de atribuir a movimientos verticales. No obstante, se ve que la velocidad de descenso disminuye relativamente con mucha lentitud al aumentar la velocidad horizontal.