

REVISTA DE OBRAS PUBLICAS

PUBLICACIÓN TÉCNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

ESTADO ACTUAL DE LA AVIACIÓN

Conferencia dada en la Escuela nacional de Puentes y Calzadas
el 28 de Enero de 1909

por M. Taris, Ingeniero, antiguo alumno de la Escuela Politécnica.

El vuelo de los pájaros; observaciones y teorías.— Á excepción de algunos precursores, entre los cuales hay que citar á Leonardo de Vinci, uno de los más hábiles Ingenieros y el más original quizás en todos los tiempos, nadie hasta el día había hecho, á propósito del vuelo de los pájaros, observación precisa ni emitido teoría alguna racional. La opinión general, con consentimiento de la ciencia, ha estado conforme con la teoría de que el pájaro encuentra el apoyo en el aire al batir sus alas, cuyos movimientos son suficientemente frecuentes y enérgicos para producir una reacción vertical igual ó superior al peso del animal. Esta concepción, apoyada en un conocimiento muy imperfecto de la resistencia del aire, condujo á Navier, entre otros, á decir, por ejemplo, que la potencia motora de la golondrina era de $\frac{1}{17}$ de caballo de vapor. Tal resultado requiere que los músculos de este pájaro tengan una fuerza de contracción incomparablemente mayor, ó peso igual, que la de los cuadrúpedos más robustos. La análisis histológica de los tejidos musculares no revelan, sin embargo, ninguna diferencia apreciable entre los músculos pectorales del pájaro y los de los demás seres animados.

Por otra parte, tratándose de valorar, de un modo aproximado y más bien con tendencia á la exageración, el esfuerzo de sustentación de un pájaro determinado, el milano, por ejemplo, midiendo á este efecto el número de oscilaciones de las alas y la superficie de las mismas, y poniendo las cosas en el caso más favorable, se ha llegado á precisar que un pájaro que pesa 2 kilogramos realiza, en la hipótesis precedente, (vuelo con movimiento de las alas recto ú ortóptero), una fuerza ascensional de 200 gramos solamente; *e pur si muove!*

Teniendo en cuenta un cierto número de observaciones, se ha venido en conocimiento de que es preciso renunciar á la hipótesis ortóptero citada por impotente para explicar los hechos. En primer lugar, el pájaro no se eleva nunca verticalmente, aun cuando en ello tenga un mayor interés, y fundado en esto, sabido es que se captura el condor de los Andes creando un recinto á su alrededor de paredes vertica-

les suficientemente elevadas para que choque contra ellas al emprender su vuelo. Los pájaros emigrantes, como la grulla y la cigüeña, cuando se posan en tierra, se sienten con tan poca seguridad que procuran cubrirse por centinelas muy vigilantes, que impiden que nadie se les aproxime muy cerca. Para elevarse, en efecto, necesitan un campo considerable que tienen que recorrer con una carrera rápida, durante la cual están expuestos á todos los peligros por parte de los animales rápidos, el perro, por ejemplo.

La avutarda, que habita la Rusia meridional, es cazada á la carrera en invierno, cuando el hielo la impide correr y por consecuencia elevarse.

La golondrina, no obstante su $\frac{1}{17}$ de HP, queda cautiva en una caja cúbica sin tapadera.

El águila, el buitro, el milano, anidan en las rocas escarpadas, desde donde fácilmente emprenden su vuelo dejándose caer, pues sus patas son impropias para emprender una carrera rápida sobre un suelo plano, y el arranque vertical es para ellos motivo de esfuerzos musculares que no pueden renovar con frecuencia.

En fin, la mayoría de los pájaros se elevan según una trayectoria muy inclinada sobre la horizontal en el eje del cuerpo. Ninguno de ellos vuela hacia atrás.

De todo lo que precede, limitando en lo dicho la enumeración de hechos, aunque sería fácil citar otros muchos del mismo orden, se desprende una noción nueva, cuya influencia ha sido extraordinariamente fecunda y de la que ha surgido por completo la aviación: la relación estrecha que existe entre la sustentación y la velocidad de avance. Esta dependencia casi absoluta ha sido aclarada en nuestros días por muchos observadores, y tomaremos de uno de los primeros, M. S. Drzewiecki, de Petersburgo, el esquema siguiente que parece resolver de un modo extremadamente satisfactorio los diversos problemas que se presentan sobre el vuelo de los pájaros:

«Nada de velocidad, nada de vuelo»; esta fórmula, incontestablemente verdadera en el aeroplano actual, lo es también en el pájaro.

La sustentación en él es una consecuencia necesaria de la velocidad horizontal de avance.

Esta velocidad determina una resistencia al mismo avance y es contra esta resistencia únicamente que lucha el animal y la que absorbe toda la energía que él consume. En cuanto al valor del esfuerzo mecánico representado por el vuelo

lo, es suficiente para darse cuenta de él de observar que la resistencia al avance de los aeroplanos medida en cada instante por el esfuerzo de tracción de las hélices no pasa apenas de 100 kilogramos, en tanto que su peso llega á 600 kilogramos en las mismas condiciones. Puede decirse que la teoría precedente divide ya por 6 la dificultad y el misterio del vuelo.

Para un cuerpo sólido en movimiento en el aire, se ha reconocido pronto que la resistencia era de la forma clásica KSV^2 , al menos para velocidades inferiores á 50 ó superiores á 600 metros por segundo. Entre estos límites interviene un término correctivo bastante sensible.

En cuanto al valor de K , varía enormemente con los experimentadores, según puede verse en la relación siguiente:

	K
Morin	0,110
Desdonist.....	0,130
Langley.....	0,08475
Coronel Renard.....	0,085
Cailletet y Colardeau.....	0,070
Eiffel (1908).....	0,030 á 0,070

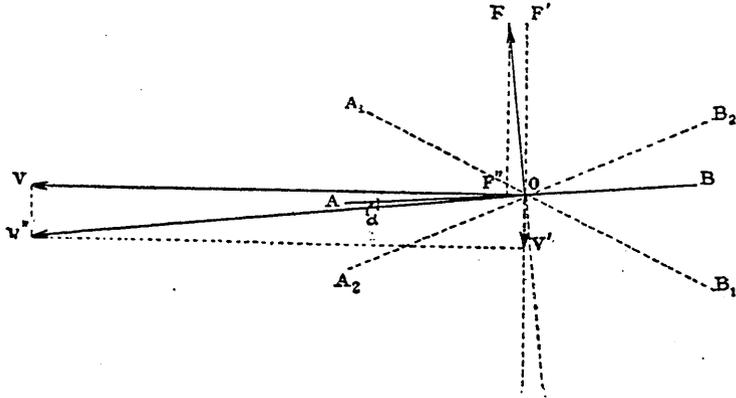


Fig. 1.ª

En la figura 1.ª, O representa el centro de presión del ala, de la cual AB es la sección por un plano vertical paralelo al eje del vuelo. OV es la velocidad de avance, sea 20 metros por segundo. OV' la velocidad del golpe de ala. El centro de presión, es decir, el punto de aplicación de la resistencia del aire, describe, por lo tanto, OV'' , y esto exige que el plano del ala esté comprendido en el ángulo VOV'' , en AB . Forma, pues, con su velocidad verdadera, OV'' , el ángulo α , muy pequeño. En efecto, OV' , velocidad de descenso del ala, es del orden de 2 metros por segundo, $\text{tang } VOV'' = \frac{1}{10}$, lo que da $VOV'' = 6^\circ$ próximamente ($\text{tang } 6^\circ = 0,105$) y sobre la figura $\alpha < VOV''$. Es necesario que el ala esté así, porque en este caso la reacción del aire OF , supuesta normal á AB , como se admite generalmente hoy, tiene una componente OF'' de avance, es decir, generadora de movimiento. Si AB estuviera por encima de OV , en A_1B_1 , la componente horizontal se opondría al movimiento, y lo mismo pasaría en A_2B_2 , puesto que el ala sería entonces golpeada por el aire sobre su cara superior. En resumen: en la explicación propuesta, el ala del pájaro, bajando según OV'' , procura un esfuerzo de avance OF'' suficiente para mantener la velocidad horizontal próximamente constante, y ésta hace nacer un empuje vertical OF' superior ó igual al peso del pájaro.

Por incompleta que sea esta teoría, es, sin embargo, suficiente para presentar el pájaro como un aeroplano viviente, y los aparatos modernos que en ella se inspiran comprueban todos los días la semejanza.

La resistencia del aire; fórmulas diversas.—La resistencia del aire, á pesar de venirse utilizando en las máquinas más antiguas, velas, molinos, etc., es, no obstante, muy mal conocida cualitativa y cuantitativamente. Esta resistencia ha sido objeto de investigaciones sistemáticas por parte de los artilleros desde principios del siglo XVIII, pero las investigaciones experimentales no han hecho apenas más que poner en evidencia la complejidad de los fenómenos. La balística exterior no ha llegado todavía á determinar de un modo definitivo la mejor forma que debe darse á los proyectiles, y recientemente se ha apercibido de la importancia real de las formas en la parte posterior de las balas de fusil.

Caso de planos muy inclinados sobre su trayectoria.—**Influencia de la curvatura.**—**Centro de presión.**—No hay certeza más que para las superficies planas que se mueven paralelamente á sí mismas. Cuando se trata de superficies curvas muy inclinadas sobre su trayectoria, la presión del aire, expuesta sensiblemente normal al plano móvil, es una función de muchos elementos, tales como el ángulo de ataque, el alargamiento relativo de la superficie en el sentido del movimiento, las curvaturas, etc. Se han propuesto sucesivamente las fórmulas siguientes para los planos:

$$\frac{P_i}{P_{90}} = \text{sen}^2 i \text{ (Newton y Euler)}$$

$$\frac{P_i}{P_{90}} = \text{sen } i \times \frac{2}{1 + \text{sen}^2 i} \text{ (Duchemin)}$$

$$\frac{P_i}{P_{90}} = \text{sen } i \times [a - (a - 1) \text{sen}^2 i] \text{ (Coronel Renard)}$$

$$\frac{P_i}{P_{90}} = \frac{\text{sen } i}{0,39 + 0,61 \text{sen } i} \text{ (para el agua, según Jöessel)}$$

$$\frac{P_i}{P_{90}} = \text{sen } i$$

$$\frac{P_i}{P_{90}} = \text{sen } i \left[1 + \frac{1 - m \text{ tang } i}{\frac{1}{(+m)^2} + \frac{2m}{1+m} \text{ tang } i + 2 \text{ tang}^2 i} \right] \text{ (Soreau).}$$

En esta última fórmula, establecida para rectángulos de dimensiones $2l$ perpendicularmente y $2h$ paralelamente al viento, se tiene $= m \frac{l-h}{l+h}$, y es la sola fórmula que tiene en cuenta el alargamiento. Esta fórmula se apoya en consideraciones muy sencillas relativas al movimiento del aire y representa de una manera muy satisfactoria los resultados experimentales de Langley.

Es fácil ver, á la simple inspección, que la fórmula de M. Soreau da ventajas á las superficies alargadas perpendicularmente sobre las superficies alargadas paralelamente al movimiento. Ello resulta de que los filetes de aire, comprimidos bajo el plano móvil, tienden á salirse por una y otra parte de este plano, lateralmente, y que la pérdida de efecto útil que de ello resulta aumenta, para una superficie dada, con la longitud de los bordes de salida. Para fijar las ideas, el rectángulo (g) más ancho que largo de la figura 2.ª es dos veces más resistente al aire y procura dos veces más efecto útil de sustentación que el cuadrado equivalente. Sin embargo, esta ventaja se pierde cuando el ángulo de ataque aumenta, pero se elevará el rendimiento ó el poder susten-

tador de una superficie dada dándole la forma de un rectángulo. Además, si es ligeramente encorvado según su mayor dimensión, tal disposición disminuirá todavía el escape lateral del aire. Estas consideraciones conducen á concebir la utilidad de una primera curvatura transversal, que se encuentra precisamente en las alas de los pájaros.

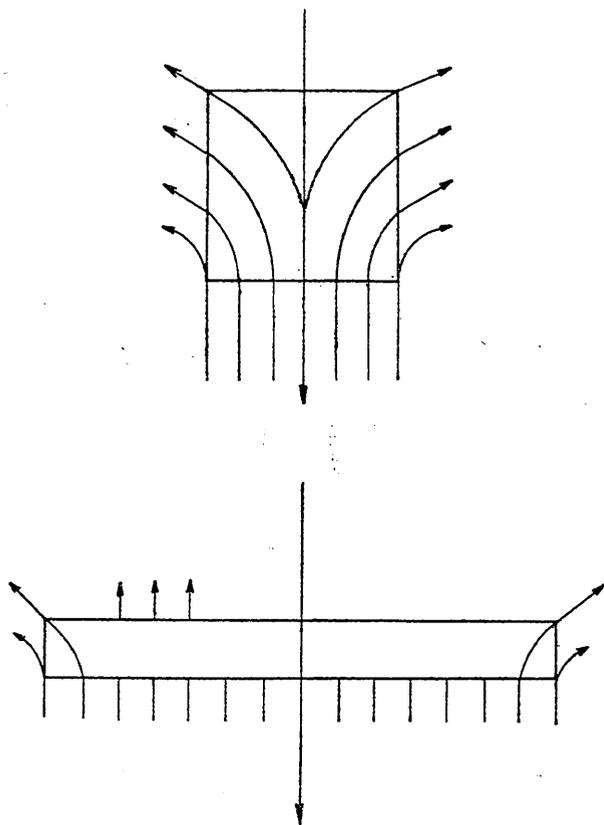


Fig. 2.ª

Estas alas presentan también en el sentido anteroposterior una sección claramente curvada, sobre todo hacia adelante. Es natural pensar, y la experiencia lo confirma, que esta forma es ventajosa para la sustentación.

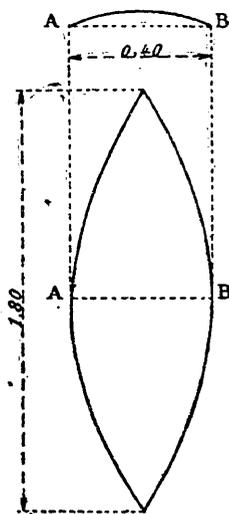


Fig. 3.ª

Las investigaciones sistemáticas de Otto Lilienthal, desgraciadamente interrumpidas por el accidente que le costó la vida, le permitieron, sin embargo, hacer unas tablas relativas á una superficie lenticular, curvada según su pequeño eje, y cuya flecha era de $\frac{1}{12}$ (fig. 3.ª).

Resulta de estas experiencias que á superficie igual las superficies curvadas suministran una componente vertical más grande y una componente horizontal menos grande que

las de los planos. Estas superficies son doblemente ventajosas, tanto por la fuerza sustentadora cuanto por la resistencia al avance. Los aeroplanos serán, por lo tanto, de preferencia constituidos por superficies con doble curvatura.

En definitiva, para los pequeños ángulos utilizados en aviación se podrá adoptar una fórmula simbólica de la fuerza sustentadora:

$$F = KSV^2\alpha,$$

designando por α el ángulo de ataque de la superficie plana equivalente como efecto útil á la superficie curva empleada, por S la magnitud de esta superficie plana y por K un coeficiente que depende de la forma y de las curvaturas de la superficie real considerada.

Queda, para completar estas consideraciones preliminares, el determinar el punto de aplicación de la resultante de las presiones aerodinámicas.

En el caso de los planos, se han propuesto muchas fórmulas. Designando por x la distancia del centro de presión, ó punto de aplicación de la resultante, al centro de figura de la superficie, y por h la semiprofundidad de esta superficie en el sentido del movimiento, se tiene, según Avanzini:

$$\frac{x_s}{2h} = 0,3 (1 - \text{sen } i)$$

según Jöessel

$$\frac{x_i}{2h} = 0,305 (1 - \text{sen } i);$$

y finalmente, según M. Soreau:

$$\frac{x_i}{h} = \frac{1}{2(1 + 2 \text{ tang } i)}.$$

Lo que es incontestable es que el centro de presión para los planos está entre el borde anterior de ataque y el centro de figura. Sus filetes de aire primeramente chocados oponen así la resistencia la más enérgica al movimiento; hecho que se explica fácilmente con la representación de las trayectorias de los filetes.

En el caso del desplazamiento ortogonal de un disco, por ejemplo, la masa de aire no se altera más que en el interior de un cilindro, más allá del cual ninguna perturbación es sensible al manómetro. Por delante del disco se observa un incremento de presión y se forma una especie de proa de aire, en el seno de la cual se producen torbellinos. Por detrás se observa una depresión, que reina en una zona análoga y que es también el asiento de torbellinos. Por simetría, la resultante F de los efectos aerodinámicos es aquí el centro de figura, y á esta acción que tiende á bombear el disco hacia atrás se añade el efecto estático de las diferencias de presión en las dos regiones. En el caso de un plano inclinado, por el contrario, la proa se deforma, como se ve en la figura 4.ª La resultante F abandona el centro de figura O para aproximarse al borde anterior de ataque, hasta un punto C tal que $OC = x_i$; x_i está dada por una de las fórmulas precedentes.

Para las superficies curvas se sabe poco.

Los hermanos Wright han observado que el centro de presión sobre una superficie de curvatura regular se va hacia adelante cuando i disminuye de 90° á un cierto valor, y que más allá de este valor el centro de presión retrocede y

aun pasa hacia atrás el centro de figura. M. Soreau ha propuesto para una superficie de sección circular la fórmula:

$$\frac{x_i}{h} = \frac{\tan \alpha - \tan \beta}{2(a \tan \beta + b \tan \alpha + 2 \tan^2 \alpha)}$$

en la cual β es el ángulo de la tangente en la extremidad del arco con la cuerda, y a y b coeficientes. Esta fórmula concuerda con las medidas directas hechas por Spratt.

En cuanto á la dirección de la resultante, se ha supuesto hasta aquí que era normal al plano móvil.

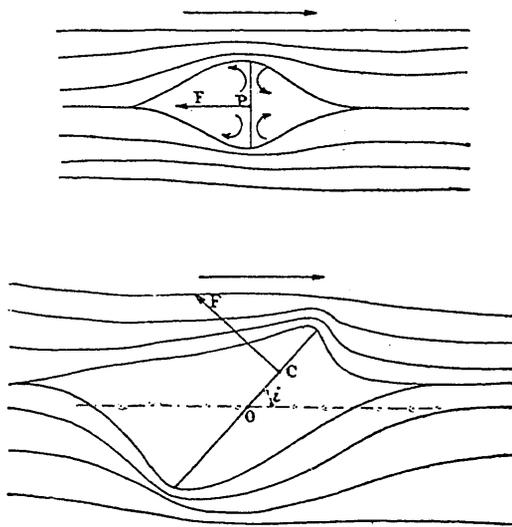


Fig. 4.ª

Las experiencias del Instituto aerodinámico de Kutchino (Rusia) confirman ligeramente esta opinión; pero las correcciones que hubiera que hacer en las fórmulas son despreciables ante la incertidumbre que reina aún respecto de las mismas fórmulas.

En suma, la análisis rápida que acabamos de hacer pone en evidencia las nociones fundamentales de la aerodinámica:

- 1.º La influencia del alargamiento de las superficies perpendicularmente al movimiento.
- 2.º La influencia de las curvaturas.
- 3.º El desplazamiento del centro de presión hacia el borde anterior.

Tales son las bases que se ofrecen hoy á los constructores para el establecimiento de los aeroplanos. En cuanto á los valores exactos de los diversos elementos hay necesidad todavía de llevar á cabo numerosos experimentos.

El aeroplano, teoría elemental; los diversos problemas de la estabilidad.—Para sostener un cuerpo pesado en la atmósfera es suficiente, según se acaba de ver, hacerle solidario de una superficie convenientemente orientada y animar á esta superficie de una cierta velocidad horizontal. Este resultado exigirá un cierto esfuerzo de tracción suministrado por hélices movidos por un motor cualquiera. El conjunto deberá ser evidentemente bastante ligero y el motor bastante potente; las hélices deberán tener el mayor rendimiento posible, es decir, suministrar la tracción máxima para una potencia dada.

Los aeroplanos actuales poseen una ó dos, y algunas veces tres superficies sustentadoras; son, pues, en general, *biplanos* ó *monoplanos*. Los biplanos pueden ó no poseer tabiques verticales que dividen el espacio comprendido entre

los dos planos sustentadores en un cierto número de celdas. En cuanto á los timones, éstos se colocan delante ó detrás, lo mismo que las hélices propulsoras. Como tipos principales pueden citarse por ahora:

Los biplanos celulares, Voisin (Farman, Delagrangé, etcétera).

Los biplanos simples, Wright.

Los monoplanos, Dériot, Antoinette, Esnault, Pelterie.

Examinados estos diversos modelos desde el punto de vista de la estabilidad y manejo, pueden hacerse las observaciones siguientes:

La estabilidad debe realizarse en el sentido perpendicular á la marcha ó lateral, y en el sentido de la marcha ó longitudinal.

En una como en otra los aparatos celulares, sobre todo los provistos de una cola igualmente celular (Voisin), presentan una cierta superioridad que llega hasta la rigidez. La salida de los prismas indefinidos que la traslación de las celdas engendra en la atmósfera alcanza un estado de régimen permanente, estable por sí mismo y que se opone á toda variación de orientación. Pero los biplanos simples, cuando poseen medios de enderezamiento voluntarios (Wright), realizan la misma seguridad entre las manos de un piloto ejercitado. Sin embargo, la solución automática parece más satisfactoria, y en todo caso, más industrial.

¿Cómo puede alterarse el equilibrio transversal de un aeroplano? El viento, los cambios de dirección, sobre todo, son causas permanentes de perturbación. En efecto, en cada virada el ala que gira adquiere un incremento de fuerza ascensional, que tiende á inclinar el aparato hacia el centro de la curva que describe. Al mismo tiempo, el aeroplano se desvía lateralmente sobre su trayectoria, y se desvía tanto más (Voisin) cuanto más marcada es su estabilidad automática y rechaza obedecer á la mano del piloto. Los efectos de las viradas son muy sensibles en los monoplanos. Los hermanos Wright lo remedian alabeando las alas, lo que crea en cada una de ellas una fuerza momentánea de descenso ó de elevación.

Para el equilibrio longitudinal se restablece en parte por sí mismo, por el desplazamiento automático del centro de empuje, según el eje del aeroplano, en las pequeñas oscilaciones; en parte, por la maniobra de un timón de profundidad, biplano ó monoplano (Wright ó Farman), colocado delante ó detrás (Delagrangé ó Bleriot).

Quillas verticales y timones de dirección, en forma de planos verticales, colocados hasta ahora detrás, completan los órganos de movimiento.

Descansando sobre el suelo por medio de ruedas ó sobre un carril de lanzamiento (Wright) rueda el aparato bajo el empuje de sus hélices y adquiere una velocidad de 50 á 60 kilómetros por hora. Según la anchura de sus alas y su peso, la velocidad de elevación es más ó menos grande. Cuando ésta se alcanza, el piloto empina el aeroplano maniobrando el timón de profundidad y el aparato abandona el suelo. Cuando desea bajarlo á tierra, el aviador hace la maniobra inversa y procura ganar la tierra según una tangente, maniobrando convenientemente el timón de profundidad, después de haber parado el motor.—O.

(Se continuará.)

