

# AEROTECNIA

## El vuelo de planeador remolcado

Por JOSÉ CUBILLO FLUITERS

EN estos momentos en los que el vuelo sin motor es una actualidad palpitante, consideramos de gran interés el dar a conocer algo de lo que sobre el asunto hemos visto en los trabajos de Lippisch, jefe de la Sección de Aerotecnia de la Institución Alemana del Röhn para el vuelo sin motor.

A primera vista, se observa en este problema que el acoplamiento de remolcador y remolque constituye realmente una sola nave aérea que debe tener un solo sistema de características y en el cual la repartición de esas características entré los dos elementos que la componen, o mejor dicho, la contribución que cada avión aporte a la nave aérea única, será muy variable y, por consiguiente, las condiciones de vuelo de cada uno podrán ser muy distintas de las suyas normales en vuelo aislado.

Se deduce en seguida, también, que la componente vertical de la tensión del cable de remolque aligera el remolcador y sobrecarga el planeador, y que este efecto será tanto más intenso cuanto más acentuada sea la diferencia entre la velocidad propia del planeador y la de remolque, dependiendo también de los ángulos de ataque de los dos elementos que intervienen y, en consecuencia, del ángulo de inclinación del cable y consiguiente diferencia de altura entre planeador y avión; una buena forma aerodinámica del planeador repercutirá sobre el avión, que no necesitará desarrollar toda su velocidad para sustentarse, y, por tanto, sin sufrir toda la resistencia al avance que en vuelo normal sufre el avión, podrá tener el conjunto la reacción sustentadora precisa, viéndose por ello las posibilidades a que puede dar lugar la combinación de avión y remolque.

De este primer examen se deduce ya, que será mejor acoplar remolcadores ligeros y remolques grandes; hasta se ha pensado dar forma industrial a este medio de vuelo con aviones remolques de carga remolcados por avioneta,

cuya idea veremos después confirmada en el estudio analítico del problema.

Indiquemos un poco el modo de tratar el asunto con auxilio del cálculo, adoptando para ello las notaciones usuales:

AVIÓN	PLANEADOR	
$G^{(A)}$	$G^{(P)}$	Peso en kilogramos.
$S^{(A)}$	$S^{(P)}$	Superficie sustentadora en metros cuadrados.
$P$		Potencia del motor en caballos.
$\rho$		Rendimiento.
$K_z^{(A)}$	$K_z^{(P)}$	Coefficiente de sustentación.
$K_x^{(A)}$	$K_x^{(P)}$	Coefficiente de resistencia.
$\beta^{(A)}$	$\beta^{(P)}$	Rendimiento aerodinámico.
$\gamma$	$\gamma$	Ángulo de inclinación del cable.
	$\Delta$	Coefficiente de multiplicación de carga.
$v$	$v$	Velocidad.

Se supone que el cable actúa sobre los centros de gravedad de ambos aviones y que es un hilo geométrico, sin peso y sin acción del aire sobre él, y se admite que no hay influencia recíproca de los aviones, teniendo éstos en un momento dado la misma velocidad.

En vuelo horizontal se verificará evidentemente,

$$G^{(A)} + G^{(P)} = R_z^{(A)} + R_z^{(P)},$$

$$R_x = R_x^{(A)} + R_x^{(P)},$$

$$G^{(A)} + G^{(P)} = \left( K_z^{(A)} + K_z^{(P)} \frac{S^{(P)}}{S^{(A)}} \right) S^{(A)} q \left. \vphantom{G^{(A)} + G^{(P)}} \right\} (m),$$

$$R_x = \left( K_x^{(A)} + K_x^{(P)} \frac{S^{(P)}}{S^{(A)}} \right) S^{(A)} q$$

representando  $q$  el factor velocidad y las  $R$  las reacciones correspondientes del aire (fig. 1).

Para el sistema «avión-velero» se pueden introducir los coeficientes combinados,

$$G = G^{(A)} + G^{(P)},$$

$$K_z = K_z^{(A)} + K_z^{(P)} \frac{S^{(P)}}{S^{(A)}} \quad [1]$$

$$K_x = K_x^{(A)} + K_x^{(P)} \frac{S^{(P)}}{S^{(A)}} \quad [2]$$

y refiriendo el conjunto al remolcador, resultarán las conocidas ecuaciones del equilibrio dinámico del avión combinado,

$$G = K_x S^{(A)} v^2, \quad \frac{75 P \rho}{v} = K_x S^{(A)} v^2.$$

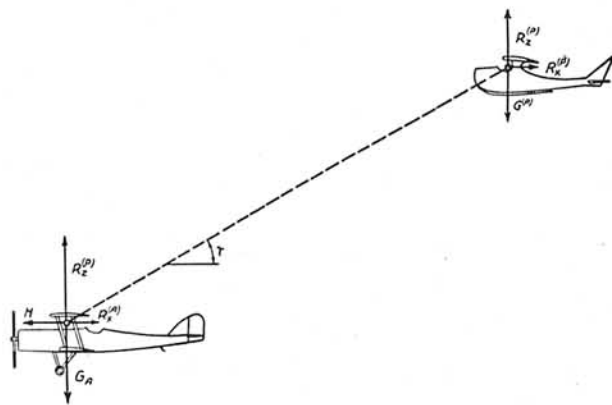


Fig. 1.

El ángulo del cable con la horizontal será:

$$\text{tg. } \gamma = \frac{R_x^{(P)} - G^{(P)}}{R_x^{(P)}},$$

y haciendo aparecer el rendimiento aerodinámico,

$$\text{tg. } \gamma = \beta^{(P)} \left( 1 - \frac{G^{(P)}}{R_z^{(P)}} \right).$$

Precisamente resulta en esta fórmula visible el efecto que primeramente se indicó de sobrecarga del velero; la cantidad  $\frac{G^{(P)}}{R_z^{(P)}}$  es la inversa de la multiplicación de carga, con lo que resulta,

$$\text{tg. } \gamma = \beta^{(P)} \left( 1 - \frac{1}{\Delta} \right) \quad [3]$$

de donde se obtiene,

$$\Delta = \frac{\beta^{(P)}}{\beta^{(P)} - \text{tg. } \gamma},$$

que pone de manifiesto la influencia de la inclinación sobre dicha multiplicación y permite ver que esta influen-

cia será tanto mayor cuanto mayor sea el rendimiento aerodinámico del velero, conviniendo, pues, para ser remolcados los aparatos muy finos.

Vistas estas primeras consideraciones, estudiemos ahora más especialmente, de un lado, el sistema combinado referido al avión; de otro lado, los efectos más importantes sobre el velero.

*Polar combinada.* — Dados los dos elementos, avión y velero, el cociente  $\frac{S^{(P)}}{S^{(A)}}$  queda determinado, y bastará multiplicar por él las coordenadas de la polar del velero para tener los sumandos que, según las fórmulas [1] y [2], agregados a los coeficientes del avión, producen los de la polar combinada.

Habrà, pues, muy diferentes posibilidades de vuelo del conjunto: un mismo coeficiente «combinado»  $K_z$  puede resultar de distintas posiciones de vuelo de cada aparato, que producirán diferentes efectos, según los valores que resulten para la resistencia al avance; más claro: un mismo coeficiente de sustentación podrá ser resultado de varias combinaciones; será la mejor aquella para la cual la resistencia al avance sea la más pequeña; hay, pues, una *mejor* y una *peor* polar combinada; la «óptima» será aquella para la que se verifique que:

$$\frac{\Delta K_z^{(A)}}{\Delta K_x^{(A)}} = \frac{\Delta K_z^{(P)}}{\Delta K_x^{(P)}} = \frac{\Delta K_z}{\Delta K_x} \quad [4],$$

siendo  $\Delta K$  la variación o incremento de los coeficientes para la variación de los ángulos de ataque correspondientes. (En los elementos del remolque deducidos de la polar transformada en la relación  $\frac{S^{(P)}}{S^{(A)}}$ .)

Se llega, en efecto, a esa condición por el cálculo que sigue; si

$$K_z = K_z^{(A)} + K_z^{(P)},$$

$$K_x = K_x^{(A)} + K_x^{(P)},$$

otro par de valores  $K_z^{(A)}$  y  $K_z^{(P)}$  que produzcan el mismo valor de  $K_z$  serán tales, que los incrementos, positivo en uno y negativo en otro, sean iguales, es decir,

$$K_z = K_z^{(A)} + \Delta K'_z + K_z^{(P)} - \Delta K'_z,$$

siendo  $\Delta K'_z$  el valor común de  $\Delta K_z^{(A)}$  y  $\Delta K_z^{(P)}$ ; y para ellos el coeficiente horizontal valdrá:

$$K_x = K_x^{(A)} + \Delta K_x^{(A)} + K_x^{(P)} - \Delta K_x^{(P)},$$

y escribiendo,

$$\frac{\Delta K'_z}{\Delta K_x^{(A)}} = a, \quad \frac{\Delta K'_z}{\Delta K_x^{(P)}} = b,$$

resulta:

$$K_x = K_x^{(A)} + K_x^{(P)} + \Delta K'_z \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right) =$$

$$= K_x^{(A)} + K_x^{(P)} + \Delta K'_z \frac{b - a}{ab};$$

y esta expresión indica que el menor valor posible que podrá resultar para  $K_x$ , será cuando

$$b - a = 0, \quad \text{o bien } b = a,$$

es decir, si

$$\frac{\Delta K'_z^{(A)}}{\Delta K_x^{(A)}} = \frac{\Delta K'_z^{(P)}}{\Delta K_x^{(P)}},$$

y evidentemente también, la igualdad [4] indicada antes.

Esta sencilla relación permitirá establecer la «polar combinada» más favorable como limite de otras combinaciones.

El orden, pues, de ejecución para llegar a ella, será establecer la polar del avión; la transformada del remolque en la relación  $\frac{S^{(P)}}{S^{(A)}}$ ; las líneas derivadas  $\frac{\Delta K'_z}{\Delta K_x}$ , o mejor, sus inversas, dados los valores corrientes de tales derivadas, tomando en ellas como abscisas los valores de  $K_z$ , y de los

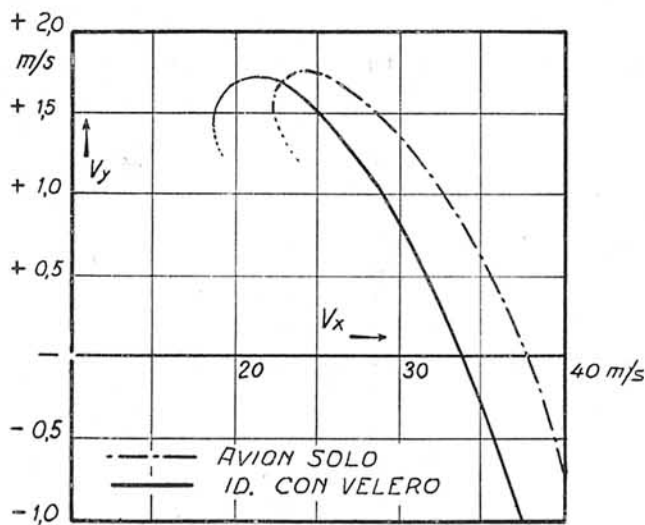


Fig. 2.

tres diagramas, deducir la «polar combinada óptima», de la que, por fin, por los métodos conocidos, se deduce el diagrama de velocidades del sistema «avión-velero».

La figura 2 da el resultado de tales operaciones para la combinación de un avión de 800 kilogramos de peso con motor de 75 cv., rendimiento 0,6 y 20 metros cuadrados de sustentación, con un remolque de 230 kilogramos y 16 metros cuadrados de superficie sustentadora.

Resulta de esta comparación que la velocidad vertical del avión solo, es la misma, sensiblemente, que con el remolque, y la velocidad horizontal está ligeramente disminuida.

Se puede, por lo tanto, puntualizar un poco más las primeras observaciones: un nuevo tipo de avión de transporte podía ser el avión descompuesto en dos partes: el tractor, verdadero «motor volante», avión con mucho motor y sustentación mínima; el remolque, la parte sustentadora, que llevará la carga, más perfecta aerodinámicamente por la supresión del motor, sin peligro de incendio, aterrizando a poca velocidad en una pista corta y con gran facilidad de despegue; el conjunto así formado será superior al avión grande de carga.

*Sobrecarga del velero.*—Veamos ahora el otro concepto interesantísimo, la multiplicación de la carga normal del velero; el coeficiente  $\Delta$  que hemos señalado antes, de valor,

$$\Delta = \frac{\beta^{(P)}}{\beta^{(P)} - \text{tg. } \gamma}.$$

De las relaciones (m) se deduce que

$$q = \frac{G^{(A)} + G^{(P)}}{\left( K_z^{(A)} + K_z^{(P)} \frac{S^{(P)}}{S^{(A)}} \right) S^{(A)}},$$

y designando por  $x$  la cantidad,

$$x = \frac{K_z^{(P)}}{K_z^{(A)}},$$

resulta, observando que

$$\Delta = \frac{K_z^{(P)} S^{(P)} q}{G^{(A)}}$$

el nuevo valor,

$$\Delta = \frac{x \frac{S^{(P)}}{S^{(A)}}}{1 + x \frac{S^{(P)}}{S^{(A)}}} \cdot \frac{G^{(A)} + G^{(P)}}{G^{(A)}}$$

el que llamando

$$y = \frac{S^{(P)}}{S^{(A)}}, \quad z = \frac{G^{(P)}}{G^{(A)}}$$

que son datos en cada caso, se transforman en

$$\Delta = \frac{xy(1+z)}{z(1+xy)} \quad [5],$$

con cuya expresión se pueden hallar los valores posibles de  $\Delta$  en función de las posiciones de vuelo de cada elemento.

En cada caso,  $y$  y  $z$  son fijos, y durante el vuelo es  $x$  la que puede variar; convendrá, pues, aquel acoplamiento de aparatos en los que resulte la variación de  $\Delta$  la menor posible; que el valor de  $\Delta$ , supuesto en cada caso, dependa lo menos posible de la actuación de los pilotos; habrá, pues, que hacer la combinación para la que

$$\frac{d\Delta}{dx} = \text{mínima.}$$

La cantidad  $\frac{d\Delta}{dx}$  vale:

$$\frac{d\Delta}{dx} = \frac{y}{(1+xy)^2} \cdot \frac{1+z}{z}.$$

En este producto el factor  $\frac{1+z}{z}$  es constante durante el vuelo; como generalmente  $z < 1$  su efecto será amplificar el valor que resulte para el otro factor, viéndose así la conveniencia de veleros grandes, también, para la seguridad del vuelo.

El factor  $\frac{y}{(1+xy)^2}$  es el que varía durante el vuelo; como  $x$  es generalmente mayor que 1, convendrá que  $y$  sea lo mayor posible, es decir, veleros de gran superficie sustentadora; el estudio, pues, del factor de multiplicación conduce a la misma consecuencia que el examen del avión tractor.

Para limitar la posibilidad de alcanzar  $\Delta$  valores peligrosos, convendrá enlazar el cable al planeador por delante del centro de gravedad, produciendo así un par de picado que evite los ángulos grandes de incidencia; el piloto del velero tendrá por guía el mantenerse a la menor altura posible sobre el tractor durante el vuelo.

También puede disponerse un dispositivo automático de suelta del cable cuando la tensión llegue a un cierto límite.

Teniendo en cuenta este exceso de fatiga a que puede estar sometido un avión remolcado, se exigen pruebas más rigurosas, y, al efecto, indicamos aquí los coeficientes de ensayo a que se someten los planeadores, según el caso:

	Vuelo libre	Vuelo remolcado	
1.º caso: de vuelo.....	6	10	
2.º caso: { Máximas velocidad y presión dinámica.. }	1	1	{ Vuelo picado y 150 kilómetros-hora de velocidad de remolque.
3.º caso: aterrizaje.....	8	8	

Los coeficientes del caso de remolque, aunque no son todavía oficiales, son los que se exigen, y, al efecto, los tipos de planeadores son reforzados convenientemente.

El período de vibración del ala para el vuelo libre ha de ser no inferior a 180 vibraciones por minuto, y para el vuelo remolcado el límite es de 210 en igual tiempo.

Para estudiar  $\Delta$  habrá que deducir los valores de  $x$  de las polares del avión y el remolque; de ellos deducir por la fórmula [3] los valores de  $\gamma$  respectivos; en cada combinación resultará un par de valores de  $K_z$  y  $K_x$ , y uniendo todos los puntos para los que  $K_x$  tenga igual valor, se

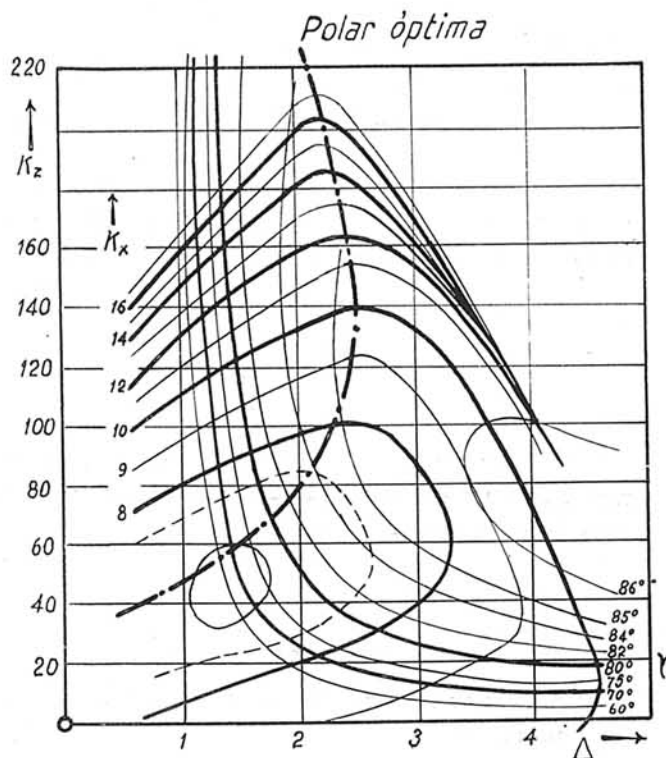


Fig. 3.

obtendrá un campo de curvas en el diagrama de la figura 3, que corresponde al ejemplo de remolque citado antes, siendo el otro campo que figura en ese diagrama el que tiene por cotas los valores de  $\gamma$ ; las ordenadas son  $K_z$ , y las abscisas,  $\Delta$ : la línea de trazo y punto corresponde a la polar combinada «óptima», y se ve que, aun volando en ella, la multiplicación de carga del velero puede llegar a 2,5, y que en otras condiciones puede llegar a sollicitaciones mucho mayores.

Queda aun por estudiar los efectos de estabilidad del velero, que en el remolque es una cometa y no un avión, y los resultantes de los esfuerzos producidos por las diferencias de velocidad de ambos elementos, según la turbulencia del viento y las maniobras que ha de hacer el velero para mantener la tensión del cable.

Es, pues, el vuelo remolcado cuestión interesantísima, que ofrece ancho campo para las investigaciones aerotécnicas.