

Ensayos en vuelo y laboratorios de Aviación

Por M. GUY ROBERT

Ingeniero de los S. T. Aé. Franceses

EL avión, como otra máquina cualquiera, está construido de manera que pueda responder a un programa determinado y llenar ciertas condiciones.

Según su aplicación civil o militar (caza, bombardeo, observación, fotografía, carga, pasaje, turismo), el avión ha de volar más o menos de prisa, más o menos alto, alcanzar —a veces— su techo en un tiempo mínimo, ser fácilmente manejable, etc.

En otros términos, los utilizadores de un avión deben poder contar con él en los siguientes aspectos:

- 1.º Su velocidad al nivel del suelo.
- 2.º Su velocidad a diversas alturas, especialmente en su techo.
- 3.º Su velocidad ascensional y, como consecuencia, sus tiempos de subida a diversas alturas, especialmente a la del techo práctico.
- 4.º Su forma y velocidad de despegue y aterrizaje.

La misión de los ingenieros proyectistas consiste precisamente, al estudiar un nuevo prototipo, en calcularle para hacerle alcanzar las condiciones y performances exigidas por los clientes de la casa (programa de la Aviación militar, o exigencias de las Empresas de transporte).

En algunos casos, cuya evidencia no es preciso subrayar, estas performances no son alcanzadas por completo, a causa de una porción de razones, entre las que sobresalen las siguientes: transformación o refundición de un prototipo antiguo; modificaciones introducidas a consecuencia de un cambio de programa; modificaciones previstas, derivadas o no del motor, del propulsor o del velamen; variaciones de resistencias y pesos, interacciones, resonancias, etc.

En otros casos es preciso confirmar las performances calculadas. Es preciso, pues, volver sobre ellas y, por una experimentación bien llevada, determinar las performances reales, comprobar los cálculos, gobernar el aparato, apreciar ciertas modificaciones convenientes... Los ensayos en vuelo son, para el avión, lo que el túnel aerodinámico es para el modelo reducido.

Además, es preciso graduar y calibrar con la máxima precisión los diversos instrumentos de a bordo que han de servir al piloto y al navegante para dirigir la marcha de su aeronave.

El objeto de este artículo no es otro que poner de manifiesto cómo se efectúa el doble control de las performances y de los instrumentos de a bordo.

1.º — VELOCIDAD EN EL SUELO

Un medio elemental de determinar la velocidad de un avión al nivel del suelo, podría consistir en hacerle describir una recta, sobre la cual dos observadores pueden jalonar un trayecto, anotando los pasos del avión por las verticales de dos referencias previamente determinadas. Si el vuelo se efectúa con viento nulo, la velocidad se deduce de la conocida fórmula $V = \frac{e}{t}$, en la que e es el espacio recorrido y t el tiempo invertido en recorrerlo. Si hubiese viento en la dirección del trayecto, bastaría cubrirlo en ambos sentidos para prescindir de la corrección debida al viento.

En principio, los operadores que oprimen el botón de un cronómetro o anotan el momento de un paso por la vertical, pueden fácilmente equivocarse. Los cálculos de la oficina de estudios relativos a las características aerodinámicas del avión, del motor y de la hélice, se suponen basados en una temperatura de + 15 grados y una presión atmosférica de 760 milímetros, condiciones no muy frecuentes. De igual modo, las condiciones del ambiente, humedad, etc., son esencialmente variables. Se han reemplazado los operadores por aparatos registradores, y se han instalado aparatos capaces de determinar exactamente las características de la atmósfera.

Medida de la velocidad.—Se opera sobre una línea recta o base, de la mayor longitud posible, en un espacio descubierto, y en la dirección de los vientos dominantes en el territorio elegido. Sobre esta línea recta se jalona un trozo con dos miras o postes pintados de rojo y blanco. La distancia de ambos jalones suele ser de cinco kilómetros. Frente a cada uno de ambos, y a 150 ó 200 metros de distancia, habrá dos garitas conteniendo sendos aparatos fotográficos enfocando a los respectivos jalones, según líneas perpendiculares a la dirección de la base de vuelos. Cada aparato está montado en una horquilla que permite dirigirlo, desde la horizontal a la vertical, siempre dentro del plano que pasa por su objetivo y por el jalón correspondiente. Un visor óptico con retículo, permite situar la imagen del avión en el centro de los clichés. Un mango facilita la maniobra del aparato. Cada operador fotográfico se enlaza por teléfono con el jefe del laboratorio central inmediato a la base. Este jefe dispone de un cronógrafo, en el que la velocidad de desarrollo del papel registrador es reglable. Cuando el avión, en vuelo, se aproxima al primer jalón, el primer operador advierte por teléfono a su jefe. Éste acelera inmediatamente la velocidad del papel registrador. El operador dispara la foto cuando la nariz del avión aparece en el centro del retículo. El jefe del laboratorio, advertido en seguida, retrasa hasta su régimen normal la velocidad de la banda de papel. Al acercarse el avión al segundo jalón, se repite el anterior proceso con el otro aparato fotográfico.

En el momento en que cada operador dispara su foto, un contacto eléctrico provoca un zigzag en la impresión de la banda registradora (fig. 1).

Al interpretar los resultados de la operación, un delineante lee el número entero de segundos (n) que separa los dos zigzags, y mide las fracciones de segundos (du) y ($d'u$). Esta me-

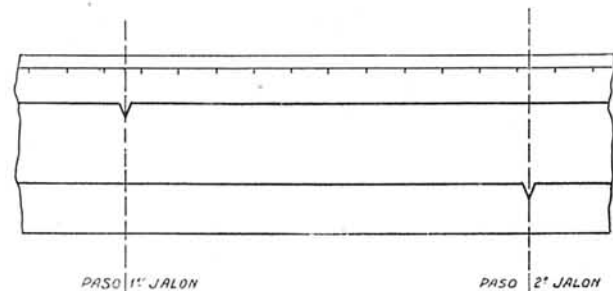


Fig. 1.

didada se hace con gran exactitud, pues como en las inmediaciones de los zigzags se aceleró la marcha del papel, a cada segundo corresponde una longitud mucho mayor. El tiempo invertido entre ambos pasos habrá sido, pues, de

$$t \text{ (segundos)} = n + du + d'u.$$

Correcciones.—Si (L) es la longitud de la base, la velocidad del avión será:

$$V = \frac{L}{t}.$$

Pero resulta que (L) no corresponde, generalmente, a la longitud del recorrido real del avión. Si tomamos como referencia la nariz del fuselaje, veremos que casi nunca está en el centro del retículo, de cuyo hilo vertical dista una cantidad (a).

Llamemos (a_1) y (a_2) los valores correspondientes a los clichés tomados por el primero y segundo observadores, respectivamente (fig. 2). La escala de los clichés está representada por la relación entre las dimensiones fotografiadas del avión y sus dimen-

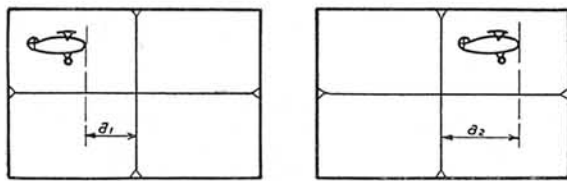


Fig. 2.

siones reales. Es, pues, posible traducir los valores (a_1) y (a_2) que corresponden a las cantidades (A_1) y (A_2), cuya suma algebraica viene a modificar la longitud (L) de la base. La expresión rigurosamente exacta sería, pues:

$$V = \frac{L + A_1 + A_2}{n + du + d'u}.$$

Observaciones sobre el valor del resultado.—Por el procedimiento explicado no se obtiene más que la velocidad media del avión entre dos puntos, mientras que lo interesante sería conocer la que ha llevado en cada instante, llamada velocidad instantánea. Se logra una aproximación hacia ella montando uno o dos aparatos fotográficos más, intercalados entre los puestos extremos, lo que permite, siendo la base (L), conocer las velo-

cidades medias sucesivas sobre $\frac{L}{2}$, $\frac{L}{3}$, etc.

Hemos supuesto, al empezar, que la dirección del viento, caso de no ser nulo, coincidía exactamente con el eje de la base utilizada. Para los servicios encargados de medir velocidades de numerosos aeroplanos, lo interesante sería poder operar, cualquiera que fuese la dirección del viento, siempre que permaneciese constante. En este caso, el único método que permite anular la corrección debida al viento, consiste en utilizar una base triangular, formada por tres líneas rectas. Nos parece inútil tratar de demostrar que, cuando un avión ha recorrido el circuito, la velocidad media que resulte es la suya propia, siempre que el viento no haya variado en dirección ni en intensidad durante el total desarrollo de la prueba.

Los parámetros atmosféricos, dirección del viento, velocidad, presión, son perfectamente conocidos por medio de aparatos registradores, de los que vamos a pasar revista a los más importantes. Estos aparatos se encuentran reunidos, como hemos dicho, en el laboratorio central, y son los siguientes:

Anemómetro-cinemómetro, registrador de ocho direcciones,

cuyo objeto — como indica su nombre — es registrar la velocidad y dirección del viento. Se compone, en esencia, de un molinete tipo *Robinson*, que da la velocidad del viento. El molinete es solidario de una veleta que da la dirección de aquél. Un colector de ocho sectores permite la determinación del lecho del viento en el ángulo correspondiente al sector que interesa.

Barógrafo registrador, calibrado a la altura de la base de

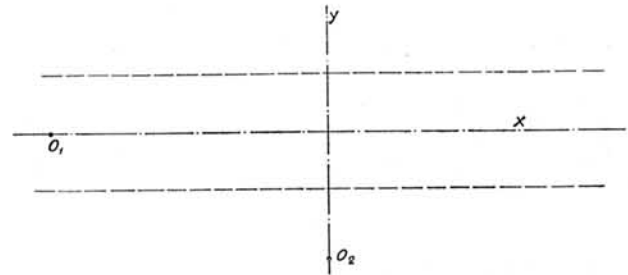


Fig. 3.

vuelos, cuyas indicaciones pueden comprobarse por un barómetro Fortin de mercurio; un *higrómetro registrador* suministrará también utilísimas indicaciones.

El cuadro completo de correcciones exigidas por el estado de la atmósfera no cabe en los límites de un artículo como el presente.

BASE DE ALTURA

Se suele exigir que los aviones, especialmente para obtener el certificado de navegabilidad, puedan encontrarse a determinada altura (8, 10, 20 metros) a una cierta distancia horizontal del punto en que empiezan a rodar libres de sus calzos. En otros términos: la instalación de la base de altura debe permitir determinar con toda exactitud el punto en que el avión se halla a la altura exigida. No se trata aquí de utilizar la alidada y la plancheta de nivelación, cuya precisión sería insuficiente. Se impone aquí de nuevo el aparato fotográfico. El tipo adoptado para estas instalaciones es el siguiente (fig. 3):

Una recta OX , orientada en la dirección de los vientos dominantes, se materializa sobre el suelo por medio de lechada de cal, por ejemplo. A ambos lados de ella, y a 50 metros de distancia, se trazan por el mismo procedimiento otras dos rectas paralelas a la anterior. El piloto debe conservar su avión por encima de la faja de terreno limitada por estas líneas.

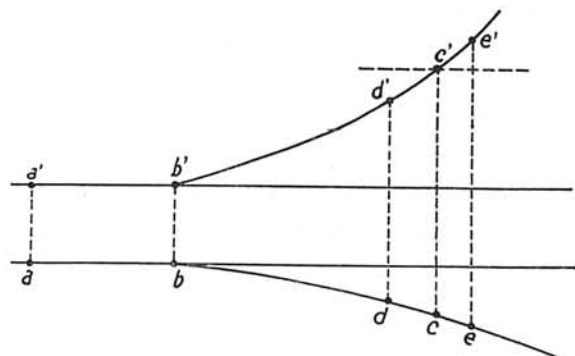


Fig. 4.

Una cámara fotográfica de 18×24 , y 70 centímetros de longitud focal se instala en el punto (O_1), a una altura (H) igual a la exigida al avión. Su eje óptico se mantiene horizontal y pa-

ralelo al OX . Otra cámara fotográfica de igual tamaño y 26 centímetros de longitud focal, con objetivo gran angular, se instala en el punto (O_2) . Su eje óptico estará también contenido en el mismo plano horizontal que el de la primera cámara; ambos ejes ópticos deben ser perpendiculares. Veamos las proyecciones horizontal y vertical de la trayectoria del avión (figura 4).

Un observador situado en O_2 dispara eléctricamente (con absoluta simultaneidad) los dos aparatos fotográficos cuando el avión va a alcanzar los ocho metros, y vuelve a dispararlos simultáneamente un momento después de que los haya rebasado.

Sean $C (C', C)$ el punto de la trayectoria situado a la altura de ocho metros; $D (d', d)$ y $E (e', e)$ las posiciones fotografiadas

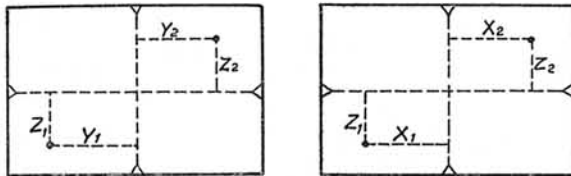


Fig. 5.

antes y después del paso. Una vez reveladas las cuatro fotos obtenidas, darán los resultados siguientes (fig. 5):

Tenemos, pues, todos los elementos necesarios para calcular las coordenadas de los puntos D y E : $D (X_1, Y_1, Z_1)$, $E (X_2, Y_2, Z_2)$ y determinar las coordenadas del punto $C (X, Y, B)$. Se puede admitir que la trayectoria del avión entre los punto D y E es el segmento DE (figs. 6 y 7).

Sean:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha_1 &= \frac{X_1}{f} & O_1 T = A \\ \operatorname{tg} \beta_1 &= \frac{Y_1}{F} & O_2 T = B \\ \operatorname{tg} \gamma_1 &= \frac{Z_1}{P} & O_1 a = D \end{aligned}$$

La longitud L de la trayectoria, será:

$$L = (X - D) \frac{1}{\cos \delta},$$

lo que da, sucesivamente:

$$\begin{aligned} Z_2 &= \lambda + h_1 \\ X &= X_2 \operatorname{tg} \gamma_2 \\ Y_2 &= X_2 \operatorname{tg} \beta_2 \\ X_2 - A &= (B - \gamma_2) \operatorname{tg} \alpha_2 \end{aligned}$$

Y de aquí:

$$\begin{aligned} X_2 - A &= (B - X_2 \operatorname{tg} \beta_2) \operatorname{tg} \alpha_2 \\ X_2 (1 + \operatorname{tg} \beta_2 \operatorname{tg} \alpha_2) &= A + B \operatorname{tg} \alpha_2, \end{aligned}$$

de donde

$$\begin{aligned} X_2 &= \frac{A + B \operatorname{tg} \alpha_2}{1 + \operatorname{tg} \beta_2 \operatorname{tg} \alpha_2} & Y_2 &= \frac{A + B \operatorname{tg} \alpha_2}{1 + \operatorname{tg} \beta_2 \operatorname{tg} \alpha_2} \operatorname{tg} \beta_2 \\ Y_2 &= B + \frac{A + B \operatorname{tg} \alpha_2}{1 + \operatorname{tg} \beta_2 \operatorname{tg} \alpha_2} \operatorname{tg} \gamma_2 \end{aligned}$$

Y como quiera que

$$mn = X_2 - X_1 \quad X = X_1 + mp,$$

tendremos:

$$\frac{Z_2 - Z_1}{mn} = \frac{8 - Z_1}{mp}$$

de donde

$$mp = mn \frac{8 - Z_1}{Z_2 - Z_1},$$

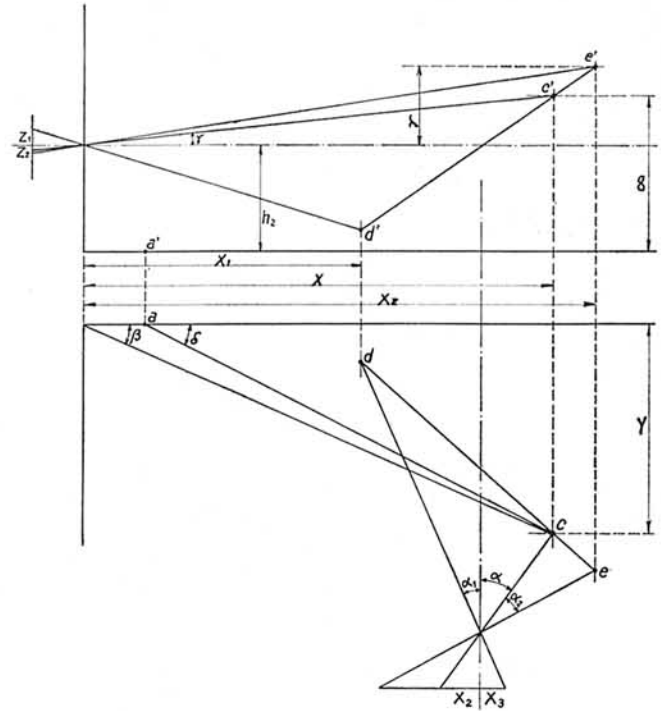


Fig. 6.

$$X = X_2 + (X_2 - X_1) \frac{8 - Z_1}{Z_2 - Z_1}.$$

En cuanto al ángulo δ , se determina del siguiente modo:

$$\frac{Y}{X - D} = \operatorname{tg} \delta \quad \log \operatorname{tg} \delta = \log Y + \operatorname{colog} (X - D)$$

de donde

$$L = \frac{X - D}{\cos \delta} \quad \log L = \log (X - D) + \operatorname{colog} \cos \delta$$

o sea, que

$$L = \sqrt{(X - D)^2 + Y^2}$$

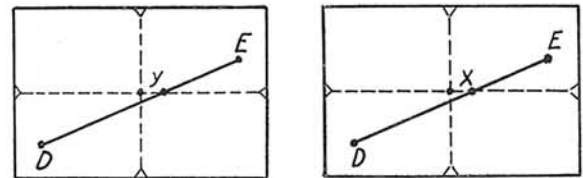


Fig. 7.

En definitiva, resultará que

$$\begin{aligned} X_1 &= \frac{A + B \operatorname{tg} \alpha_1}{1 + \operatorname{tg} \beta_1 \operatorname{tg} \alpha_1} & X_2 &= \frac{A + B \operatorname{tg} \alpha_2}{1 + \operatorname{tg} \beta_2 \operatorname{tg} \alpha_2} \\ Y_1 &= X_1 \operatorname{tg} \beta_1 & Y_2 &= X_2 \operatorname{tg} \beta_2 \\ Z_1 &= h + X_1 \operatorname{tg} \gamma_1 & Z_2 &= h_1 + X_2 \operatorname{tg} \gamma_2 \end{aligned}$$

$$X = X_1 + (X_2 - X_1) \frac{8 - Z_1}{Z_2 - Z_1}$$

$$Y = Y_1 + (Y_2 - Y_1) \frac{8 - Z_1}{Z_2 - Z_1}$$

$$Z = 8$$

$$L = \sqrt{(X - D)^2 + Y^2}$$

Un caso particular muy interesante es aquel en que los dos ejes ópticos están en el mismo plano horizontal y éste coincide con el de cota ocho metros. En este caso, las fotos presentan el siguiente aspecto:

Y se verificará que

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{Y}{F} \quad ,, \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{X}{f}$$

de donde, evidentemente,

$$X = \frac{A + B \operatorname{tg} \alpha}{1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta} \quad ,, \quad Y = X \operatorname{tg} \beta \quad ,, \quad LZ = \sqrt{(X - D)^2 + Y^2}$$

La determinación, sobre el terreno, de los puntos O_1 y O_2 es bastante delicada. Precisa, en efecto, que OX tenga la dirección de los vientos dominantes, y que los puntos O_1 y O_2 tengan la misma cota, o cuando menos, se conozcan sus coordenadas geográficas con toda la precisión deseable. En O_1 y O_2 se colocan postes provistos de plataformas para instalar las cámaras fotográficas, cuyos ejes ópticos deben ser rigurosamente horizontales, ortogonales y en el plano de cota 8. En ciertos

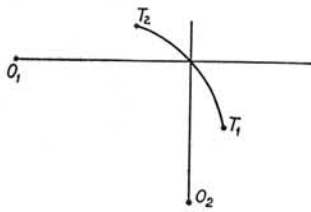


Fig. 8.

casos, la suspensión género teodolito permite dar variaciones de ± 10 grados en azimut y en rumbo.

Si suponemos que, por una razón cualquiera, sean imposibles las salidas o las llegadas según el eje OX , la desviación del rumbo de los aparatos fotográficos permitirá utilizar una nueva dirección (fig. 8).

Es evidente que el lugar de los puntos (T) es un arco de círculo de diámetro $O_2 O_1$, limitado por las posiciones extremas T_1 y T_2 . De igual manera, si la altura exigida no fuese de ocho metros, sino de $8 + h$, se da la variación de los ángulos de situación correspondientes sin necesidad de proceder a una nueva instalación.

ESTUDIO DEL ATERRIZAJE Y DESPEGUE

Conviene frecuentemente conocer las longitudes del rodaje de un avión para despegar y aterrizar, así como las velocidades-límite de sustentación. Es interesante conocer también los fenómenos particulares (vibraciones, etc.) que pueden acaecer a los amortiguadores, trenes de aterrizaje, hélices y otras piezas en movimiento.

Hasta la fecha, se ha venido empleando el procedimiento siguiente: el avión despegaba o aterrizaba siguiendo una línea conocida. Perpendicularmente a esta línea, un observador dis-

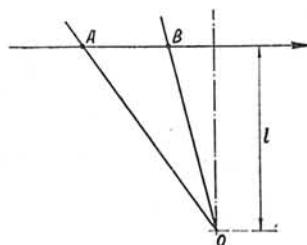


Fig. 9.

pone una plancheta de nivelar, con una alidada que permita tomar el ángulo bajo el cual se divide la longitud del rodaje a medir, desde el eje de rotación de dicha alidada ($A \cdot B$, por

ejemplo) (fig. 9). Se toma como origen de los ángulos la recta OX , perpendicular trazada desde el eje de giro de la alidada al eje de vuelo del avión. Parece, a primera vista, que el camino recorrido se evalúa directamente en función de los ángulos α y β de desviación de la alidada:

$$AB = l (\operatorname{sen} \beta - \operatorname{sen} \alpha).$$

Sin embargo, la operación es difícil a veces, por la dificultad del observador en asegurar su visual y apreciar exactamente los momentos de aterrizaje y despegue. Los tiempos son registrados con un cronómetro por un segundo operador.

Para obviar estos inconvenientes, la casa Debrie ha realizado recientemente un aparato que automáticamente registra el valor de los ángulos β y el tiempo con aproximación de $1/600$ de segundo. Este aparato se deriva del cinematógrafo G. V., construido por la misma casa, y que permite tomar 240 vistas por segundo, lo que da un *ralenti* excelente en la proyección.

Además, un prisma o escuadra óptica envía sobre la emulsión sensible la imagen de un cronómetro que da el $1/500$ de segundo. Un diapasón montado en un circuito eléctrico asegura tan considerable precisión en la medida del tiempo.

Otra escuadra óptica permite fotografiar también un índice y un sector de un círculo horizontal graduado en rumbos. Un vernier fotografiado al mismo tiempo asegura la lectura muy precisa de estos ángulos, del orden del B . El conjunto del aparato va sobre un trípode y permite con un reglaje fácil mantener el limbo en un plano horizontal. Cada imagen, una vez revelada y fijada, presenta el siguiente aspecto (fig. 10):

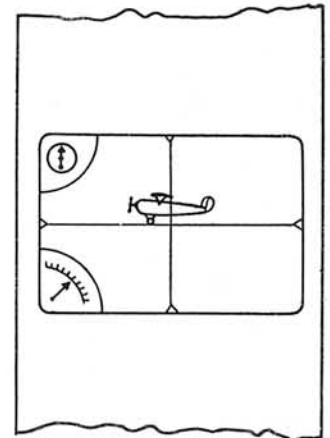


Fig. 10.

Un aparato de proyección permite estudiar las imágenes considerablemente ampliadas sobre una pantalla, teniendo a la vista constantemente las indicaciones necesarias de tiempos y ángulos.

Sobre el objetivo de proyección puede adaptarse un manguito que lleva — como los gemelos de campaña — una graduación horizontal en milésimas y grados, y otra vertical en grados. Este dispositivo permite apreciar instantáneamente las distancias y las dimensiones de los aviones, sin necesidad de recurrir a pintar en el fuselaje una franja de dimensiones conocidas.

El mismo aparato puede utilizarse para determinar la velocidad de los aviones a ras del suelo.

El *ralenti* se emplea, en la proyección de imágenes, para estudiar el movimiento de la hélice, ruedas, etc. Se pueden retener así los fenómenos más complejos y delicados del despegue.

Para estudiar los fenómenos del rediente de los hidroaviones, se utiliza frecuentemente el mismo aparato fijado sobre un flotador y mandado a distancia, para cinematografiar el rediente en el momento del despegue.

CONCLUSIONES

Hemos omitido el estudio de los métodos de determinación de la velocidad ascensional de los aviones, por ser muy conocidos y no presentar características singulares. Nos hemos limitado a señalar el importante papel que en los servicios técnicos desempeñan hoy día la fotografía y el cinema, permitiendo desarrollar las pruebas y ensayos con considerable precisión.