

# Vuelo sin Motor y Aeromodelismo

## Diversos métodos para la determinación de ascendencias

Por Francisco F. Mazarambroz

Capitán de Ingenieros aeronáuticos

Dado el interés que hoy día presenta el vuelo sin motor, parece conveniente explicar, aunque no sea más que en líneas generales, los diversos métodos que se han utilizado para determinar las *ascendencias* del aire, o sea velocidad ascendente del aire en un punto o zona determinado de la atmósfera, y por tanto, los lugares más apropiados para el establecimiento de las Escuelas de V. S. M.

Todos los métodos hasta hoy utilizados se reducen en esencia a dos:

**Primer método.**—Consiste en observar al mismo tiempo un conjunto de puntos fijos muy aproximados entre sí, para lo cual en estos puntos se colocan aparatos registradores convenientemente suspendidos. Los movimientos de relojería de estos aparatos están sincronizados. De los diagramas obtenidos se deduce la influencia del relieve. Si el estado de la atmósfera es permanente, es decir, si estos valores de los elementos observados son independientes del tiempo, en lugar de distribuir los puntos de observación en todo el espacio, se utiliza un solo punto, que se traslada por toda la zona a estudiar. Este método se llama el de los puntos de observación fijos y comprende el empleo del globo cautivo y la cometa (figura 1).

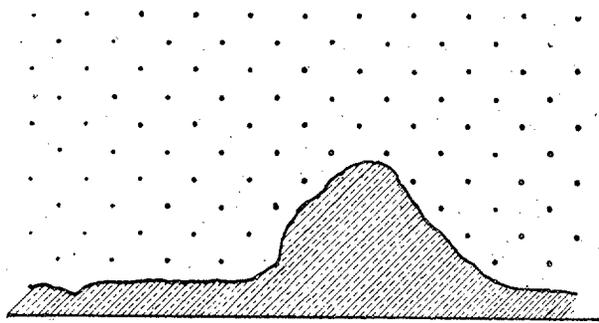


Figura 1.

**Segundo método.**—De un gran número de puntos, repartidos sobre un plano vertical perpendicular al viento reinante y situado a bastante distancia del relieve a estudiar, se dejan salir en intervalos pequeños globos libres equilibrados en altura. Por un método especial se traza la trayectoria de estos globos y se determina en cada instante la posición de cada uno sobre su trayectoria. De los diagramas obtenidos se deduce la influencia del relieve. Si el estado de la atmósfera es permanente, es suficiente dejar salir un mismo globo desde los distintos puntos del plano vertical inicial.

Este método se llama el de los puntos de observación móviles y comprende los sondeos con globo libre, con globo piloto-equilibrado y los sondeos con avión, con y sin motor (figura 2).

A primera vista se ve que el primer método es más sen-

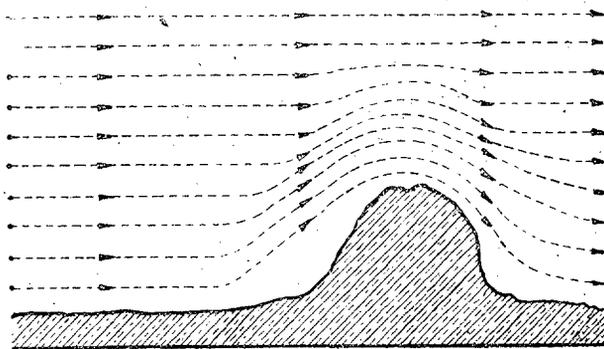


Figura 2.

cillo y más preciso que el segundo, puesto que las posiciones de los puntos de observación son conocidas y se pueden obtener al mismo tiempo todos los valores que se desean, mientras que en el segundo es preciso determinar exactamente la posición del punto de observación móvil, lo que a veces presenta grandes dificultades.

En lugar de operar en la atmósfera misma se puede hacer sobre un modelo de tamaño reducido del relieve, y este modelo se coloca en un túnel aerodinámico. Este es el *método de semejanza*, muy sencillo en sus principios, pero que presenta grandes dificultades en la interpretación de los resultados.

Se puede tratar de resolver el problema mediante el cálculo, utilizando las ecuaciones de la dinámica de los fluidos. Este es el *método analítico*; sólo es utilizable en casos muy sencillos, bastante alejados de la realidad, puesto que cuando se intenta tener en cuenta todas las condiciones físicas, los cálculos se hacen prácticamente irresolubles.

La perturbación de los elementos dinámicos, velocidad y dirección del viento, acarrea otra perturbación de otros elementos meteorológicos, como temperatura, humedad, lluvia, nubes, etc. Por tanto, podemos utilizar estas perturbaciones a la inversa; es decir, como estas últimas perturbaciones son visibles, descubrir las primeras, aunque no sea más que en primera aproximación; este método se llama *meteorológico o indirecto*.

Sólo reseñaré aquellos métodos que tienen una aplicación práctica y sencilla.

### METODO DE LA COMETA

El empleo de la cometa para indicar la dirección y velocidad del viento cerca del suelo presenta ventajas sobre el globo piloto. Constituye un aparato ligero, siempre dispuesto a funcionar, con material ligero y recambios sencillos. Se monta rápidamente, y asimismo permite explorar la atmósfera rápidamente por encima aun de terrenos accidentados;

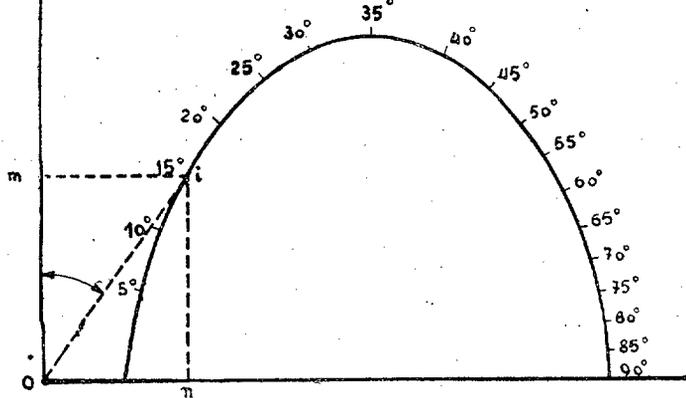


Figura 3.

no es necesario descender el aparato para estudiar las diferentes direcciones, sino solamente desplazarse con él.

Para obtener resultados precisos es necesario hacer un estudio previo de él y contrastar sus resultados con otros aparatos.

*Estudio previo de la cometa.*—La cometa debe constituir, ante todo, un conjunto indeformable, para ser comparable siempre consigo misma. Como el efecto del viento sobre la superficie varía con la forma y curvatura de ésta, es necesario asegurar cierta rigidez en el aparato para que en vuelo presente los mismos perfiles que en su contraste.

Supongamos que se trata de una cometa celular simétrica con relación a un centro de figura que es al mismo tiempo su centro de gravedad. Esta cometa ofrece al viento tres superficies:

1.º Planos entelados, cuyo borde de ataque es horizontal y que aseguran la sustentación; su superficie total es igual a  $S$ .

2.º Superficies perpendiculares a las anteriores y cuyo borde de ataque es también horizontal, formando el cuerpo o fuselaje de la cometa. Despreciaremos el efecto de estas superficies, a las que es necesario añadir las superficies ofrecidas por tensores, diagonales, etc.

3.º Planos verticales entelados, que aseguran la orientación, y cuya superficie total es  $s$ .

El efecto del viento sobre los planos de sustentación es una fuerza sensiblemente normal a estos planos, y cuyo valor es:

$$\frac{1}{2} C_s \rho S V^2,$$

donde  $C_s$  = coeficiente de sustentación.

$\rho$  = densidad del aire.

$S$  = superficie total del plano de sustentación.

$V$  = velocidad del viento.

Sobre los planos verticales de orientación el viento ejerce, por rozamiento, una fuerza horizontal, que se puede representar por

$$a s V^2.$$

siendo  $a$  = coeficiente constante.

$s$  = superficie total de los planos de orientación.

$V$  = velocidad del viento.

Los puntos de aplicación de estas fuerzas se conocen, dada la experiencia que se tiene hoy día sobre planos inclinados. Se puede determinar, por tanto, su resultado y su punto de aplicación. Estos resultados se expresan por dos diagramas.

El primero o polar de la cometa da, para un viento de velocidad constante—que supondremos igual a la unidad—y para diversas inclinaciones del eje de la cometa sobre la dirección del viento (es decir, al variar el ángulo de ataque), la magnitud y la dirección de la fuerza total  $R$  ejercida por el viento.

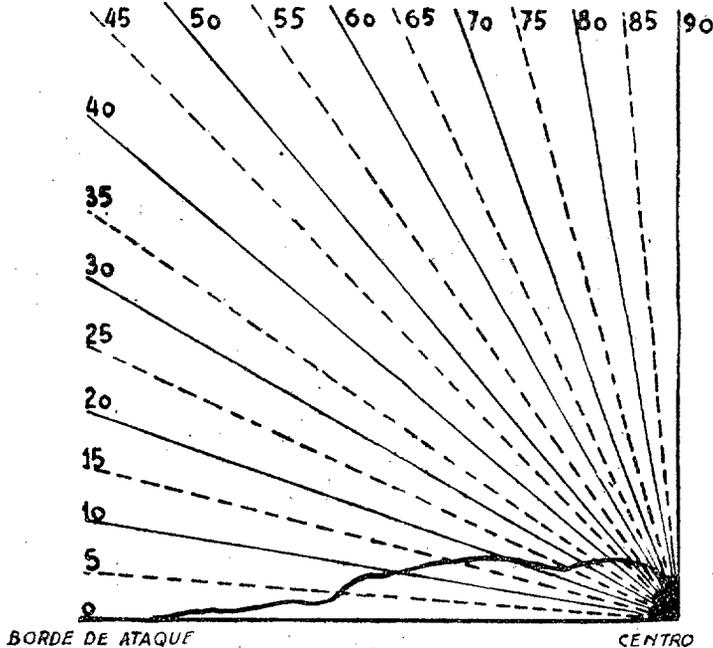


Figura 4.

Se deduce de este diagrama cuál es la fuerza  $O\alpha$  ejercida por el viento, de velocidad igual a la unidad cuando la cometa tiene una inclinación  $i$ . La magnitud de esta fuerza está representada por  $oi$ , y el ángulo que hace con la horizontal es  $\widehat{ion}$ . Si el viento tiene una velocidad  $V$ , es suficiente multiplicar la longitud del vector  $\vec{oi}$  por  $V^2$  para tener el esfuerzo real.

$\vec{oi}$  se descompone en dos fuerzas: una vertical,  $\vec{om}$ , que es la sustentación, y otra horizontal,  $\vec{on}$ , que es la tracción o resistencia al avance.

El segundo diagrama, o posiciones del centro de presión de la cometa, según el ángulo de ataque, está representado en la figura 4.

Estos diagramas lo más práctico es establecerlos, para un tipo determinado de cometa, en el túnel aerodinámico.

Para terminar el estudio previo de la cometa debíamos estudiar el cable de retenida, es decir, la curva que toma este cable bajo el efecto del viento, el cálculo de tensiones a las diversas alturas, con o sin viento, teniendo en cuenta las propiedades de la catenaria o de los polígonos funiculares.

Las observaciones hechas en países accidentados sobre la deformación de las corrientes atmosféricas no necesitan una gran precisión; pero no se utilizarán los resultados con provecho nada más que si se conoce claramente el mecanismo de su funcionamiento.

*Equilibrio de la cometa.*—La cometa, retenida por su cable, pero considerada independientemente de él, está sometida a la acción de las fuerzas siguientes:

- 1.º Fuerza total  $R$  ejercida por el viento.
- 2.º El peso  $P$  del aparato, aplicado en su centro de gravedad, que supondremos confundido con el centro de figura.
- 3.º La tensión  $T$  ejercida por el cable y aplicada en el nudo.

El problema es el siguiente:

Una cometa para la que se ha hecho el estudio previo a que nos hemos referido anteriormente, debe estar en equilibrio con una longitud dada  $l$  de cable, en un viento de velocidad  $V$  y formando con la cometa un ángulo  $i$ . Determinar la posición del nudo, el peso límite del cable, la inclinación de éste en el punto de sujeción al suelo y la tensión ejercida en este punto.

Para que las tres fuerzas  $R$  y  $T$ , que obran sobre la cometa, se encuentren en equilibrio, es necesario y suficiente

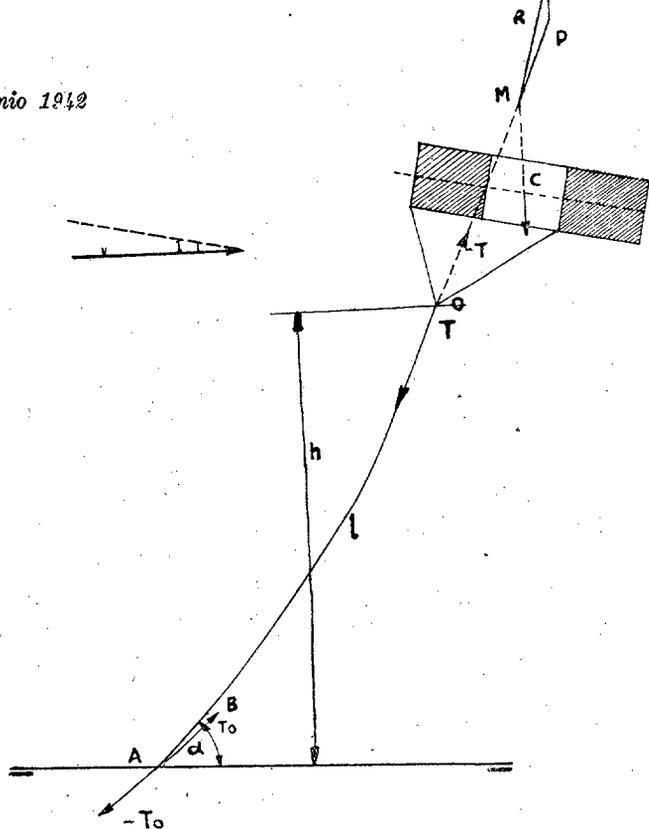


Figura 5.

que estén en el mismo plano y que la resultante de dos de ellas sea igual y directamente opuesta a la tercera.

$i$  y  $V$  son más conocidas;  $R$  se conoce en magnitud y dirección por el primer diagrama, y su punto de aplicación, por el segundo. Se puede trazar  $R$  sobre el dibujo (figura 5). Sea  $MN$  el vector que representa esta fuerza, transportada hasta la vertical del c. g. La resultante de  $MN$  y el peso  $p$  es un vector  $MP$ . Para que la cometa esté en equilibrio es necesario que  $MP$  pase por el nudo. Se escogerá un punto cualquiera  $o$  sobre la recta  $PM$ , y se une este punto con dos de la cometa—generalmente, uno en el borde de ataque y otro a dos tercios de este borde y hacia atrás—; se tiene dibujado el nudo y la longitud de las cuerdas a partir del punto de unión con el cable.

La tensión ejercida por el cable es igual y directamente opuesta a  $MP$ . Por consiguiente, si se supone el cable cortado muy cerca del punto de ataque con la cometa, ésta está en equilibrio bajo la acción de las tres fuerzas  $R, p, T$ .

Consideremos ahora el cable en equilibrio, independiente de la cometa. Este cable está en equilibrio bajo la acción de tres fuerzas (suponiendo que la acción del viento sobre el cable es despreciable):

- 1.º Tensión ejercida por la cometa;  $-T$ , igual y directamente opuesta a  $T$ .
- 2.º Paso del cable  $\pi l$ , siendo  $\pi$  el peso por unidad de longitud y  $l$  la longitud del cable desenrollado.
- 3.º Tensión ejercida por el punto de sujeción al suelo,  $-T_0$ , sobre el cable.

En virtud de las leyes de equilibrio de los hilos, el polígono formado por las tres fuerzas  $-T, \pi l, -T_0$  debe ser cerrado, y por tanto, la tensión ejercida por el punto de sujeción al suelo está dada por el sector  $-T_0$ , resultante de los otros dos,  $-T$  y  $\pi l$  (fig. 6, núm. 1).

Pero la acción del cable sobre el punto de sujeción al suelo es igual y directamente opuesta a la acción de este punto sobre el cable; el vector  $AB = T$ , representa en magnitud el esfuerzo medido sobre el dinamómetro, y el ángulo de  $AB$

con la horizontal, el ángulo que forma el cable con la horizontal de su punto de sujeción (ángulo  $\alpha$ , fig. 5).

Puesto que se desprecia el efecto del viento sobre el cable de retenida, la curva del cable es una catenaria, y en virtud de las propiedades de esta curva se tiene  $T - T_0 = \pi h$ , siendo  $h$  la distancia vertical entre las dos extremidades del cable; esta relación nos permite saber la altura de la cometa sobre el suelo.

Observemos que si el peso del cable por metro no fuera conveniente, por ejemplo, demasiado, la construcción de la figura nos lo mostraría, pues el ángulo  $\alpha$  sería negativo. Se puede llegar hasta que el ángulo  $\alpha$  sea cero, lo que fija el peso límite que se debe dar al cable.

Debemos observar que los datos que hemos tomado como elementos de partida del problema (velocidad del viento, inclinación de la cometa, longitud del cable), aunque teóricamente son independientes, no deben escogerse al azar. Por ejemplo, si se trata de determinar el equilibrio de una cometa para viento débil, se debe escoger un ángulo de inclinación  $i$  bastante grande, y se puede tomar un cable de peso tal que el ángulo, en su punto de sujeción al suelo, sea nulo, puesto que a medida que el viento aumenta, la cometa levantará su cable y disminuirá  $i$ .

3.º Utilización de la cometa para medir la velocidad del viento.

1.º Por el ángulo  $\alpha$  que forma el cable en su origen con la horizontal.—La cometa está en equilibrio, bajo la acción de las tres fuerzas  $R, p, T$ , para un viento de velocidad  $v$ ; veamos lo que ocurre cuando la velocidad del viento aumenta y pasa de  $v$  a  $V$ . El primer efecto de este aumento de velocidad es aumentar la magnitud de  $R$  en la proporción de  $v^2$  a  $V^2$ . Pero entonces la resultante de  $R$  y del peso  $p$  no pasan por el nudo. El sistema no está en equilibrio. La cometa gira alrededor del nudo; el cable se tensa y se levanta por encima del horizonte; el movimiento no para hasta que, en la nueva posición, la resultante del efecto del viento y del peso pasen de nuevo por el nudo.

La nueva inclinación  $i$  de la cometa se puede determinar por un método gráfico, y de la misma manera la tensión en el anillo, la tensión en el punto de sujeción al suelo y el ángulo  $\alpha$ .

Prácticamente, cuando el viento aumenta,  $i$  disminuye y  $\alpha$  aumenta, y si el viento aumenta más y más,  $\alpha$  tiende hacia un límite, que para aparatos de pequeña carga por superficie y retenidos por cables muy ligeros puede ser muy cerca del ángulo recto (cable vertical).

Cómo se resuelve esto prácticamente es de la siguiente forma: se escogen dos tipos de cometa, una para vientos fuertes y otra para vientos flojos. Se somete la cometa que se quiera utilizar a una corriente de aire cuya velocidad varía entre los límites en que se quiere utilizar; para cada veloci-

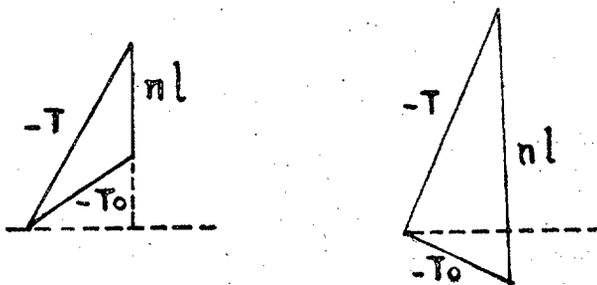


Figura 6.

dad se obtiene un valor de  $\alpha$ ; según el cable desarrollado, todos estos valores se resumen en un cuadro de doble entrada, como el siguiente: en la fila de cabeza figuran los metros de cable desarrollado, y en la primera columna figuran los valores de  $\alpha$ ; estos valores se conocen, el primero, por el obrero que suelta el cable, y el segundo se mide como se indica en la figura 7. En la cuadrícula en que se encuentren la columna del valor de  $l$  y la fila del valor de  $\alpha$  figura la velocidad del viento en el lugar donde se encuentra la cometa.

Cometa para vientos flojos —I—.

$\alpha \backslash l$	1	2	3	4	5	6	.....
0°							
2°							
4°							
6°							
8°							
10°							

2.º Por la tensión del cable en el punto de sujeción al suelo.—Se puede medir la velocidad del viento mediante la tensión del cable en el punto de sujeción al suelo, para lo cual se coloca un dinamómetro entre el cable y el punto de sujeción, y así obtenemos el valor de  $T_0$ . Se hace lo mismo que en el primer caso, es decir, se escogen dos tipos de cometa; la que se vaya a utilizar se la somete a una corriente de aire cuya velocidad varía entre los límites en que se quiere utilizar;

para cada velocidad se obtiene un valor de  $T_0$ , según el cable desarrollado; todos estos valores se resumen en un cuadro de doble entrada, como el que vimos en el primer caso. En la fila de cabeza figuran los metros de cable desarrollado y en la primera columna figuran los valores de  $T_0$ ; estos valores se conocen, el primero, por el obrero que suelta el cable, y el segundo, por el obrero que suelta el cable, y el segundo, por el dinamómetro. En la cuadrícula en que se encuentren la columna del valor de  $l$  y la fila del valor de  $T_0$  figura la velocidad del viento en el lugar donde se encuentra la cometa.

Se han hecho bastantes experiencias para encontrar la relación que enlaza el valor de la velocidad del viento, y  $T_0$  para

cometas de un tipo determinado, habiendo llegado a la conclusión de que la tensión es sensiblemente proporcional a la velocidad del viento.

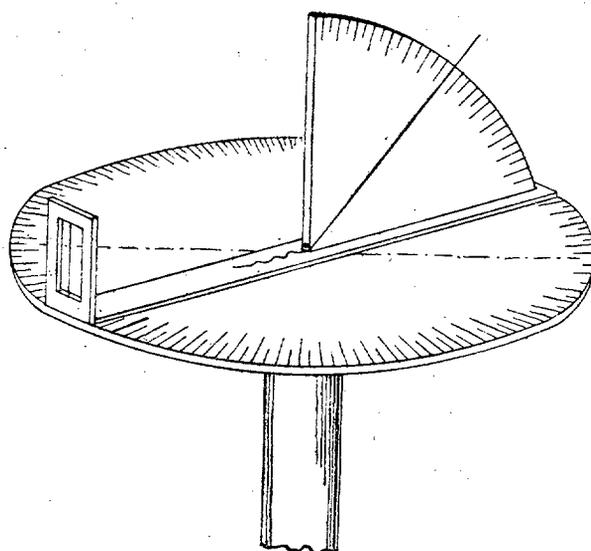


Figura 8.

4.º Utilización de la cometa para la medida conjunta de la velocidad y dirección del viento.

La dirección del viento a la altura de la cometa es la dirección de la proyección del cable sobre el suelo, a condición de que la cometa sea perfectamente simétrica y que el viento (en el caso de que haya una acción apreciable sobre el cable) tenga dirección constante entre el suelo y la cometa.

Si la cometa no es simétrica respecto al plano que pasa por el cable de retenida, la dirección del viento no está contenida en este plano, por lo cual, antes de utilizar una cometa se debe comprobar si es simétrica, y posteriormente comprobar de cuando en cuando que esta propiedad no se ha alterado; en el caso de que esto haya ocurrido, se debe restablecer la simetría tensando los cables convenientemente.

Un dispositivo sencillo para medir dirección y velocidad del viento al mismo tiempo es el representado en la figura 8, que consiste en un platillo circular horizontal soportado por un eje vertical. Este círculo está graduado para medir los azimuts, y, por tanto, tiene el cero de la graduación hacia el Norte geográfico, y va la graduación de 0° a 360°, pasando de Norte a Este, y así sucesivamente. Alrededor del centro de este círculo gira una alidada, que lleva en un lado un dinamómetro, fijado horizontalmente sobre ella, y del otro lado un sector vertical graduado; una polea pequeña guía el cable hacia el eje del dinamómetro; se puede suprimir este dinamómetro y medir la velocidad del viento sólo por la inclinación del cable.

El método de utilización es bien sencillo: se lanza la cometa; nos aseguramos de que se encuentra a la altura deseada; se sujeta al dinamómetro o al eje vertical de sujeción, según los casos; en el primero debemos asegurarnos que el cable pasa por la garganta de la polea; para medir la dirección basta girar la alidada hasta que el cable esté paralelo al plano del sector graduado vertical; para medir la velocidad se lee la tensión que marca el dinamómetro o el ángulo de inclinación indicado por el sector, y mediante las tablas que expuse anteriormente se determina la velocidad.

5.º Medida de la inclinación del viento sobre la horizontal.

Hasta aquí hemos supuesto que el viento era horizontal, y precisamente lo que nos interesa es estudiar los vientos que no son horizontales, sino que tienen ascendencia.

a) *Método directo*.—Las determinaciones de la inclinación  $i$  de la cometa sobre el plano horizontal, de la tensión  $T$ , y del ángulo  $\alpha$  del cable con la horizontal en el punto de amarre al suelo, podemos efectuarlas para el caso de vientos ascendentes o descendentes.

Para un viento que forme con la horizontal un ángulo  $\Psi$ , y cuya velocidad  $V$  tome valores crecientes, se determinan los grupos de valores  $(i, T, \alpha)$  que corresponden a los distintos valores de  $V$ .

Se forman unos cuadros, cada uno de los cuales corresponde a un determinado valor de  $\Psi$ .

Inversamente, con la cometa estudiada a cada valor de  $(i, T, \alpha)$ , corresponde un valor de  $\Psi$  y  $V$ , es decir, de la inclinación y velocidad del viento. La determinación de  $i$  no presenta grandes dificultades, y la de  $T$  y  $\alpha$  se hace como se dijo anteriormente.

Este método podría ser útil cuando el viento está muy inclinado, pero ocurre lo contrario cuando la inclinación es pequeña.

Cuando es suficiente una primera aproximación se puede utilizar el método de la paleta móvil o de la banderola.

b) *Método de la paleta*.—En un punto  $A$ , situado a distancia suficiente por debajo de la cometa, de manera que no esté influido por la corriente del aire alrededor de la cometa, lleva el cable un anillo en el cual gira alrededor de un eje horizontal una paleta, cuidadosamente equilibrada. Esta paleta se inclina según la dirección del viento. En  $B$ , sobre el suelo, a cierta distancia del plano vertical del cable, se coloca una regla móvil alrededor de un eje horizontal que pasa por su centro, y mediante un simicirculo graduado se mide el ángulo que forma con la horizontal (figura 9).

El plano vertical en el que se desplaza la regla debe ser perpendicular al eje del giro de la paleta móvil; de esta manera la paleta móvil y la regla giran alrededor de ejes paralelos. Este paralelismo se mantiene mediante dos brújulas, una colocada en  $O$  y otra en  $B$ .

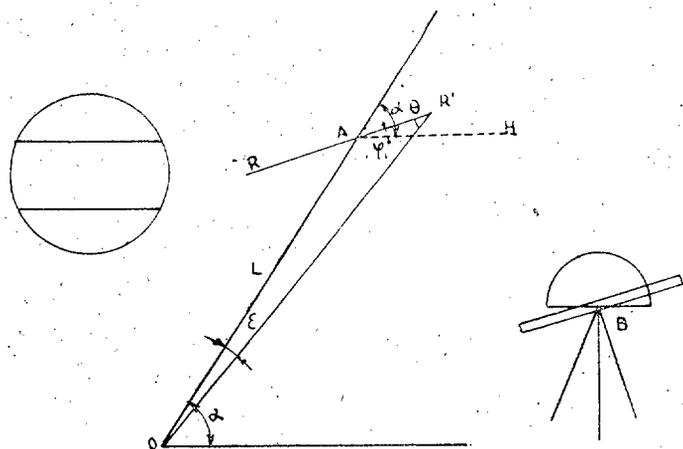


Figura 9.

El paralelismo de paleta y regla se mantiene colocándose otro muchacho alejado de los dos primeros y aproximadamente perpendicular al plano de giro de la paleta, y bien a ojo o bien mediante un anteojo que en lugar de objetivo lleva dos hilos paralelos, uno lo conserva paralelo a la paleta y otro a la regla.

Mediante observaciones angulares también se puede obtener el ángulo de inclinación de la paleta.

c) *Método de la banderola*.—Es análogo al anterior, pero en lugar de la paleta se coloca una banderola de tela.

Por efecto de su peso, ésta no se coloca exactamente en la dirección  $AR'$  del viento, sino que toma la dirección  $AR''$  menos inclinada (figura 10).

Se tiene  $\varphi = \varphi_1 + \rho$ .

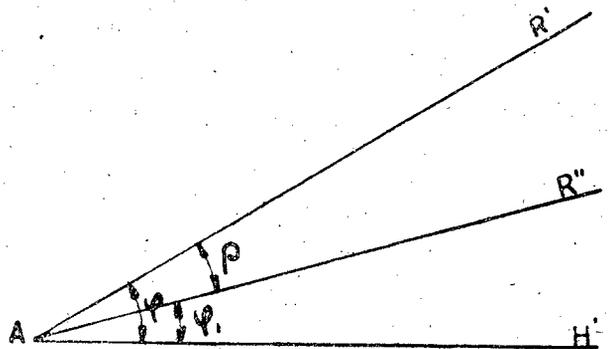


Figura 10.

Siendo  $\varphi$  el ángulo del viento con la horizontal;  $\varphi_1$  el ángulo de la banderola con la horizontal;  $\rho$  el ángulo de corrección.

Los valores de  $\rho$  dependen de la velocidad del viento y se obtienen mediante experiencias en el túnel aerodinámico.

La medida de  $\varphi_1$  se efectúa de manera análoga a la de la paleta móvil. Pero el método de la banderola puede ser preferible si la cometa no es simétrica, pues en este caso el cable se desvía a derecha o izquierda del plano vertical que pasa por el punto de amarre del cable y la dirección del viento, y, por tanto, el eje de la paleta no es horizontal y ella no se dirige según el viento. Sin embargo la banderola siempre se coloca en el plano vertical que contiene el viento inclinado.

Por otra parte, la banderola será necesario renovarla, y la paleta es muy difícil que se estropee.

### 6.º Conclusión.

La cometa, como hemos visto, tiene ventajas prácticas para el estudio de las ascendencias. Pues es de poco coste, de reparaciones sencillísimas, repuestos sencillos de fabricar y de montar, además de no necesitar los que la utilizan conocimientos especiales. Lo que hace que sea utilizada por los mismos alumnos de V. S. M. y por los alumnos de las Escuelas de Aeromodelismo después de un ligero entrenamiento; aunque no debemos dar crédito a las mediciones hasta que los que las ejecutan tengan alguna experiencia. El personal, suponiendo el caso, además de no necesitar conocimientos especiales, es muy poco en número, ya que se pueden formar equipos de tres alumnos; el primero de ellos, colocado en el punto de amarre del cable, punto  $O$  de la figura 7, y cuya misión es cuidar del cable, hacer las lecturas del dinamómetro y del sector graduado (ángulo  $\alpha$ ), y comunicar al segundo de los alumnos la dirección del plano que contiene al cable mediante una brújula; el segundo estará colocado junto a la regla (punto  $B$  de la figura 7), y cuya misión es colocar el semicírculo graduado, con la ayuda de una brújula, en la misma dirección que le haya comunicado el primero que tiene el plano que contiene al cable, y hacer la lectura de inclinación de la regla, y llevará una mesita portátil como la que utilizan nuestros cronometradores de los aeródromos, con un reloj y la hoja para hacer las anotaciones; el tercero estará colocado a cierta distancia de los anterior-

res y en dirección perpendicular al plano que contiene el cable, y tendrá el anteojo con los hilos paralelos. A la voz de "Atención", dada por el segundo, todos pondrán un gran celo en que ninguna circunstancia particular altere la veracidad de la medida, y muy especialmente el tercero, para que el paralelismo entre la paleta o banderola y regla sea el mejor posible. A la voz de "lectura" dada por el segundo, el primero leerá los aparatos a su cargo y dirá las lecturas en alta voz para que el segundo tome nota; asimismo el segundo tomará nota del ángulo que marque la regla en el semicírculo a su cargo.

Como se ve, la cometa es el método que mejor cubre nuestras necesidades hoy día, teniendo en cuenta nuestras condiciones económicas y técnicas.

Ahora bien: es de advertir que la cometa, utilizada como instrumento de medida del viento, no da buenos resultados nada más que después de un estudio profundo del modelo considerado y de una gran experiencia con el mismo aparato.

#### *Empleo del avión.*

*Avión con motor.*—El avión con motor es un observatorio móvil, y se utiliza para determinar los datos meteorológicos esenciales, es decir, temperatura del aire, humedad, dirección del viento, altura y forma de las nubes, etc.

Teniendo la posibilidad de desplazarse en las tres dimensiones, puede hacerse una exploración rápida de la zona a estudiar, lo cual no podría hacerse tan rápida y fácilmente por ningún otro método. Si el avión es suficientemente ligero para ser sensible a los menores remolinos del aire, se pueden delimitar las zonas donde se producen estas perturbaciones, indicar su naturaleza, fijar la altura a que se producen, así como el techo de las zonas de gran turbulencia. Estas son indicaciones que ayudan a trazar sobre un plano las características atmosféricas locales.

Para algunas de estas determinaciones es necesario que los aparatos registradores sean muy sensibles, al mismo tiempo que tengan poca inercia, para ponerse rápidamente en equilibrio al variar las condiciones, y que el cilindro del aparato registrador gire rápidamente. Por último, es necesario determinar de una manera exacta la posición del avión en el espacio.

Por tanto, debemos hacer medidas exactas de los elementos atmosféricos, determinación exacta del tiempo; así como del punto al cual se refieren las medidas.

Si se traza la trayectoria del avión en el espacio y se colocan sobre esta trayectoria los puntos sucesivos con las horas a las que se refieren las medidas meteorológicas, el problema estará resuelto.

Para determinar la trayectoria se pueden utilizar diversos métodos. Mediante dos teodolitos, con los cuales se mide el ángulo azimutal y la altura sobre el horizonte, se determina la posición del avión en un instante determinado. Se puede utilizar un solo teodolito provisto de aparato para medir las distancias del teodolito al avión. Se puede utilizar también el método cinematográfico, el cual da un gran número de puntos y permite reproducir la trayectoria exacta.

Para graduar en tiempo la trayectoria se utiliza un aparato de radio que cuente señales que se registran en tierra y al mismo tiempo produce una alteración en los aparatos registradores que nos dan una referencia para hacer las lecturas cuando el avión regrese a tierra.

Se puede a continuación trazar un cuadro donde se coloquen en cada hora dada por el aparato registrador las coor-

denadas del avión y los valores de los elementos meteorológicos. Trasladando estos valores a un plano y uniendo los puntos de iguales valores para un determinado elemento, podemos obtener la influencia del relieve sobre este elemento meteorológico.

*Avión sin motor. Vuelo a vela.*—El avión sin motor sólo puede efectuar vuelos de pequeña duración cuando no hay ascendencia; las pruebas exigen el recorrer una cierta distancia, o más bien la permanencia en el aire durante un cierto tiempo, lo cual fuerza a los pilotos a estudiar muy bien la influencia del relieve, proporcionándonos zonas de viento ascendente o zonas de viento descendente para situar el velero en las primeras y evitar a toda costa la entrada en las segundas.

En un sistema montañoso las zonas de viento ascendente y descendente se presentan en distintos lugares, según la dirección del viento horizontal en aquel momento. Vuelos efectuados para vientos de direcciones diferentes han permitido precisar la influencia del obstáculo y trazar sobre diversos planos las zonas de viento ascendente o descendente, según la dirección del viento horizontal.

La práctica del vuelo a vela ha demostrado que el viento ascendente dinámico (es decir, prescindiendo de las corrientes ascendentes térmicas) existe en ausencia de todo relieve; este viento ascendente se presenta asociado a las tormentas en su parte anterior, y asimismo se presenta viento descendente en su parte posterior.

También se presentan zonas de viento ascendente como resultado de un cambio en la naturaleza superficial del suelo; así ocurre al pasar del mar a una costa llana con suelo rugoso; en este caso la causa productora es el rozamiento. Así, cuando el viento sopla del mar, al llegar a tierra ésta frena las partes más bajas, la circulación de aire se hace menos rápida, y por consiguiente se acumulan las masas atmosféricas inferiores y las líneas de corriente se levantan, produciéndose ascendencias.

Independientes de las tormentas deben existir en la atmósfera torbellinos de eje horizontal de origen térmico que se desplazan sobre grandes extensiones, y cuya utilización por el vuelo a vela puede ser útil. El vuelo en la zona ascendente de estos torbellinos tendría la ventaja de no presentar ningún peligro, en contra de lo que ocurre con las tormentas.

*Conclusión.*—La utilización del avión con motor requiere un cierto desarrollo de la técnica que, si bien no lo tenemos, podríamos llegar a obtenerlo fácilmente; asimismo requiere más condiciones económicas, que en la situación actual no aconsejan su utilización.

El avión sin motor constituye un medio sencillo para el estudio de las ascendencias dinámicas a lo largo de una pendiente, para hallar la altura de la influencia en las colinas, montañas, etc.; ascendencias debidas al rozamiento del aire sobre el suelo, ascendencia delante de las tormentas y en las zonas ascendentes de los torbellinos de eje horizontal o simplemente en las corrientes ascendentes térmicas que dan nacimiento a los cúmulos. Las condiciones, tanto técnicas como económicas, para la utilización de este método, las poseemos hoy día.

#### METODO DEL GLOBO PILÓTO EN EQUILIBRIO INDIFERENTE

Para estudiar un filete de aire, suponiendo que el movimiento es permanente, se puede utilizar un globo de caucho inflado con hidrógeno y lastrado de tal manera que permanezca en equilibrio indiferente a todas las alturas.

Para utilizar este método es necesario:

- 1.º Trasladar el globo a la altura de origen sobre el filete fluido que se quiere estudiar.
- 2.º Determinar en todo instante su posición sobre el filete.

*Equilibrio del globo piloto.*—Teóricamente un globo piloto que no se deja atravesar por el hidrógeno, y en el que se puede considerar que el gas interior tiene la misma presión y temperatura que el aire exterior, permanece en equilibrio indiferente a todas las alturas si está lastrado de tal forma que esté en equilibrio indiferente en la superficie del suelo.

Sin embargo, los globos-pilotos pierden hidrógeno, bien sea por el apéndice de entrada, que esté insuficientemente obturado, o bien por difusión a través del caucho. Lo que obliga a estudiar cada lote de globos para determinar cómo varía esta pérdida, y, por tanto, el lastre que es necesario ponerle. Y determinar asimismo la altura a que debemos soltar el globo para estudiar una zona determinada.

Análogamente, un globo piloto supuesto en equilibrio a una cierta altura, en las condiciones dadas de presión y temperatura, puede recibir en un determinado momento una insolación más fuerte. El gas interior se calienta, el equilibrio se rompe y el globo sube. Las velocidades ascensionales que resultan son importantes.

Suponiendo que las condiciones de temperatura y presión en el interior del globo sean las mismas que en el aire, y que no haya fuga de hidrógeno, en cuyo caso el equilibrio indiferente se mantiene para todos los niveles, si se tiene un error al tarar el globo, error que es débil en general, nos produce un movimiento vertical ascendente o descendente.

En resumen: de las tres causas de error que hemos estudiado (error debido a una fuga de hidrógeno, error debido a un calentamiento del gas y error debido a un tarado inexacto) el efecto más perjudicial es el que resulta de la elevación de la temperatura en el interior del globo, y se procurará atenuarlo dejando el globo al aire libre durante algún tiempo antes de lanzarlo. Para atenuar el efecto de la fuga de hidrógeno se utilizan globos de goma de la mejor calidad, y para que la temperatura del gas siga las variaciones de la temperatura del aire sin retardo, se utiliza goma suficientemente delgada.

*Traslado del globo-piloto en equilibrio indiferente a su punto de partida.*—Para transportar el globo-piloto su equilibrio indiferente, desde el suelo a la altura a que se desea soltar, se pueden utilizar diversos procedimientos.

a) Se acompaña al globo-piloto en equilibrio indiferente de otro globo-piloto ordinario, y al llegar a la altura correspondiente, y por un dispositivo determinado, se rompe el enlace entre ambos.

b) Se puede emplear también un solo globo provisto de una válvula automática que se abre cuando llega a la altura fijada de antemano y se cierra cuando el globo tiene el diámetro que corresponde al equilibrio indiferente.

c) Se puede trasladar el globo-piloto a lo largo del cable de amarre de un globo libre o de una cometa, para lo cual se coloca sobre el cable de amarre a la altura deseada un dispositivo para cortar la cuerda que sujeta el globo-piloto a un anillo que se desliza a lo largo del cable de amarre; este anillo se traslada mediante una segunda cuerda que va a lo largo del cable de amarre.

*Determinación de posición del globo.*—Para hacer esta determinación se puede utilizar cualquier método de triangulación.

El procedimiento más preciso es utilizar una base fija en

tierra, de dirección perpendicular a la trayectoria del globo; en sus extremos se colocan dos teodolitos. Con cada uno de ellos, y en el mismo instante, se determina el azimut y altura angular del globo.

Haciendo las determinaciones en intervalos de tiempo pequeños, se puede reproducir la trayectoria con suficiente aproximación.

Se puede utilizar un solo teodolito provisto de dispositivo para determinar la distancia del teodolito al globo. Por tanto, el globo que determinado por las tres coordenadas siguientes: azimut, altura angular del globo y distancia.

Este último procedimiento no es tan preciso como el primero, pero puede ser más útil en terrenos montañosos y para un estudio más rápido.

*Conclusión.*—Este método es bueno, pero es costoso, pues requiere un material (caucho y teodolitos) que, si bien lo tenemos, hoy día es escaso y costoso; asimismo requiere personal especializado, del cual disponemos ayudantes de Meteorología; pero el cual es costoso.

## METODO DEL GLOBO LIBRE EQUILIBRADO

No es propio de un artículo como éste hacer una exposición, aunque fuese incompleta, de la técnica del globo libre en el estudio de la influencia del relieve terrestre sobre la formación de corrientes de aire ascendentes o descendentes.

Únicamente diré que se puede mantener el globo en equilibrio permanente a una altura determinada de antemano; su empleo constituye uno de los métodos más ventajosos para el estudio que nos ocupa, puesto que dispondríamos en la calma del aire de un Observatorio que puede contener a la vez los instrumentos necesarios y personal suficiente.

Para la utilización de este método es condición, sin embargo, poseer los globos, y como actualmente no los poseemos y su fabricación, además de costosa, sería difícil por la escasez de las materias primas necesarias, no parece probable su utilización, y, por tanto, no merece la pena hacer ni siquiera un estudio, aunque sea ligero.

## METODO METEOROLOGICO

Existiendo libros escritos en castellano sobre este método, sería absurdo escribir aquí sobre esto, ya que no aclararíamos ningún concepto y sí podríamos obscurecer algunos de los que están perfectamente claros en dichos libros.

De todo este trabajo podemos sacar las siguientes conclusiones:

Necesitando escoger campos aptos para V. S. M., podemos utilizar en una primera aproximación un método rápido, sencillo y poco costoso, que bien pudiera ser el de la cometa, a base de nuestros alumnos de V. S. M. y de las Escuelas de Aeromodelismo.

En una segunda aproximación se puede utilizar el método del avión sin motor, para que a la vez que se entrenan los pilotos se estudie el campo que se utiliza.

Para un estudio más preciso, y sólo para aquellos campos que lo requieran, por querer establecer una escuela o porque se vayan a hacer obras por algún valor, se utilizará el método del globo-piloto a base de nuestros ayudantes de Meteorología. Para lo cual sólo es necesario formar un equipo con un camión transportando todo lo necesario. El equipo puede estar formado por un ayudante y dos informadores.