

Navegación isobárica

Por ANTONIO CARRASCO ANDREU, Meteorólogo.

Durante los últimos años los navegantes de las líneas aéreas norteamericanas vienen aplicando con éxito un nuevo sistema de navegación, cuyo interés radica principalmente en la economía de tiempo y combustible que con él se consigue, pues con su utilización el gasto antieconómico de energía que representa la lucha contra el viento se reduce considerablemente.

Los anglosajones, principales investigadores de este método, le dan el nombre de "Pressure Pattern Flying". He utilizado la traducción más adecuada, a mi entender, como título de este trabajo. Como más adelante veremos, la elección de términos es adecuada, pues en principio el fundamento del sistema impone el que la aeronave se mantenga durante el vuelo en una superficie isobárica, si bien en la práctica esto no es absolutamente necesario.

La idea es muy reciente, pues sólo ha sido posible merced a los últimos adelantos de la Meteorología; su aplicación es aún más reciente, ya que requiere la utilización de un radioaltímetro de gran sensibilidad, cuya construcción sólo se ha logrado en los últimos años.

En sus comienzos, la navegación isobárica se limitaba a un sistema para medidas de derivas

en vuelo, con la utilización de un radioaltímetro—Inglaterra, 1943—; posteriormente los americanos adoptaron y ampliaron la idea, transformándola en un acabado sistema de navegación, cuya técnica tiene tres aspectos, que son:

a) Cálculo de un "rumbo fijo", con el que se debe realizar todo el vuelo, basado en una predicción de vientos, y, por tanto, sujeto a un error probable, pero que, por otra parte, proporciona la ruta más económica.

b) Medida de derivas en vuelo—cuando la aeronave vuela sobre el mar—, con la utilización de un radioaltímetro.

c) Cálculo de un rumbo fijo y su posterior corrección en vuelo—sólo posible cuando se vuela sobre el mar—mediante la utilización de un radioaltímetro. Este aspecto, el más completo de la navegación isobárica, constituye una combinación de los dos anteriores.

Con este trabajo tengo el propósito de divulgar los fundamentos meteorológicos de este sistema de navegación. Para ello es necesario utilizar algunos conocimientos sobre el cálculo del viento en la atmósfera libre, que serán expuestos a continuación.

Cálculo del viento en la atmósfera libre. — Viento geostrófico.

Las causas que actuando sobre el viento atmosférico motivan y regulan su movimiento son las siguientes:

- a) El gradiente de presión.
- b) La acción desviadora de la rotación terrestre—aceleración de coriolis.
- c) El efecto de rozamiento.
- d) El gradiente isalobárico.
- e) La fuerza centrífuga originada en las trayectorias curvilíneas.

Normalmente en la atmósfera libre se puede prescindir de las tres últimas; en efecto, el término debido a la fuerza centrífuga es inversamente proporcional al radio de curvatura y al seno de la latitud; por tanto, para latitudes medias y altas, y cuando la curvatura de la trayec-

toria no es excesiva, lo que ocurre normalmente, puede despreciarse; el término debido al gradiente isalobárico es también inversamente proporcional al seno de la latitud, por lo que para valores normales de la tendencia se puede despreciar en las latitudes medias y altas; por otra parte, el efecto de rozamiento de la superficie terrestre disminuye con la altura hasta anularse prácticamente entre los 500 y 1.000 metros.

Por consiguiente, en atmósfera libre y en condiciones normales podemos tomar como viento real el que resulte del cálculo en el cual se considere solamente el gradiente isobárico y la aceleración de Coriolis, sin que los errores que puedan existir a consecuencia de los restantes efectos tengan consideración para las aplicaciones prácticas. El viento así calculado se llama viento "Geostrófico".

La ecuación vectorial que permite calcularlo es:

$$\vec{G} = \vec{i} \frac{\nabla p}{l \rho} \quad [1]$$

Esta ecuación indica que el viento geostrófico \vec{G} es un vector paralelo a las isobaras—multiplicación algebraica del vector unidad \vec{i} por Δp normal a las isobaras—, y su sentido es tal que deja las altas presiones a la derecha de la trayectoria, cuando se trata de puntos situados en el hemisferio Norte, ocurriendo al contrario en el hemisferio Sur.

La intensidad de \vec{G} viene dada por $\frac{\nabla p}{l \rho}$, donde ∇p es el gradiente de presión, ρ la densidad del aire y l , término debido a la aceleración de Coriolis, es $2 \omega \sin \varphi$, siendo ω la velocidad angular de la Tierra y φ , la latitud del lugar. Esta expresión de la intensidad de \vec{G} no es manejable en la práctica, por lo que interesa representarla en función de otros datos más asequibles.

Para ello, consideremos dos puntos A y B de la superficie terrestre, cuya distancia sea la unidad (fig. 1); por definición, la diferencia de presión entre ellos será ∇p . Tomemos una superficie formada por puntos de igual presión en la atmósfera libre, cuya sección vertical será la recta MN —en espacio reducido, la superficie de puntos de igual presión o superficie isobárica se puede considerar plana—. La presión ejercida en B será igual a la ejercida en A , más la debida a la columna NN' , que es $g \rho NN'$; o también $g \rho \operatorname{tg} \alpha$, ya que $\operatorname{tg} \alpha = NN'/1$. Como,

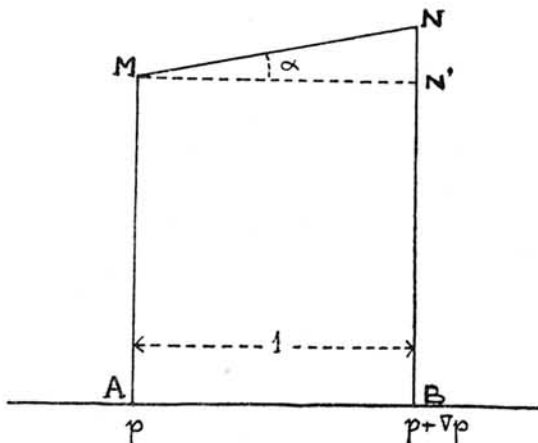


Figura 1

por otra parte, la diferencia de presión entre A y B es, según hemos indicado, ∇p , podemos establecer la siguiente expresión escalar:

$$\nabla p = \rho g \operatorname{tg} \alpha.$$

Expresando la ecuación [1] en magnitudes escalares y despejando ∇p , resulta:

$$\nabla p = G l \rho.$$

Igualando y despejando G resultará:

$$G = \operatorname{tg} \alpha \frac{g}{2 \omega \sin \varphi}; \quad [2]$$

expresión que nos da el valor del módulo de \vec{G} en función de la tangente del ángulo diedro α que forma la superficie isobárica con la horizontal y de la latitud del lugar, ya que los otros factores son constantes—la variación de g con la latitud y la altura es despreciable.

Las superficies isobáricas presentan elevaciones y depresiones, correspondientes a las zonas de alta y baja presión, respectivamente, en la superficie de la Tierra. Su representación en la práctica se hace, por tanto, mediante curvas de nivel, como se representan en topografía los desniveles del terreno (1).

Conociendo la diferencia de altura y la distancia horizontal entre dos isolíneas consecutivas, se puede calcular $\operatorname{tg} \alpha$, y tomando la latitud media de la zona comprendida entre las isolíneas, se puede aplicar la ecuación [2], con lo que tendremos la intensidad del viento a la altura media de la zona de superficie isobárica considerada.

En la práctica se utilizan tablas de doble entrada, que se calculan teniendo en cuenta la escala de los mapas empleados en la representación de las topografías y la diferencia de altura entre curvas de nivel consecutivas, que siempre es la misma. De esta forma, basta medir, en centímetros, la distancia entre las isolíneas que aparecen en el mapa más próximas a la zona que interesa, y tomar la latitud media de esta zona, para leer directamente la intensidad del viento a la altura media de la superficie isobárica utilizada. La dirección es paralela a las isolíneas y el sentido se deduce de la distribución isobárica como hemos indicado.

(1) Normalmente se utilizan en los Centros Meteorológicos las topografías de las isobaras de 700, 500 y 300 milibares, correspondientes a alturas medias de 3.000, 5.000 y 9.000 metros, con equidistancias entre curvas de nivel de 60 ó 120 pies.

Cálculo de un "rumbo fijo".

1) Fundamento del método.

El desplazamiento de una aeronave respecto a la Tierra resulta de la composición del movimiento de la masa de aire en que se vuela y del propio de la aeronave, respecto a dicha masa de aire. La primera parte se puede descomponer en dos vectores, uno paralelo y otro normal a la dirección del rumbo. Utilizando los conocimientos expuestos anteriormente, calcularemos el valor del desplazamiento transversal que nos servirá para conocer el ángulo de corrección que hay que aplicar al rumbo, a fin de que el aparato, manteniendo un "rumbo fijo", llegue a su punto de destino por efecto combinado del viento y de su velocidad propia.

Para hacer este cálculo, supondremos por el momento que la distribución isobárica es estable, por lo que no variará el ángulo de inclinación de la superficie isobárica.

Sean (fig. 2), PP' y RR' dos líneas de nivel de esta superficie isobárica, infinitamente próximas, cuya distancia horizontal es da y su diferencia de cota es dh .

Por encontrarse las isobarcas infinitamente próximas, podemos admitir que el viento geostrófico es constante en la zona que abarcan, o lo que es lo mismo, que son rectas y paralelas.

Supongamos que una aeronave vuela en esta superficie isobárica cruzando la zona comprendida entre las líneas de nivel consideradas, alejándose de las altas presiones y con un rumbo AM . Si no existiera viento, un punto determinado del aparato recorrería la distancia ds en el tiempo dt , cortando a la isobarca PP' en M . Pero, por efecto del viento, sufre una desviación a la derecha dD —consideramos que el vuelo se realiza en el hemisferio Norte—cortando a la isobarca en B .

La desviación en dirección normal al rumbo será igual a la proyección del viento sobre esta dirección, multiplicada por el tiempo volado, luego:

$$dD = G \cos \beta dt.$$

Pero, según [2], tenemos:

$$G = \operatorname{tg} \alpha \frac{g}{2\omega \operatorname{sen} \varphi} = \frac{dh}{da} \frac{g}{2\omega \operatorname{sen} \varphi};$$

y por otra parte:

$$\cos \beta = \frac{da}{ds},$$

lo que nos permite expresar, sustituyendo valores en la primera ecuación:

$$dD = \frac{dh}{ds} \frac{g}{2\omega \operatorname{sen} \varphi} dt.$$

Además, tenemos que $ds = v \cdot dt$, siendo v , la velocidad propia del aparato, o sea su velocidad respecto al aire, y sustituyendo este valor de ds en la anterior expresión, resulta:

$$dD = \frac{g}{2v\omega \operatorname{sen} \varphi} dh.$$

Esta expresión nos da la desviación infinitesimal. Para pasar a términos finitos, supondremos constante la gravedad, la velocidad y la latitud, para lo cual le asignaremos un valor medio Φ , de esta forma, integrando, resulta que la desviación sufrida al pasar de una isobarca de altura h_1 a otra de altura h_2 es:

$$\begin{aligned} D &= \int_1^2 dD = \frac{g}{2v\omega \operatorname{sen} \Phi} \int_1^2 dh = \\ &= \frac{g}{2\omega v \operatorname{sen} \Phi} (h_2 - h_1) = K \frac{\Delta h}{v \operatorname{sen} \Phi}, \end{aligned} \quad [3]$$

donde K es una constante.

En el caso de vuelos en el hemisferio Norte, la desviación, como ya sabemos, estará dirigida a la derecha al alejarse de las altas, y a la izquierda, en el caso contrario. Dicho de otra forma: en el hemisferio Norte, a un Δh positivo le corresponde una desviación a la izquierda, y a un Δh negativo, una desviación a la derecha. Al contrario ocurre en el hemisferio Sur.

Observemos que en el cálculo de D sólo interviene, aparte de la latitud y de la velocidad propia del aparato, el Δh entre el punto inicial y final del vuelo isobárico. No importa que la aeronave, siguiendo la isobara, gane y pierda altura real en varias ocasiones, ya que al integrar se anulan los Δh parciales de sentido contrario, quedando como integral la diferencia de los valores de h en los dos extremos del recorrido.

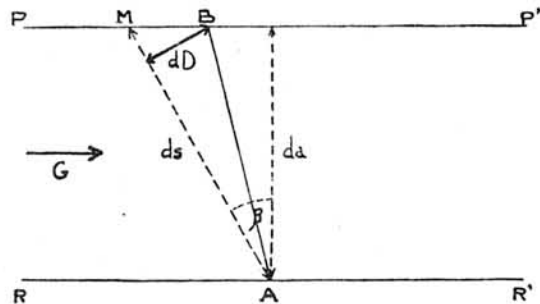


Figura 2

Observemos, también, que la desviación, que no hay que confundir con la deriva total, no depende del rumbo, ya que es sólo función de la velocidad propia y de la variación que haya experimentado la cota de la isobara a lo largo del vuelo. Es decir, al pasar de una isolínea a otra, con una velocidad propia determinada, la aeronave experimenta una desviación normal al rumbo que no depende en absoluto de él.

Conociendo la velocidad propia a que ha de volar un aparato y el Δh entre el punto inicial y final del vuelo isobárico (1), se conocerá D , y, por tanto, se puede calcular el ángulo de corrección que hay que introducir al rumbo para que, mantenido durante todo el vuelo, lleve a la aeronave al punto de destino. De aquí el nombre de "Rumbo fijo" o "Single-heading" de los anglosajones.

Siendo la velocidad angular de la Tierra $2\pi/24$ radianes por hora y la gravedad media de $9,81 \times 3.600^2$ m/h², el valor de la constante K , empleando como unidades el metro y la hora es:

$$K = \frac{9,81 \times 3.600^2}{2 \times \frac{2\pi}{24}} = 242.871.200;$$

y si expresamos Δh en metros, v en km/h., y deseamos obtener D en kilómetros el valor de K , es de 242,87. Si en lugar de estas unidades se emplean pies y nudos, respectivamente, y se desea obtener D en millas, el valor de la constante es de 21,47.

2) Cálculo de Δh .

La principal dificultad de la aplicación de la navegación isobárica radica en el cálculo del Δh . En primer lugar, hay que tener en cuenta que la distribución isobárica varía más o menos rápidamente, y que no se puede considerar estable durante las horas que dure el vuelo, porque ello introduciría graves errores, ya que a una variación de la inclinación de la superficie isobárica corresponde una variación del viento y, por tanto, de la desviación.

Supongamos, por ejemplo, que la aeronave vuela dirigiéndose hacia una depresión que se ahonda. A medida que transcurre el tiempo empleado en el vuelo la inclinación de la isobara aumenta y, por tanto, también la intensidad del

viento. Si tomamos para el cálculo el Δh existente al principio del vuelo, el resultado es erróneo por defecto. Si se toma el existente al final del vuelo, lo será por exceso. Ninguno de estos valores es igual al de la integral $\int_1^2 dh$, ya que dh es función del tiempo, circunstancia que no hemos tenido en cuenta hasta ahora.

La solución teórica del problema consistiría en integrar los infinitos dh correspondientes a cada segmento infinitesimal de ruta tomando en cada uno de ellos la inclinación correspondiente al momento en que llega a él la aeronave. En la práctica cabe la posibilidad de dividir en varias partes la zona de vuelo, predecir la topografía para cada momento en que la aeronave se haya de encontrar aproximadamente en el centro de cada una de ellas y utilizarlas para calcular cada Δh parcial. La suma será la que servirá para corregir el rumbo. Generalmente la variación del ángulo de inclinación es pequeña y no se impone la necesidad de hacer cálculos fraccionarios. Entonces basta con medir el Δh en una topografía prevista para el momento aproximado en que la aeronave haya de encontrarse en el centro de la ruta.

El cálculo de Δh es una labor que debe realizarse en la Oficina de Meteorología del Aeropuerto. Para ello, con la antelación suficiente a la hora de partida, el navegante proporciona a dicha oficina los siguientes datos:

- 1.º Punto de principio y de fin del vuelo isobárico.
- 2.º Hora de partida del punto inicial.
- 3.º Velocidad propia a que se propone realizar el vuelo.
- 4.º Altura media a la que se ha proyectado el vuelo.

Con estos datos y basándose en la topografía de la isobara de altura media más próxima a la que se proyecta el vuelo, el meteorólogo calcula el Δh , comunicando al navegante, asimismo, la altura que debe marcar el altímetro de presión para que vuele en la isobara utilizada para el cálculo.

3) Elección de la latitud media.

De la elección acertada de la latitud media depende sensiblemente la exactitud del vuelo.

En primer lugar, hay que tener en cuenta que no se debe tomar el seno de la latitud media, sino la media de los senos, magnitudes no coincidentes por no ser el seno una función lineal. Naturalmente, la diferencia es muy pequeña,

(1) Hemos de advertir que en la práctica estos puntos no coinciden con los de despegue y toma, ya que hasta que la aeronave no se encuentra al nivel de la superficie isobárica no se puede empezar el vuelo isobárico.

sobre todo tratándose de latitudes de valor medio, y se puede despreciar. Sin embargo, se debe eliminar esta ligera causa de error, lo que puede hacerse fácilmente por método gráfico.

Más importante que este error es el que se puede originar en un vuelo en el que la recta que une los dos extremos tenga poca inclinación respecto a los paralelos y se dé la circunstancia de que la aeronave recorra zonas situadas exclusivamente al norte o al sur de dicha recta, como ocurre, por ejemplo, en la figura 4. En este caso las latitudes a las que vuela la aeronave son siempre mayores o menores que la media de las de los extremos, pudiendo ser considerable el error introducido.

Este error se puede corregir dibujando aproximadamente sobre el mapa la ruta que seguiría la aeronave si se utilizara el rumbo fijo calculado en primera aproximación. Entonces se toma la media de varias latitudes, distribuidas uniformemente a lo largo de la ruta, y ésta nos servirá para calcular el rumbo que se debe utilizar. Todavía cabe la posibilidad de hacer una segunda aproximación, o más si fuera necesario. La práctica indicará cuándo es conveniente hacer estas correcciones, ya que, generalmente, no son de interés, pues hay que tener en cuenta que la variación del seno en función del ángulo es pequeña en las latitudes medias y altas, con lo que a pequeños errores de la latitud corresponden errores aún más pequeños del seno, y precisamente es en estas latitudes donde se dan los vientos fuertes que producirían errores grandes de rumbo con senos medios mal calculados. Por el contrario, en las latitudes más inferiores, donde la variación del seno con el ángulo es más considerable, los vientos son, en general, más débiles y el error no es grande.

4) *Cálculo del ángulo de corrección de deriva. Calculador logarítmico.*

Conociendo la desviación normal al rumbo se puede calcular gráficamente el ángulo de corrección de deriva. Para ello se toma un segmento de recta *AB* que represente, en una escala cualquiera, la distancia ortodrómica entre los extremos de la ruta. Seguidamente, haciendo centro en uno de sus extremos, se dibuja una circunferencia cuyo radio sea la desviación tomada en la misma escala, y, finalmente, se traza una tangente a la circunferencia que pase por el otro extremo del segmento (fig. 3). De esta forma el ángulo δ es el de corrección de deriva que se busca, ya que el segmento *D* es normal a la dirección del rumbo *AM*. También se pue-

de hacer el trazado sobre el mapa y medir directamente el rumbo fijo. Resulta más cómodo el cálculo numérico que se hace basándose en la

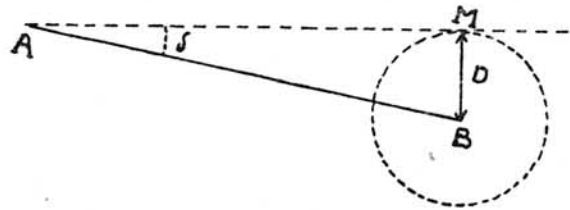


Figura 3

ecuación que se establece en el triángulo rectángulo *ABM*:

$$\text{sen } \delta = \frac{D}{AB}$$

y de la expresión [3] resultará:

$$\text{sen } \delta = K \frac{\Delta h}{AB v \text{ sen } \phi}$$

fórmula fácilmente calculable con suficiente exactitud empleando una regla de cálculo ordinaria, o bien un calculador triangular D. R. 2, ya que en él encontramos superponibles dos escalas logarítmicas de números y una de senos.

Los americanos han construido un calculador logarítmico exclusivamente para este objeto, de escalas circulares, en el que se lee directamente el ángulo de corrección después de dos coincidencias. En realidad, manejando con práctica el D. R. 2, la operación puede hacerse tan rápidamente como en el calculador americano, sobre todo si se marca sobre una de las escalas de números una señal correspondiente al logaritmo de la constante *K* para hacer, a partir de ella, la coincidencia.

5) *Economía del "rumbo fijo".*

La ventaja más notable del rumbo fijo estriba en su economía, pues con él se consigue reducir considerablemente la lucha contra el viento.

Cuando se emplea la navegación radiogoniométrica o astronómica, la aeronave vuela en línea recta con un rumbo que, en general, no coincide con la dirección de la ruta a consecuencia de la deriva producida por el viento (1). Ahora bien, la deriva puede variar a lo largo del recorrido, siendo a la derecha en determinadas zonas y a la izquierda en otras, por lo que el navegante, para mantenerse sobre la ruta, se

(1) Para simplificar no introduciremos consideraciones de tipo geográfico, aunque, naturalmente, hay que tenerlas en cuenta para vuelos largos con este sistema de navegación.

ve obligado a variar de rumbo. Por el contrario, cuando se emplea el "rumbo fijo", la aeronave se desplazará, ora a un lado, ora al otro, de la dirección del rumbo. No se invierte tiempo y combustible en contrarrestar constantemente la componente transversal del viento, pues su efecto en determinada parte del vuelo será anulado parcialmente en la siguiente.

Supongamos, por ejemplo, el caso sencillo representado en la figura 4, en el que el punto de partida *A* y el de llegada *B* se encuentran en masas distintas de aire separadas por el frente estacionario *FF'*. El viento sopla siempre normalmente a la línea *AB*, pero en dirección contraria en ambos lados del frente. Las isolíneas que pasan por *A* y por *B* tienen la misma cota, por tanto Δh es nulo y el rumbo a tomar es el directo. La trayectoria de la aeronave será la línea de puntos, pero la distancia volada es la recta *AB*. Empleando otro sistema de navegación, en el que la trayectoria del aparato sea la recta *AB*, se tendrá que tomar en la primera parte del vuelo el rumbo *AP* y en la segunda el *QR*, siendo la distancia volada *AP* + *QR* mayor que *AB*.

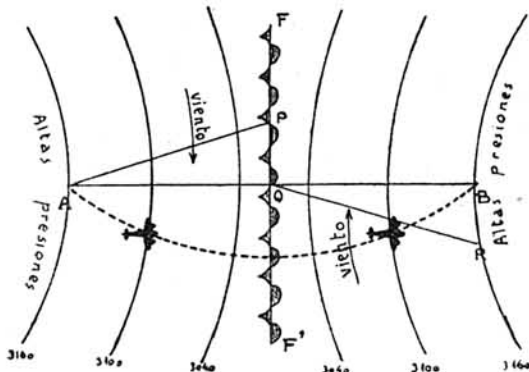


Figura 4

Con el rumbo único no sólo se reduce el efecto de la componente transversal, sino que incluso se lleva a la aeronave a través de zonas donde es favorable la componente longitudinal. Por ejemplo, en la figura 5 representamos el caso de un vuelo en el que se atraviesa una zona anticiclónica y una depresión. Volando en línea recta se encontraría siempre viento de lado, por lo que la distancia volada será mayor que *AB*. Volando a "rumbo fijo", la aeronave recibe viento en cola en todo el recorrido y la distancia aérea es menor que *AB*.

Naturalmente, la economía conseguida de-

pende mucho de la distribución isobárica, pudiendo ser, incluso, nula. Pero, en general, un vuelo en "rumbo fijo" es más económico que el mismo vuelo realizado en línea recta.

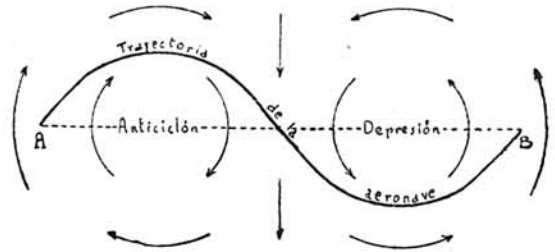


Figura 5

Los navegantes americanos que utilizan este sistema de navegación aseguran que se consiguen reducciones en la distancia aérea que oscilan entre el cinco y el diez por ciento, con el consiguiente ahorro de tiempo y combustible. De aquí la importancia que tiene este sistema, especialmente para la aviación de transporte.

6) Limitaciones de la navegación isobárica.

La navegación isobárica se basa en suponer que el viento real que hace derivar la aeronave es el geostrofico. Cuando esto no ocurra no se puede aplicar; por ello su empleo se limita a latitudes superiores a 15° y alturas de vuelo mayores de 1.000 metros.

7) Exactitud del "rumbo fijo".

La exactitud de un rumbo fijo depende, en primer lugar, de la del Δh predicho. Como todo trabajo de predicción, el Δh calculado es sólo probable, dependiendo el factor de probabilidad de la extensión y seguridad de la información empleada y de las propias condiciones de la situación atmosférica. La experiencia ha demostrado que se pueden predecir Δh con un error probable de 30 metros.

También influye en la exactitud del rumbo fijo la elección de la latitud media que se debe hacer, teniendo en cuenta las zonas por donde ha de cruzar la aeronave, según hemos indicado.

Finalmente, hay que tener en cuenta que la exactitud del vuelo depende de la de la brújula. Todos estos errores acumulados dan un error total probable de unos dos grados, o sean 30 kilómetros por cada 1.000 de recorrido.

En circunstancias anormales la magnitud del error puede ser aún mayor. Esto hace que el método del "rumbo fijo" no sea de confianza.

Afortunadamente, si la aeronave va provista de un radioaltímetro y vuela sobre el mar, cualquier error del rumbo calculado en tierra puede apreciarse durante el vuelo y corregirse oportunamente con una exactitud comparable a la de la navegación astronómica.

Por ello, esta forma de navegación, consistente en el cálculo de un rumbo único y su corrección en vuelo, es la más apropiada para los largos vuelos intercontinentales.

Medida de derivas en vuelo (1).

1) *Fundamento.*

El segundo aspecto de la técnica de la navegación isobárica lo constituye la medida de derivas durante el vuelo. Para su realización se ha de volar a lo largo de una superficie isobárica, es decir, con una marcación constante en el altímetro de presión. Además, la aeronave ha de ir provista de un radioaltímetro, mediante el cual se mide su altura real, con lo que se conoce la variación de cota de la isobárica, o sea el Δh . Naturalmente, para que esto sea posible es condición indispensable que el vuelo se realice sobre el mar, ya que en caso contrario los desniveles del terreno hacen imposible la medida del cambio de altura con la precisión requerida. Conociendo el Δh es inmediato al cálculo de la desviación lateral empleando la fórmula [3].

Supongamos, por ejemplo, que al principio del vuelo el altímetro de presión marca 3.000 metros y el radioaltímetro 3.060 metros, y que en un momento dado del vuelo, aunque el altímetro de presión sigue marcando 3.000 metros, el radioaltímetro marca 2.990 metros. Esto nos indica que el $\Delta h = 70$.

Si la velocidad propia ha sido de 350 kilómetros/hora y la latitud media de 40° , resulta que el aparato ha derivado transversalmente.

$$D = K \frac{70}{350 \operatorname{sen} 40^\circ}$$

Si el vuelo se realiza en el hemisferio N., esta deriva será a la derecha por ser Δh negativo.

2) *Técnica.*

Presenta alguna dificultad el mantener un aparato durante todo el vuelo en una superficie isobárica, pero esto no es un inconveniente gra-

(1) Hemos de advertir que cuando hablamos de derivas nos referimos no a la deriva total, sino a su componente normal al rumbo, o sea lo que llamamos desviación transversal D.

ve, pues en la práctica no es imprescindible cumplir exactamente esta condición. Naturalmente, se tendrá que considerar el cambio de la marcación del altímetro de presión para corregir la del radioaltímetro. Por ejemplo, si al principio del vuelo el altímetro de presión marca 2.500 metros, y en un momento dado 2.450, esto indicará que la superficie isobárica en la que nos encontrábamos al principio del vuelo se hallará en este momento 50 metros más arriba de la altura real del aparato, y, por tanto, estos 50 metros se tendrán que agregar a los que marca el radioaltímetro para conocer la altura de la isobárica considerada en el punto en el que se hace la medida. Claro es que esta corrección introducida puede no ser exacta, ya que los altímetros de presión están calibrados para una atmósfera tipo, y, por tanto, si la temperatura del aire no es la correspondiente, la variación de altura que marca el altímetro de presión no será la real. Esto puede subsanarse introduciendo una corrección tabulada que depende de la temperatura exterior. Generalmente esta corrección se puede despreciar; sólo habrá que tenerla en cuenta cuando el cambio que marque el altímetro de presión sea superior a 70 metros.

Cuando por cualquier circunstancia hay que variar el rumbo, lo más indicado es calcular la desviación producida en cada tramo del vuelo volado a rumbo constante. En un momento dado la deriva total será la suma vectorial de las calculadas, teniendo en cuenta que cada una de ellas tiene su dirección normal a la del rumbo del tramo correspondiente.

3) *Causas de error. Exactitud del método.*

Ante todo consideremos los errores instrumentales. La inercia del altímetro de presión es grande, y por ello tarda en acomodarse a las bajas presiones alcanzadas rápidamente en la primera parte del vuelo; a causa de esto se han de tomar con reserva las derivas medidas en la primera hora de vuelo. Por otra parte, los radioaltímetros han de ser de gran sensibilidad, y para mayor seguridad se deben hacer series de varias lecturas y tomar el valor medio. Un error sistemático de los altímetros no influye en la medida de las derivas, pues lo que nos interesa es la variación de altura real y no el valor verdadero de estas alturas.

Puede ocurrir que en circunstancias atmosféricas anormales el viento geostrófico difiera mucho del viento real, bien porque el gradiente isalobárico sea muy importante o porque el aparato cruce depresiones acusadas, con isobaras de

gran curvatura. Sin embargo, como demuestra la experiencia, son excepcionales los casos en que llega a tener consideración el error debido a estas causas.

Por lo general, las derivas obtenidas por este método suelen ser tan exactas como las obtenidas por la navegación astronómica.

El rumbo fijo corregido en vuelo.

La técnica completa de la navegación isobárica resulta de la combinación de las dos anteriores.

El vuelo se emprende con el rumbo fijo calculado en tierra, como hemos indicado. Posteriormente, en cualquier momento, el navegante puede calcular la deriva transversal que ha experimentado la aeronave. Esto le permite conocer la posición aproximada del aparato. Efectivamente (fig. 6), si AB es el rumbo y D la desviación transversal hasta un momento dado, este se deberá encontrar en dicho momento sobre la recta PP' . Si conociéramos el valor del desplazamiento longitudinal, como conocemos el del transversal, podríamos conocer la posición exacta del aparato, pues sumándola a la distancia aérea volada (producto de la velocidad propia por el tiempo) tendríamos la distancia efectiva. Esta distancia se llevaría sobre PP' a partir de P , y con ello tendríamos la posición buscada.

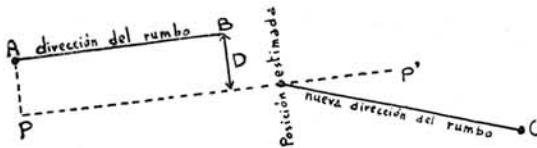


Figura 6

Pero aunque no se conozca el valor del desplazamiento longitudinal, el navegante puede apreciar su velocidad respecto a la tierra, y ésta, multiplicada por el tiempo, nos dará una distancia que, llevada a partir de P , nos proporcionará la posición estimada de la aeronave.

En esta posición estimada, el navegante conoce la altura real de la isobara en la que se vuela y puede pedir al aeropuerto de llegada la altura en aquel lugar de esta capa isobárica. Con estos datos puede calcular un nuevo rumbo fijo que utilizará para recorrer el resto del trayecto, si no es que la evolución isobárica es tan rápida que le obligue a hacer una nueva corrección.

También es posible corregir el rumbo de una aeronave no provista de radioaltímetro, y, por tanto, sin la limitación de que el vuelo se realice sobre el mar. Para ello, cuando se encuentre aproximadamente en el punto medio de su vuelo, se le transmitirá la predicción revisada del Δh . Si calculó su rumbo inicial con dos grados de exceso, tendría que volar el resto del recorrido con dos grados menos de los calculados al principio. Naturalmente que esta solución es muy elemental y se presta a graves errores, pues la pendiente de la isobara no es constante.

Resumen.

De todo lo expuesto llegamos a la conclusión de que la navegación isobárica presenta un grave defecto, junto a una ventaja considerable; el defecto es su falta de precisión, la ventaja su innegable economía.

Por tanto, lo más acertado, con los actuales conocimientos, parece ser combinar este sistema de navegación con otro de exactitud apropiada. El sistema isobárico indicará el rumbo más económico, y el navegante se sentirá más seguro si puede en todo momento utilizar otro sistema para conocer su posición exacta.

Por otra parte, la navegación isobárica tiene otras ventajas que no hemos indicado; una de ellas es el poderse utilizar cuando la nubosidad impide la astronómica y los atmosféricos entorpecen la radiogoniométrica. Otra ventaja no despreciable consiste en la amplia información que proporciona al meteorólogo sobre la distribución isobárica, ya que un aparato provisto de radioaltímetro puede dar indicaciones muy valiosas sobre altura de isobaras. Cuanto mayor sea el número de aparatos que realicen vuelo isobárico, mejor será la información disponible para que este vuelo sea más perfecto y también para todo trabajo de predicción.

Se podría organizar un amplio apoyo para el navegante desde el aeropuerto de partida y de llegada que le comunicará las variaciones de cota, así como las predicciones rectificadas de los Δh , anunciando también los casos excepcionales en los que el viento geostrofico no es el real. El factor viento es fundamental para la aviación y el mejor procedimiento, hasta el momento, para controlarlo y aprovecharlo debidamente es el sistema de navegación que hemos expuesto, el cual es de esperar que apoyándose en los adelantos de la técnica meteorológica se perfeccione considerablemente.