



## Crítica de los métodos de navegación

Por JOSE MARIA AYMAT MARECA  
General de Aviación.

En nuestro artículo "La seguridad y la crítica de los métodos de navegación" (\*) presentamos dos ejemplos de cómo dilucidar el orden de precisión obtenida al determinar la altura de navegación que nos asegure contra los golpes contra el suelo, y la deducción de deriva por observación de marcaciones cruzadas con nuestra ruta.

Métodos, ambos, relacionados con el origen de nuestro vuelo, pudieran ofrecer diferencias esenciales con aquellos otros, astronómicos, que dan sobre el globo terráqueo posiciones absolutas, completamente independientes de todo lo ocurrido anteriormente.

En acreditadísimo libro de navegación, después de exponer la recalada sobre punto singular, como pueda ser solitaria isla en medio del Océano, carente de radio y a la que se espera llegar siguiendo la recta de altura, única de día,

del Sol, se añade, bien que referida a persona distinta del autor del valioso libro, la receta ideada para conocer el costado o sentido en que debemos seguir una vez alcanzada la tal recta de altura.

Para llegar a ella se calculan en tierra, previamente al vuelo, las alturas y azimutes del Sol, para la isla, en horas próximas a las que esperemos llegar a ella, trazando gráficamente dos curvas que nos den para cualquier instante, en tiempo universal o de Greenwich, altura y azimut del Sol.

Para seguir el método, supongamos sea  $M$  el punto de destino, y las rectas, acotadas 7, 8, 9 horas, las rectas de altura, en cuyo extremo bajo indicamos las alturas del astro.

Hemos llegado (fig. 1) a  $A$ , próximo a  $M$ , a las 7 horas. Tomamos la altura del Sol, y como estamos muy lejos de la recta de las 7 horas, y a su NW., resultará fuertemente menor. Para colocarnos en la situación de Summer, inventor

(\*) Véase el número anterior de esta Revista.



de alejamiento, necesitaría hacerse en distancia *EM*, casi triple que la *BD*.

Teóricamente, la cuantía de las diferencias observadas y su forma de variación decreciente (concavidad *EFM*) o creciente (convexidad *BIC*), son las determinantes indicadoras del sentido en que nos movemos respecto a nuestro destino.

De ello se deduce la regla general: Cuando el astro gira en igual sentido que crecen los rumbos, si un giro, al alcanzar la recta de altura en sentido positivo, produce crecimiento de alturas sobre las calculadas, aumenta la distancia al punto de destino. Para recordar: la distancia tiene, como en la regla de multiplicar, el signo de los tres factores: giro del astro, rumbo del avión y variación de altura.

En Argentina, donde el Sol gira a izquierdas, un viraje a derechas, que produce alturas menores a las calculadas, indicará

$$- \times + \times - = +,$$

que aumentamos la distancia a nuestro destino.

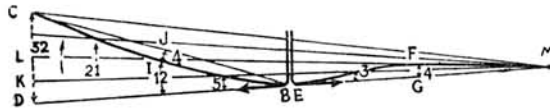


FIG 2

Volvamos a la figura 1. Estamos en *C*, informados de que nos alejábamos de *M*. Hemos de volver a alcanzar la recta de altura calculada. Como la observada era mayor, nos alejamos del Sol, rumbo *CE*, hasta que en *E*, igualadas las alturas que observemos a las calculadas, ponemos proa al NE, a rumbo cruzado con el azimut del Sol, que debe conducirnos a nuestro destino *M*. Durante el acercamiento, mientras seguimos la recta de altura de las 8 h. 30, el Sol sigue girando, desplazando la recta de *ME* a *MG*, lo que produce que la altura observada en *F* resulte algo mayor, *FG*, que la calculada; pero a medida que vamos acercándonos, al producirse concurrencia de todas las rectas en *M*, la distancia *FG*, después de pasar por un máximo, disminuye, para desaparecer al llegar a *M*.

Podríamos también, seguros de que vamos hacia *M*, oblicuar nuestro avión, alejándolo del Sol, para mantenernos en la igualdad de alturas observadas y calculadas, describiendo el arco *EGM*.

Señalando (fig. 3) sobre el gráfico de alturas y azimutes las alturas observadas, se ponen bien claro de manifiesto las diferencias que ocurren y la regla de conducta consiguiente a seguir.

Veamos qué resultados puede dar en la práctica este método, determinando el grado de exactitud que se puede derivar de la forzosa imprecisión de las alturas observadas.

En determinaciones efectuadas, en serie, por navegantes aéreos de óptima clase, no ha llegado a deducirse el error probable de una observación a menos de 5', lo que significa que, sin equivocación, esos buenos observadores pueden cometer errores, en observación única, de 20', y en bastantes casos, 1/20, de 15'.

No es de esperar, pues, que la masa general de observadores, aun tomando el promedio de cuatro o seis alturas, pueda dar seguridad mayor a los promedios que la de 10'. Experiencias personales determinarán para cada cual cifras personales que probablemente no diferirán mucho de ésta.

La comparación de la variación de alturas, calculadas, que suponemos exactas porque es posible hacerlo con toda la precisión que se desee (del orden del minuto), y observadas, da la clave de nuestro proceder. No es mucho pedir que para hacerlo deseemos que las diferencias de altura dignas de ser tomadas en consideración alcancen, al menos, el valor de esos 10'.

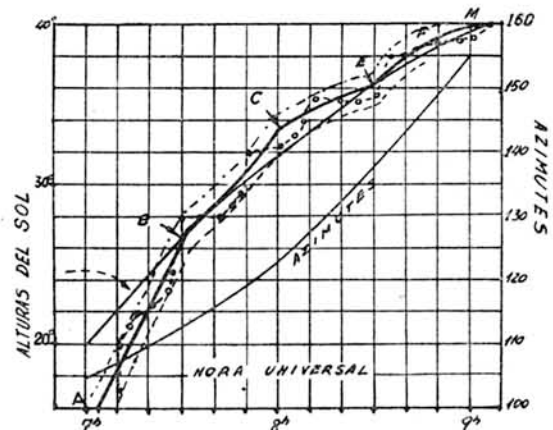


FIG. 3

— Alturas calculadas  
 - - - - - Alturas observadas teóricamente  
 AB acercamiento; BC en convexidad a la calculada = determinación del sentido; CE nueva forma de conducto; EFM concava a la calculada = arribada.  
 - - - - - Curva sinuosa de observaciones reales entre límites.  
 La diferencia esencial del punto de acercamiento EFM ó alejamiento BC a nuestro destino, estriba en que EFM es concavo a la curva calculada, con curvatura sobre ella y BC es convexa, tangente en su origen B y separándose cada vez más.

En la curva de alturas de nuestro gráfico, sobre la previamente calculada para el punto de destino, los puntos de nuestras observaciones no formarían la teórica línea de arcos, sino un desorden de puntos, comprendidos entre límites de una faja difícil de identificar, dado el desorden con que el azar distribuye en la realidad los diferentes errores.

La línea media adquiere un aire muy diferente del regular, sólo asequible multiplicando grandemente el número de observaciones.

Volviendo a la figura de nuestra explicación, es necesario que la distancia  $CD$  alcance, pues, 10 millas; pero esa distancia es consecuencia del ángulo de giro de la recta de altura, o variación del azimut con el tiempo, y de la distancia  $DM$  a que nos hallemos de nuestro destino  $M$ . La variación de azimut  $\Delta Z$  grados por hora es consecuencia de la combinación latitud de lugar, declinación del astro y del horario o del azimut de éste. Muy regular  $15^\circ$  por hora para cualquier declinación del Sol en las proximidades del Polo, ése será, en todo caso, el valor medio. Cuando el astro pasa muy alto, lento cerca del horizonte, se hace rapidísimo al cruzar el meridiano, y cuando en el Ecuador pasa por nuestro zenit, está inmóvil en los rumbos E. u W. Estas son las limitaciones que, dice el autor que expone el método, tiene en su práctica. Pero tomemos un valor de  $12^\circ$  por hora, muy frecuente de encontrar, y supongamos que la velocidad propia es de 300 km. por hora.

Cuando al alcanzar la recta de altura se la sigue en el sentido justo, el recorrido total  $R$  es mínimo; pero cuando resulta equivocado crece considerablemente, y viene a ser, en millas marítimas y nudos de distancia y velocidad  $V$ , para una variación de altura en minutos  $da'$ , desde un mínimo de

$$R = 15 \sqrt{\frac{da' V}{\Delta Z^0}};$$

Cuando se aborda la recta de altura en la proximidad de nuestro destino, va creciendo a medida que lo hacemos más lejos, 16 a distancia mitad de la total separación que será preciso efectuar; valor discreto que tomamos como aproximado. El tiempo necesario será, pues,

$$T^h = 16 \sqrt{\frac{da}{\Delta Z V}};$$

y en minutos,

$$\sqrt{\frac{da}{\Delta Z V}} 1.000.$$

Estas fórmulas nos indican que el recorrido, y el tiempo necesario para hacer la recalada, en caso de equivocación, es, para una misma velocidad de marcha, directamente proporcional a la raíz cuadrada del error con que obtengamos las alturas, e inversamente a la misma raíz de la variación horaria de azimut, y que al aumentar la velocidad, el tiempo se reduce en la raíz cuadrada de ese aumento y el recorrido aumenta en esa misma raíz cuadrada.

Para ver qué variación de azimut  $\Delta Z$ , en grados por hora, es necesaria para poder hacer nuestra recalada en cierto tiempo o recorrido, se tendrá:

$$\Delta Z = 156 \frac{da V}{R^2} = 156 \frac{da}{T^2 V}.$$

Aplicando esas fórmulas a caso concreto, el recorrido a velocidad de 300 km. = 162 nudos, con variación horaria de azimut de  $12^\circ$ , para lograr una variación de altura de  $10'$ , se requiere recorrer en 52 minutos 260 kilómetros.

Una distancia tan grande hace pensar en que volviéramos a la norma corriente de abordar el punto de destino (fig. 4) siguiendo una línea cualquiera de situación. A las 4 h., al pasar por  $A$ , hemos podido determinar nuestra situación, por cruce de tres observaciones estelares, con error no mayor de unas 10 millas = 18 km. Se cubre el cielo; a las 6 h. se hace de día, estimando nuestra nueva posición a 600 km. de  $A$ , en  $B$  sobre la ruta a  $M$ , punto al que esperamos llegar hacia las 7 h. Trazamos la recta de altura  $MC$  del Sol para  $M$  a 7 h. El posible error de nuestra posición, al alcanzarla después de tres horas de camino, será el de los 18 kilómetros de  $A$ , aumentado en 90, un décimo de nuestro recorrido. Trazamos, pues, alrededor de  $M$  un cuadrado de 220 km., y por  $B$  la tangente  $BD$ , más corta a nuestra indeterminación, seguros de que al encontrar alturas del Sol coincidentes con las calculadas para esa hora habremos de caer sobre nuestra derecha para aproximarnos a  $M$ . En nuestra figura, por llevar algún adelanto sobre nuestra estima y favorecer el sentido de nuestro quiebro en  $F$ , seguimos una ruta  $EFM$  muy corta.

Nuestro paso por  $M$  no tendría, en dirección,

más error que el de las 10 millas que hemos considerado inherente a toda recta de altura astronómica, aumentada en la de deriva de pequeño recorrido *EM*, que, cuando fuera considerable, cabe reducir, no separándose de la recta de altura, siguiendo tomándolas en nuestro acercamiento a *M*.

Como se ve, el método general es más sencillo y breve.

En el reconocimiento de sector de un radiofaro de ruta tetradireccional, se aconsejan varios métodos, entre los cuales, uno fundado en el refuerzo o debilitamiento de intensidad de recepción (que hay que distinguir de la súbita extinción de señal por paso por el cono de silencio en la vertical del faro), deduciendo de ello un acercamiento o alejamiento a la emisora. Como las causas de variación de intensidad de recepción son complejas y no única, la distancia, debe rechazarse por expuesta a equivocación y por larga observación, y acudirse directamente, como regla general, al corte de haz de equisignal, tomando rumbo siempre de la bisectriz de un sector lateral, y ver qué sucede al deshacer rectangularmente el giro.

Estos ejemplos de estudio crítico de un método, a los que pudiéramos añadir otros tres, a que nos referimos en la cita que encabeza este artículo, tan distintos entre sí, nos permiten, en orden a la seguridad de la navegación, sacar estas conclusiones:

Hay que distinguir entre los métodos teóricos y su aplicación práctica a base de mediciones, afectas, como humanas, a error.

Es convenientísimo, y a veces indispensable, hacer múltiples las observaciones, tanto para ponerse a cubierto de equivocación como para mejorar la precisión del resultado.

La comparación, y aceptación consiguiente, de valores discrepantes, precisa el conocimiento de la posible tolerancia, doble error máximo, fundado en la determinación de éste a través de las variables circunstancias en que se opera y del factor personal que debe conocer todo navegante consciente, con la mente puesta en la preocupación de todo investigador: "Mido, pero ¿cómo?"

En circunstancias variables deben hacerse grandes series uniformes de una misma determinación para deducir errores respecto a dato que se tenga exacto, o a la media aritmética de sus determinaciones cuando no, y deducir errores medio y probable, que deben estar en relación aproximada de 5 a 4, y el máximo, que puede alcanzar cuatro errores probables.

La variabilidad del factor personal hace muy difícil fijar tope general a los errores. Hay, pues, que determinarlos para cada cual.

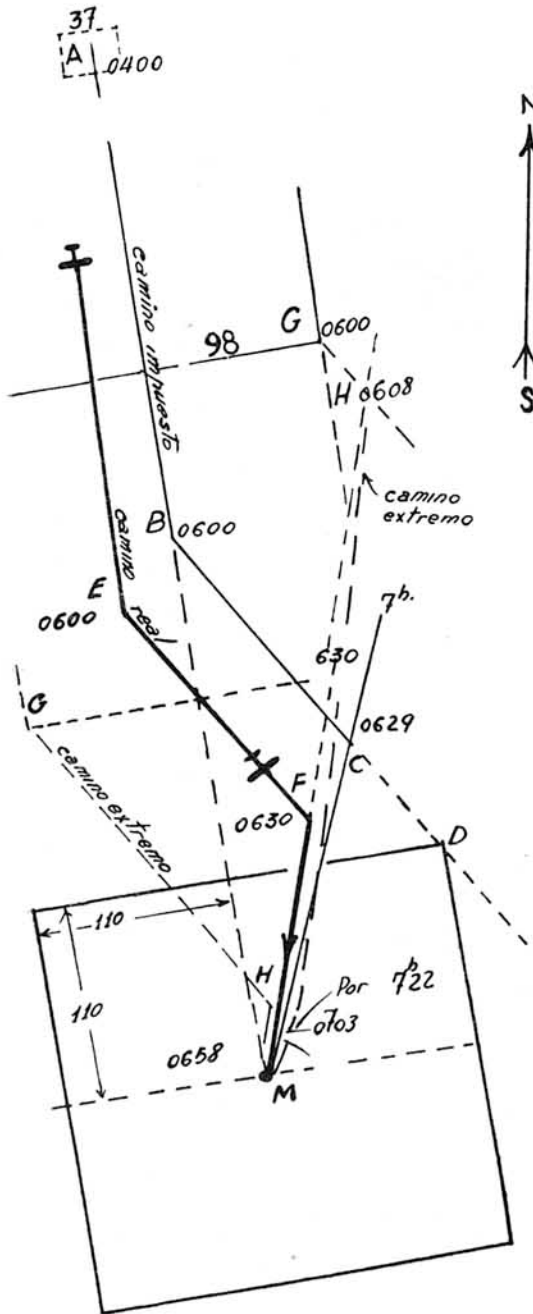


FIG. 4

Desconfiar de los valores medios. El azar, salvo manejando grandes series, da grandes sorpresas.

Muy importante es la práctica de métodos de circunstancia: radio, astronómico, estima; no cuando son recurso único, sino precisamente cuando una cuidadosa y precisa navegación por observación del suelo ofrece una segura comprobación de nuestras observaciones, de la maestría con que sabemos aplicar los diversos métodos de navegación, de la cuantía de los errores que no podemos evitar y de su trascendencia en ulteriores determinaciones; todo lo cual es base de precisión, de confianza en nosotros mismos y fuente de serenidad y adecuada y pronta acción en situaciones críticas.

Un buen método de crítica de un sistema de



navegación es su planteamiento matemático y establecer luego las ecuaciones de los errores, dando a los de los datos los valores que la experiencia fije para ellos. Ver cuándo se hacen máximos y mínimos, y, a su vista, fijar la consecuencia práctica de cuáles sean las circunstancias favorables o adversas para la observación o empleo del método.

Se ha dicho, con exageración, que el piloto debe desconfiar de todo menos de la vista del campo de toma de tierra. Más cierto es: todo piloto debe, en todo momento, haber pensado y saber lo que tiene que hacer en cualquier circunstancia, que, por ello, no será nunca imprevisible.

No se olvide que para mantener la regulari-

dad de las líneas aéreas hay que volar en todo tiempo, pero que la atmósfera guarda en su seno perturbaciones de una violencia extraordinaria, que si no es humano prever con toda precisión, sí lo es en gran medida; pero para ello es absolutamente preciso un conocimiento de la Meteorología y un enlace espiritual, estrecho y confiado, por cordial, de pilotos y navegadores con meteorólogos, intercambiándose conocimientos, datos y observaciones.

Por repetidas y fáciles, por corrientes que sean los recorridos sobre una misma ruta, la observación aguzadamente atenta de piloto y navegador siempre tiene ancho campo a que aplicarse con provecho.

Aunque, como decimos, en pequeñas series, como son, afortunadamente, los accidentes de aviación, el azar hace muy incierto el cálculo de probabilidades al comparar unas con otras Compañías de tráfico aéreo, no deja de notarse cuánto llega a influir en la seguridad la cuidadosa selección del personal navegante, y explica que en 1941 una línea norteamericana, que se llevaba sola ella un tercio del tráfico total, no tuviera ningún accidente mortal entre los años 36 al 41, figurando en cabeza de la lista de líneas con su hoja *en blanco*. De entonces acá, el vuelo en todo tiempo se ha hecho norma general; la visibilidad falta con mucha frecuencia, acompa-

ñada a veces de grave perturbación atmosférica; las observaciones de datos de navegación se hacen en forma muy precaria; la permanencia y regularidad de los elementos meteorológicos desaparece, y la precisión de nuestra situación disminuye en términos muchas veces insospechados, cosa que no debiera ocurrir.

Esto explica a la par un aumento, por fortuna no grave, de la accidentalidad específica y la necesidad absoluta de que no sólo los más selectos, sino todos los pilotos y navegantes, estén a la altura de las difíciles circunstancias en que puedan verse.

Ese estudio crítico, profundo, que propugnamos de los métodos de navegación, creemos ayuda a conseguirlo.