

La seguridad y la crítica de los métodos de navegación

Por el General AYMAT

Cuando hace treinta y cinco años, todo barbero, al descubrir un aviador, había de decirle: "Usted quiere matarse", un piloto pronosticó: "Eso de la Aviación no estará resuelto hasta que cada día se mate un aviador."

No mucho antes, mi abuela, al comentar el desastre del "raid" automovilístico París - Madrid, aseguraba que a ella nadie la metería en un chisme mortal de aquéllos, y en los días de hoy, en el año 1948, cuando sólo en los Estados Unidos se han producido 32.700 muertos en accidentes automovilísticos—¡ un centenar al día!—, curados de todo temor, todos suspiran por disponer de un auto.

Ya un marino chusco, hijo y nieto de marinos muertos en la mar, acusaba de temerario al campesino que se acostaba en cama, donde morían generaciones enteras.

Cosa resuelta es la Aviación, que el par de muertos diarios ha doblado ya aquel pronóstico, porque esa mortandad absoluta indica que se

vuela ya tanto, tanto, que el producto del multiplicador (riesgo específico, aun muy disminuída cada vez más) por el multiplicando (número de pasajeros-kilómetro), por el crecimiento enorme de éste, no hace más que aumentar.

Sin embargo, la masa atiende demasiado al número total de los accidentes de que la Prensa da noticia y comenta, que en la curva indicadora del crecimiento de pasajeros en las líneas aéreas se notan las fluctuaciones, producidas, más que por el forzosamente creciente número de los accidentes, por su notoriedad, ocasionada por la calidad de los protagonistas, personajes políticos pasajeros, habilísimos pilotos o por la casual reiteración inmediata de lugares o causas.

Estudiada al detalle la fluctuación de la curva representante del riesgo específico, o sea, número de muertos por centenar de millones de kilómetros volados por pasajero, se observa el doble fenómeno, de una tendencia bien mani-

fiesta, de mengua, así como fuertes variaciones circunstanciales, perfectamente explicadas, por debidas, cuando baja el riesgo, a progresos técnicos, tales como el jalonamiento nocturno de las rutas en el que resultaba peligrosísimo servicio postal aéreo norteamericano en sus comienzos (1920), el empleo normal de los polimotores en las líneas aéreas, o la guía radiogoniométrica, y en los raros, pero bien claros, recrudescimientos, por osar el vuelo en circunstancias cada vez más difíciles (tales, el nocturno en el transporte del correo norteamericano antes citado y el de hacerlo sin visibilidad).

Nos referimos únicamente al tráfico civil de las líneas aéreas, prescindiendo de las aviaciones militares, donde la consideración de seguridad ha de posponerse a la eficiencia bélica, de la experimentación de nuevos modelos y de la época de entrenamiento en las escuelas.

Es digno de notar en el examen de las causas a que achacar los accidentes el aumento de los que se atribuyen al personal, reduciéndose los del material, tal vez porque el progreso y perfección de éste trae consigo, a la par, una mayor complicación en su manejo, una confianza mayor en los mecanismos, que fomenta el descuido y la necesidad de una cada vez más perfecta instrucción.

Encontramos en una revista, catalogados con múltiples detalles, 92 "principales" accidentes en la aviación comercial en los diez primeros meses de 1947 y en los once de 1948. Separados 13, debidos a causa desconocida, de los 79 restantes, 27 se atribuyeron a error de navegación.

Nuestra afición nos ha llevado a estudiar las posibles causas de tales errores, y vamos a pasar revista a algunas de ellas.

Comencemos por una cosa tan sencilla como el uso del altímetro.

Los progresos de la construcción de estos instrumentos de navegación, con el empleo de palancas de doble metal, para que la desigual dilatación que el calor produzca venga a compensar las irregularidades que la variación de temperatura del instrumento pueda llegar a ocasionar en las indicaciones de la presión y la comprobación y corrección del instrumento en cámara neumática, permite asegurar sus indicaciones al orden del milímetro y hasta a su mitad, lo que equivale a diez o cinco metros, y con ello, la finura del orden de la necesaria para la toma de tierra sin visibilidad.

Esto produce tal fe y confianza en el altí-

metro, que hace se llegue a extender a cualquier otro uso de tan interesante y preciso instrumento, con olvido de que una cosa es la toma de tierra sobre indicaciones de la presión que en aquel momento se toma, o refiere, al nivel de la pista, y otro referirla a puntos y ocasión separados en tres sentidos, cuales son el momento, el lugar y la altura; y así se explica la relativa frecuencia del accidente de choque inesperado con picos de las montañas sobre que se vuela.

En la estadística antes citada, de 92 accidentes, se registran 10 por choque contra montañas, lo que representa ser 1/8 de los que tienen causa conocida, y tres de ellos con el escándalo de producir 88 muertos en los diez días entre el 20 y 29 de julio de 1947.

Téngase en cuenta que, a nivel del suelo, la distribución de la presión puede fácilmente alcanzar gradientes barométricos del orden de 5 y 6 mm. de Hg. por grado terrestre de distancia, y que el desplazamiento de los ciclones ha llegado a producir descensos de 36 mm. durante un día, que en pequeños intervalos ha alcanzado al par de milímetros por hora.

En un viaje de tres horas puede, pues, si se encuentra opuesta nuestra marcha a la de un ciclón que venga sobre nosotros, la presión correspondiente al nivel del mar llegar a variar hasta más de 30 mm., lo que, a nivel del mar, representa unos 300 metros de diferencia de nivel, y a la altura de 4.000 son ya 500.

Otra causa de la variación de la presión correspondiente a un dado desnivel es la temperatura del aire ambiente. Los altímetros están graduados por convención internacional, indispensable para poner de acuerdo aviador en el aire y observatorio del aeródromo sobre la equivalencia de presiones y alturas, según la llamada atmósfera tipo o "standard", y que atribuye 15° a nivel del mar y un descenso, dentro de los 11 kilómetros de troposfera, de 6°,5 por kilómetro. Ahora bien: la temperatura real del aire dista mucho de ser ésta, variando de un lugar a otro, de una a otra estación del año, y hasta según la hora del día.

La posibilidad de inversiones de temperatura, en que ésta crece con la altura, es causa nueva de error, a veces grave por pasar desapercibida.

De los lugares más fríos a los más calurosos, las temperaturas se diferencian en más de 80°; las variaciones estacionarias, de 20 a 40, y las diarias llegan a alcanzar 20 y hasta 25°. Ma-

drid mismo ha registrado temperaturas 33° por encima y 23 por debajo de la típica de 11° que corresponde en la atmósfera "standard". Aunque, separados del suelo algunos centenares de metros, las amplitudes de esas variaciones se reducen bastante, siempre es fácil encontrar diferencias del orden de los 20°. La corrección que corresponde a esa diferencia es de 1/15 de la altura, es decir, de unos 200 metros a los 3.000 metros de altura, y en el sentido tal, que el frío, haciendo más denso el aire, acusa diferencias de altura mayores que las reales, con el efecto aparente de elevar las montañas.

Supongamos que por Lisboa acaba de pasar una fuerte depresión, cuyo centro ocupa, con 20 milímetros menos de presión, las proximidades de Madrid, y aprovechando la clara inmediata, con fuerte frío y vientos del primer cuadrante, que, al adentrarnos en España, dan 10° bajo cero en el suelo de la Vera de Plasencia (600 m.) y — 23 a la altura de 2.500, emprendemos viaje a Madrid. Al salir de Portela ponemos nuestro altímetro en los 104 metros de altura del campo. A medio viaje encontramos mar de nubes desde los mil de altura. Consideramos las más altas cotas del camino. Son éstas los 2.600 (en redondo) de los Picos de Gredos, y aunque quedan a unos 26 kilómetros de nuestra ruta, o unos 10°, vistos desde el origen, como somos precavidos, intentamos pasar a más de 2.800. Ni a esa altura, ni a 3.000, encontramos el final de las nubes, y como el frío es, en cambio, muy considerable, decidimos bajar a los 2.800, que creemos nos asegura un resguardo de 200 metros sobre las cumbres. Pero resulta que en las proximidades de Gredos la presión inicial ha disminuído en 16 mm., por lo que nuestra altura real se reduce en 240 metros. Por otra parte, las temperaturas del aire son 22° más bajas que las típicas de la atmósfera, lo que representa una densidad mayor en un 8 por 100, y los 2.560 metros se reducen en sólo 2.435. Es decir, que a pesar de creernos 200 metros por encima de los picos más altos, estamos realmente 160 por debajo, y expuestos a que, si el fuerte viento que comprobamos en la primera mitad del viaje nos empujaba a la derecha, menguara o se nos pusiera de cara, fuéramos a chocar con las laderas de la cordillera.

Véase bien que el supuesto de la depresión y del frío distan bastante de los valores extremos observados, y se comprenderá la absoluta

necesidad del conocimiento de la situación meteorológica, de hacer la corrección de altitud por temperatura y de tomar un resguardo bien amplio.

Todo buen piloto sabe esto; pero, aparte de la petición de presión para la toma de tierra, al llegar la ocasión de hacerlo sin visibilidad, y de la observación de la temperatura entre nubes en las críticas circunstancias de posible formación de hielo, ¿podríamos asegurar que ambas correcciones, la de cambio de presión de base y corrección por temperatura, es norma en todos los pilotos?

Estadística reciente de veintiún meses de 1947-48 da, entre los accidentes en línea aérea cuya causa se ha podido reconocer, un séptimo atribuído a choque imprevisto contra una montaña o a defectuosa apreciación de la altura al aterrizar.

La perfección alcanzada en la guía radiogoniométrica, compatible con cualquier situación atmosférica, tanto de día como de noche, viendo o no el suelo, ha hecho que algunos pilotos se habitúen a ella como método único de navegación, dando olvido a la observación del suelo y al estudio previo de la ruta sobre el mapa.

En las escuelas de vuelo sin visibilidad cuesta cierto trabajo dar a los viejos pilotos, confiados ante todo en sí mismos, a seguir con fe absoluta (aquí, con toda precisión, hay que decir "ciegamente") las indicaciones instrumentales puras de indicadores a la vista, o, lo que parece más grave, transmitidas por otros observadores de tierra, hombres, y, como tales, expuestos a equivocación o distracción. El piloto debe dejarse llevar con la misma fe que la que un ciego tiene en su lazarillo. Pero ¿sería prudente que el ciego olvidara atender a las sensaciones auditivas, a las de equilibrio, a las táctiles directas o transmitidas por su bastón?

La radio tiene ocasionales fallos, reflexiones en la transmisión de sus ondas, efectos de noche, de montaña, que la asemejan a un lazarillo travieso, cuyo orden de precisión en sus indicaciones hay que tener en cuenta.

Un ejemplo basta para medir cuán disparatado sería tal proceder.

Cuenta el magnífico *Manual norteamericano de Navegación*, de Lyon, que al hacer la investigación de las causas de haberse estrellado un avión al aterrizar en terreno escabroso, en proximidades inmediatas de un buen campo de so-

corro, entre sus restos se encontró una valija cerrada con llave, donde, entre otros objetos, estaba doblada la colección de mapas, por los que aquellos incautos aviadores habían sentido un suicida desdén.

Es frecuente el caso de encontrar en buenos libros de navegación reglas, métodos completos, inspirados en teorías más o menos ingeniosas, como si la navegación aérea fuese Geometría pura, en cuyo campo pueden manejarse líneas sin espesor, direcciones precisas, distancias exactas, en relación con una medida exacta también del tiempo. Si un buen cronómetro sirve para medir un intervalo de tiempo preciso al quinto de segundo, u horas, sin más error que dos o tres segundos, no ocurre lo mismo con la determinación del momento preciso en que se pasa por una alineación, u ocurre cualquier suceso, o en la propia alineación, porque las fuerzas de inercia que inevitablemente desarrollan la mudable posición y velocidades del avión perturban, en cuantía a veces muy considerable, la aparente posición de la vertical a la que aquellas alineaciones se refieren.

Podrá decirse en Geometría que dos puntos determinan una recta. Prácticamente, en Navegación, hay que sustituir ese principio absoluto y añadir: tanto mejor cuanto: a), estén más alejados; b), cuanto más chicos sean; c), mejor observada desde fuera de la alineación que desde su interior, y en el primer caso, cuanto más próximos al extremo inmediato estemos.

El cruce de dos rectas determina un punto, y hay que hacer la salvedad de "tanto mejor": a), cuanto más precisas sean las alineaciones; b), cuanto más normalmente se corten; c), cuanto de menos lejos procedan.

Toda determinación a base de una diferencia de valores que, como humanos, están afectos de un cierto error, ha de relacionarse con la magnitud de la separación de los datos.

La realidad pone de manifiesto que se olvidan esas imperfecciones que esa misma realidad impone.

Vamos a poner algunos ejemplos.

La velocidad respecto al suelo se determina midiendo el tiempo transcurrido entre los pasos por dos puntos conocidos. Admitimos, como antes sentamos, que el tiempo se mide exactamente, o al menos con precisión incomparablemente mayor a aquella con que fijamos los puntos.

Supongamos que lo hacemos por el paso de

un mismo punto del suelo entre dos alineaciones determinadas a bordo.

La distancia que sobre el suelo determinan esas alineaciones es consecuencia de la altura de vuelo sobre ese punto. La altura se determina por diferencia de la del altímetro y la altitud del suelo. Aparte de que sólo los mapas a gran escala (1/50.000) dan la altura con precisión del orden de 20 ó 50 metros, y que, al no llevarlos a bordo, esa indeterminación es del orden de los 100 a 200 metros, la altura de vuelo sólo tendrá precisión considerable cuando hayamos podido hacer las correcciones sobre presión barométrica inicial y por temperatura, porque las conozcamos, que no es caso general. Si cada una de las alturas del suelo y de vuelo son erróneas, y vamos a suponerlas en 100 metros, el error posible, 200 metros de la diferencia, hay que relacionarlo con su diferencia, que es sobre la que hayamos de operar. Si volamos sobre una cadena montañosa y la diferencia es de sólo 1.000, representa un error intolerable de 1/5, que hace inútil la determinación. Si a gran altura, 4.000, sobre llanos a nivel del mar, de un 1/20, ya muy aceptable.

Viene luego el error consiguiente a la posición de la alineación. Si el tiempo es de calma, el avión se moverá uniformemente, y al mirar por el visor de medida observaremos esa regularidad en el movimiento aparente del suelo, sinuoso e irregular, en cambio, en los bandazos y meneos de tiempo revuelto. ¿En cuánto? Difícil de prever *a priori*. El remedio, en casos como éste, está en hacer múltiples determinaciones, comparándolas entre sí. Es decir, complicando la observación.

En todo caso el error queda acusado en las diferencias de los tiempos observados, y una cierta diferencia hay que ponerla en relación con la duración media de los intervalos, tanto mayor ésta cuanto mayor sea la abertura entre las dos alineaciones.

Combinando esta causa de error con el de la altura, el relativo que cometamos en la determinación de nuestra velocidad será suma de los dos relativos que acabamos de considerar.

El remedio de determinarla por el paso independiente sobre dos puntos suficientemente alejados, y cuya distancia se determina sobre el mapa, no resuelve el problema de la precisión más que a medias, porque si el intervalo de tiempo queda determinado con precisión relativa mucho mayor, en cambio, al medir la distancia sobre el mapa, viene a ser de unos pocos mili-

metros, y unido a las dificultades de exacta identificación del punto, el error relativo sigue siendo considerable.

La velocidad real respecto al suelo, que acabamos de estudiar, es elemento del triángulo de velocidades, que ha de resolvernos el problema de la proa a que hemos de poner nuestro avión para seguir nuestra ruta. Otros elementos de él son la velocidad propia, que hay que corregir por densidad del aire; esto es, por presión, indicada en el altímetro, y temperatura, y la deriva, consecuente al viento reinante.

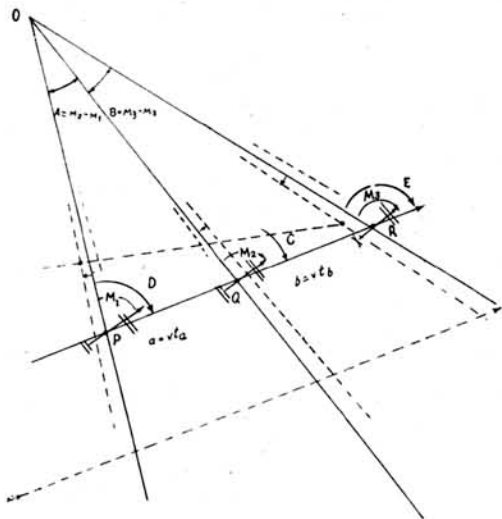


Figura 1.

La brevedad obligada en un artículo nos impide ocuparnos de la cuantía de los errores de la determinación del viento en el momento, lugar y altura del vuelo.

De la deriva observable directamente por instrumento adecuado, si diremos que también puede deducirse de observaciones de otra clase, y vamos a exponer uno de los métodos que aparece, como indicado, cuando, faltos de visibilidad del suelo, no contamos más que con las marcaciones laterales de una estación radio situada fuera de nuestra ruta.

La receta es la siguiente: Se toman las horas precisas en que se observan tres marcaciones, y el valor de éstas. Cualquiera que sea la deriva que llevemos, si se conservan en todo el intervalo, el viento, y nuestra proa, y, por consiguiente, la deriva, los ángulos *A* y *B* que se formen en la estación radio serán siempre iguales a las diferencias de marcaciones *M*, o de los ángulos *D*, *C*, *E*, desconocidos que formen las

demoras con la ruta *PR*, también desconocida, que seguimos.

Por tanto, siempre podemos dibujar el haz de marcaciones, aunque sea sin posible orientación absoluta, de las tres direcciones *OP*, *OQ*, *OR*.

Por otra parte, al conservar la velocidad real respecto al suelo, las distancias *a* y *b* serán proporcionales a los tiempos *t_a* y *t_b*, en que se recorren.

Luego, si en una tira de papel se colocan tres puntos intervalados distancias *t_a/t_b*, bastará apoyar las extremas sobre *OP* y *OR* y girar su posición hasta que, en la única posible, el punto central quede sobre el rayo *OQ*, para que quede determinada la posición *PQR* de nuestra ruta y el ángulo *E* de la ruta con la última demora *RO*. Por la diferencia *E - M₃* con la marcación *M₃*, dada por el goniómetro respecto a nuestra proa, deduciremos nuestra deriva y el verdadero rumbo de la ruta seguida.

Tal procedimiento ha sido, incluso, inspiración de un ingenioso instrumento que evitaba el dibujo.

Más todavía, si pudiéramos admitir que desde un cierto punto *F* de origen, o de cierto reconocimiento seguro sobre el suelo, se conservaran, proa, altura, velocidad y viento, una paralela por *F* a *PR*, así determinada, obtendríamos sobre el mapa la ruta precisa seguida y los puntos de paso por cada marcación.

Todo esto está muy bien si no fuera porque no es rigurosamente exacto. Si sustituimos (figura 2) los rayos *OP*, *OQ* y *OR* por tres pe-

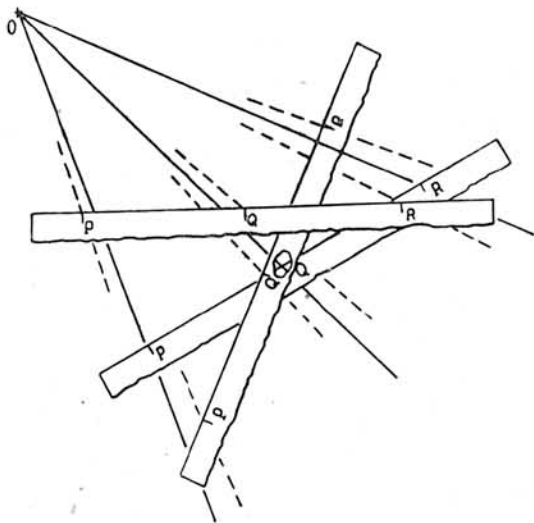


Figura 2.

queños ángulos de la amplitud de la inevitable indeterminación de las marcaciones, 1° ó 2, que para claridad exageramos, nos encontraremos con la sorpresa de que la posición de nuestra tira de papel queda fuertemente indeterminada, a pesar de conservar cada punto de ella sobre el haz correspondiente.

Para ponernos a cubierto del error del graficismo, vamos a calcular el ángulo E , en función de las diferencias A y B de las marcaciones y de los tiempos t_a y t_b (fig. 1).

El ángulo E se obtiene (1) por suma de la semisuma y semidiferencia con D .

$$E = \frac{1}{2} (E + D) + \frac{1}{2} (E - D),$$

$$\operatorname{tg} \frac{1}{2} (E + D) = \operatorname{tg} \frac{1}{2} (A + B) \operatorname{tg} (45^\circ + \varphi),$$

$$E - D = A + B,$$

en que el ángulo auxiliar φ se determina

$$\cot \varphi = \frac{t_a \operatorname{sen} (M_3 - M_2)}{t_b \operatorname{sen} (M_2 - M_1)}$$

Supongamos un ángulo total $A + B$ de 45° , durante tiempos iguales, aparece dividido en $A = 25^\circ$ y $B = 20^\circ$; el cálculo logarítmico nos da para el ángulo $E = 126^\circ 46'$, pero si observáramos ángulos de 27 y 18 , porque ambos lados de A aparecieran abriendo 1° y el rayo R cerrara sobre Q otro grado, E aparecería como de $137^\circ 09'$, es decir, que el ángulo de la ruta con la última demora habría variado $10^\circ 23'$. más el grado que esa marcación habría aumentado, el error del rumbo apreciado en la ruta alcanzaría más de 11° , casi cuatro veces la suma de los tres errores elementales de 1° en las marcaciones radio.

No ha sido pequeño el ángulo de 45° supuesto, durante el que se ha desarrollado la determinación, que a poco que estuviera alejada la

estación radio requeriría mucho tiempo, lo mismo que si quisiéramos aumentar las variaciones de las marcaciones.

La indeterminación en marcación radio será mayor que la supuesta, pues en la OACI aceptada como buenas las erróneas en 5° .

Cualquier apreciación gratuita del viento, por grosera que fuera, nos daría deriva y rumbo más preciso.

Se ve, pues, que el método es impracticable; en la realidad una fantasía complicatoria.

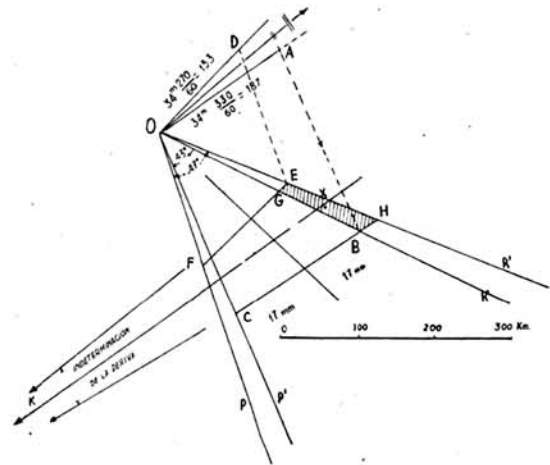


Figura 3.

Y, a primera vista, lo hubiéramos podido sospechar. La deriva o dirección de marcha viene fijada por líneas de posición en dirección próxima a la marcha; las de través, que acabamos de considerar, sólo pueden informarnos de nuestra velocidad o distancia recorrida.

En confirmación, veamos el partido que racionalmente podemos sacar a nuestras observaciones.

Supongamos (fig. 3) que la estación no está

(1)

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{sen} E &= \frac{OQ \operatorname{sen} B}{t_b} \\ \operatorname{sen} D &= \frac{OQ \operatorname{sen} A}{t_a} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} \frac{\operatorname{sen} E}{\operatorname{sen} D} &= \frac{t_a \operatorname{sen} B}{t_b \operatorname{sen} A} = \frac{1}{K} = \cot \varphi, \\ \frac{\operatorname{sen} E + \operatorname{sen} D}{\operatorname{sen} E - \operatorname{sen} D} &= \frac{1 + K}{1 - K} = \frac{\operatorname{tg} 45^\circ + \operatorname{tg} \varphi}{1 - \operatorname{tg} 45^\circ \operatorname{tg} \varphi} = \operatorname{tg} (45^\circ + \varphi); \end{aligned}$$

$$\frac{\operatorname{sen} E + \operatorname{sen} D}{\operatorname{sen} E - \operatorname{sen} D} = \frac{\operatorname{tg} \frac{1}{2} (E + D)}{\operatorname{tg} \frac{1}{2} (E - D) = \operatorname{tg} \frac{1}{2} (A + B)}; \text{ de donde } \operatorname{tg} (45^\circ + \varphi) = \frac{\operatorname{tg} \frac{1}{2} (E + D)}{\operatorname{tg} \frac{1}{2} (A + B)}$$

muy alejada de nosotros, unos 200 kilómetros, y que nuestra velocidad propia es de 300 kilómetros, seguramente comprendida entre 270 y 330, con deriva entre $\pm 3^\circ$, y que podemos suponer provisionalmente nula.

Formaremos en la estación dos ángulos, el más amplio de 47° , y deducido de las marcaciones recibidas $+$ y $- 1^\circ$, y otro con la de 43° , cerrándola. Tracemos la proa OM que hemos llevado, y a uno y otro lado los límites OA y OD de nuestra posible ruta real. En la dirección más cruzada con el ángulo tomemos el recorrido OA , entre las marcaciones extremas, en el tiempo transcurrido, y a la velocidad mayor posible; tracemos por A la paralela a OP' hasta llegar a OR' , y CB representará la más distante de O entre todas las rutas posibles. Hagamos construcción análoga sobre la dirección más oblicua, y a velocidad más pequeña que, llevada sobre el ángulo más amplio, nos dará, para ruta más próxima, la KE . Entre ambas estará comprendida nuestra ruta real, que si procede de un punto suficientemente alejado, supongamos 500 kilómetros, nos dará, para el centro X del área EB , una deriva con error posible de 5° siempre menor que el de los 11° antes hallado, y un área, GH , de incertidumbre, en nuestra situación, si, relativamente ancha, EH , pero más estrecha en sentido de la marcha, como corresponde a la calidad de líneas de situación en distancia que son las marcaciones cruzadas con nuestra marcha.

El error que hemos considerado para ese caso particular de condiciones verosíblemente medias, varía, claro está, disminuyendo con la abertura total entre marcaciones, lo que exige transcurra más amplio intervalo de tiempo, durante el que es difícil la certeza de velocidad constante, supuesto tan gratuito como necesario. El error disminuye también con la oblicuidad de las marcaciones, pero entonces entramos ya en el problema distinto de determinar la deriva, o en general, dirección, por línea de situación longitudinal, no transversal, que requiere que la ruta pase por la proximidad de la estación radio. Caso, además, en que, por otra parte, la construcción aproximada última se hace también más precisa.

De lo expuesto deducimos que no basta conocer los métodos en solo su fundamento, sino, además, en su aplicación real, donde la imperfección humana y las circunstancias adversas originan indeterminación en los datos u observaciones de que deducir nuestra posición y subsecuente conducta para llegar a nuestro destino.

Hemos apuntado la discusión o estudio crítico de los métodos, sólo en los de tipo de navegación a estima, si bien en el último tocamos, de pasada, esa panacea que parece constituir la radio, sin que la limitación de espacio nos haya permitido extenderlo a la astronomía.

Esperamos poder hacerlo en breve y sacar del conjunto consecuencias de orden práctico.

