NAVEGACIÓN AÉREA A LA ESTIMA

Por el Teniente coronel **ORDUNA**

El presente artículo refiere algunos problemas de navegación aérea. El tema está tratado en el tono que corresponde al carácter de los problemas elementales, fundamentales para el navegante. Voluntariamente se han eludido definiciones que son conocidas por los profesionales y que fácilmente pueden ser comprendidas. El autor sólo pretende dar aquí una ordenada relación de temas que el navegante debe mantener al día.

Para navegar en todas las condiciones que puedan presentarse no existe un método único apropiado, y debemos elegir, según el caso, una combinación de los tres métodos principales. El procedimiento a emplear en un vuelo trasatlántico no es el más conveniente para un pequeño recorrido de unos cientos de kilómetros.

El método de navegación a estima es el más universalmente empleado, y tendremos que hacer uso de él aunque nos sirvamos del astronómico y radiogoniométrico.

Los constantes progresos de la radiogoniometría y su aplicación a la navegación aérea han simplificado extraordinariamente el problema con el empleo de nuevos aparatos de a bordo, que acusan las desviaciones en la ruta a seguir y permiten hacer sin cálculo alguno las correcciones necesarias para volver a ella.

Ha sido consecuencia lógica de ello relegar un tanto al olvido lo mismo la teoría que la práctica de la navegación a estima. Sin embargo, como antes hemos dicho, es el método fundamental y base; baste recordar que en operaciones de guerra se restringe al máximo el empleo de la radio en los aviones.

Será, pues, esta la razón de volver sobre un tema ya antiguo y conocido, que sólo puede tener carácter de recordatorio.

El cálculo gráfico al que dedicamos atención preferente es el más recomendable, pues constituye por sí un registro de los movimientos del avión y de las operaciones efectuadas; es más sencillo y tiene la suficiente exactitud si se hacen con esmero los dibujos; esta última condición es hoy perfectamente posible a bordo de los modernos aviones.

En navegación aérea, la dirección a que apunta la proa del avión y su velocidad con respecto al aire se determinan con facilidad, pero la muy probable existencia del viento complica el problema.

Si la dirección y velocidad del viento son conocidas, se reduce a resolver el llamado "triángulo de velocidades"; pero esta circunstancia es rara y se inicia el vuelo corrientemente sin ningún dato sobre el viento, viéndose obligado el navegante a hacer observaciones en el aire para deducir la deriva producida por dicho elemento.

En todos los ejemplos gráficos que siguen se dan las velocidades en nudos (millas por hora), para operar en hojas de Mercator, y si aparece constantemente una desproporción entre velocidades de avión y de viento, es que se han reducido los valores normales de las primeras con el único objeto de hacer más reducidas y claras las figuras.

Al hablar de rumbos, y refiriéndonos a navíos o aviones, se sobrentiende que se trata de rumbos geográficos, si no se especifica otra cosa.

Eludimos el problema elemental, por conocido y sencillo. Por otra parte, en la práctica no es problema corriente navegar con un rumbo determinado y encontrar la posición a que ha llegado el avión en un cierto tiempo. Por el contrario, se parte de la posición que tiene que alcanzar el avión o su punto de destino, y se trata de determinar el rumbo necesario para llegar a él, teniendo en cuenta la velocidad propia a que ha de navegarse, la fuerza y dirección del viento.

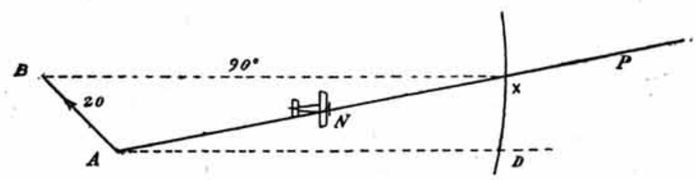

Fig. 1

Se desea encontrar el rumbo que un avión debe llevar para ir de A a P, con una velocidad propia de 90 nudos y un viento de 135° (dirección) y 20 nudos (intensidad).

En la resolución de este problema gráfico se ha empleado el método más sencillo y práctico, como podrá verse en las posteriores aplicaciones, que consiste en construir el triángulo de velocidades en el punto de partida (fig. 1).

Se traza desde A el vector AB, en la dirección en que sopla el viento y de una longitud igual a su velocidad. La línea AP representa la ruta a seguir.

Haciendo centro en el punto B (extremo del vector viento) y con radio igual a la velocidad propia, se describe un arco que corte a la ruta AP en el punto X. Se une B con X, y esta línea representa el rumbo a seguir, que resulta ser de 90°. La magnitud AX es la velocidad con respecto al suelo, Vs. Por consiguiente, el avión debe navegar con el rumbo de 90° para llegar a P. Al cabo de una hora su posición será X, y el tiempo necesario para efectuar el recorrido XP se deduce por comparación con $AX = Vs$.

Si en lugar de tener que alcanzar el punto *P* sólo debe llegarse al punto *N*, de la misma construcción gráfica se obtiene el tiempo correspondiente por comparación de *AN* con *AX* = *Vs*.

Es, pues, conveniente en todos los casos operar con magnitudes horarias que no exigen la transformación de los datos de velocidad de viento y avión, de ordinario expresadas en aquella unidad.

Obtención de fuerza y dirección del viento partiendo de dos ángulos de deriva.

Supongamos que un avión, navegando a *Vs* = 70 nudos, obtiene con un derivómetro los siguientes datos:

Con un rumbo de 0° (norte) la deriva es de 20° a la derecha.

Con un rumbo de 90° (este) la deriva es de 15° a la izquierda.

Se desea encontrar la fuerza y dirección del viento (fig. 2).

Se trazan *AB* y *CB*, de direcciones respectivas 0° y 90°, y ambas de magnitud 70 nudos. Construídos los ángulos de 20° a la derecha de 0° y 15° a la izquierda de 90°, se obtienen las rectas *AD* y *CD*, que son las rutas correspondientes a los dos rumbos.

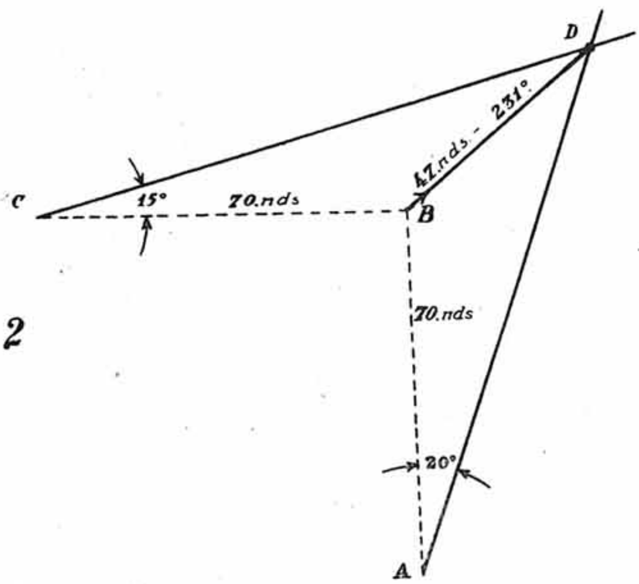

Fig. 2

El punto *D* es la posición alcanzada por el avión al cabo de una hora en lugar de *B*, adonde llegaría de no haber viento. El vector *BD* representa, por consiguiente, el viento, que resulta ser de 47 nudos y 231°.

Colocados en el lecho del viento y disponiendo de un cinemoderivómetro (que hoy normalmente llevan todos los aviones), se obtiene inmediatamente su dirección y fuerza, pues al poder medir la velocidad con respecto al suelo resultará que lo tenemos de cara o en cola, según sea el valor obtenido menor o mayor que V_p. Supongamos que un avión de V_p = 90 nudos encuentra el rumbo que no produce deriva en 257°; mide en ella *Vs* y obtiene un valor para la misma de 98 nudos.

Como la velocidad medida es mayor, estamos viento en cola; sopla el viento de 77° y tiene una fuerza de ocho nudos.

EL RADIO DE ACCION DE UNA AERONAVE

Operaciones desde una base fija.

Desde el punto de vista del piloto o navegante de un avión en operaciones de exploración, pueden clasificarse las misiones a realizar en dos grupos generales.

1.° Comprende este grupo las operaciones, de cualquier clase que sean, que tengan como datos la superficie que se ha de explorar y los rumbos a seguir. En ellas se cerciorará el navegante de que la provisión de gasolina y aceite es suficiente para cubrir las rutas propuestas bajo las condiciones que sea probable encontrar. Una solución práctica y sencilla es dejar un 25 por 100 del combustible que cargue el avión como margen de seguridad. El navegante emprenderá la misión con la única preocupación de ir determinando los rumbos a seguir, impuestos por las condiciones de viento que sucesivamente encuentre.

2.° Este otro grupo de misiones comprende aquellas en que se nos indica solamente la dirección en que haya que explorar, llevando implícita la de alcanzar la mayor distancia posible en esa dirección. En estos casos el navegante determinará cuánto puede alejarse el avión, teniendo en cuenta las condiciones de viento en el momento.

Como caso particular de este último grupo, puede ordenarse al avión permanecer en exploración un cierto número de horas. Tiene que determinar el navegante hasta qué punto puede alejarse para que la vuelta a la base se haga en el tiempo previsto.

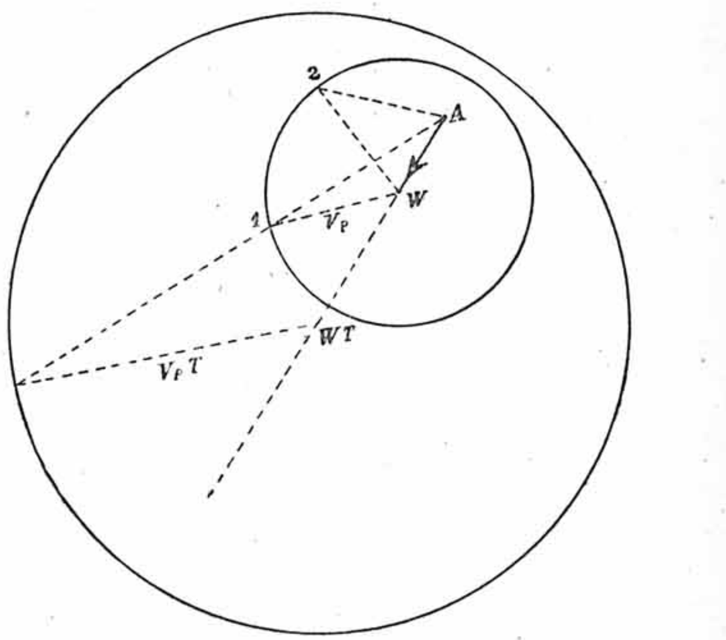

Fig. 3

Radio de acción desde una base fija.

Si un avión parte de la base *A* (fig. 3) en una dirección cualquiera, con velocidad propia, V_p, y existe un viento representado por *W*, podrá alcanzar en una hora de vuelo todos los puntos de la circunferencia de radio V_p y cuyo centro sea el extremo del vector viento *W*.

Si el avión tiene combustible para T horas, podrá llegar en ese tiempo a cualquier punto de la circunferencia de radio $W_p.T$, y cuyo centro sea el punto a sotavento de W, que dista de A la magnitud $W\ T$.

Si el avión tiene que volver a su base de partida, el problema será el siguiente:

Supongamos (fig. 4) que un avión con radio de acción definido parte de la base A para explorar en la dirección AB y volver, al cabo de T horas, a la base de partida.

El viento se ha representado en la figura por el vector AC. Evidentemente el rumbo a seguir a partir de A, suponiendo que la velocidad propia es $V_p = N$ nudos, será CB. Al cabo de una hora el avión estará en B. La distancia AB representa la velocidad de alejamiento con respecto a la base A, a la que llamaremos V_1.

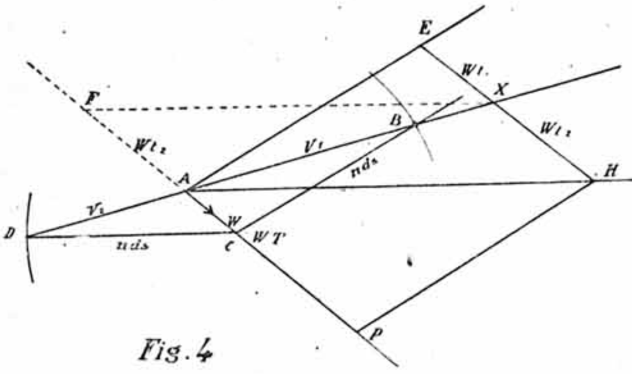

Fig. 4

Considerando que el viento permanece constante (supuesto necesario en la demostración que sigue), podemos obtener de igual manera el rumbo a tomar para hacer el regreso a la base A: éste será CD; AD es la velocidad de acercamiento a la base y la llamaremos V_2 (que en este caso de base fija es igual a la velocidad de regreso).

Llamemos t_1 el tiempo que el avión ha navegado desde su partida de la base A hasta el momento de iniciar el regreso, y t_2 el tiempo empleado en el regreso.

El tiempo total T será igual a la suma de los t_1 y t_2. $T = t_1 + t_2$. Supongamos el problema resuelto, y sea X el punto alcanzado en la dirección AB.

Por dicho punto trazamos una paralela a la dirección viento, hasta encontrar en los puntos E y H a los rumbos de partida y regreso tomados desde A.

Tracemos por los puntos H y X paralelas a AE y AH respectivamente, hasta encontrar a la dirección viento en los P y F.

Se observa en la figura que AE es el rumbo de alejamiento y EX la acción del viento durante el mismo, $EX = W.\ t_1$.

XF será el rumbo de regreso y FA la acción del viento durante el mismo; $FA = W.\ t_2$, y como $FA = XH$, $XH = W.\ t_2$.

Y tendremos: $AP = EH = EX + XH = W.\ t_1 + W.\ t_2 = W\ (t_1 + t_2) = W.\ T$.

La construcción gráfica que se deduce es la siguiente:

Tomaremos a sotavento de A una magnitud $AP = W.\ T$, y trazamos desde A los rumbos de partida y regreso AE y AH.

Por el punto P se trazará la paralela a AE hasta encontrar a AH, y por el punto H obtenido la paralela a la dirección del viento, que determinará en AB el punto buscado X.

La naturaleza misma del problema indica que en muchos casos, por ser grande la autonomía del avión (T), el cálculo gráfico adquirirá proporciones muy amplias, siendo entonces conveniente combinarlo con el algebraico del siguiente modo:

Se construyen los triángulos elementales horarios como ya hemos indicado, representados en la figura 4 por ACD y ACB.

Llamemos R a la distancia a la base en el momento de iniciar el regreso.

$$\frac{R}{V_1} = t_1 \;\text{,,}\; \frac{R}{V_2} = t_2 \qquad T = \frac{R}{V_1} + \frac{R}{V_2} = \frac{R\,(V_1 + V_2)}{V_1\,.\,V_2} \;\text{,,}\; \text{despe-}$$
$$T = t_1 + t_2$$

jando R ,, $R = \dfrac{T\,(V_1\,.\,V_2)}{V_1 + V_2}$, como $t_1 = \dfrac{R}{V_1}$, sustituyendo el valor de R encontrado $t_1 = \dfrac{T\,.\,V_2}{V_1 + V_2}$.

Fórmulas que dan los valores de R y t_1 en función de T (dato del problema), de V_1 y V_2 (obtenidos con el cálculo gráfico simplificado).

Para facilitar las operaciones de ambas fórmulas, que resuelven el problema, puede emplearse un calculador de dos escalas logarítmicas numéricas, como tiene el D. R. 2.

Se acostumbra algunas veces llamar a R *radio de acción*. En el ejemplo anterior R es igual a la distancia navegada hasta el momento de iniciar el regreso; esto no ocurre, sin embargo, cuando se trata de una *base móvil*, como veremos más adelante. En todos los casos, si multiplicamos t_1 por la velocidad de partida (AB en la figura 4), obtendremos la distancia navegada hasta el momento del regreso.

Operaciones desde una base móvil o con cambio de base.

Son de esta naturaleza las operaciones que se emprenden desde un portaviones que cambia de posición mientras la aeronave las efectúa. Cuando las órdenes de misión fijan al piloto o navegante el espacio a explorar y las rutas a seguir, se reduce el problema de navegación planteado a comprobar la ruta recorrida.

Cuando de otro modo, fijado el tiempo que ha de durar la misión, se deja al navegante que determine hasta qué punto puede alcanzar en una dirección definida, la solución es diferente. De esta última clase de problemas nos ocuparemos a continuación.

La preocupación referente a dejar un margen de combustible que sea el 25 por 100 del total disponible, y de que ya hemos hablado, es en este caso de tanta o mayor aplicación, debido a la naturaleza de estas operaciones, caracterizadas por tener como base a portaviones sujetos a desconocidas variaciones de viento y mar.

Empecemos por analizar el caso general. Las anotaciones y signos empleados en el caso de una base fija las volvemos a ver en este estudio con la misma significación.

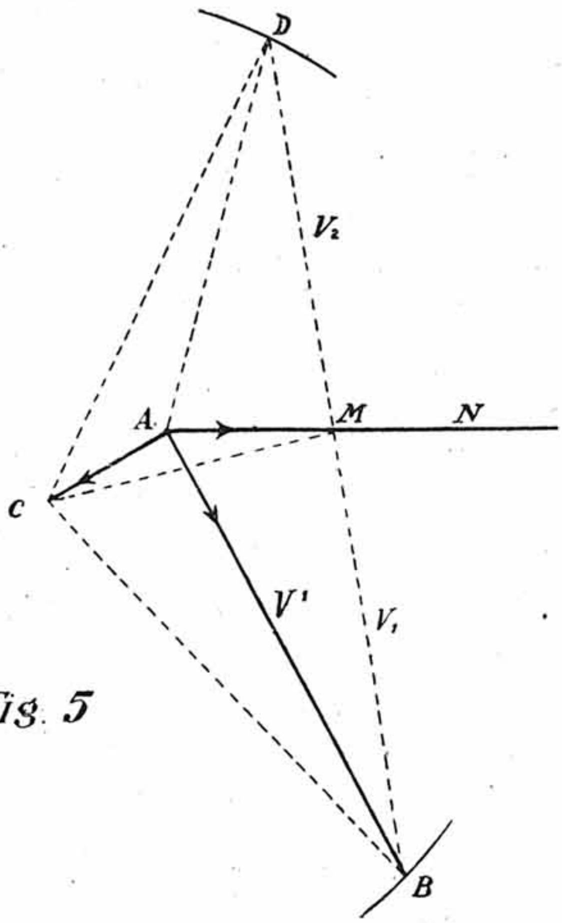

Fig. 5

Supongamos en A un portaviones (fig. 5) que sigue la derrota AMN, con una velocidad horaria AM. Un avión parte del navío en el punto A, con orden de explorar en la dirección AB y tomar cubierta al cabo de T horas. El viento está representado en la figura por el vector AC.

Por el método explicado para determinar el rumbo (haciendo centro en C, con un radio igual a V_p, cortar a AB) se obtiene el punto B, siendo CB el rumbo a seguir.

Es evidente que al cabo de una hora el portaviones habrá alcanzado el punto M y el avión el punto B. MB será la velocidad de alejamiento con respecto a la base móvil (V_1).

Para la determinación de la ruta de regreso y rumbo correspondiente, tendremos en cuenta lo siguiente: Podemos considerar al navío inmóvil en el punto M si suponemos la existencia de un viento virtual cuya dirección sea opuesta al movimiento del buque y de intensidad igual a la velocidad horaria del mismo; es decir, un viento cuya representación gráfica en la figura sería el vector MA.

Como existe además un viento real representado por el vector AC, la componente de ambos MC representará el viento a que está sometido el avión en el supuesto que consideramos. Y ya sabemos que para determinar el rumbo de vuelta habrá que trazar desde su extremo C, como centro y con radio igual a V_p, un arco que corte a la línea BM. CD será el rumbo de vuelta o regreso. MD será la velocidad de acercamiento a la base (V_2). AD será, naturalmente, la ruta de regreso.

Empleando la misma notación que en los cálculos anteriores para una base fija obtendremos, de igual modo también, las mismas fórmulas:

$$R = \frac{T(V_1 \cdot V_2)}{V_1 + V_2} \quad (1) \qquad t_1 = \frac{T \cdot V_2}{V_1 + V_2} \quad (2)$$

Para obtener la distancia navegada por el avión desde el punto de partida hasta el momento de iniciar el regreso, bastará multiplicar la velocidad de partida (V') AB en la figura, por el tiempo empleado (t_1). Se puede observar que en este caso de base móvil la velocidad de partida no es igual a la velocidad de alejamiento ($V' = V_1$).

EJEMPLOS DE DOS PROBLEMAS DE EXPLORACION

1.° *Exploración desde una base fija.*—Un avión sale del punto A con una velocidad propia V_p igual a 60 nudos y con misión de explorar en la dirección 165° y volver al punto de partida al cabo de tres horas de navegación. El viento es de 45° y 20 nudos de intensidad. Se pide encontrar el rumbo de ida, tiempo de iniciar la vuelta o regreso, rumbo de vuelta y distancia máxima alcanzada (fig. 6).

Tracemos en primer lugar la ruta a seguir (que es de 165°) y el viento a sotavento de A. Con un radio igual a V_p y haciendo centro en el extremo del vector viento, determinamos los puntos B y C sobre la ruta a seguir y su prolongación, deduciendo los rumbos de ida y vuelta, que son en este caso 149° ida y 2° vuelta.

Medimos después las velocidades de alejamiento y acercamiento $V_1 = 68$ nudos y $V_2 = 48$ nudos, respectivamente; para encontrar el tiempo hasta el momento de iniciar el regreso, sustituímos estos valores en la fórmula (2):

$$t_1 = \frac{T \times V_2}{V_1 + V_2} = \frac{3 \times 48}{68 + 48} =$$

$$= \frac{144}{116} = 1{,}24 \text{ hora} = 1 \text{ h. } 14'$$

De igual modo la distancia alcanzada hasta el punto en que se inicia el regreso es

$$R = V_1 \times t_1 =$$

$$= 68 \times 1{,}24 = 84{,}3 \text{ millas.}$$

2.° *Exploración con cambio de base.*—Un avión con velocidad propia $V_p = 60$ nudos, recibe orden de partir del punto A para explorar en dirección 220° y volver al punto B al cabo de tres horas. El punto B está a 80 millas en dirección oeste del punto A. El viento es de 315° y 20 nudos. Se desea encontrar los rumbos de ida y vuelta, tiempo hasta el momento de iniciar la vuelta y

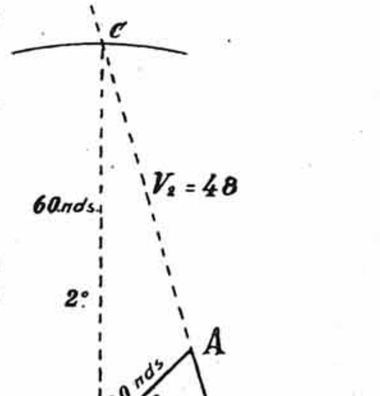

Fig 6

distancia máxima alcanzada desde la base de partida A (figura 7).

Trazamos primero la dirección a explorar de 220° y el viento, representados en la figura por AC y AE, obteniendo directamente el rumbo de ida, como en el caso anterior.

Este problema es análogo al de la base móvil ya estudiado, pues podemos considerar que el avión parte en A de un navío que sigue la derrota AB a una velocidad tal que se encuentren en B al cabo de tres horas, es decir, al mismo tiempo que el avión debe llegar a dicho punto. Naturalmente, al cabo de una hora tal navío estará en el punto M ($AM = 1/3\ AB$). Tomaremos, por consiguiente, a partir de A, 1/3 de 80 millas, uniendo el punto obtenido (M) con C y prolongando esta línea al otro lado de AB.

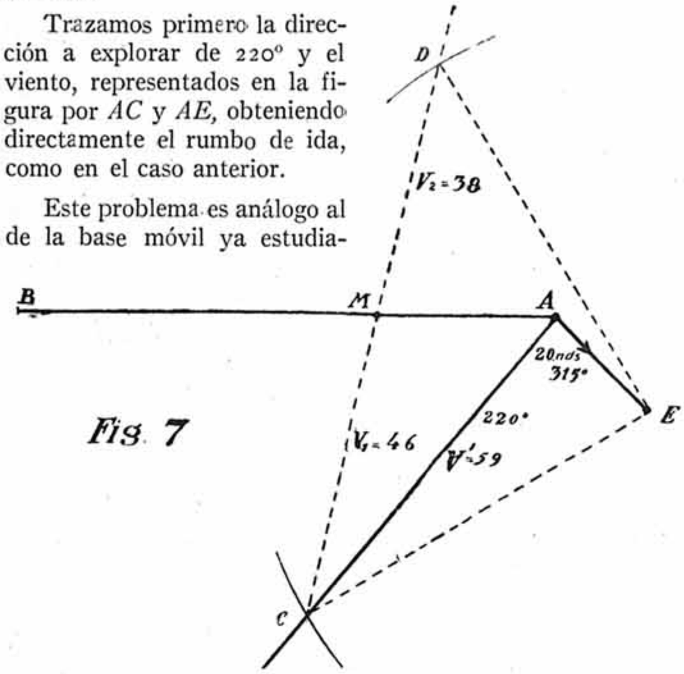

Fig. 7

Con centro en E y radio V_p, encontramos el punto D. ED es el rumbo de regreso $CM = V_1 = 46$ nudos, y $DM = V_2 = 38$ nudos.

Sustituyendo estos valores en la fórmula (2), obtendremos el tiempo a navegar hasta el momento de iniciar la vuelta:

$$t_1 = \frac{T \cdot V_2}{V_1 + V_2} = \frac{3 \times 38}{46 + 38} = 1 \text{ h. } 22'$$

La distancia desde la base de partida A hasta el punto en que se inicia el regreso será:

$$V' \cdot t_1 = \frac{59 \times 82}{60} = 81 \text{ millas.}$$

RADIO DE ACCION VOLVIENDO A UNA BASE MOVIL QUE HA CAMBIADO DE RUMBO DURANTE LA EJECUCION DE LA MISION

A las nueve horas, un portaviones que se encuentra en A envía un avión a explorar en dirección norte, y debe volver al mismo al cabo de tres horas.

El navío navega a un rumbo de 90° hasta las 10 horas. A las 10 horas arrumba al 45°. La velocidad del navío es de 20 millas.

La velocidad propia del avión es de 60 nudos. El viento es de 135° y 15 nudos.

Se desea encontrar rumbo de ida y de vuelta y tiempo en que se iniciará el regreso (fig. 8).

Evidentemente, a la hora en que el avión debe volver al portaviones (tres horas después de las nueve, o sea doce horas), éste se encontrará en el punto B. Trazaremos la recta AB, que dividiremos en tres partes iguales, con lo cual habremos representado el movimiento virtual del navío entre las posiciones que tiene a las nueve y a las doce horas.

Procedamos ahora como en los anteriores ejemplos. Tracemos el viento haciendo centro en C; con un radio igual a V_p, cortar a la dirección AD en el punto D. Unir el punto D con M y prolongar esta línea. Con el mismo centro e

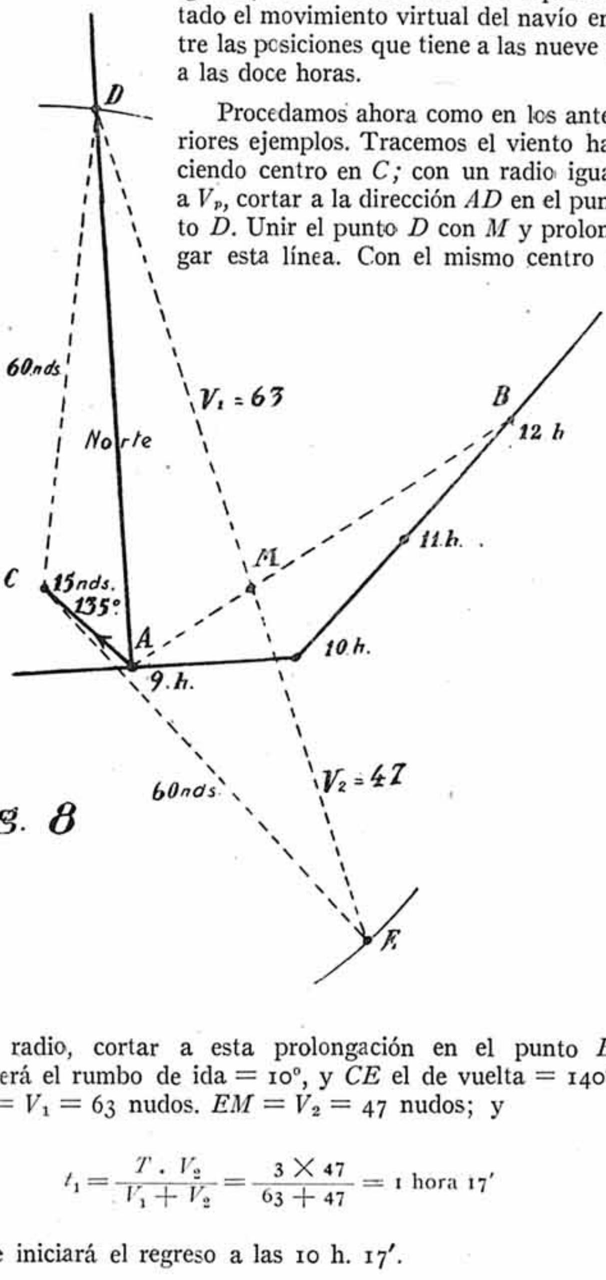

Fig. 8

igual radio, cortar a esta prolongación en el punto E. CD será el rumbo de ida = 10°, y CE el de vuelta = 140°. $DM = V_1 = 63$ nudos. $EM = V_2 = 47$ nudos; y

$$t_1 = \frac{T \cdot V_2}{V_1 + V_2} = \frac{3 \times 47}{63 + 47} = 1 \text{ hora } 17'$$

Se iniciará el regreso a las 10 h. 17'.

REGRESO A UN PORTAVIONES QUE NAVEGA EN ZIGZAG

Un avión (fig. 9) con $V_p = 60$ nudos parte de un portaaviones a las 9,15 horas con orden de explorar en dirección este y regresar a su base a las dos horas y media de vuelo.

El portaviones navega en zigzag a rumbos de 45° y 315°,

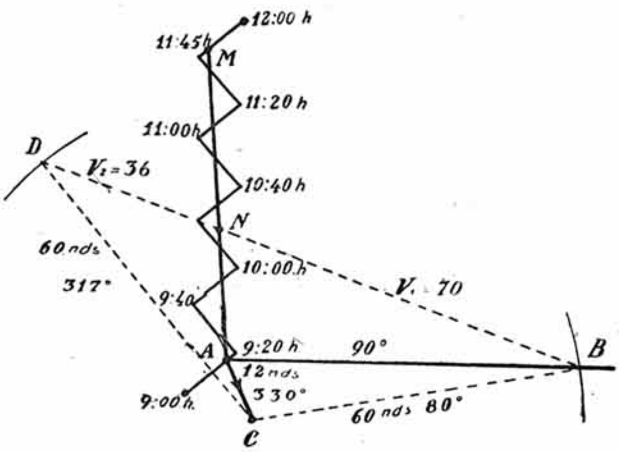

Fig. 9

cambiando de uno a otro rumbo cada veinte minutos. A las 9 horas ha puesto rumbo 45°. Su velocidad es de 30 nudos.

El viento es de 12 nudos y 330°.

Se desea obtener: rumbo de ida, de vuelta, y hora de iniciar el regreso.

Tracemos primero la ruta del portaviones desde las 9 hasta las 12 horas, señalando a continuación los puntos A y M, que son las posiciones del navío en el momento en que despega el avión, 9,15, y en el que hace el regreso (dos horas y media después), 12 horas.

Unir los puntos A y M y dividir la recta que los une en dos y media partes para representar la velocidad virtual que el navío llevaría de haber navegado en línea recta entre los puntos A y M, de partida y vuelta del avión, respectivamente.

Trazar desde A el viento, como se ha hecho en los ejemplos anteriores, y la dirección AB de 90° en que ha de hacerse la exploración. Con un radio igual a la V_p y centro en C, se traza el arco que corta a AB en el punto B; unir este punto con el N (posición virtual del navío al cabo de una hora) y prolongar esta línea para determinar el punto D de intersección con el mismo arco que hemos obtenido el punto B. CB será el rumb de ida, 80°, y CD el de vuelta, 317°.

$BN = V_1 = 70$ nudos; $DN = V_2 = 36$ nudos, y sustituyendo estos valores en la fórmula (2), tenemos:

$$t_1 = \frac{T \cdot V_2}{V_1 + V_2} = \frac{2{,}5 \times 36}{70 + 36} = 41 \text{ minutos.}$$

Expondremos otro problema del mismo tipo que el anterior, pero con algunas diferencias que justifican su planteamiento.

Se da orden a un avión de explorar un sector de forma rectangular partiendo de un portaviones y volviendo al mismo en un tiempo señalado.

El portaviones navega en dirección de uno de los lados del rectángulo, el cual él mismo explora, y los otros tres lados corresponden a la misión del avión.

El problema está, por consiguiente, en determinar cuánto ha de alejarse el avión perpendicularmente al navío para poder alcanzar su cubierta en el tiempo señalado (fig. 10).

Un portaviones va a rumbo norte (90°) y navega a 20 nudos. A las 14 horas un avión de $V_p = 60$ nudos sale para explorar un sector rectangular con dirección 90°, 0° y 270°, sucesivamente; debe llegar a cubierta a las 17 horas. El viento es de 40° y 15 nudos.

Se desea encontrar los rumbos que ha de tomar el avión para seguir las tres rutas ordenadas, hora en que se ha de iniciar la ruta 0°, ídem íd. la de 270°, y distancia en dirección este (90°).

Tracemos la derrota del navío AD, que también es la seguida por el avión. Las direcciones AB y AE son las rutas primera y tercera para el avión. Haciendo centro en el extremo del vector viento y con radio igual a V_p, se obtienen los puntos B, D y E y los tres rumbos sucesivos:

1.°, $CB = 80°$; 2.°, $CD = 10°$, y 3.°, $CE = 280°$.

Ahora bien: en tres horas el portaviones, que navega a 20 nudos, habrá recorrido 60 millas, y estará en M al recibir en cubierta al avión a su regreso, teniendo, por consiguiente, este último que cubrir esta misma distancia en la segunda dirección (norte).

El tiempo que empleará en este recorrido lo obtendremos dividiendo la distancia 60 nudos por la velocidad respecto al suelo, deducida en el vector $AD = 48$ nudos.

Se obtiene de este modo: $\frac{60}{48} = 1$ h. 15'.

Quiere esto decir que de las tres horas de exploración quedan solamente 1 h. 45' para las rutas este (90°) y oeste (270°), y ya estamos en el caso de encontrar el radio de acción en una dirección recta desde una base fija.

De la figura se obtienen $V_1 = 49$ nudos y $V_2 = 68$ nudos, que sustituídos en la fórmula (2), dan:

$$t_1 = \frac{T \cdot V_2}{V_1 + V_2} = \frac{1{,}75 \times 68}{49 + 68} = 1 \text{ hora } 1' = 61'$$

La hora de arrumbar al este será: 14 h. + 1 h. 1', igual 15 horas 1'.

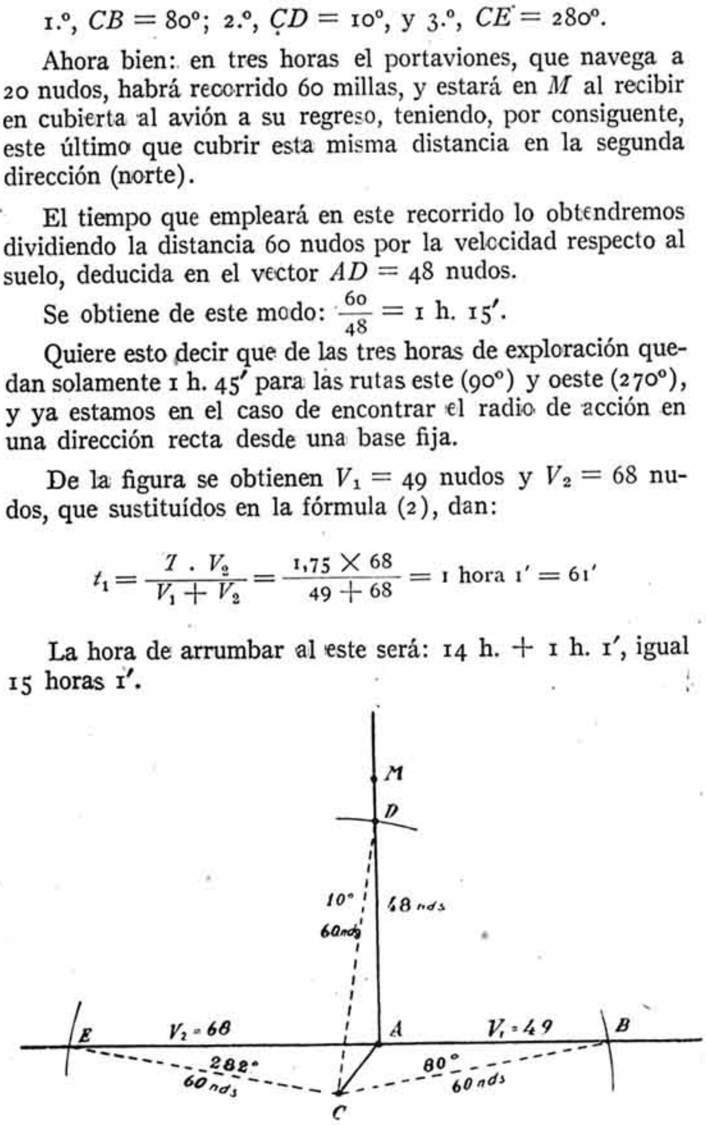

Fig. 10

La hora de arrumbar al oeste será: 15 h. 1' + 1 h. 15', igual 16 h. 16'.

La distancia recorrida hacia el este (90°) será:

$$t_1 \times V_1 = \frac{61}{60} \cdot 49 = 50 \text{ millas.}$$

EL PROBLEMA DE COLISION O ENCUENTRO DE AVION O BARCO POR AVION

Supongamos resuelto en la figura 11 el problema de encuentro entre los móviles *A* y *N*.

AE es el recorrido del primero en las tres horas que suponemos dura la intercepción.

NE es el recorrido del segundo en el mismo tiempo.

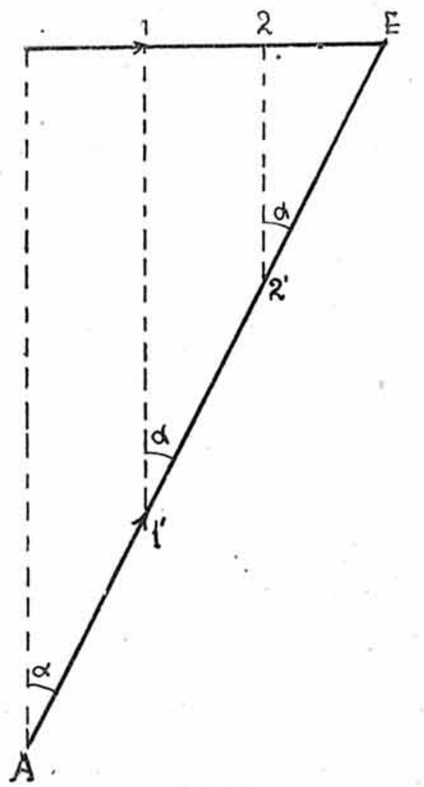

Fig. 11

Si dividimos ambas magnitudes en tres partes iguales, obtendremos los puntos 1 y 1'-2 y 2', que son las posiciones que ocupan ambos móviles a intervalos de una y dos horas, respectivamente; dichos puntos determinan rectas paralelas a la línea de posición relativa inicial *NA*, y la dirección que debe tomar el móvil interceptor es tal que conserve siempre un ángulo constante α con las posiciones que ocupa el segundo.

Este es el fundamento de la conducta a seguir en el caso de dos aviones que están a la vista y uno de ellos desea atacar al otro. En tal caso el piloto atacante tomará un rumbo de acercamiento y observará si la posición relativa del enemigo permanece constante, adelanta o atrasa con relación a nuestra proa. Si cambia la posición relativa entre ambos, el piloto debe variar su rumbo en la misma dirección del cambio hasta encontrarse aproado en dirección fija y correcta; de este modo se acercará tan rápidamente como es posible mientras no varíen las condiciones en que navega el otro avión. De variar éstas, deben proseguir los tanteos, con la única preocupación de conservar un ángulo constante de acercamiento.

Si un avión desea interceptar a otro móvil, sea aéreo o marítimo, es necesario:

1.º Determinar la posición relativa entre ambos móviles en el momento de dar comienzo a la misión de encuentro.

2.º Partiendo del rumbo y velocidad del móvil a interceptar, fijar su posición después de un intervalo definido de tiempo, y reproducir en ese momento la posición relativa de ambos que existía en el momento de comenzar la misión de intercepción.

Se reduce así el problema a tomar un rumbo para el avión interceptor de manera que esté sobre esta segunda línea de situación relativa al terminar el tiempo intervalo antes mencionado.

Podemos añadir que cuando la intercepción se hace con respecto a otro avión, como el viento afecta a ambos de manera idéntica, no es preciso tomarlo en consideración para resolver el problema de hallar el rumbo de encuentro (esta suposición puede no ser exacta si los dos aviones vuelan a diferente altura). En el caso que se desee encontrar el punto de colisión, es decir, su localización geográfica, habrá que tomar a sotavento del punto encontrado una longitud igual al producto de la intensidad del viento por el tiempo que ha durado la intercepción.

Como el viento no afecta a los buques de superficie del mismo modo que a las aeronaves, tendremos que tomarlo en consideración cuando en el problema se combinen aviones y navíos.

La figura 12 muestra el caso de un avión que parte del punto *A* para interceptar un portaviones, que en el momento de partida tiene la situación *M* y sigue la derrota *MP* a una velocidad igual a *MN* nudos.

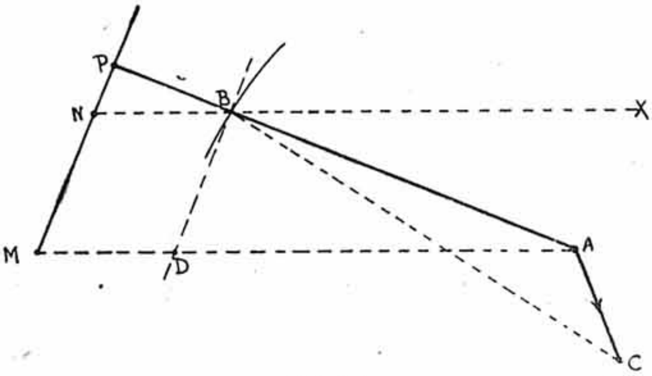

Fig. 12

AM representa la línea de situación relativa (avión-portaviones) en el momento de iniciar la intercepción. Una hora después esa línea de situación relativa estará en *NX*. Es necesario, por consiguiente, que el avión tome un rumbo tal que pueda encontrarse en la línea *XN* al cabo de una hora. Si el viento se representa por *AC* y la velocidad con respecto al aire es (V_p), el rumbo de encuentro *CB* se determina por un arco de círculo de radio V_p que corte a la línea *NX* para obtener el punto *B*. El avión sigue la ruta *ABP* y encuentra al portaviones en el punto *P*. El momento de encuentro se puede determinar de dos modos: deduciendo a qué hora llegará el portaviones al punto *P* a una velocidad de *MN* nudos, o bien la hora a que el avión llegará al mismo punto a una velocidad de AB nudos.

Puede verse en la figura 12 que en el momento de iniciar la intercepción los dos móviles están separados por la distancia AM. Al cabo de una hora la distancia que los separa ha sido reducida en la magnitud AD; a esta magnitud se le llama, por consiguiente, velocidad de aproximación, y en función de ella puede también obtenerse el momento de encuentro.

Un navío parte de A a las ocho horas a un rumbo de 165° y con velocidad de 15 nudos. A las diez horas un avión parte de la posición B, situada con respecto a A, 100 millas al Este, con misión de interceptar el navío. La velocidad con respecto al aire del avión es $V_p = 60$ nudos. El viento sopla de 305° y tiene 28 nudos. Se desea encontrar rumbo y ruta del avión para la intercepción, velocidad de aproximación y hora en que se ha de verificar el encuentro (fig. 13).

Dibujemos la derrota del navío marcando sus posiciones a las ocho, diez y once horas. Tracemos BM, que une las dos posiciones de navío y avión a las diez horas. Esta será la posición inicial relativa de intercepción. Trazaremos NX paralela a BM. Después de construir el vector viento, haciendo centro en su extremo C, y con radio igual V_p, trazamos un arco que corta a la línea NX en el punto D. Unimos el punto B con el D y prolongamos esta línea hasta determinar el punto P, lugar de encuentro. BD es la ruta de intercepción, 234°, y CD es el rumbo correspondiente, 259°.

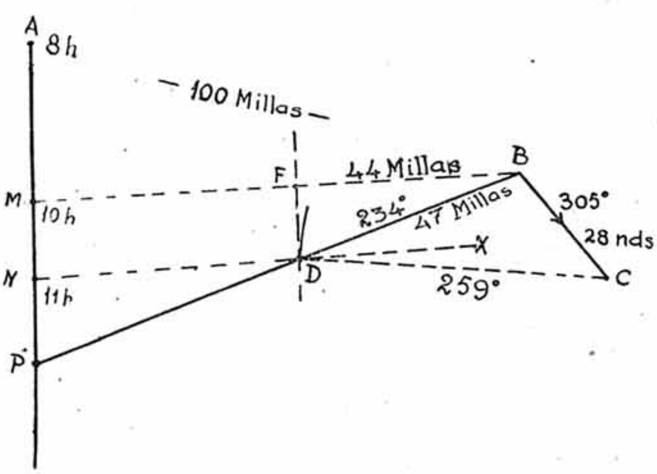

Fig. 13

Como en el ejemplo precedente, la hora de encuentro se puede obtener por uno de los tres procedimientos mencionados. Trazando DF paralela a AP, la velocidad de aproximación, FB, es en este caso igual a 44 nudos. Obsérvese que es precisamente la distancia MB, que separa a los dos móviles a las diez horas, la que debe emplearse como punto de partida para determinar la hora de encuentro y no la distancia AB.

$$\frac{MP}{MN} = \frac{BP}{BP} = \frac{BM}{BF} = 2{,}2 \text{ horas, luego el encuentro se}$$

verificará a las doce horas doce minutos.

Vamos a exponer ahora el caso de que un avión trate de interceptar un navío que cambie de rumbo durante la ejecución de su misión.

Un buque parte de A a las nueve horas a un rumbo de 140° y con velocidad de 20 nudos. A las 11,30 horas arrumba a 195°. Un avión parte de B, 100 millas al oeste de A, a las diez horas, para interceptar al navío, sabiendo que éste ha de cambiar de rumbo, como se acaba de indicar.

Velocidad propia del avión, 60 nudos.

El viento sopla de 225° y tiene una fuerza de 15 nudos.

Se desea encontrar el rumbo y ruta de intercepción para el avión y tiempo en que se ha de operar el encuentro (figura 14).

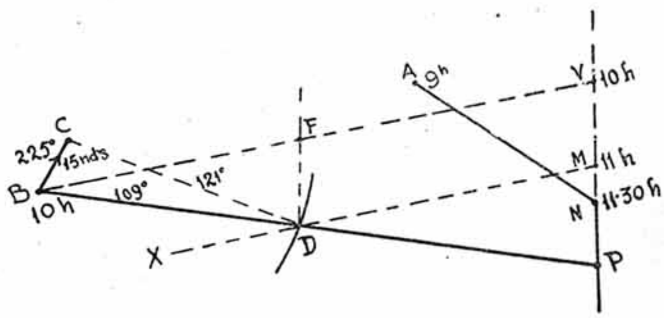

Fig. 14

De los datos del problema se deduce fácilmente que el avión no encontrará al navío hasta después del cambio de rumbo de este último, a las 11,30 horas. Por consiguiente, para obtener la posición relativa inicial en la cual se basa la intercepción, será necesario prolongar la línea que determina la derrota del navío en el momento del encuentro, para determinar su situación en el caso de haber navegado a este rumbo desde el momento en que el avión comienza la intercepción. En su consecuencia prolongaremos PN para determinar la posición virtual del navío a las diez y once horas. Trazaremos BV, que representa la posición inicial relativa al comienzo de la intercepción (diez horas). Por el punto M (posición a las once horas) se traza MX paralela a BV. Representado el vector viento, BC, se hace centro en C, y con un radio igual a V_p se traza un arco que corte a MX en el punto D. Trazaremos después BD y CD. BD es la ruta a seguir en la intercepción, de 109°. CD es el rumbo correspondiente de 121°. BF, 63 nudos, es la velocidad de aproximación, y BV, 138 millas, es la distancia total de aproximación. De aquí se deduce que el tiempo necesario para la colisión o encuentro es $\frac{138}{63} = 2$ horas 12 minutos.

Puede aplicarse el mismo razonamiento al caso en que se trate de interceptar un navío que navega en zig-zag.

Un buque parte de A a las nueve horas, navegando en zig-zag a dos rumbos de 160° y 200° y efectuando cambios de rumbo cada media hora. Su rumbo inicial es de 160° y su velocidad 32 nudos.

Un avión parte de B, 80 millas al este de A, a las diez horas, en misión de intercepción del navío. $V_p = 70$ nudos. El viento es de 350° y 15 nudos. Se desea encontrar rumbo y ruta para el avión y momento de encuentro (fig. 15).

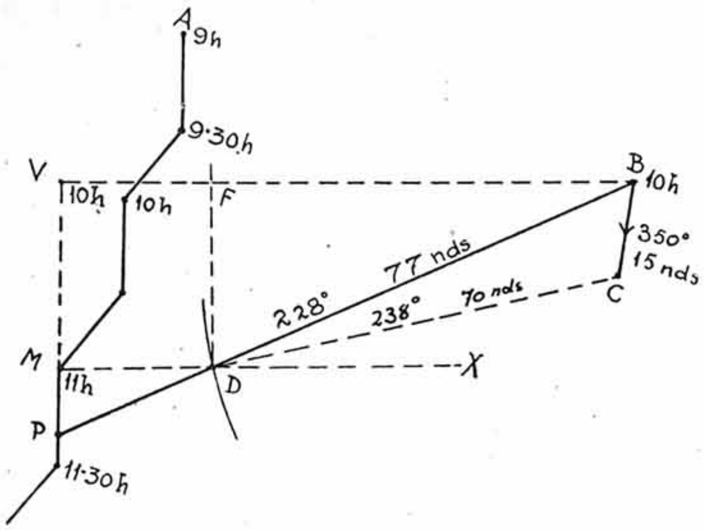

Fig. 15

Se presenta en este problema el caso de estimar el tiempo aproximado en que se verificará el encuentro, para venir en conocimiento del rumbo que seguirá el navío en ese momento. Tracemos primero la derrota del buque y marquemos situaciones del mismo a las diferentes horas de cambio de rumbo. Se aprecia en la figura que el viento aumentará aproximadamente cinco nudos la velocidad propia del avión en la dirección general aproximada en que ha de volar. Esto hará que adquiera una velocidad, con respecto al suelo, del orden de 75 nudos. Fijémonos ahora en la distancia al punto *B*, desde la que ocupará el navío a las once horas; resultan separados aproximadamente 100 millas a las once horas y 150 millas a las 11,30. Como el avión parte de *B* a las diez horas, con $V_s = 75$ nudos, es evidente que tomará contacto con el navío en un tiempo aproximado a $\frac{100}{75} = 1$ hora y 20 minutos, o lo que es lo mismo, a las 11,30 horas. Por consiguiente, el encuentro se verificará en el rumbo de 160° entre 11 y 11,30. Habrá, pues, que prolongar esta dirección hasta el punto *V* para tener la posición virtual a las diez horas, y proceder entonces de la misma manera que en los ejemplos precedentes. Obtenemos así una ruta de 228°, un rumbo correspondiente de 238° y un tiempo para verificar el encuentro de $\frac{97}{71} = 1$ hora y 22 minutos. A las 11 horas 22′ se realizará el encuentro.