Los métodos modernos de navegación astronómica

Por el Teniente coronel ORDUNA

Un procedimiento concebido hace algún tiempo (año 14) para situarse astronómicamente se "pone a punto" estos últimos años, y los elementos que requiere forman parte actualmente del equipo de los grandes aviones de bombardeo pesado, que por sus especiales características y sus modalidades tácticas de empleo implican largos vuelos nocturnos.

Contribuye a valorizar el método, tanto la sencillez y rapidez de su práctica como la simplicidad y facilidad de su dominio, condición esta a que debe dedicarse atención por parte del Mando en su función organizadora y previsora, dado que hoy una Aviación que se emplee a fondo ofensivamente sufre tremendo desgaste en sus tripulaciones especializadas, que es preciso reponer constantemente si se quiere mantener un ritmo.

Se emplean actual e indistintamente dos variantes del método que tratamos de describir, que son: Las Curvas de Altura de Estrellas o "Método de Weems" y el Astrógrafo, cuyos fundamentos son idénticos.

La diferencia entre ambos consiste en la disposición práctica adoptada. Para el método de Weems, las Curvas de Estrellas forman las diferentes hojas de un libro que, como banda de latitud de 10 en 10 grados, tiene un desarrollo longitudinal de 360° ó veinticuatro horas de tiempo sidéreo. En el Astrógrafo las mismas curvas forman un juego de carretes de película que se proyectan en la Carta de Navegación colocada sobre la mesa del observador, y de aquí una pequeña ventaja a favor de este último método, dado que el punto buscado que se obtiene directamente sobre la Carta, tiene, en cambio, inconvenientes derivados de su instalación y ajuste al Tiempo de Astrógrafo en la escala longitudinal.

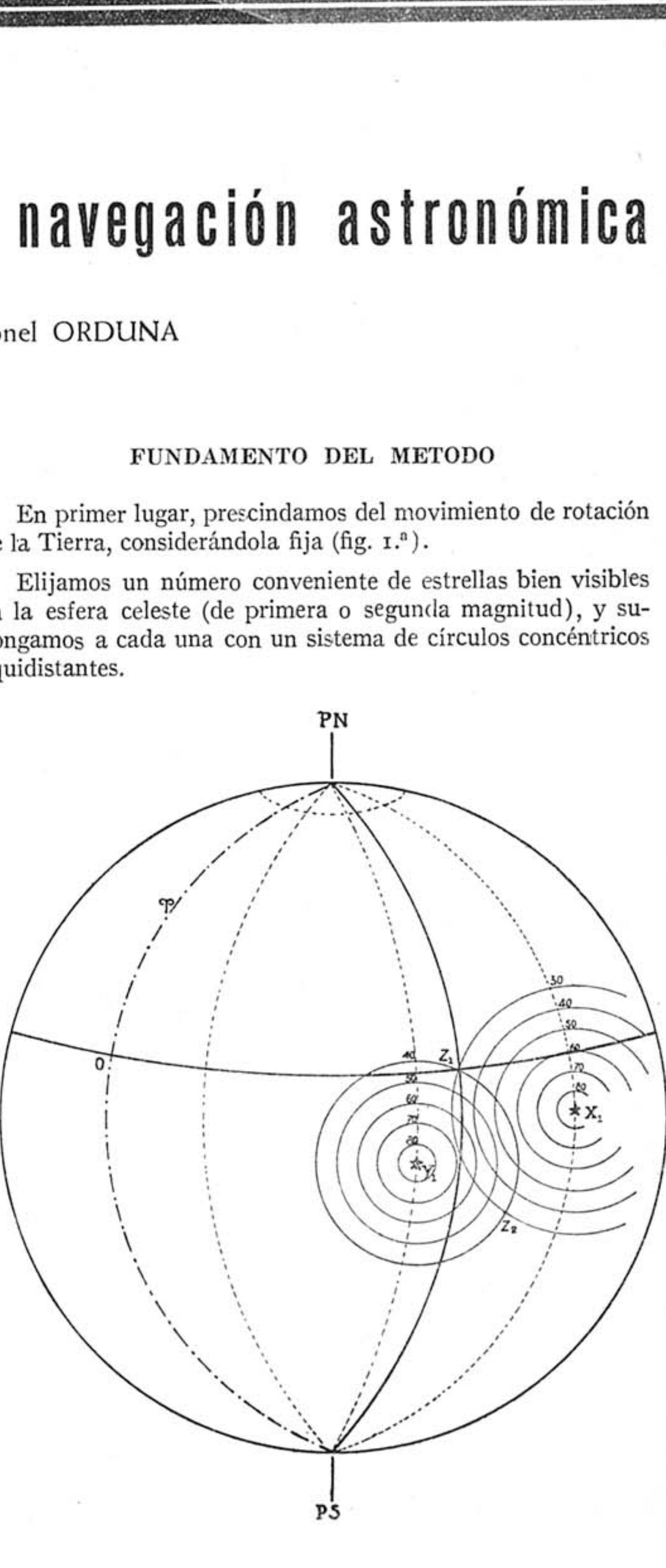
Las explicaciones que a continuación exponemos se refieren particularmente al "Método de Weems".

Figura 1.

FUNDAMENTO DEL METODO

En primer lugar, prescindamos del movimiento de rotación de la Tierra, considerándola fija (fig. 1.ª).

Elijamos un número conveniente de estrellas bien visibles en la esfera celeste (de primera o segunda magnitud), y supongamos a cada una con un sistema de círculos concéntricos equidistantes.



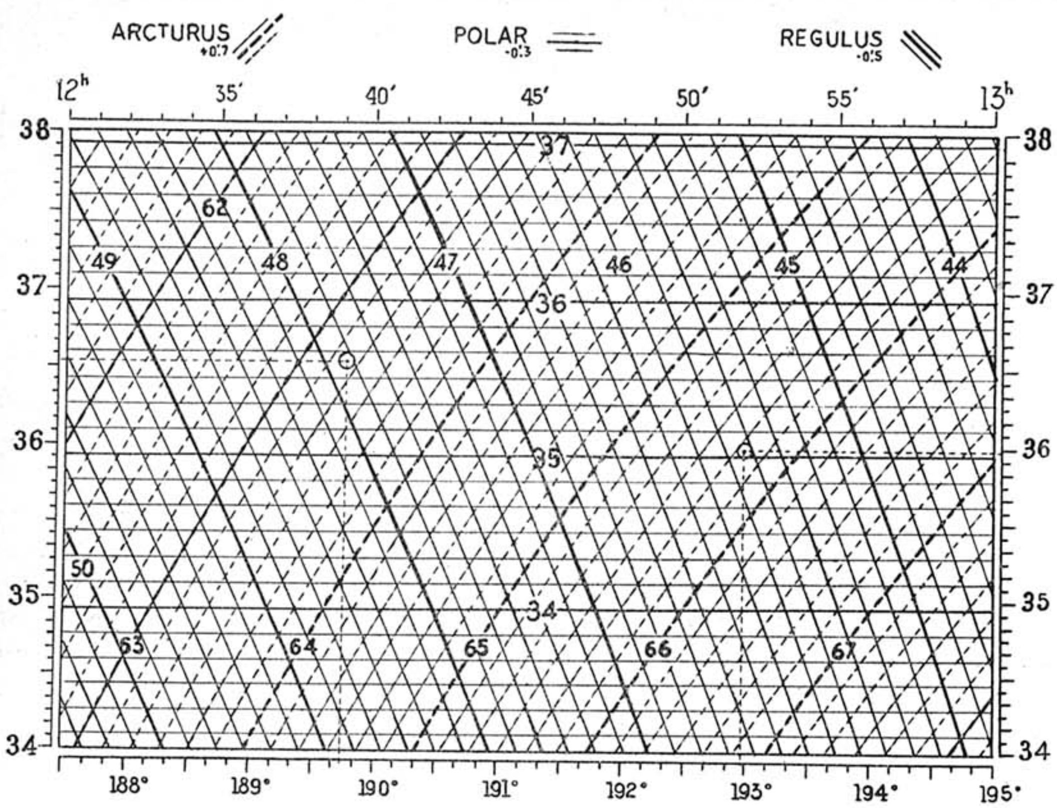


Gráfico n.° 1

Imaginemos que todo el conjunto se proyecta sobre la esfera terrestre, proporcionándonos un medio de definir cualquier punto sobre ella, haciendo referencia a las estrellas a que pertenecen los dos círculos, cuya intersección lo determinan.

Aunque dos círculos proporcionan siempre dos puntos de cruce, cuanto más normal sea éste más distantes estarán entre sí los puntos que determinan, y por consiguiente quedará satisfactoriamente resuelta la duda que pudiera caber sobre cuál de ellos es el buscado.

Estos círculos equidistantes y concéntricos en el polo del astro expresan distancias cenitales, que, como sabemos, son complementarias de las alturas medidas con el sextante (D. Z. = 90° — Alt.), y los numeraremos con arreglo a las alturas respectivas. Vemos en la figura 1.ª que el punto Z_1 está definido por el cruce de los círculos de altura 30 y 40° con que se observan las estrellas X e Y. Las distancias respectivas del punto Z_1 a los polos de las estrellas consideradas serán $Z_1 X_1 = 90° - 30° = 60°$, y $Z_1 Y_1 = 90° - 40° = 50°$, o lo que es lo mismo, 3.600 y 3.000 millas, respectivamente. La separación entre los dos puntos de cruce de los círculos considerados $Z_1 Z_2$ es del orden de 3.500 millas, que como vemos descarta toda antigüedad.

Veamos ahora qué ocurre con los movimientos de la Tierra (figs. 1.ª y 2.ª).

Podemos admitir que el movimiento de rotación de la Tierra es uniforme y que las estrellas permanecen en posición fija en la esfera celeste.

Se deduce de ello que, sobre la Tierra, todo punto definido por el cruce de dos círculos de altura conserva siempre la misma latitud. Y en cuanto a la longitud geográfica, variará uniformemente con el tiempo sidéreo.

Sabemos que el día sidéreo comienza, para un lugar determinado, en el instante en que el punto vernal (♈) pasa por el meridiano superior, y que el tiempo sidéreo, en cualquier momento y lugar, es el ángulo horario del punto vernal (H. L. ♈), equivaliendo 15° de arco a una hora de tiempo.

Un punto cualquiera en el globo terrestre Z_1 tendrá su cruce de círculos que lo definan, y respecto a cuyo meridiano corresponderá un horario local (H. L. ♈) determinado en el instante que se considera. Hemos dicho que el punto Z_1 es proyección de otro de la esfera celeste, sobre la cual este último se mantiene a una distancia fija del meridiano origen (♈) de toda esta representación imaginada. Resulta, pues, que para el punto Z_1 de la esfera terrestre y sus homólogos de la celeste, se verifica que

$$OZ_1 = \text{H. L. } \Upsilon$$

Si en el momento de la observación de las alturas de dos estrellas convenientes (que dan el cruce de círculos) registramos la indicación de nuestro cronómetro siderógrafo (H. G. ♈), horario en Greenwich del punto vernal, podemos obtener la longitud geográfica por la siguiente fórmula (fig. 2.ª):

$$\text{H. L. } \Upsilon - \text{H. G. } \Upsilon = \begin{matrix} +\text{long E.} \\ -\text{long W.} \end{matrix}$$

Queda, por último, obtener una representación plana del Globo considerado mediante una proyección de Mercator que contenga los sistemas de curvas convenientes y con las siguientes escalas:

Una vertical de latitudes graduada en arco.

Otra horizontal de H. L. ♈ graduada en arco o en tiempo sidéreo.

DESCRIPCION DEL GRAFICO DE CURVAS DE ALTURA DE ESTRELLAS

El gráfico contiene las curvas correspondientes a las distintas alturas de tres estrellas, una de las cuales es la Polar. Las curvas de trazo grueso corresponden a un número entero de grados, y entre ellas hay otras de trazo fino, diferenciadas en 10′ (distanciadas 10 millas).

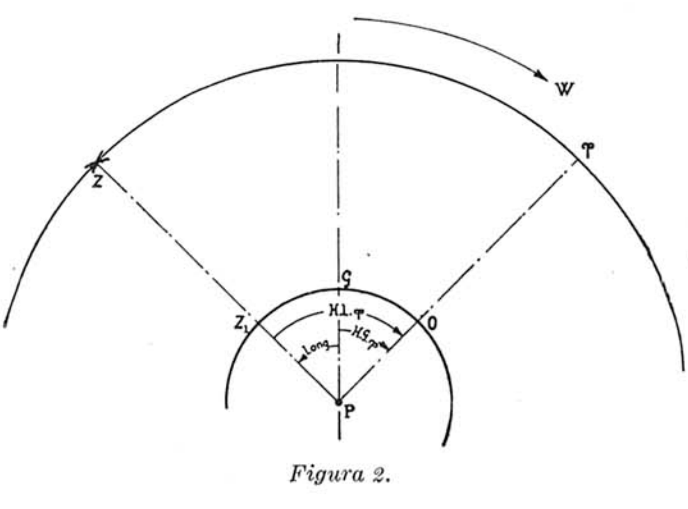


Figura 2.

La escala de latitudes (vertical) tiene subdivisiones de hasta 5′.

La escala de horario sidéreo local (H. L. ♈), que se extiende horizontalmente, tiene una graduación en tiempo sidéreo (horas y minutos) en la parte superior, y otra, en grados y fracciones de 10′, en la parte inferior.

En la parte superior del gráfico aparecen los nombres de las estrellas a que se refieren las curvas, con la dirección general que siguen y un color distinto para cada una de ellas. Bajo los nombres aparecen unas fracciones de minuto con un signo, que representan la corrección a introducir en la lectura del sextante cuando operemos en un año posterior a aquel para el que han sido calculadas las curvas. Si se opera un año antes, habrá que cambiar de signo a la corrección, y si son varios los años de diferencia, habrá que multiplicar el número que exprese esta diferencia por la corrección anual.

Al calcular y dibujar las curvas se ha tomado en consideración la corrección por refracción que normalmente hay que introducir en la lectura hecha con el sextante; de este modo quedan sólo las correcciones instrumental y personal que aplicar a la lectura hecha, y que deben conocerse englobadas por cada operador y para el sextante que emplee.

Mediante las curvas de alturas puede obtenerse el punto con dos o tres estrellas sin necesidad de conocer la ascensión recta, declinación, ángulo horario, ni posición estimada, almanaque ni tablas.

INSTRUCCIONES SOBRE LA MANERA DE OPERAR

1.° Combinando una longitud aproximada con el horario en Greenwich del punto vernal (♈), como expresa esta fórmula,

$$\text{H. G. } \Upsilon \begin{matrix} +\text{long E.} \\ -\text{long W.} \end{matrix} = \text{H. L. } \Upsilon,$$

obtenemos un horario local sidéreo (H. L. ♈) aproximado en arco, mediante el cual venimos en conocimiento de cuáles son las estrellas que debemos observar, precisamente aquellas que están calculadas (que varían, naturalmente, con el instante y lugar para lograr que sean fácilmente observables y de intersecciones aproximadas a la normal).

El horario en Greenwich del punto vernal (H. G. ♈), de que hemos hablado, lo obtenemos con nuestro cronómetro siderógrafo que indique valores en arco; pero si sólo disponemos de un cronómetro normal, lo tendremos ajustado a (T. u.), y por medio del almanaque deducimos el H. G. ♈ correspondiente.

2.° Observar la altura de una estrella, anotando el H. G. ♈ (T. S.) correspondiente; inmediatamente hacer lo mismo con la otra estrella, y con las lecturas del sextante corregidas buscar la intersección de las curvas correspondientes.

3.° Proyectar la intersección obtenida horizontalmente para obtener la latitud.

4.° Proyectar la intersección verticalmente para obtener un valor en arco o en tiempo del H. L. ♈ que, combinado con el H. G. ♈ en arco o en tiempo, según la fórmula

$$\text{H. L. } \Upsilon - \text{H. G. } \Upsilon = \begin{matrix} +\text{long E.} \\ -\text{long W.,} \end{matrix}$$

nos da la longitud en una u otra unidad.

5.° Si la Polar es fácilmente observable, es lo más conveniente combinarla con una de las otras dos estrellas calculadas, por dos razones: la primera es que inmediatamente que conozcamos su altura tenemos una aproximación de la latitud, donde debemos buscar el cruce de las curvas de altura, y la segunda, es que no hace falta tomarle el instante de observación, pues su altura varía muy lentamente.

De no ser la Polar una de las estrellas observadas, es preciso introducir dos correcciones: una se refiere al *tiempo* transcurrido entre las dos observaciones, y la otra, al *recorrido* del avión en el mismo intervalo.

Para hacer la corrección correspondiente al intervalo de tiempo transcurrido entre dos observaciones, debemos trasladar la curva de altura de una de las estrellas hacia la derecha o izquierda, según queramos corregir respecto a la primera o a la segunda estrella observada. La magnitud de este desplazamiento horizontal será el tiempo intervalo medido en la escala de tiempo sidéreo.

Este intervalo, si no se dispone de siderógrafo, puede tomarse en tiempo medio, ya que por el reducido valor que tendrá no merece la pena convertirlo en tiempo sidéreo, pues el error será despreciable.

Para hacer la corrección correspondiente al recorrido del avión en el citado intervalo, tomaremos en la dirección de su ruta o en la opuesta 180° (según nos refiramos a un tiempo posterior o anterior), la magnitud correspondiente en la escala de latitudes, como se procede ordinariamente en las proyecciones de Mercator.

Aunque de ordinario se emplean solamente dos estrellas para determinar *el punto*, se puede también utilizar las tres calculadas, y en este caso raramente se obtendrá un punto, sino un triángulo de intersecciones, cuya magnitud será un índice de la precisión con que se han tomado las alturas. Como punto más probable puede elegirse en este caso el centro del referido triángulo.

Es muy conveniente que algún hombre de la tripulación normal de un gran avión esté instruído y práctico en tomar alturas con el sextante, y lo haga simultáneamente con el navegador sobre la estrella que éste le designe; de este modo se obtiene el punto rapidísimamente al no ser necesarias las correcciones.

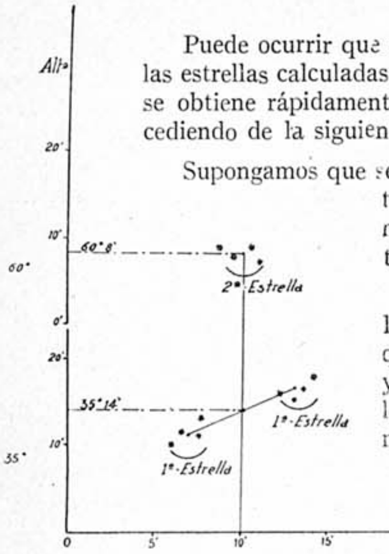
Para evitar el transporte de curvas en tiempo y recorrido puede procederse en la siguiente forma, siempre que las alturas se obtengan sucesivamente en un corto intervalo de tiempo.

Se hace una serie de observaciones con la primera estrella, se continúa con otra serie para la segunda, y se vuelve a obtener otra de la primera.

En papel cuadriculado se sitúa cada serie por coordenadas, referidas a un eje horizontal común de tiempos y a otro vertical (con distintas escalas si es preciso) de alturas. Las medias (obtenidas a ojo) de las series correspondientes a la primera estrella se unen, para obtener, por intersección con el tiempo medio de la serie segunda estrella, la altura que corresponde al tiempo común.

De este modo vemos en la figura 3.ª que 10′ es el tiempo medio de la segunda estrella, y al tomarlo como tiempo para la primera se deduce para ésta una altura de 34° 14′.

Si el sextante con que se opera es promediador, no habrá que situar en el gráfico más que tres puntos y proceder con ellos como medias que son de las tres series de alturas.



Puede ocurrir que sólo sea observable una de las estrellas calculadas en el gráfico. En este caso se obtiene rápidamente una recta de altura procediendo de la siguiente manera:

Supongamos que se nos ofrece visible una estrella solamente y obtenemos con el sextante una altura de 27°.

Damos dos valores a la longitud (H. L. ♈) para que comprendan (una al E. y otra al W.) nuestra longitud probable o estimada.

Figura 3.

Con ellas se determinan las latitudes correspondientes a la curva de 27°, obtenida como indica la figura 4.ª

Ya no hay más que llevar sobre la carta los dos puntos, definidos por las longitudes supuestas y las latitudes obtenidas, que unidos darán la recta de altura.

Vamos a concretar las anteriores explicaciones resolviendo varios ejemplos.

Primer ejemplo (gráfico 1.°):

El 15 de mayo de 1944 tratamos de determinar nuestra situación aproximadamente a los 196° de tiempo sidéreo. Disponemos de *dos* sextantes ajustados y de siderógrafo, que nos da en arco el H. G. ♈. Suponemos que encontrándonos entre 30° y 40° de latitud N., tenemos 5° W. de longitud.

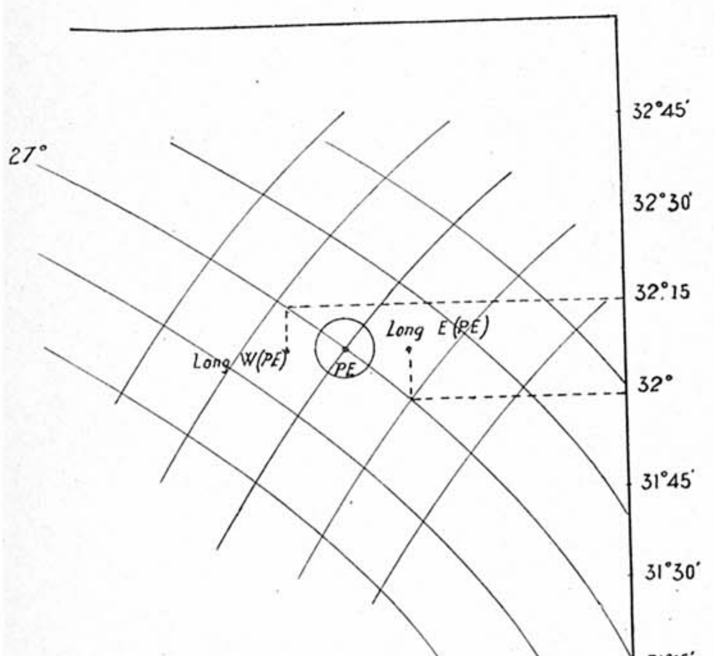


Figura 4.

Deducimos las estrellas que debemos observar combinando el H. G. ♈ y el valor probable de nuestra longitud:

H. G. ♈	=	196°
Long W.	—	5°
H. L. ♈	=	191°

De este valor obtenemos la página en que debemos operar y las estrellas que hay que observar. En este caso son Arturus y Régulus.

Se preparan los operadores con los sextantes, y simultáneamente, a los 195° 59′ de tiempo sidéreo (H. G. ♈), se toman las dos alturas:

Arturus	65° 42′
Régulus	46° 17′

Se sitúa el punto en el gráfico por intersección de las curvas correspondientes.

Proyectado horizontalmente, obtenemos la *latitud 35° 58′*.

Proyectado verticalmente, en la escala inferior vemos el H. L. ♈ = 192° 57′, que combinado con el H. G. ♈ = 195° 59′, como expresa la operación, nos da la longitud:

H. L. ♈	192° 57′
H. G. ♈	195° 59′
Long W.	3° 2′

Llevado el punto a la carta, resulta ser la isla de Alborán.

Segundo ejemplo (gráfico 1.°):

El 17 de mayo de 1944 volamos a 90° de rumbo geográfico llevando una mala estima, pero que nos permite suponer una longitud de 0° y una latitud entre 30° y 40° N. Disponemos de un sextante y siderógrafo y queremos obtener nuestra posición a los 194° 10′ de tiempo sidéreo.

Como la longitud es 0°, el H. L. ♈ será igual al H. G. ♈, o sea 194° 10′. Deducimos la página y las estrellas; son éstas Arturus, Régulus y la Polar, que resulta estar bien visible.

Tomamos la altura de Régulus a los 194° 11′ de tiempo sidéreo, y resulta 48° 9′. La de la Polar, tres minutos después, es 35° 37′.

Refiriendo la observación de la Polar al instante en que hemos hecho la de Régulus, no será preciso hacer la corrección por intervalo (tres minutos) para la Polar, y tampoco la correspondiente al recorrido en ese tiempo, por navegar al E.

Buscaremos, pues, la intersección de las dos curvas correspondientes a las alturas obtenidas, refiriéndolas al instante en que se ha hecho la de Régulus.

Proyectado el punto de intersección horizontalmente, se obtiene la *latitud 36° 33′*.

Verticalmente, en la escala inferior se encuentra el H. L. ♈ 189° 43′:

H. L. ♈	189° 43′
— H. G. ♈	194° 11′
Long W.	4° 28′

Llevado el punto sobre la carta, nos dice que estamos sobre el aerodromo de Málaga.

Tercer ejemplo (gráfico 2.º y formulario):

El día 3 de octubre de 1948 queremos obtener nuestra situación a las 1 h. 10′ (T. u.). Nos suponemos entre 40° y 50° N. y entre 20° y 26° W. Volamos en ruta de 120° y a 200 millas.

Disponemos de un sextante al que hay que corregir —2 minutos y de cronómetro ajustado a (T. u.).

Para ordenar los datos del problema y recordar fácilmente los elementos que deben intervenir en el mismo, utilizaremos un sencillo formulario, que aparece rellenado para este caso concreto.

Fecha... { 3 / 10 / 48   Hora... { T. u... 1 h. 10′ / T. S... 29° 7′

P. E.... { Longitud. 20°-26° W. / Latitud.. 40°-45° N.   Ruta...... 120° / Velocidad. 200 millas.

H. G. ♈............ 29° 7′
Longitud.... { E. + / W. — } — 23
H. L. ♈............. = 6° 7′

	T. u.	H. G. ♈	Alt. Obs.	Alt. Correc.
Vega 1.ª *.....	1 h. 10′	»	29° 15′	29° 12′
Capella 2.ª *...	1 h. 13′	26° 21′	39°	39° —
Polar.........	1 h. 16′	»	44° 8′	44° 7′

Variación.... { Tiempo + 3′ Vega / Espacio + 10 » — 10 Polar

H. L. ♈............. 3° 50′
H. G. ♈............. 26° 21′
Longitud.... { + E. / — W. } 22° 31′ W.
Latitud.............. 43° 17′ N.

A 1 h. 10′ (T. u.) corresponde un H. G. ♈ = 29° 7′, deducido del almanaque, y restándole la longitud media supuesta (23°), tenemos el H. L. ♈ = 6° 7′, aproximado.

Las estrellas a observar son Vega, Capella y Polar, a las que tomaremos sus alturas por este orden, haciendo las correcciones a que haya lugar, referidas precisamente al instante en que obtengamos la de Capella.

A las lecturas hechas el año 48 (tres años después de la fecha en que fueron calculadas las curvas) se aplicarán con su signo las siguientes correcciones:

1.ª .... (— 0,4) 3 = — 1,2.
2.ª .... (+ 0,7) 3 = + 2,1.
Polar .... (+ 0,3) 3 = + 0,9.

A las 1 h. 10′ (T. u.) se toma altura 1.ª = 29° 15′
A las 1 h. 13′ (T. u.) " " 2.ª = 39°
A las 1 h. 16′ (T. u.) " " Polar. = 44° 8′.

Corrección para 1.ª......... — 1′2 y — 2′ da 29° 12′.
Idem para 2.ª................ + 2′1 y — 2′ da 39°.
Idem para Polar............ + 0′9 y — 2′ da 44° 7′.

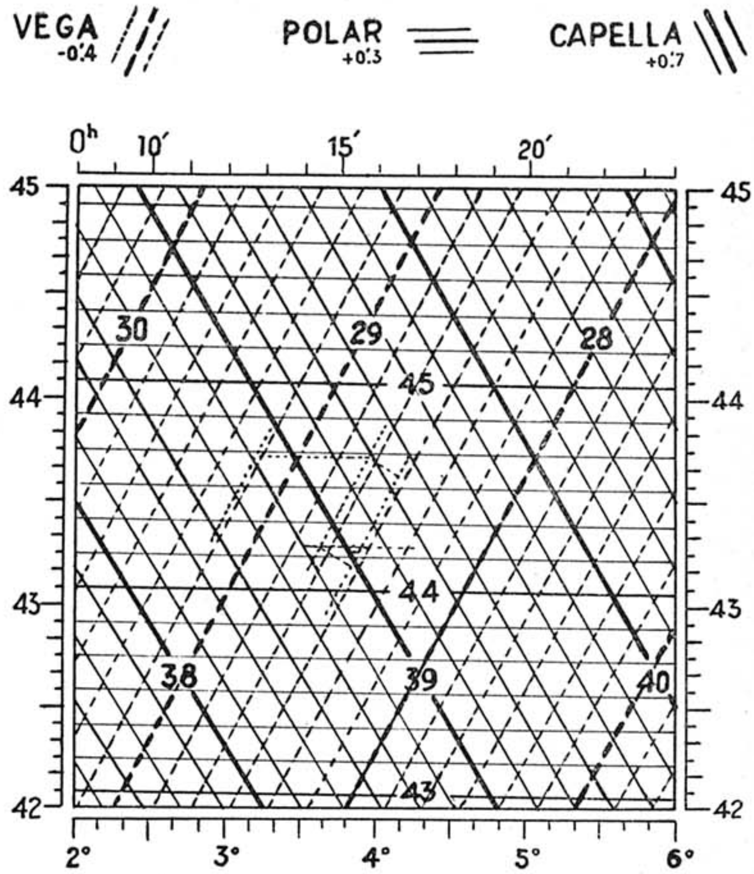


Gráfico nº 2

Habrá que corregir tres minutos en tiempo (medidos en la escala superior) la curva de Vega, llevándola hacia la derecha horizontalmente, y después corregir el recorrido del avión (a 200 millas hora) en esos tres minutos (10 millas) sobre el ángulo de nuestra ruta 120°.

Ya tenemos transportada la curva de Vega al instante en que hemos tomado la altura de Capella (tres minutos después). Nos queda por hacer la corrección de la curva Polar para tres minutos antes, que es cuando se obtuvo la altura de Capella.

Podemos despreciar la corrección en tiempo, por conservar las curvas de la Polar sensiblemente la dirección horizontal. Pero debemos introducir la de recorrido, que será, como antes, de 10 millas, sólo que tomadas con un ángulo opuesto 180° al de ruta, por referirnos a tres minutos antes.

Resultan después de estas correcciones: Vega, con 28° 33′, y Polar, con 44° 13′.

Elegido como punto de intersección el centro del pequeño triángulo obtenido, y proyectado horizontal y verticalmente, deducimos la *latitud 43° 17′ N.* y el H. L. ♈ = 3° 50′, que, combinado con el H. G. ♈ = 26° 21′ correspondiente a Capella, nos da la longitud = 22° 31′ W.