

APLICACIÓN DE LA ASTRONOMÍA A LA NAVEGACIÓN AÉREA

Por el Capitán U. KINDELÁN, Ingeniero aeronáutico.

Aunque en la actualidad de la navegación aérea puede pensarse que la navegación radiogoniométrica ha desplazado a los otros métodos de orientación por la mayor sencillez, casi mecánica de su empleo, es indudable que no podrá considerarse buen navegante aéreo quien no conozca otros medios de determinar su situación que los proporcionados por la "radio", ya que a veces se tropieza con imposibilidad material de emplearla debido a averías, falta de atención del suelo, conveniencias de no descubrir nuestra propia situación, etc.

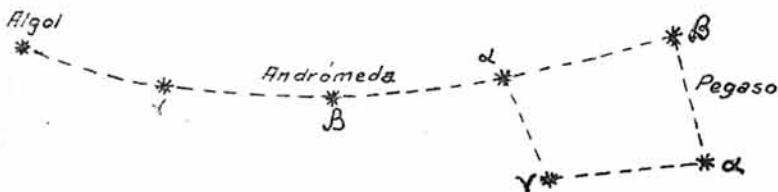
Suficientemente vulgarizados los procedimientos de navegación a la estima, vamos a estudiar un método de navegación astronómica que reúne a su sencillez de empleo (ya que no hace necesario poseer una gran base matemática) una exactitud de resultados lo suficientemente notables para que su ayuda nos sea de una gran utilidad práctica.

A continuación damos una breve reseña explicativa de los conocimientos *necesarios*, pero *también suficientes*, para poder aplicar el referido método, llamado de Weems, ya que fué el Capitán de Aviación americana del mismo nombre el que al final de la pasada guerra comenzó a preconizar su empleo, hoy de uso corriente en las Aviaciones del Imperio inglés y Norteamérica.

Como ya hemos apuntado, con el método Weems no se persigue una rigurosa exactitud de resultados, sino unos resultados lo suficientemente prácticos para permitirnos su empleo. Asimismo en su exposición se huye de un exagerado "rigorismo científico", buscando únicamente una mayor comprensión en los futuros utilitarios.

Conocimientos previos.—Para la aplicación del método será necesario poseer los siguientes conocimientos:

- 1.º Conocimientos elementales sobre estrellas y constelaciones que permitan reconocer a las principales de aquéllas y situarlas en la esfera celeste con ayuda de un mapa o carta del cielo.
- 2.º Manejar un instrumento adecuado de determinación de alturas de estrellas sobre el horizonte.
- 3.º Tener suficientes conocimientos de los sistemas de coordenadas, celestes y terrestres, para poder determinar situaciones en cartas que representan regiones de la superficie de una y otra esfera.



I

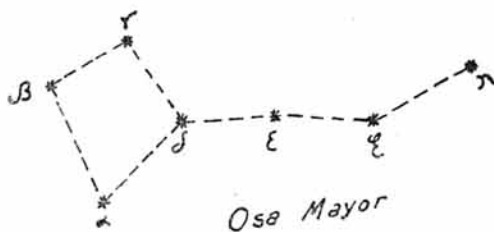
METODO ELEMENTAL PARA EL RECONOCIMIENTO DE LAS ESTRELLAS PRINCIPALES DEL HEMISFERIO BOREAL

Las estrellas que mejor se perciben son las de primera magnitud, las de mayor brillo, aunque éste no sea igual en todas las que merecen esa denominación, y se distinguen bien las de segunda y aun las de tercera. Al observar las estrellas en un momento dado de una noche despejada, lo natural es ver el aspecto del cielo con relación al horizonte, atendiendo primeramente a los grupos de estrellas o constelaciones que se hallan próximas al meridiano del observador, siguiéndolas según se suceden a partir del Carro Pequeño u Osa Menor, donde se halla la Polar; luego pueden estudiarse las constelaciones situadas al E. y al W. de dicho meridiano.

Fácilmente se encuentran las estrellas siguiendo las alineaciones que las relacionan.

* * *

Conocida de todos es la Osa Mayor o Carro de David, constelación que aparece con siete estrellas de segunda magnitud, girando como un enorme minutero en torno a la Polar. Observamos que el giro no es *directo*, de izquierda a derecha, como las agujas de un reloj, sino en sentido contrario, llamada *retrógrado*.



Prolongado cinco veces $\beta \alpha$ de la Osa Mayor, se halla la Polar, de segunda magnitud, perteneciente a la Osa Menor, semejante a la Mayor.

La línea $\epsilon \rightarrow$ Polar conduce a Casiopea, constelación de cinco estrellas de tercera magnitud, que compone una ϵ muy abierta.

La línea que ha servido para hallar la Polar se prolonga unas dos veces y media y señala el gran cuadrilátero de Pegaso, aunque sólo tres vértices de este cuadrilátero $\alpha \beta \gamma$ son de la constelación de dicho nombre; el cuarto vértice es α de Andrómeda, formada por esa estrella y dos más; después de Andrómeda sigue otra estrella, Algol, de la constelación de Perseo; Algol es variable porque pasa de la segunda a la cuarta magnitud, y viceversa, en periodos de tres días.

Siguiendo la $\rho\alpha$ de la Osa Mayor se encuentra un pentágono irregular, que constituye la constelación El Cocheo, donde se halla una estrella de primera magnitud, *La Cabra*, situada delante de Algol.

La misma línea $\rho\alpha$ pasa luego por Aldebarán, estrella de primera magnitud, conocida vulgarmente por el Ojo del Toro.

Entre Aldebarán y Algol se ve un grupito de siete estrellas pequeñísimas, las Pléyades o Siete Cabrillas. La $\alpha\beta$ de la Osa Mayor, en dirección opuesta a la Polar, nos lleva a la constelación El León, donde está Régulo, de primera magnitud; la $\rho\beta$ de la citada Osa Mayor nos indica dos estrellas muy brillantes, Cástor y Pollud (Los Gemelos), y por debajo de éstas aparece otra de primera magnitud, que es Proción del Perro Menor.

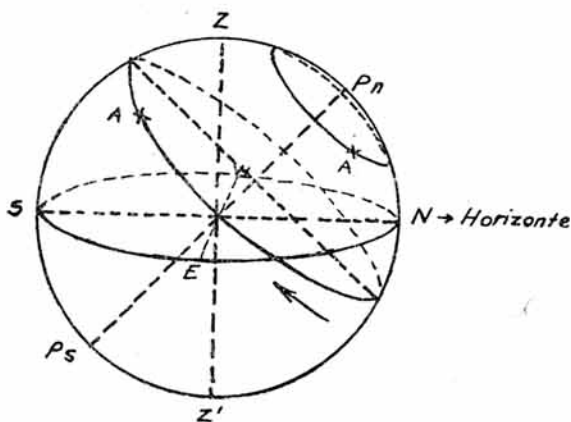
Entre Proción y Aldebarán empieza Orión, que es la constelación más grande y brillante de nuestro hemisferio; de ella forman parte Beltegeuse, de primera magnitud; Bellatrix, de segunda magnitud; los Tres Reyes Magos, de segunda, y Rigel, de primera.

Enfrente de Rigel está Sirio, grande y brillante, del Perro Mayor.

La lanza del Carro de David, prolongada en arco, nos enseña a Arturo, otra gran estrella brillante, que aparece como un lucero y es de la constelación El Boyero, encima de la cual está la Corona Boreal con una estrella de segunda.

Entre los dos carros hay una línea quebrada irregular de estrellas de poco brillo, que rodean al Carro Menor y se vuelven después para terminar en un pequeño cuadrilátero, cabeza de la constelación llamada El Dragón.

Frente a la Cabeza del Dragón tenemos la estrella más blanca del cielo, de primera magnitud, que es Vega de la Lira. Esta estrella, con la Polar, determina la hipotenusa de un triángulo cuyo tercer vértice es El Cisne (segunda); más allá se halla Altair (primera), perteneciente al Águila.



Movimiento retrógrado de la esfera celeste

Todas las estrellas aparecen como si estuvieran fijas en una inmensa esfera que rodea nuestra esfera terrestre. Como consecuencia del movimiento de la Tierra alrededor de su eje en sentido directo, la esfera celeste concéntrica con nuestro planeta aparenta un giro diurno en sentido retrógrado, es de-

cir, de E. a W. por encima de la cabeza del observador, alrededor de un eje que se llama eje del mundo y es prolongación del eje terrestre. Por efecto de este movimiento diurno, el observador, colocado en su horizonte y mirando al Polo Norte, ve girar las estrellas, y todas describen al mismo tiempo círculos paralelos, que tienen sus centros en el eje; unas estrellas describen círculos completos encima del horizonte, y se llaman "circumpolares", mientras otras cortan dos veces el mismo horizonte y se denominan de "orto y ocaso"; es decir, salen por el E., suben hasta culminar en el meridiano del lugar y bajan para ocultarse o ponerse por occidente.

Con lo expuesto hasta este momento y sin necesidad de nuevos argumentos, vemos que en realidad el movimiento diurno de la esfera celeste es sólo aparente; es decir, que la inmensa esfera en la que suponemos incrustadas todas las estrellas está fija y que en cambio la que gira es la Tierra, dando una vuelta completa sobre su eje cada veinticuatro horas.

Hemos dicho que las estrellas se encuentran "incrustadas" en la supuesta esfera celeste, y por tanto, *fijas unas con respecto a otras*. Para convencernos de ello no hay más que observar las constelaciones principales, que reconocemos todos fácilmente *por su forma*, cosa que sería imposible si la posición relativa de unas estrellas con otras variase.

Hemos visto, pues:

- 1.º Que las estrellas están fijas en la esfera celeste.
- 2.º Que la esfera celeste está inmóvil en el espacio.

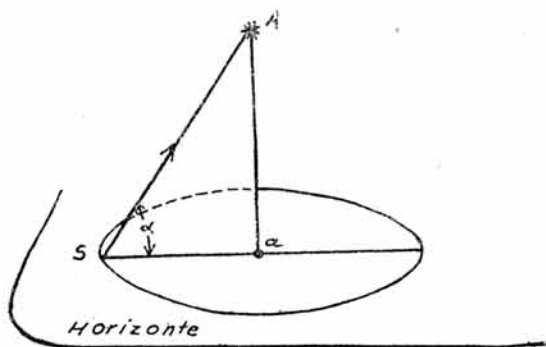
Sin embargo, por conveniencia nuestra vamos a suponer que la que está inmóvil es la Tierra y la que gira es la esfera celeste, y que este giro lo verifica alrededor del eje terrestre suficientemente prolongado y con la misma velocidad que la Tierra, es decir, efectuando una rotación completa cada veinticuatro horas.

Altura.—Se llama *altura* de un astro en un punto del horizonte el ángulo que forma la visual con su proyección ortogonal sobre el horizonte.

Dicho ángulo varía en el sitio de observación, y también con el momento de hacerla, porque la estrella gira con el movimiento diurno de la esfera celeste.

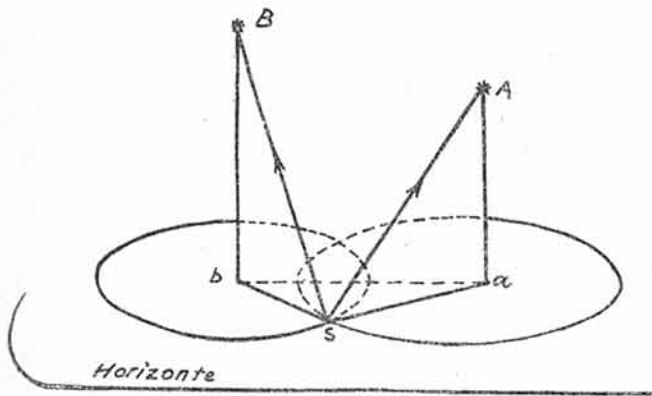
Si proyectamos la visual sobre el horizonte, el ángulo α (altura) es el mismo para todos los puntos de una circunferencia descrita desde el pie de la vertical del astro con un radio igual a la proyección de dicha visual en un instante dado, y no existen otros puntos en la Tierra fuera de los de esta circunferencia que gocen de esta propiedad.

Por tanto, conocida la referida circunferencia en el plano del horizonte, la altura observada nos determina un lugar geométrico, pero no el punto preciso de observación.



Claro está que si en un momento dado tomamos las alturas de dos estrellas desde un mismo sitio, obtendremos dos circunferencias, que en general se cortan en dos puntos, uno de ellos el sitio del observador, y éste queda perfectamente determinado si se tiene en cuenta el sentido que siguen las visuales con relación a la línea de los centros.

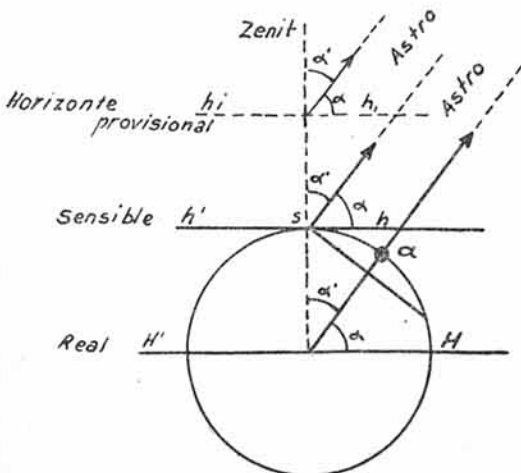
Las circunferencias pueden llamarse de "posición del lugar de observación". Los círculos determinan, tratándose de estrellas en relación con la Tierra, el horizonte "provisional" (horizonte del instante de observación), que es paralelo al horizonte "racional". Teniendo en cuenta que la visual al astro dirigida por el observador es también paralela a la vertical del astro sobre la superficie terrestre, fácilmente se halla el radio de la "circunferencia de posición".



Examinando la figura se deduce fácilmente: $as = a' = 90^\circ - \alpha$.

Conocida la amplitud de α' , se obtiene la longitud:
 $\text{long. } as = \frac{\alpha' \times r}{\rho}$
 $r = \text{radio terrestre.}$
 $\rho = \text{radian.}$

El punto a de la vertical del astro sobre la superficie terrestre se puede distinguir con la denominación de *geo-posición del astro*.



II

Para obtener alturas de estrellas desde el aire es indispensable el uso del *sextante de Burbuja*. Con este aparato se observa cómodamente un astro, no mirando a él, sino a su imagen, en el interior de un anteojo astronómico; imagen obtenida después de la reflexión de los rayos luminosos de la estrella es un sistema de espejos E y E' , de manera que la reflexión de E' conduce aquellos rayos al anteojo, dentro del cual se produce la imagen coincidiendo con la burbuja de un nivel.

Al percibir la burbuja, para lo cual se ilumina interiormente el anteojo por medio de una lamparita eléctrica alimentada convenientemente, es que aquella está calada en el punto más elevado del nivel, y sabido es que entonces el plano tangente a la superficie del nivel en dicha burbuja es horizontal, y también lo será el eje del anteojo, y por tanto forma con el rayo luminoso que viene del astro al espejo E un ángulo α , que es precisamente la altura que se trata de hallar. Luego el eje del anteojo está en el plano horizontal, o sea en el horizonte *provisional* del sitio del observador, y sólo falta medir.

Para esta medida, de la figura deducimos:

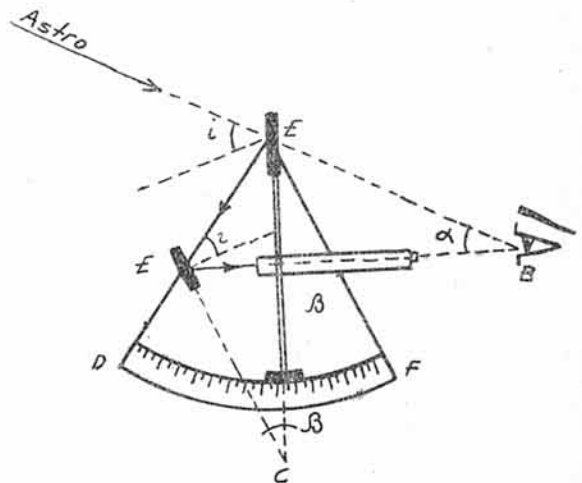
Triángulo $EE'B$ da:

$$2i = 2i' + \alpha$$

Triángulo $EE'C$ da:

$$90^\circ + i' + 90^\circ - i + \beta = 180^\circ$$

$$\left. \begin{matrix} \alpha = 2(i - i') \\ \beta = i - i' \end{matrix} \right\} \alpha = 2\beta$$



La altura es el duplo del ángulo de los espejos E y E' ; este ángulo se mide en el *sextante*, es decir, en el sector sexta parte de círculo, que es de 60° de amplitud y aparece en el dibujo representado por sector EDF , donde se ve $\beta = FEC$. Este se medirá en el arco DF .

El anteojo está fijo al sector sobre el radio EF ; en la cara opuesta al anteojo el sector tiene adosado un mango para sujetarlo con la mano derecha al aplicar el ojo al ocular.

El segundo espejo, E' , está también fijo en el radio ED , paralelamente al EF .

El primer espejo, E , se enfrenta con el E' ; pero puede girar sobre un eje fijo en el centro del sector, y su giro se acusa en el arco porque dicho espejo tiene adosada una varilla o radio móvil con un índice en un extremo para marcar

mediante el nonius correspondiente los grados y minutos del ángulo β de los dos espejos.

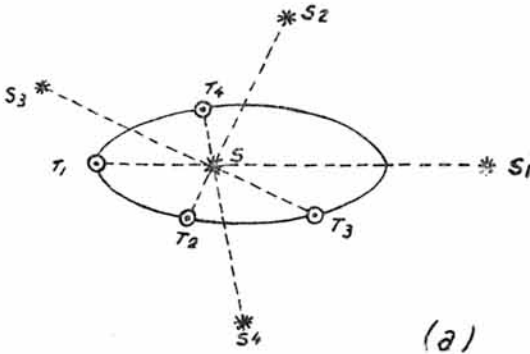
Para no tener que duplicar β , el arco del sector, siendo de 60, va dividido en 120 partes, y así se lee directamente la altura.

* * *

Las observaciones de alturas se hacen en instantes determinados por un cronómetro exacto, en tiempo civil o tiempo medio, siendo indispensable transformarlo en "tiempo sidéreo", regulado por el movimiento uniforme de la esfera celeste alrededor nuestro. Pero tales momentos se toman con un reloj o cronómetro que da tiempos regulados por el Sol, y el movimiento aparente de éste es variable; debemos aclarar el problema, siquiera sea brevemente.

El movimiento anual de traslación de la Tierra produce ante nuestros ojos un movimiento aparente del Sol, y vemos a este astro en el transcurso de un año en distintos lugares del cielo enfrentándose sucesivamente con las doce constelaciones Aries, Taurus, Germinis, Cáncer, Leo, Virgo, Libra, Scorpio, Sagitario, Capricornio, Acuario y Piscis, las cuales están situadas en una zona o banda circular llamada de *Zodiaco*, de la esfera celeste.

Es lo mismo que sucede al que pasea por la acera de una plaza redonda y ve moverse aparentemente a la farola central, enfrentándose ésta de manera sucesiva con las casas diametralmente opuestas al observador (figura a).



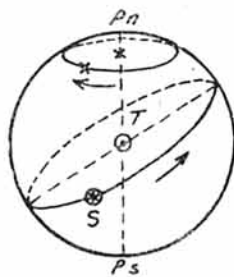
El Sol, pues, parece moverse; describe una curva plana, y el plano de esta curva pasa por el centro de la Tierra. El sentido del movimiento es contrario al de la esfera celeste, y por tanto es directo (figura b).

El plano de la órbita solar corta a la esfera celeste según la *eclíptica*.

Es fácil determinar lo que el Sol avanza en ella cada día, realizando en el total de días, un año, su movimiento aparente de W. a E.

Las estrellas fijas se levantan y se ponen 366 veces en el curso de un año ordinario, y la Tierra en ese tiempo da una vuelta alrededor del Sol, por lo cual este astro aparenta salir y ponerse una vuelta menos, es decir, 365 veces. De aquí se deduce que el Sol, al moverse en la esfera celeste, retrasa una vuelta en movimiento diurno, es decir, un día al cabo de un año.

Un día para 366 vueltas de estrella o año sidereal.

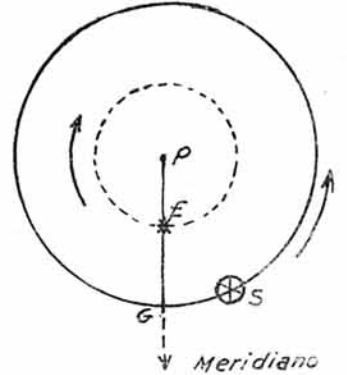


(b)

$\frac{1 \text{ día}}{366} = \frac{1.440}{366} = 3,9 \text{ minutos}$ (aproximadamente, 4') para una vuelta de estrella o día sidereal.

Luego el Sol realiza el movimiento diurno, debido a la rotación de la Tierra, en la dirección E. a W., y en él va retrasado 4' al día por la *traslación* de nuestro planeta. El retraso va de W. a E. (esto, debido a diversas razones, no es rigurosamente exacto, debiendo tomarse únicamente como medio).

Si una estrella E pasa por el meridiano de un lugar al mismo tiempo que el Sol, S, al día siguiente, al pasar la estrella otra vez por el meridiano, el Sol se retrasa 4'; al segundo día, otros 4'; al tercero, 4'..., y al cabo del año se retrasa, aproximadamente, $4' \times 366$, ó $1.440' = \text{un día}$.



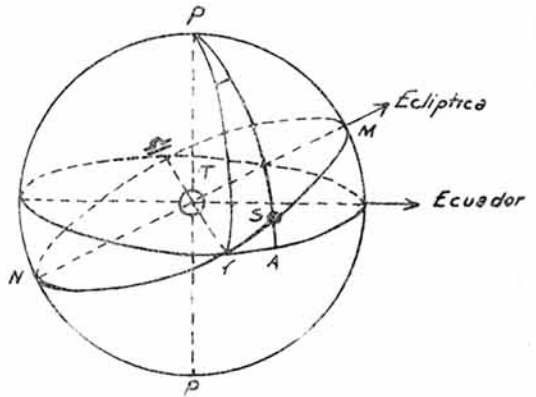
Así resulta que el Sol, al cabo de un año, ha realizado su movimiento aparente, contrario al movimiento diurno, y ha descrito una órbita aparente, que es la *eclíptica*.

La inclinación del eje de la Tierra sobre el plano de su órbita hace que el Sol aparezca unas veces por encima y otras por debajo del ecuador celeste.

Al moverse el Sol sobre la eclíptica varían diariamente:

a) Su declinación $SA = \rho$, distancia del astro al ecuador.

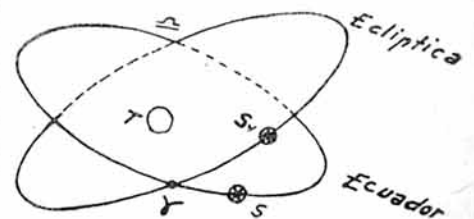
b) Su ascensión recta = γA , ángulo contado sobre el ecuador del círculo horario del astro con el meridiano principal, que pasa por uno de los puntos de intersección de la eclíptica con el ecuador celeste, que se llama primer punto vernal o punto Aries, representado por γ .



Consecuencia de estas variaciones es que la eclíptica corta al ecuador en dos puntos: punto vernal γ y punto de Libra ω . Estos puntos son los *equinoccios*, diametralmente opuestos.

El equinoccio de primavera, o primer punto de Aries (21 de marzo), es el punto del ecuador celeste en que la declinación del Sol pasa de negativa a positiva.

El equinoccio de otoño, punto de Libra (22 de septiembre), es el punto del ecuador celeste en que la declinación del Sol pasa de positiva a negativa.



Los puntos *M* y *N*, en el que el Sol se aparta más del ecuador celeste, + 23 17', se llaman *solsticios*.

El solsticio de verano, + 23 17' (21 de junio), es cuando el Sol está en el paralelo llamado "trópico de Cáncer".

El solsticio de invierno, - 23 17' (22 de diciembre), es cuando el Sol está en el paralelo llamado "trópico de Capricornio".

Observamos además que la órbita terrestre es excéntrica respecto al Sol, y nuestro planeta camina más de prisa (con arreglo a la ley de las áreas) cuanto más cerca se halla de aquel astro; la velocidad máxima se produce en invierno para el hemisferio N. y en verano para el hemisferio S.

Resulta de todo lo dicho que el tiempo solar, según el movimiento aparente, no es el más adecuado para ser medido por los relojes ordinarios, que marchan con velocidad constante; hay necesidad de fijar un tiempo solar uniforme, que es el llamado "tiempo medio".

Efectivamente, los relojes y cronómetros están arreglados a "tiempo medio", que es el que marca un *sol imaginario* que se supone coincide con el Sol verdadero cuando éste se encuentra más próximo a la Tierra, el cual se mueve siguiendo el *ecuador celeste* con un movimiento uniforme, de tal manera que da una vuelta completa en un año, mientras el Sol verdadero da una vuelta de *eclíptica*.

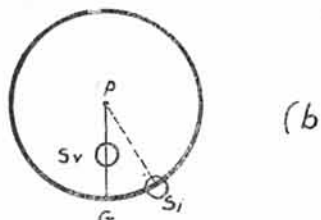
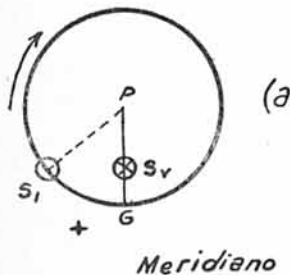
La ascensión recta γ del sol imaginario aumenta diariamente en un valor constante, y así proporciona una medición uniforme del tiempo.

Consecuencia: "El Sol medio" se halla unas veces más adelantado y otras retrasado con respecto al Sol verdadero. Para un momento dado, la diferencia de uno a otro tiempo se llama *ecuación de tiempo*.

Supongamos el meridiano de Greenwich.

a) Si el Sol medio va adelantado, la ecuación de tiempo a mediodía es el ángulo horario $G P S_i = G S_i$ (en tiempo) del Sol medio en aquel momento, precedido del signo +.

b) Si el Sol medio va retrasado, la ecuación de tiempo a mediodía es el ángulo horario $G P S_v = G S_v$ (en tiempo) del Sol medio en aquel momento, precedido del signo -.

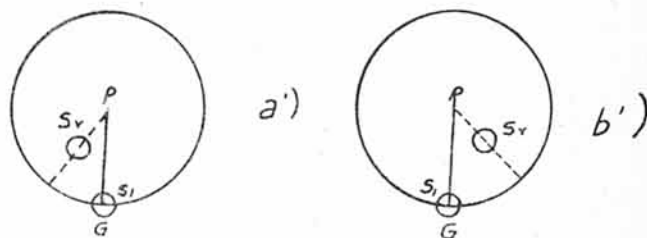


Otras veces la referencia es al Sol medio cuando pasa por el meridiano, y la ecuación de tiempo es el ángulo horario del Sol verdadero al mediodía medio, precedido de más o menos, según que *S* vaya adelantado o atrasado.

Se entiende por *mediodía medio* el instante en que el *Sol medio* pasa por el meridiano del observador.

La ecuación de tiempo compensa las variaciones del tiem-

po verdadero, producidas por la oblicuidad de la eclíptica y la excentricidad de la órbita terrestre, cuyos efectos se suman con igual o con opuesto sentido.



Los almanaques astronómicos, y en particular "Les Connaissances des Temps", contienen los valores de *e* para todos los días del año, y su valor máximo no excede de dieciséis minutos.

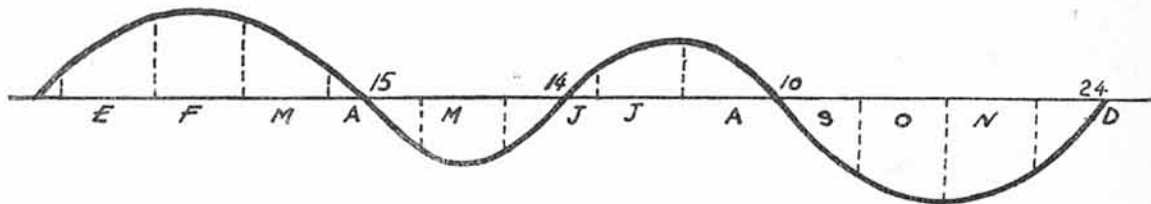
Día medio es el tiempo entre dos pasos consecutivos del *Sol medio* por el meridiano de un lugar.

Se divide en 24 h. \times 60' \times 60". Estas horas, minutos y segundos de tiempo medio son algo mayores que las horas, minutos y segundos de *tiempo sidéreo*.

En la figura anterior las ordenadas representan la "ecuación de tiempo" u "hora que debe marcar un cronómetro de tiempo medio" cuando el Sol verdadero pasa por el meridiano.

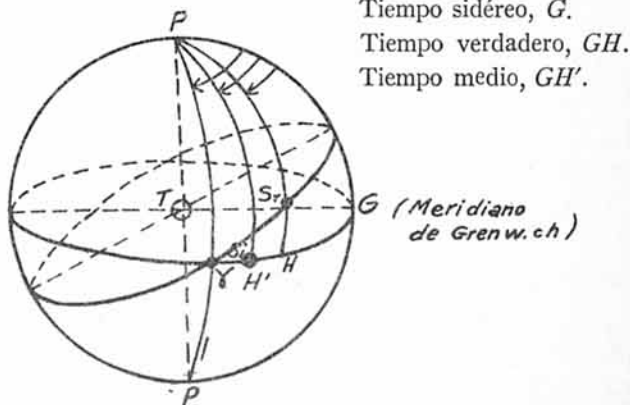
Para poner en hora un reloj basta observar el paso del Sol por el meridiano y hacer que señale lo que el "Conocimiento de los tiempos" diga ese día en la columna "Tiempo medio a medio día verdadero".

Hemos hecho consideraciones sobre tres clases de tiempo: el regulado por las estrellas o esfera celeste, el regulado por el Sol medio y el que lo está por el Sol verdadero.



Tiempo { sidéreo verdadero es el ángulo horario del { Punto vernal Sol verdadero referido al meridiano de observación. Sol medio

Día { sidéreo verdadero es el tiempo que transcurre entre dos pasos consecutivos del { Punto vernal. Sol verdadero por el meridiano superior de un lugar. Sol medio



Tiempo sidéreo, *G*.
Tiempo verdadero, *GH*.
Tiempo medio, *GH'*.

Los días sidéreos son todos iguales.

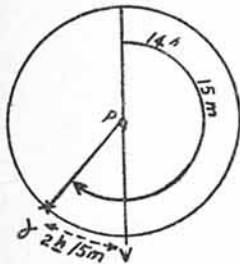
Los días verdaderos son desiguales. Los días medios son todos iguales.

El tiempo *medio civil* se cuenta a partir del paso del Sol medio por el meridiano inferior, de 0 h. a 24 h. Ejemplo: El 15 de octubre de 1942, en un instante dado, 2 h. 15' es el tiempo medio astronómico, y el día 15 de octubre de 1942, en un instante dado, 14 h. 15' es el tiempo medio civil.

Tanto la ecuación de tiempo como otros datos relativos al Sol se encuentran en las publicaciones de los diferentes Observatorios astronómicos; en España, en el Anuario del Observatorio de Madrid o en el Almanaque Náutico de San Fernando; en Francia, en "Les Connaissances des Temps de Paris"; en Inglaterra, en "The Nautical Almanach and Astronomical", y en Estados Unidos, en "The American Ephemeris" y en el "Almanaque Aéreo".

En cualquiera de esas publicaciones se encuentran tablas de reducción de una clase de tiempo en otra.

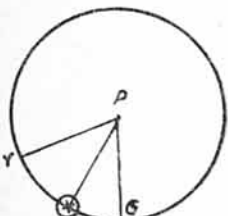
Meridiano inferior



Greenwich

Se suma algebraicamente al tiempo civil, referido al meridiano inferior de Greenwich, la ecuación de tiempo, y de la suma se restan 12 h.

El 3 de enero de 1932 la hora civil de Greenwich es 0 horas = 24 h., $e = -3' 54''$, 99 (en tal día tomado de las tablas). $24 - 3' - 54'', 99 - 12 \text{ h.} = 24 \text{ h.} - 12 \text{ h.} - 3' 54'', 99 = 11 \text{ h. } 56' 5'', 01$, que corresponde al 2 de enero.



Greenwich

Tiempo sidéreo es tiempo medio más ascensión recta del Sol medio.

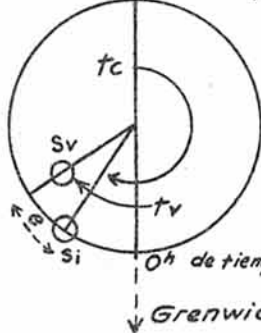
Lo mismo ocurre observando una estrella, A.

Si queremos relacionar numéricamente las diversas

Conversión de tiempo civil a verdadero.

- t_c = tiempo civil.
- e = ecuación de tiempo.
- t_v = tiempo verdadero.
- $t_v = t_c \pm e - 12 \text{ h.}$

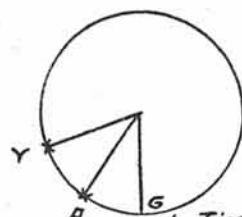
0h de tiempo civil



Greenwich

Conversión del tiempo medio en sidéreo.

- G = hora sidérea (ángulo horario de).
- S_m = ascensión recta del Sol.
- GS_m = hora media.
- $G = GS_m + S_m$.



Greenwich

clases de tiempo, relacionaremos las clases de año para deducir las correspondientes a los días.

Año trópico.—Es el de dos pasos concéntricos del Sol por el meridiano del punto vernal (21 de marzo). Para determinarlo contaremos los días entre dos pasos no consecutivos, como:

$$100 \text{ años trópicos} = 36524, d_m 2217$$

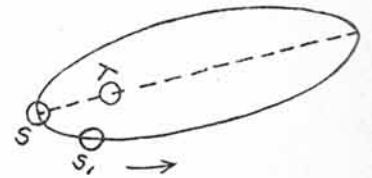
$$1 \text{ año} = 365,242217 = 365 d_m 5 \text{ h. } 48' 8 47'', 5.$$

Como el punto vernal varía $50''$, 2 al año por la precesión del equinoccio, al *año sidéreo* se obtiene

$$\frac{\text{Año trópico}}{360 - 50'', 2} = \frac{\text{Año sidéreo}}{360}$$

$$\text{Año sidéreo} = 365 d_m - 6 \text{ h.} - 9' - 10'', 1.$$

Por último, el *año anomalístico*.—Es el tiempo entre dos pasos consecutivos del Sol verdadero por el *perigeo* (posición más próxima del Sol a la Tierra).



Este punto tiene un movimiento anual en sentido directo de $11''$, 5.

$$\frac{\text{Año sidéreo}}{360} = \frac{\text{Año anomalístico}}{360 + 11'', 5}$$

$$\text{Año anomalístico} = 365 d_m 6 \text{ h.} - 13' - 50''.$$

En su día medio, la anomalía media =

$$\frac{360}{365 d_m - 6 \text{ h.} - 13' - 50''} = \frac{360}{365 d_m, 259598}$$

$$= 0 \text{ h.} - 59' - 8'', 16.$$

Lo que aumenta la ascensión recta del Sol medio en año trópico es 360 y un día medio:

$$\frac{360}{365,242217} = 0,59' - 8'', 33$$

Para calcular el tiempo sidéreo empleado en recorrer este arco de ecuador en el movimiento diurno:

$$360 = 0 - 59' 8'', 33 \quad 0 \text{ h.} - 3' - 56'', 55.$$

De todo lo expuesto nos interesa un detalle principalmente: A partir del equinoccio de primavera, 21 de marzo, cada día que pasa el *Sol medio* aumenta su ascensión recta en tiempo "tres minutos 55 segundos".

Por tanto, si en un momento dado el reloj o cronómetro marca la hora en *tiempo medio*, a esta hora hay que sumar $3' 56''$, 55 por cada día que haya pasado desde el equinoccio de primavera.

Para los tiempos que hemos de utilizar, basta el valor aproximado de $4'$ en lugar de los $3' 56''$, 55.

Ejemplo: En 7 de julio se ha hecho una toma de alturas a las 21 horas de tiempo medio civil (meridiano de Greenwich), $21 \text{ h.} - 12 \text{ h.} = 9 \text{ h.}$, tiempo medio astronómico.

Días transcurridos desde 23 de marzo — $106 \text{ d. } 9 \text{ h.} + 106 \times 4' = 9 \text{ h.} + 424' = 9 \text{ h.} + 7 \text{ h.} = 16 \text{ h. tiempo sidéreo.}$

Es natural añadir a las anteriores explicaciones un lige-

ro estudio del cronómetro moderno, que ha venido a sustituir al clásico reloj o "guardatiempos" de antes.

Todo reloj, como es el cronómetro, por muy bien construído que esté, sufre variaciones con el transcurso de los días; tiene error y hay que determinar éste para luego corregir las horas.

Pero esto se puede hacer mecánicamente en un buen cronómetro, en el que "no es preciso tener en cuenta si se adelanta o atrasa"; basta ponerlo en hora corregida sin suspender su marcha.

A este efecto va provisto de la esfera corriente de horas, con números romanos, fija, y concéntrica con ella y en el interior de su círculo va una segunda esfera, móvil, indicadora de segundos, la cual se mueve para hacer la corrección, que se limita a los segundos, puesto que un reloj bien construído sólo puede adelantar o atrasar algunas de estas últimas unidades de tiempo.

La esfera móvil se maniobra desembragando la corona de la cuerda y haciendo con ella que la citada esfera siga el movimiento del segundero, para lo cual está dividida (de 5 en 5 segundos) hasta 60"; pero su numeración es de decenas de segundos, escrita en números arábigos.

Por último, hay una tercera esfera bordeando en forma de corona circular la esfera de horas; es móvil, se maniobra haciéndola girar a mano aflojando un pivote, que al mismo tiempo es índice del origen de la numeración de 0 — a 15 de arco, con subdivisiones de 15 en 15 minutos.

Sabido es que la relación de unidades horarias a unidades angulares es como sigue:

- 1 segundo sidéreo = 15" de arco.
- 1 día sidéreo = 360 de arco.
- 12 horas sidéreas = 180 de arco.
- 1 hora sidérea = 15 de arco.
- 1 minuto sidéreo = 15' de arco.

Por eso la esfera principal fija da horas y minutos en números romanos, y debajo de cada hora lleva, en números arábigos, la escala de grados de arco desde 0 a 180. La esfera exterior móvil, que es recorrida por el minuterero en una hora, lleva una escala de 0 a 15, y entre grado y grado indicaciones de arcos de quince minutos. Por último, la esfera interior móvil es recorrida por el segundero en un minuto, y contiene una escala de decenas de segundos de 0 a 60, y debajo la correspondiente de arcos de 1" a 15".

Por la disposición descrita, hecha la lectura con el horario, el minuterero y el segundero en unidades de tiempo, puede simultáneamente hacerse la de grados, minutos y segundos; es decir, que el cronómetro da al mismo tiempo

la hora y el ángulo horario de una observación.

Otra aplicación del cronómetro es la de leer directamente "tiempo medio", puesto que el pivote de la esfera móvil exterior puede desplazar a la dere-

cha o la izquierda los minutos que indique la ecuación de tiempo, y hecho esto tomar la hora de la observación. Esta aplicación no es necesaria en el método de toma de alturas para fijar un lugar que estamos explicando.

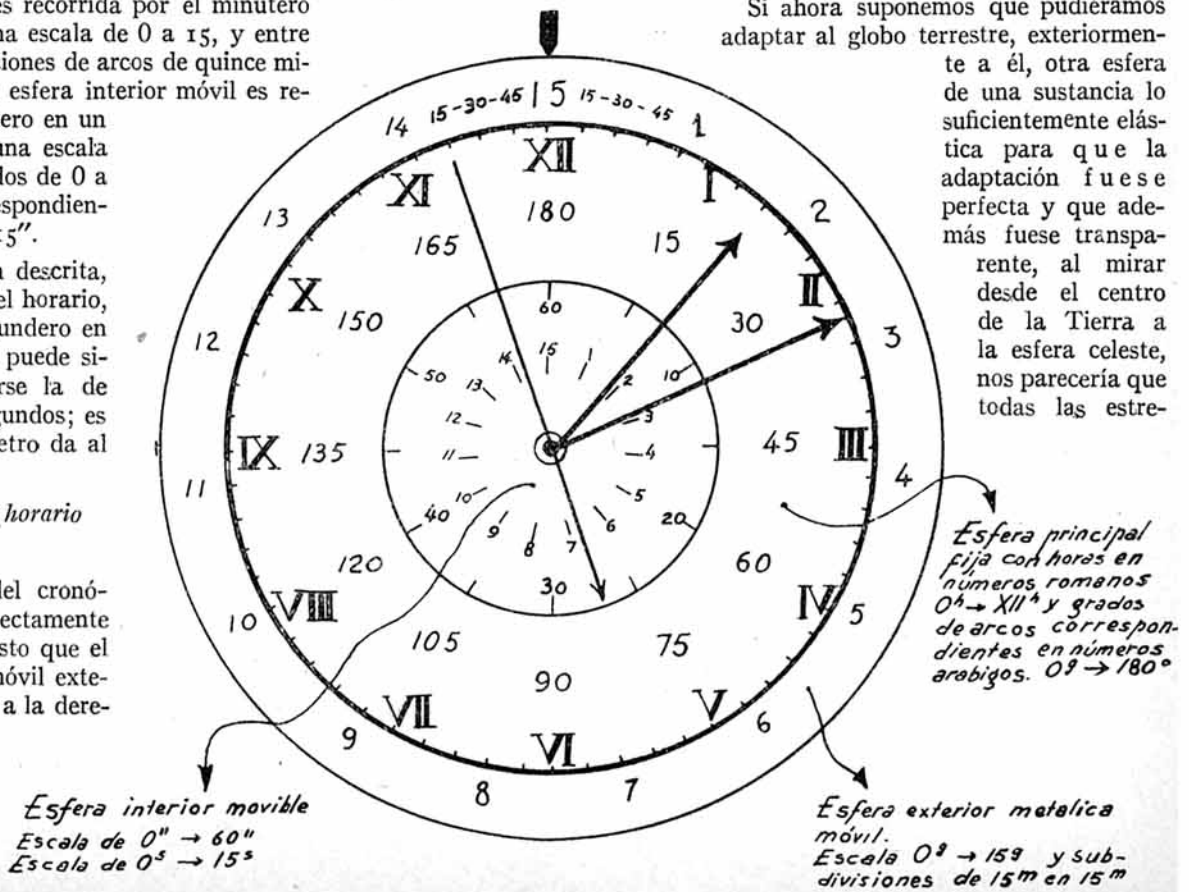
III

Un mapa { celeste es la representación en un plano de la
 { terrestre
 esfera { celeste . Está constituido por una red de meridia-
 { terrestre nos { ascensiones rectas referidas a un meridiano principal que es
 { longitudes
 el de { Punto vernal y por una red de paralelos { declinaciones
 { Greenwich } latitudes
 referidas al ecuador.
 En el mapa { celeste se fija y se determina { Una estrella.
 { terrestre { Un punto de la Tierra
 por sus coordenadas { ascensión recta y declinación.
 { longitud y latitud.

Método de Weems.—El método de Weems para la navegación astronómica aérea consiste en síntesis de empleo de dos cartas Mercator, representación una de la esfera terrestre a una cierta escala y otra del mismo tamaño (no de la misma escala) de la esfera celeste. Su fundamento es el siguiente:

Suponemos la esfera terrestre inmóvil en el espacio, y la inmensa esfera celeste concéntrica con él y girando en derredor suyo. Si un observador situado en el centro del Globo terráqueo dirige visuales a las diferentes estrellas y materializamos estas visuales por líneas, estas líneas cortarían a la corteza terrestre en puntos, que serán la proyección de las diferentes estrellas sobre la Tierra, y que denominaremos "geoposición" de las diferentes estrellas.

Si ahora suponemos que pudiéramos adaptar al globo terrestre, exteriormente a él, otra esfera de una sustancia lo suficientemente elástica para que la adaptación fuese perfecta y que además fuese transparente, al mirar desde el centro de la Tierra a la esfera celeste, nos parecería que todas las estre-



Esfera principal fija con horas en números romanos 0h → XIIh y grados de arcos correspondientes en números arábigos. 0° → 180°

Esfera interior móvil Escala de 0" → 60" Escala de 0s → 15s

Esfera exterior metálica móvil. Escala 0° → 15° y subdivisiones de 15m en 15m

llas del Firmamento se encontraban sobre esta nueva esfera, que llamaremos "esfera estelar".

El eje de giro de esta nueva esfera será, como es natural, el mismo que el de la Tierra, el cual, prolongado convenientemente, lo es a su vez de la esfera celeste. Podemos ahora prescindir de ésta y suponer que las estrellas se confunden con sus proyecciones de la esfera transparente, cosa perfectamente lícita para nuestro objeto, lo que equivale a decir que las estrellas están situadas en el globo estelar.

Si suponemos en la Tierra trazados sus meridianos y paralelos, cada accidente geográfico de ésta (ciudad, monte, río, etcétera), quedará determinada su *longitud* y *latitud*. Si en el globo estelar suponemos trazada la misma red de líneas, cada "accidente celeste", planeta, estrella, etc., queda perfectamente determinado, conociendo su ascensión recta (equivalente de longitud) y su declinación (equivalente de latitud). Ya vimos anteriormente que si desde un punto cualquiera de la Tierra tomábamos las alturas de dos astros en un instante dado, quedaba inmediatamente determinada nuestra posición sobre la misma por la intersección de los dos círculos de posición de las referidas estrellas, cuyos radios eran precisamente la proyección de las visuales respectivas.

De todo lo dicho se deduce que si la esfera celeste estuviese inmóvil (ya sabemos que en realidad lo que se mueve es la Tierra) con respecto al Globo terráqueo, el hallar nuestra situación se reduciría a tomar dos alturas, dibujar los círculos de posición sobre el globo transparente, y uno de los dos puntos de intersección, seleccionado convenientemente según la dirección de las visuales, nos daría sobre el Globo terrestre, concéntrico con él, nuestra posición en la Tierra por longitud y latitud. Desgraciadamente, las cosas no suceden así, y el problema se complica un poco debido al movimiento aparente de la esfera celeste alrededor de la Tierra. Para allanar dificultades, por de pronto, en vez de numerar los meridianos en grados, se numeran en horas en ambas esferas, con lo cual sus ecuadores correspondientes vendrán divididos en veinticuatro horas. En este caso las ascensiones rectas se designan con el nombre de "ángulos horarios".

Ya vimos que el origen de meridianos sobre la Tierra es Greenwich, y en la esfera celeste, el primer punto vernal (mal llamado de Aries, pues en la actualidad se encuentra en Piscis).

Sabemos también que el meridiano de este punto singular de la esfera celeste funciona a modo de manecilla cuenta-

wich su meridiano coincidirá con el del punto vernal, el cual va desplazándose hacia el *W.*, hasta llegar a la coincidencia otra vez a las veinticuatro horas. Como consecuencia de este movimiento, las *geoposiciones* de las estrellas describirán *círculos paralelos* sobre la esfera terrestre, que quedarán definitivamente cerrados cada veinticuatro horas, y cuya *trayectoria recorrida* dependerá del tiempo transcurrido desde que el meridiano de Greenwich y el del primer punto vernal estuvieron en coincidencia por última vez.

Podemos, pues, ya deducir la manera de operar. Si la observación se hiciese a las *0 h.* de Greenwich, es decir, coincidiendo su meridiano con el del primer punto vernal, nuestra longitud y latitud vendrían dadas sobre la esfera terrestre por el ángulo horario y declinación del punto de intersección de los círculos de posición trazados en el globo transparente. Si la observación se hiciese a otra hora diferente, entonces nuestra latitud sería la misma que la declinación hallada en el globo estelar; pero para poder hallar nuestra *longitud* tendríamos que sumar al ángulo horario encontrado sobre aquél el tiempo transcurrido desde que el meridiano del punto vernal estuvo en coincidencia con el de Greenwich.

En la práctica, como es natural, no se procede con globos concéntricos, sino con representaciones en proyección Mercator de los mismos, dibujados *al mismo tamaño*, y uno de ellos (el que representa al globo estelar) lleva dibujadas las proyecciones de los círculos de posición de tres estrellas dadas.

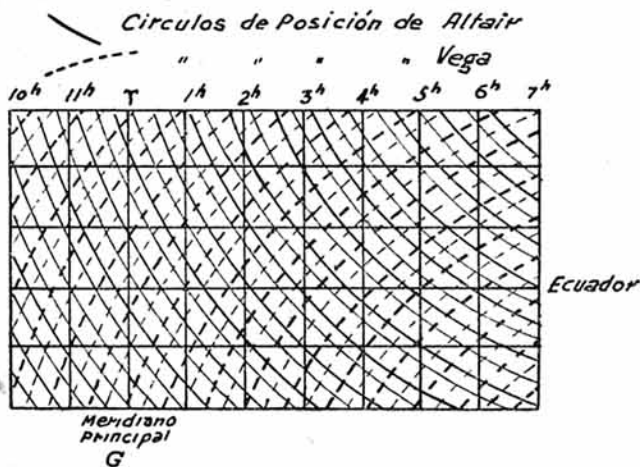
El resumen del método es el siguiente:

- 1.º La hora de toma de alturas en tiempo medio hay que traducirla en hora sidérea.
- 2.º El meridiano del punto vernal del plano celeste se coloca sobre el meridiano, círculo horario terrestre, correspondiente a aquella hora sidérea.
- 3.º Las alturas tomadas de las dos estrellas nos dan los círculos de posición en torno de las geoposiciones respectivas.
- 4.º El punto de intersección de los dos círculos de posición encontrados en el mapa celeste tiene una longitud y latitud que fijan el sitio del observador en su navegación aérea.
- 5.º Con objeto de poder superponer fácilmente los dos mapas, éstos deben construirse en proyección Mercator, y la técnica de su construcción es lo único que ofrece dificultades, que deben salvarse por persona perita en cuestiones cartográficas.
- 6.º Es de suma importancia la elección de estrellas más convenientes. Por de pronto han de ser de primera y segunda magnitud, para poderlas localizar con prontitud en la bóveda celeste, y han de ser las de poca variación propia, con objeto de que los mapas estelares puedan utilizarse bastante tiempo.

* * *

Terminaremos este estudio haciendo constar que ya se han calculado y desarrollado mapas con arreglo a los fundamentos expuestos, cuya delicada labor ha sido llevada a cabo por la Sección de Cartografía de la Compañía Iberia, dependiente del subdirector de Tráfico de la misma, José María Arsaldo, y cuyas dificultades de detalle han sido superadas brillantemente por el cartógrafo de la expresada Compañía señor Pérez de León.

Dichos mapas son esquemáticos, limitados a las redes de meridianos y paralelos, con el aditamento de los círculos de posición de tres estrellas en el mapa celeste. Podrán ser perfeccionados indudablemente, pues se trata del comienzo en España de estudios de esa índole.



tiempo sobre el gran reloj determinado por los meridianos sobre el *ecuador terrestre*. Este está dividido, ya lo dijimos anteriormente, en veinticuatro horas. A las *0 horas* de Green-