Navegación Astronómica

para la

Navegación Deportiva

José V. Pascual Gil
Capitán de Yate

INTRODUCCION

La escasez de obras simplificadas sobre el tema de la Navegación Astronómica en lengua española ha sido el motivo principal que me ha decidido a escribir este manual.

Por supuesto, existen obras muy completas y de innegable calidad, pero no consiguen resolver la pretensión del deportista aficionado que, falto de información primaria, pronto se ve inmerso en una serie de conceptos que ignora, rindiéndose a la evidencia de su incapacidad de comprensión.

Por ello, he procurado partir de conceptos básicos y generales para poder ir avanzando poco a poco, teniendo la seguridad de no vernos, de pronto, rodeados de palabras e ideas desconocidas. Se desprende de ello la conveniencia de ir progresando en el texto sin prisas, comprendiendo los temas, sin tener que memorizar y, sobre todo, sin dejar atrás conceptos con dudas o que no hayan quedado totalmente asimilados.

En navegación astronómica, la solidez del conocimiento teórico es fundamental. La fase práctica del cálculo es lo menos importante, si este no va apoyado en sólidos conocimientos del porqué se hace cada cosa y de qué es lo que se busca en cada momento.

Por estas mismas razones ruego disculpas a los profesionales en la materia, ante la simplista, acomodaticia y poca profunda exposición del tema. Estoy seguro que sabrán comprender los objetivos que me guían al escribirlo.

Para seguir el método que se propugna en este manual, recomiendo el uso del Almanaque Náutico del año en curso y las tablas HO 249 americanas o las AP 3270 inglesas, que son idénticas.

Quiero hacer referencia a un aspecto que, según he observado, aparece constantemente en el no iniciado, ávido de conocer los secretos de la navegación astronómica; existe una esperanza ciega en el “milagroso sextante”; se le considera un aparato mágico en cuya lente va a aparecer, casi, casi, la posición del observador.

Nada más incierto. El sextante es un instrumento únicamente concebido para medir ángulos y, siendo verdaderamente importante, constituirá sólo una ínfima parte del total del procedimiento necesario para obtener la posición. A su debido tiempo se tratará todo lo referente a la teoría y práctica de este “medidor de ángulos”.

Los casos prácticos que aquí se resuelven van referidos al año 1978 y pueden ser desarrollados con los extractos del Almanaque Náutico y tablas de esas fechas, que se incorporan (al final del manual) en el apartado de Apéndices. El interés en que todo esté referido al año 78 no es otro que el de demostrar que no importa en qué tiempo están resueltos los casos, sino, más bien, el uso adecuado del Almanaque pertinente a la fecha de que se trate.

Ruego paciencia, a los ya iniciados, ante el estilo reiterativo en la exposición de los conceptos. Creo que es el mejor modo de conseguir claridad para aquel que está lleno de dudas y siente temor por no llegar a comprender lo que intenta estudiar.

No quiero acabar esta introducción sin hacer referencia a los nuevos sistemas de navegación astronómica. Primero surgen las mini computadoras programadas; algunas de ellas son tan perfectas que llevan incorporados los datos de los almanaques náuticos de muchos años futuros.

Aparecen posteriormente sistemas de navegación por satélite. Concretamente, el Global Position System (GPS) proporciona la posición del buque, en longitud y latitud, con un error...¡ de unos metros apenas!

Es imposible negar su importancia; su ayuda a la navegación es de un valor incalculable; tan sólo unos años atrás eran inimaginables, pero constituyen también, en mi opinión, un arma de doble filo.

Es un gran peligro iniciarse en el uso de estos maravillosos aparatos, sin tener un conocimiento teórico sólido y profundo de lo que constituye la esencia, la lógica y la cronométrica exactitud de la navegación astronómica.

Si no sabemos operar con cálculos, no tendremos espíritu de crítica. Si no hemos profundizado en la comprensión de la astronomía náutica, estaremos indefensos ante las cifras que nos proporcione una computadora; dependeremos, una vez más, de la máquina, y nada hay más lejos en la mente de un navegante. Esa es la razón por la que no trataré lo concerniente al uso de estos sistemas. Nunca pretenderemos ignorarlos, pero sí situarlos en el lugar que les corresponde.

INDICE DE CAPITULOS

CAPITULO 1

FUNDAMENTOS DE ASTRONOMIA

ESFERA TERRESTRE. CONCEPTOS FUNDAMENTALES.

A efectos de cálculo, consideramos a la Tierra como si fuera una esfera. (Figura 1)

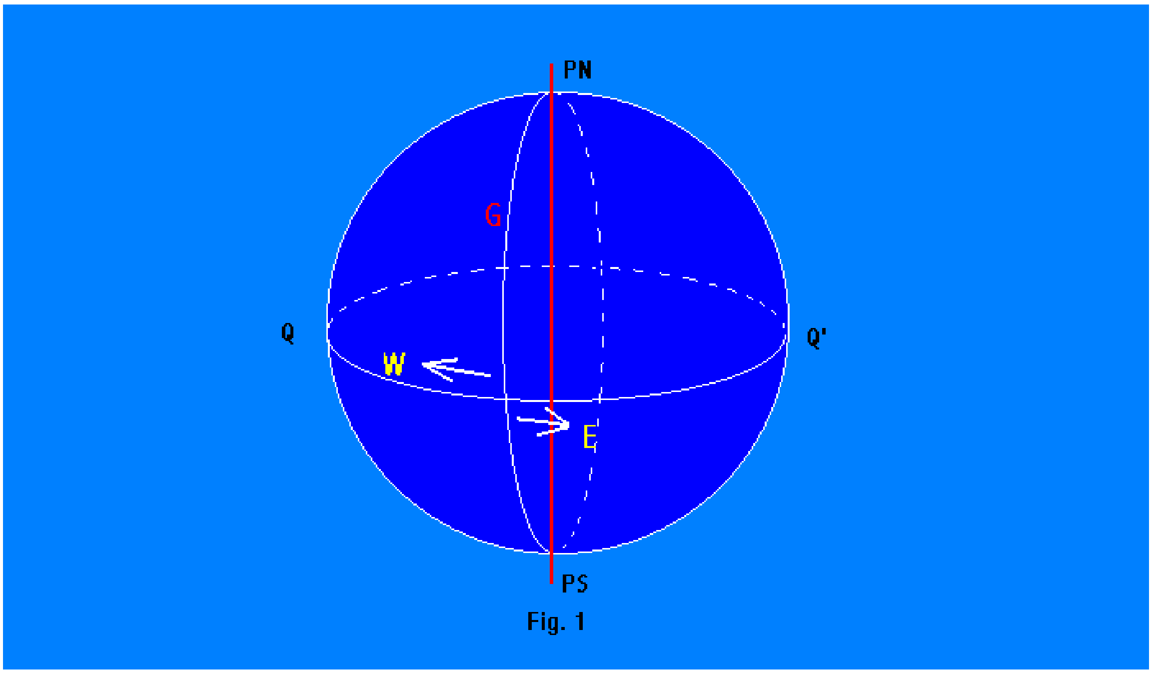


Fig. 1

Esta esfera posee un movimiento continuo alrededor de un eje que corta a la superficie en lo que llamaremos: Polo Norte y Polo Sur.

Cualquier circunferencia que, sobre la esfera terrestre, pase por ambos polos constituirá un **meridiano**. Para dar un nombre a cada meridiano se acepta internacionalmente como meridiano "cero" al meridiano que pasa por Greenwich. A partir de él se cuentan de 0º a 180º hacia el Este y de 0º a 180º hacia el Oeste.

Al meridiano de Greenwich se le representa en los esquemas con la letra "G".

En teoría, pues, existirán infinidad de meridianos; cada uno de ellos vendrá identificado por el valor de un ángulo (en grados, minutos y segundos, aunque nosotros usaremos décimas de minuto en lugar de segundos) y una letra: “E” o “W”, según esté a un lado u otro del meridiano de Greenwich.

Por otra parte: un plano perpendicular al eje de los polos en su punto medio (centro de la Tierra) trazará en la superficie de esta una circunferencia que llamamos **ecuador** (QQ’ en la figura). En teoría podemos suponer infinidad de planos paralelos a este, que dibujarán en la superficie terrestre circunferencias de radio progresivamente decreciente, a medida que nos acerquemos a los polos. A todas estas circunferencias les llamaremos **paralelos** (Figura 2)

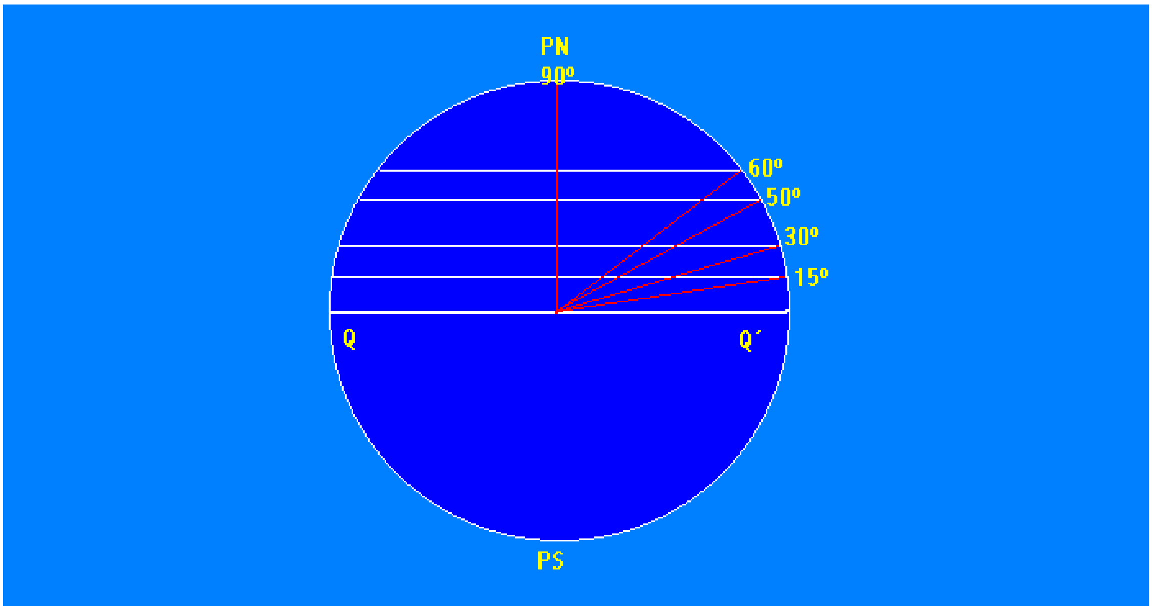


Fig. 2

Su identificación vendrá dada también por el valor de un ángulo que será de 0º para el ecuador, aumentando al ir alejándose del mismo, y acompañándose de la letra “N” o “S” (Norte o Sur), según el polo al que se aproximen.

Lógicamente, y llevando el caso al extremo, en el mismo polo, el paralelo será de 90º y su representación teórica será un punto (el correspondiente geográficamente al propio polo). (Figura 3 y 4)

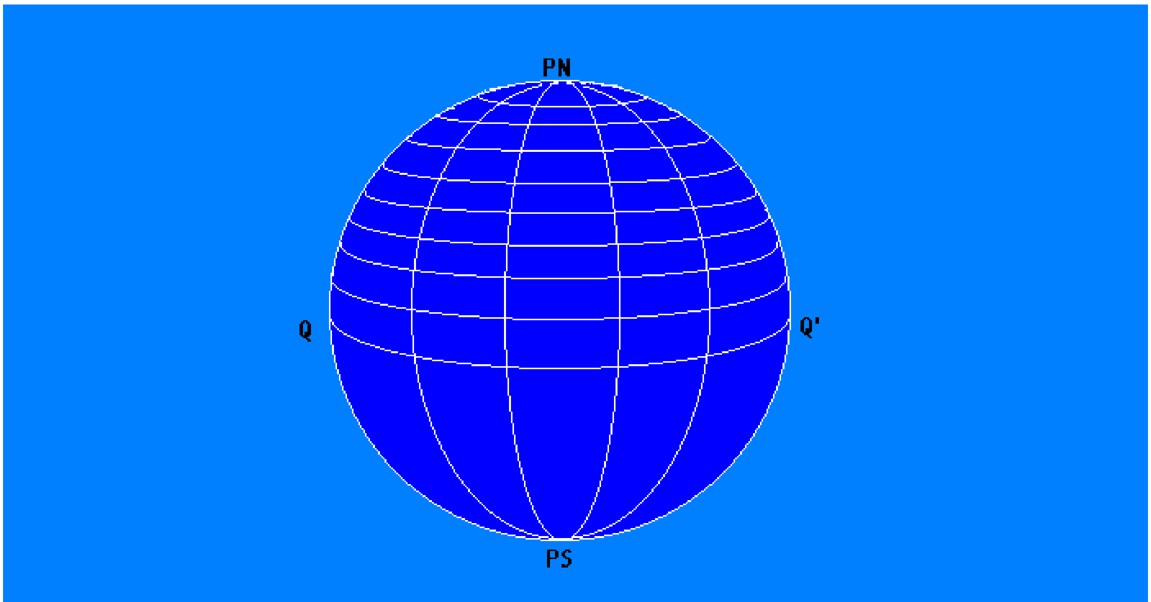


Fig. 3

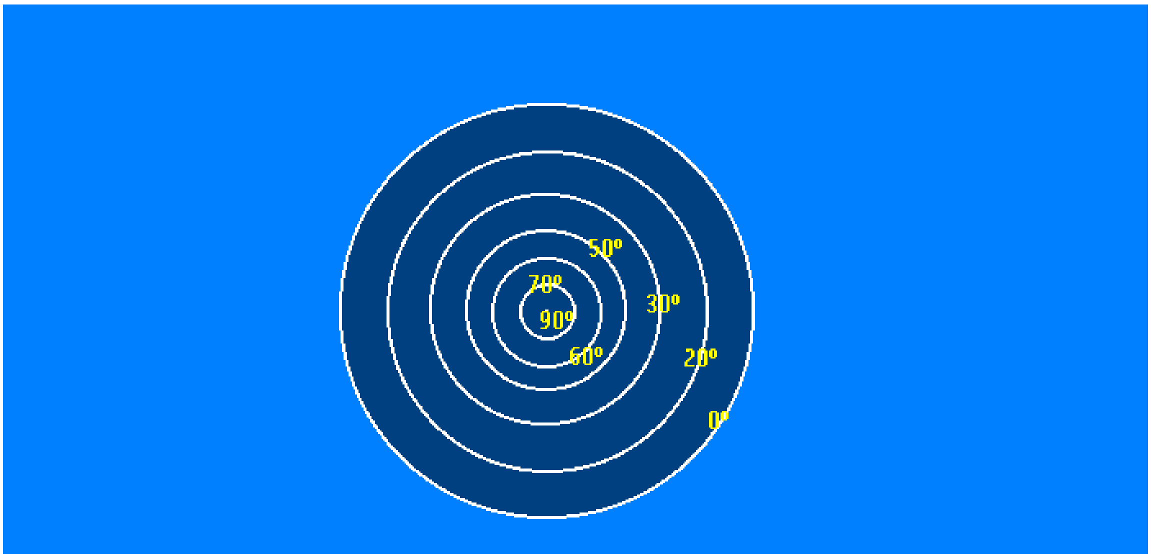


Fig. 4

De estos conceptos se deriva el de **situación**. Los meridianos y paralelos van a constituir un sistema de coordenadas que nos va a permitir dar nombre y localización a cualquier punto de la esfera terrestre. Existirán, lógicamente, dos parámetros: uno nos dirá en qué paralelo nos encontramos, será la **latitud**; otro nos dirá en qué meridiano, será la **longitud**.

Representaremos la latitud con la letra “l”, y la longitud con la “L”. Así, en la figura 5 podremos situar los puntos A, B y C tal como se aprecia.

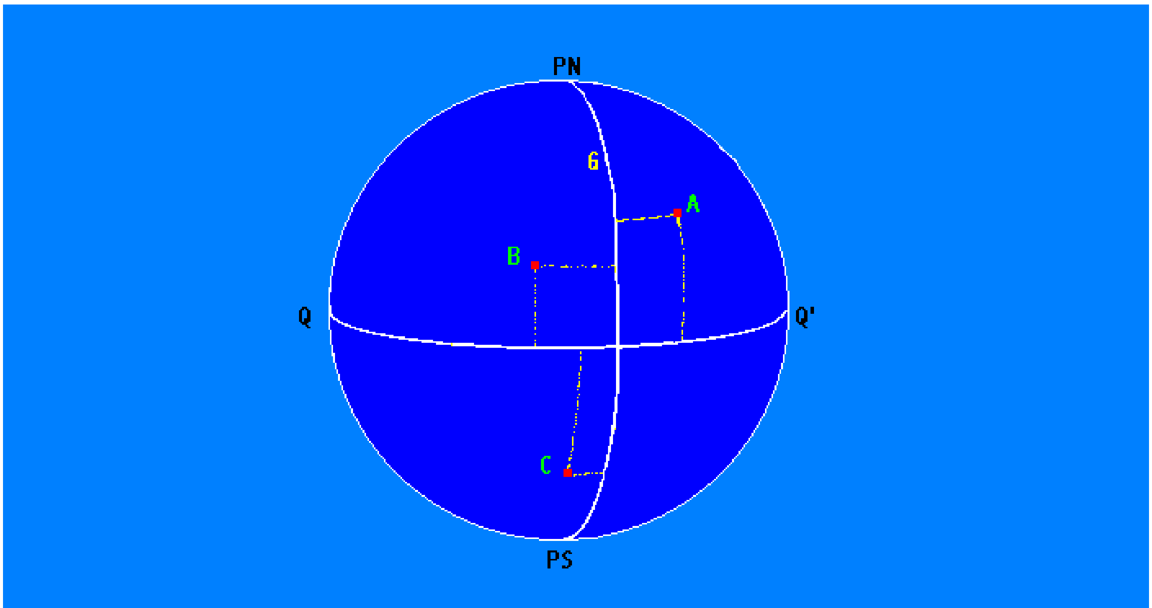


Fig. 5

Coordenadas de A	Coordenadas de B	Coordenadas de C
Lat.= 50ºN	Lat.= 30ºN	Lat.= 45ºS
Long.= 12ºE	Long.= 20ºW	Long.= 10ºW

Nótese la significación del N/S y E/W.

Es importante, lo volveremos a ver más adelante, aclarar ahora el concepto de que un minuto de arco, medido en latitud (es decir: sobre un meridiano), es igual a una milla marina.

No ocurre lo mismo para los minutos de longitud (salvo si los medimos a nivel del ecuador), puesto que los paralelos no son círculos máximos (su radio no es el mismo que el de la Tierra).

MOVIMIENTOS DE LOS ASTROS.

Es necesario conocer que la Tierra está integrada en un **sistema solar**. Este sistema está compuesto por el Sol, alrededor del cual giran los planetas (la Tierra es uno de ellos). A su vez, los planetas tienen movimientos que les son propios y que consisten en revolución sobre un eje; además, en el caso de la Tierra, la Luna (su satélite) gira a su alrededor.

Podemos considerar el sistema solar inmóvil en su conjunto (aunque ello no es cierto). Está inmerso en el resto del universo, del que nosotros, como meros observadores, sólo vemos las estrellas. En realidad, las estrellas no son más que otros soles (como el nuestro) que, a su vez, son los centros de sus respectivos sistemas solares.

Hemos dicho que los planetas (Tierra) giran alrededor del Sol y, además, giran sobre sí mismos alrededor de un eje (en la Tierra, el N/S). Es importante conocer el hecho de que el giro de la Tierra alrededor del Sol se produce en un plano constante; es el llamado: **plano de la eclíptica**. (Figura 6)

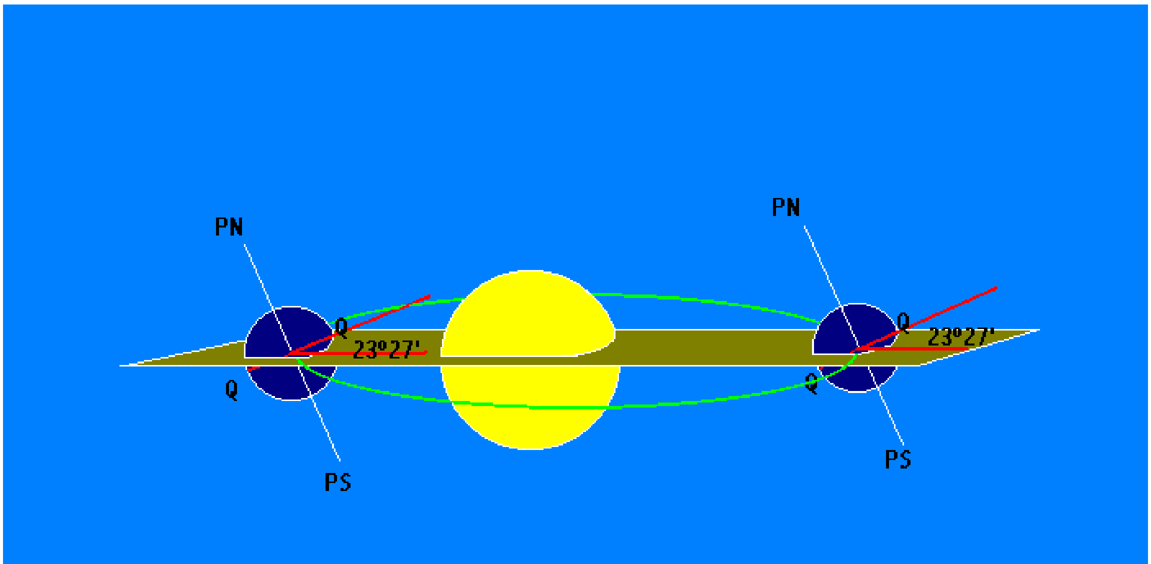


Fig. 6

Sobre este plano, la trayectoria seguida por la Tierra tiene la forma de una elipse y el Sol se encuentra en uno de los focos.

Al tiempo que tarda la Tierra en completar una vuelta elíptica alrededor del Sol se le llama: **año**.

Pero, además, hay otra consideración importante: dijimos que la Tierra tenía un movimiento de giro sobre sí misma alrededor de su eje N/S; pues bien, este eje tiene una inclinación **constante** respecto al plano de la eclíptica, que se mantiene siempre igual en cualquier punto de la "elipse anual".

Esta inclinación es de unos 23º27' y marca los llamados **trópicos**: de **Cáncer** (23º27'N) y de **Capricornio** (23º27'S), quedando entre ambos la **zona tropical**, con el ecuador en su centro (Figura 7).

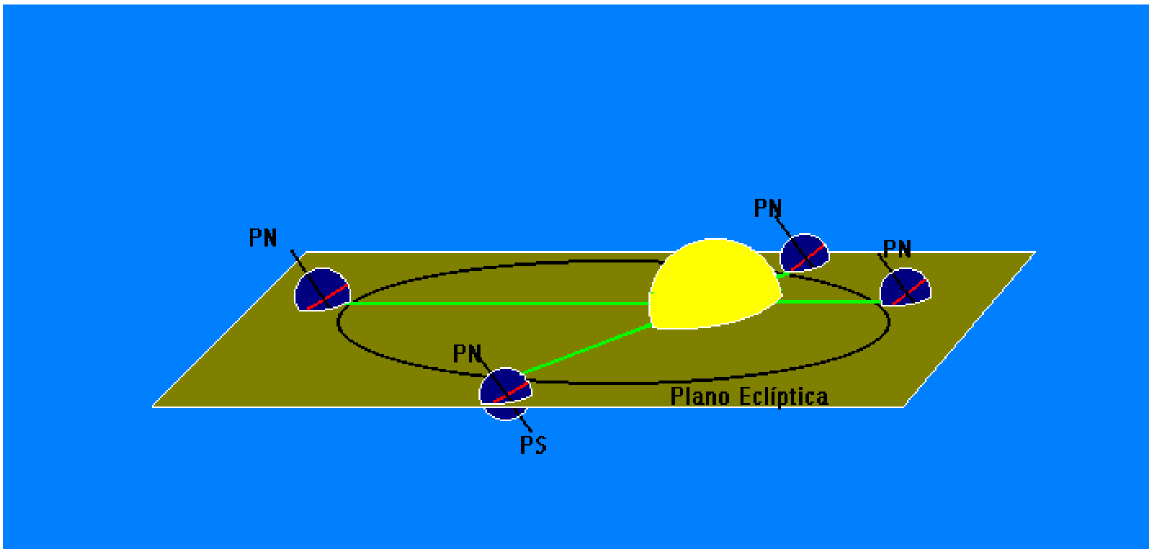


Fig. 7

Se deduce, por la misma circunstancia, el ciclo de las estaciones del año (Figura 8)

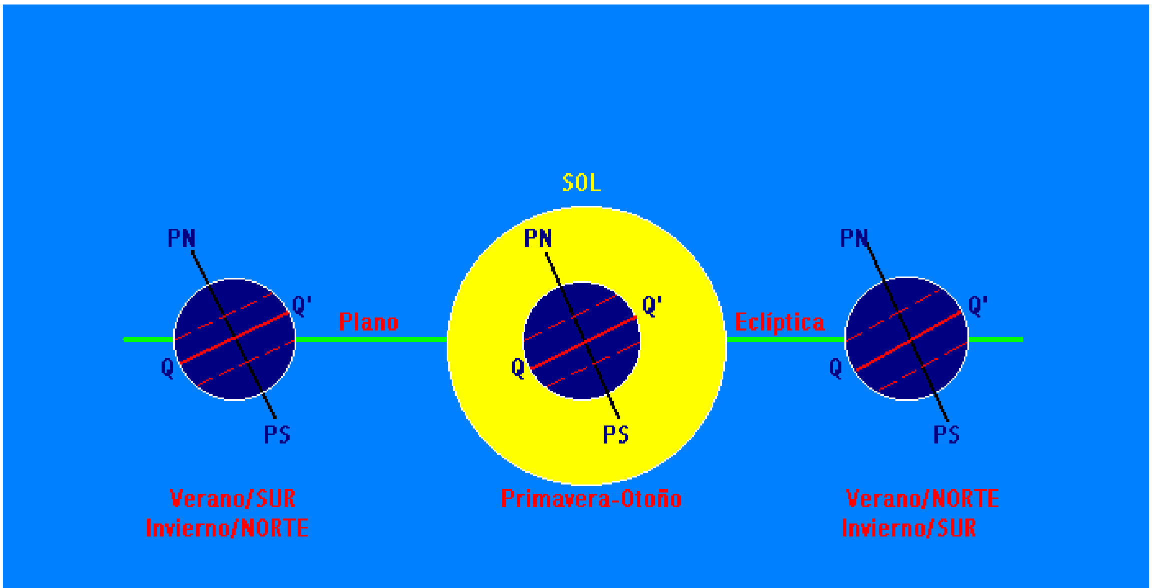


Fig. 8

Los rayos del Sol llegan más perpendiculares al hemisferio N que al S en el lado derecho de la figura; será, por tanto, verano en el hemisferio N e invierno en le hemisferio S. En el lado izquierdo ocurrirá a la inversa, mientras que en el centro, los rayos solares llegarán a la Tierra a nivel del ecuador, iniciando así la primavera en un lado de la elipse y el otoño en el otro.

Es importante recordar que, en recorrer la elipse alrededor del Sol, la Tierra invierte 365 días y que, mientras tanto, gira sobre sí misma una vuelta completa cada 24 horas.

Con objeto de simplificar la representación astronómica, vamos a aplicar, a partir de éste momento, un artificio; consideraremos justamente lo contrario de lo que ocurre. En otras palabras, es lo mismo decir que la Tierra gira alrededor del Sol, que suponer que es el Sol el que gira alrededor de la Tierra.

Si, además, la Tierra gira sobre sí misma en 24 horas, podremos considerar la Tierra quieta, moviéndose el Sol de E a W y dando una vuelta completa en 24 horas. Y con el Sol girarán también la Luna, los planetas y, en general, todo el firmamento.

CONCEPTO DE PUNTO GEOGRAFICO

Hacemos un alto en el estudio del movimiento de los astros y sus consecuencias, para definir un concepto totalmente artificioso que nos va a ayudar mucho en la comprensión de todas las explicaciones futuras.

Definiremos como **Punto geográfico (PG)** de un astro, al punto sobre la corteza terrestre que resulta del corte de esta corteza por una línea que une el centro del astro considerado, con el centro de la Tierra (Figura 9).

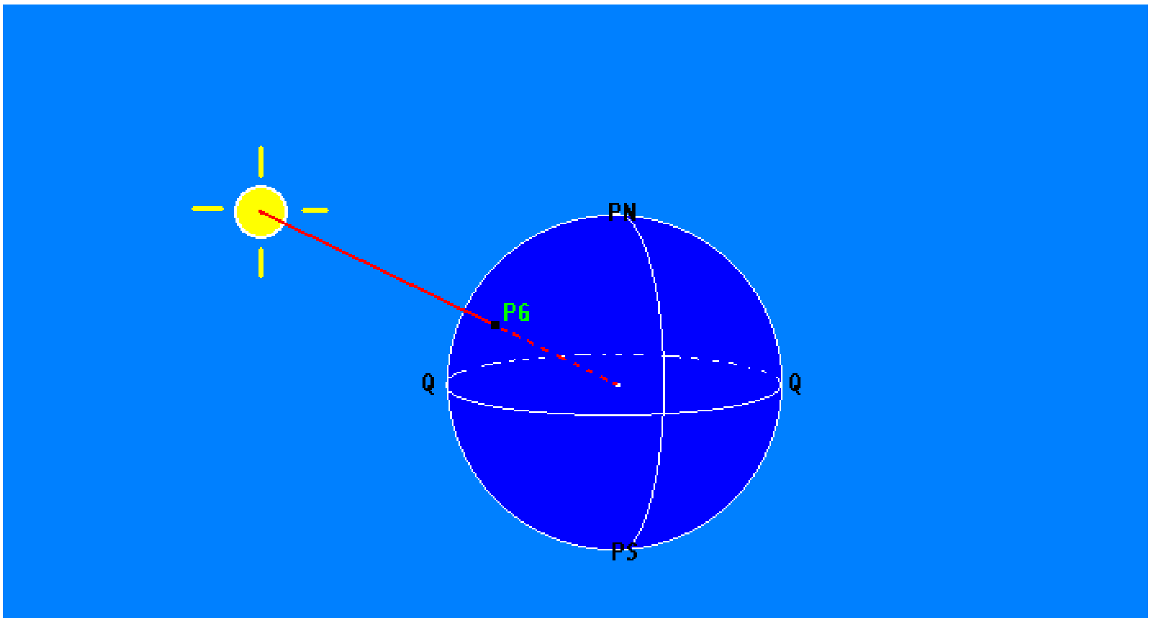


Fig. 9

La comprensión de este concepto es realmente importante pues va a ser citado con gran profusión en el resto de capítulos.

En lo sucesivo, al punto geográfico, lo esquematizaremos así:

Punto geográfico del Sol .... PGSol
Punto geográfico de la Luna.......................... PGLuna
Punto geográfico de planeta.......................... PGPl

Punto geográfico de estrella......................... PGEstrella

DECLINACIÓN

Es otro concepto importantísimo que no podemos pasar por alto y que usaremos de forma habitual en todos nuestros cálculos.

Podríamos, aunque incorrectamente, definir la declinación de un astro como la "latitud" de su punto geográfico (Figura 10).

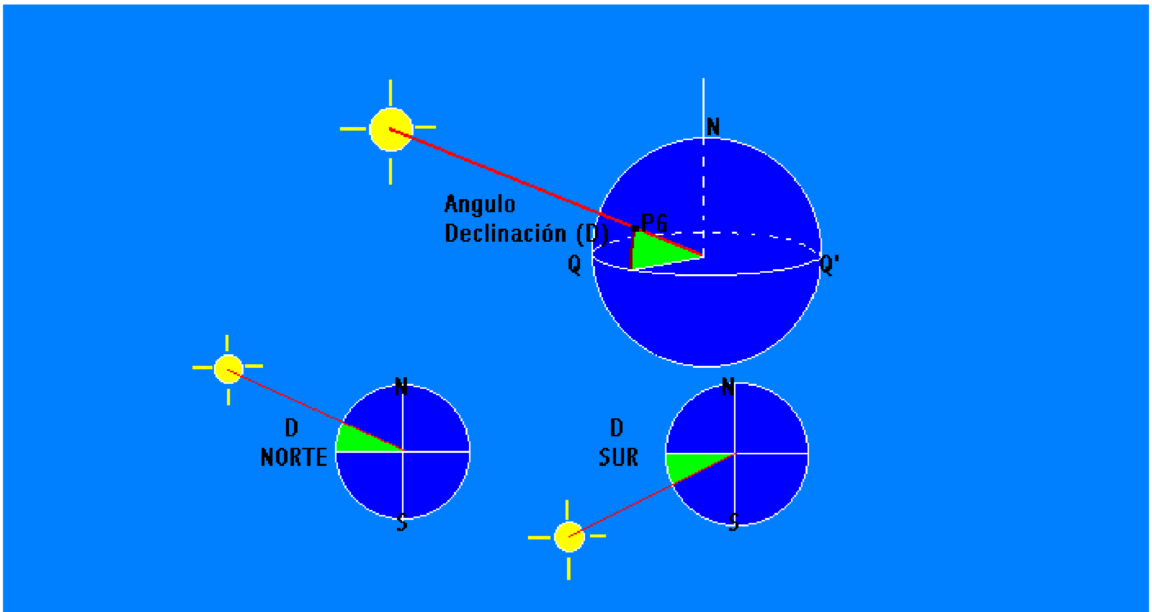


Fig. 10

En el caso concreto del Sol, su declinación variará entre 23º27'N y 23º27'S (recordar lo dicho a propósito del plano de la eclíptica). A tal respecto, es interesante repasar los conceptos expresados en la figuras 6 y 7, para no seguir adelante sin tenerlos suficientemente claros.

Todos los astros tienen una declinación que va variando constantemente. La representaremos como "D" y será positiva, o N, si se encuentra al Norte del ecuador terrestre, y negativa, o S, si se encuentra hacia el Sur (Figura 10, B y C).

Todo punto geográfico de un astro se podrá situar en la corteza terrestre, que es donde se representa por coordenadas. Hemos visto que las coordenadas terrestres se definen como latitud y longitud; pues bien, la declinación de un astro (que acabamos de definir) equivale a la "latitud" del punto geográfico de ese astro.

La otra coordenada, la longitud de ese punto geográfico, llevará el nombre de **ángulo horario**. Su significado está estrechamente relacionado con el concepto: **tiempo**, y será objeto de estudio en el próximo capítulo.

CAPITULO 2

ANGULOS HORARIOS

CONCEPTO DE TIEMPO. DISTINTAS HORAS COMO FORMA DE EXPRESIÓN.

Hemos visto qué eran los meridianos. Hemos visto también que, refiriéndonos a grados enteros, hay 360 meridianos. Son los grados de la circunferencia, de Greenwich al 180º por el Este y otros tantos por el Oeste.

Seguiremos con el concepto de que, para nuestro interés, es el Sol el que gira alrededor de la Tierra. Sabemos que emplea 24 horas en hacerlo; por tanto, si tarda 24 horas en recorrer 360º, tardará 1 hora en recorrer 15º; análogamente, invertirá 1 minuto en recorrer 15 minutos de arco e, igualmente, tardará 1 segundo en recorrer 15 segundos de arco.

Podemos, por tanto, decir que existe una equivalencia entre tiempo y arco (la cual es lógica si consideramos que el movimiento del Sol es el reloj que mide el tiempo).

Así pues:

Tiempo	Arco
24 horas.....................	360º
1 hora......................	15º
4 minutos................	1º
1 minuto..................	15’
4 segundos.............	1’
1 segundo................	15”

Todos nuestros cálculos van a referirse al horario universal u hora de Greenwich. El Almanaque Náutico la designa como UT (Universal Time); esa es la hora que marca el Sol en relación con el meridiano de Greenwich.

Cuando el Sol esté sobre dicho meridiano, es decir, cuando el punto geográfico del Sol (PGSol) esté sobre el meridiano de Greenwich, serán las doce horas del mediodía en ese lugar (y, si hablamos de horario universal, o UT, será también esa hora en toda la Tierra); pero, decimos “en ese lugar” porque existen otras horas en ese mismo momento para otros puntos de longitudes diferentes. Son las llamadas: **Hora Civil del Lugar** (o de “cada lugar”). Ya no hablaremos, en este caso, de UT, sino de Hora Civil.

Supongamos un lugar de longitud 15ºW, allí serán las 12h. cuando el PGSol (punto geográfico del Sol) esté sobre el meridiano 15ºW. Pero, como sabemos que el Sol, en su recorrido de E a W, pasó antes por el meridiano de Greenwich, resultará que cuando en 15ºW sean la 12h., en el meridiano cero (Greenwich) serán las 13h., puesto que el Sol pasó por allí una hora antes.

Concluyamos, pues, diciendo que **Hora Civil (Hc)** es la que marca el Sol para cada meridiano. Existirá, por tanto, una **Hora Civil de Greenwich (HcG)** y una **Hora Civil** de "cualquier otro lugar" **(HcL)** de la esfera terrestre. Nosotros, para el cálculo de la posición, haremos siempre referencia al horario civil de Greenwich o UT.

Pero, reflexionemos: con lo dicho hasta ahora hemos llegado a la conclusión de que, al ser el Sol el que marca la hora, cada meridiano tendrá una hora distinta en el mismo momento. Si llevamos este concepto a sus últimas consecuencias, llegamos a la conclusión de que "yo" tendría una hora civil y "mi" vecino, cuya vivienda estuviera situada un poco más al Este o al Oeste, tendría una hora civil diferente. Esto, en esencia, es totalmente cierto, no obstante, nos conduciría a una situación poco práctica y ciertamente engorrosa.

Para evitar los perjuicios inherentes a este sistema, se ha creado (con el respaldo internacional) un nuevo concepto horario: la **Hora Legal (Hz)**.

A tal efecto, la esfera terrestre se divide en franjas de 15º de longitud de amplitud (Figura 11)

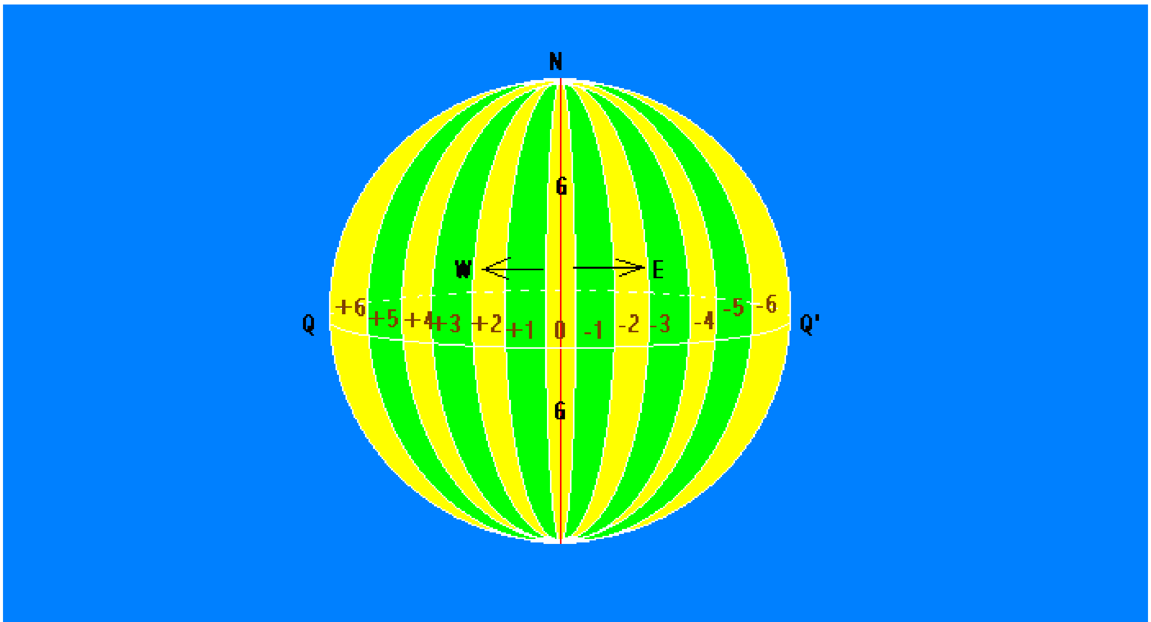


Fig. 11

Dentro de cada una de estas franjas, la cifra de tiempo (en minutos y segundos) es la misma, pero la cifra de las horas varía de una en una –en más o en menos- según vayamos hacia el Este o el Oeste, respectivamente. Estas franjas a que nos referimos se denominan **husos horarios (z)** y se cifran con un número; la número cero tiene en su mitad al meridiano de Greenwich.

Los husos Este llevan signo negativo, mientras que los Oeste, positivo. De este modo, navegando con la hora legal (Hz) y sabiendo nuestro huso horario (z, que deducimos de nuestra longitud), para averiguar la hora civil de Greenwich u hora UT, aplicaremos la fòrmula:

$$HcG = Hz + z$$

Operaremos siempre con el huso z acompañado de su signo.

Análogamente, fundados en esta fórmula, podemos conocer la Hora legal (Hz) a partir de la Hora Civil de Greenwich o UT, así:

$$Hz = HcG - z$$

También aquí, el huso z lo aplicaremos con su signo (en este caso, si fuera Este, la operación sería una suma).

En nuestro caso específico (costas españolas peninsulares y baleares), dado que nos encontramos en el huso horario cero, no tenemos que hacer ningún cambio en dicho sentido; sin embargo, en aguas del Archipiélago Canario, donde el huso es +1, la cosa será diferente. Así, por ejemplo, a las 16 hora legal (Hz), la hora civil de Greenwich (HcG) será:

$$HcG = 16 + 1 = 17$$

Es lógico, pues como el Sol pasó antes por el meridiano de Greenwich, cuando pase por Canarias, en Greenwich ya será una hora más.

O bien, también por ejemplo: a las 14 hora civil de Greenwich, ¿qué hora legal será la del archipiélago Canario, sabiendo que su huso horario es 1+?. Aplicaremos la fórmula

$$Hz = HcG - z$$

$$Hz = 14 - 1 = 13$$

Como el Sol pasó antes por el meridiano de Greenwich, en Canarias aún faltará una hora para su paso.

Así pues, podemos saber en todo momento la hora civil de Greenwich (UT) a partir de la hora legal del huso horario por donde naveguemos. Las fórmulas no son más que un exponente de lo que la lógica hace evidente.

Al reflexionar sobre todo lo dicho, causará perplejidad el considerar que encontrándonos en la península, cuyo huso horario es cero, y, por tanto, estando en hora UT, tengamos que descontar una hora en invierno y dos en verano para igualarnos con esa hora UT. Ello no desdice lo referido hasta este momento. La causa de este desfase debe buscarse en la existencia de la llamada: **Hora Oficial (Ho)**.

Hora Oficial es la “hora de conveniencia” que decreta el gobierno de un pais para mayor aprovechamiento de la luz solar y consiguiente ahorro energético. Consecuencia de ello es que, para obtener en la España peninsular la hora UT, restaremos a la hora oficial: una hora en invierno y dos en verano.

ANGULOS HORARIOS.

Vimos ya, en el capítulo anterior, que con el término: "Declinación" (Norte o Sur) podíamos situar el punto geográfico de un astro sobre la esfera terrestre, pero sólo en lo referente a la latitud.

Para situarlo de una forma más precisa y concreta sería necesaria otra coordenada que nos indicase la "longitud" terrestre de ese punto geográfico.

Pues bien, esta (mal llamada) longitud del punto geográfico de un astro sobre la esfera terrestre es el llamado: **Angulo horario entre el astro y el meridiano de Greenwich**. En el Almanaque Náutico se expresa como: **hGSol** (Sol), **hGLuna** (Luna), etc. (Figura 12)

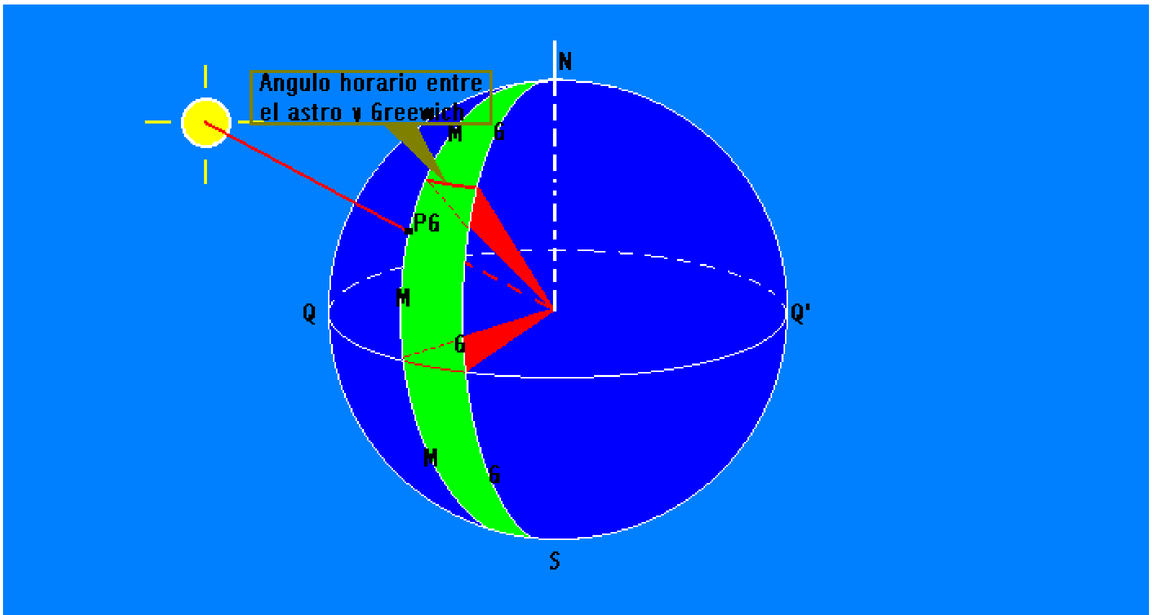


Fig. 12

G: Meridiano de Greenwich　　PGSol: Punto geográfico del Sol
M: Meridiano del PGSol　　1: hGSol

Este Angulo Horario entre el astro y el meridiano de Greenwich se cuenta desde el meridiano hacia el Este; por tanto, cuando el punto geográfico del Sol esté sobre el meridiano de Greenwich, el hGSol será de 0º (ello ocurrirá para el ángulo horario de cualquier estro), y cuando el punto geográfico del Sol esté sobre el meridiano 180º (que es el opuesto a Greenwich), el hGSol será de 180º.

Análogamente, cuando el punto geográfico del Sol está sobre el meridiano 90ºE, el hGSol será de 270º, etc.

Si recapitulamos, nos daremos cuenta de que, como acabamos de decir, la situación del punto geográfico de un astro la conocemos si conocemos su declinación y su ángulo horario con Greenwich (ambas coordenadas varían cada instante de tiempo).

Por suerte, disponemos de unas tablas que nos dan, para cada segundo del año, ambos datos: para el Sol, Luna, planetas y estrellas. Se trata del **Almanaque Náutico** (publicación anual del Instituto Hidrográfico de la Marina).

Queda claro, pues, que podemos situar el punto geográfico de un astro en un instante cualquiera.

Demos ahora un paso más en el tratamiento de estos importantes conceptos: lo que en realidad nos va a interesar es "nuestra posición en relación con el punto geográfico del astro". Esa relación es el llamado: **Angulo horario entre el lugar del observador y el astro**, definido también como **Angulo horario local** (hLSol, hLLuna, hLPlaneta, hLEstrella).

Este ángulo horario local del observador y el astro no es más que el ángulo (en grados, minutos y segundos) entre el meridiano del observador y el del punto geográfico del astro. Para averiguarlo es necesario partir de una longitud aproximada del observador, que no es, ni más ni menos, que la longitud de la posición estimada del mismo, y que por definición no es la verdadera, pues esta es desconocida. Es, en realidad, la que queremos encontrar.

Dicho de otro modo: "para averiguar nuestra situación real mediante el cálculo astronómico es necesario partir de una situación presumible, definida por una latitud estimada (le) y una longitud estimada (Le)".

Hecha esta salvedad, es fácil comprender la forma de averiguar el ángulo horario local. (Figuras 13, A y B)

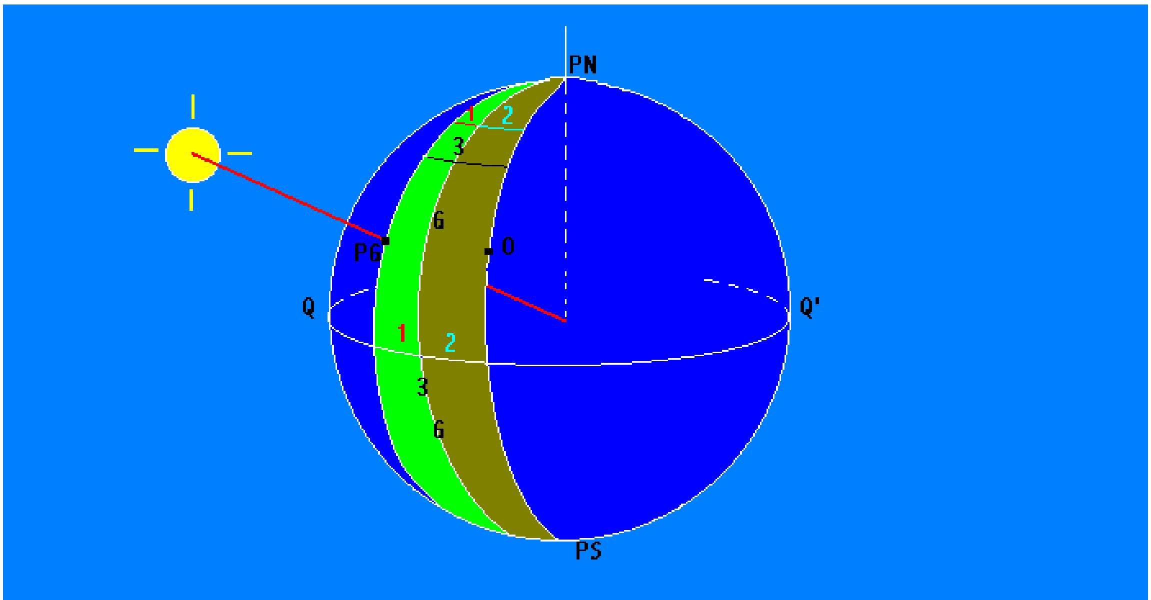


Fig. 13a

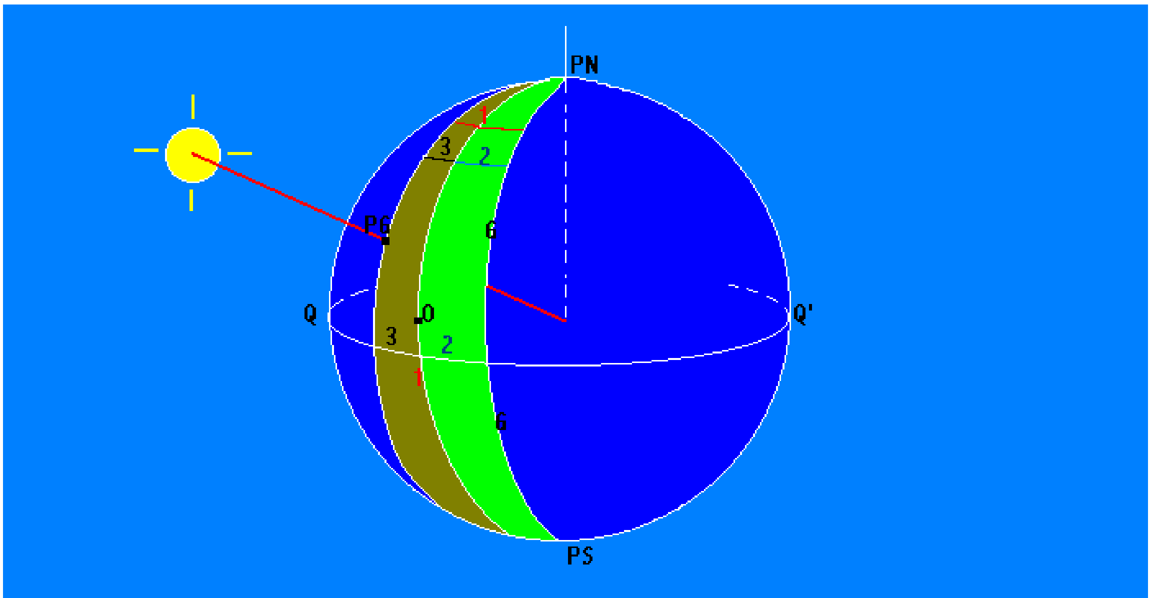


Fig. 13 b

Existen dos casos posibles; si el observador (O) tiene una longitud estimada Este (Fig. 13A), el ángulo horario local (entre el observador y el PG del astro) será igual a la **suma** de ángulo horario entre el astro y Greenwich (1, en la figura).

Si, por el contrario, el observador tiene longitud estimada Oeste (Fig. 13B), el hLSol (3, en la figura) será igual al ángulo horario entre el astro y Greenwich **menos** la longitud estimada del observador (2, en la figura).

Podemos, pues, resumir:

hLAstro = hGAstro + Le (Este) ó – Le (Oeste)

Es importante saber que el ángulo horario local se expresa en grados desde 0º a 360º. Podemos tener un ángulo horario local (por ejemplo, de 350º) tal como se refleja en la situación de la figura 14, con la esfera terrestre vista desde el polo norte.

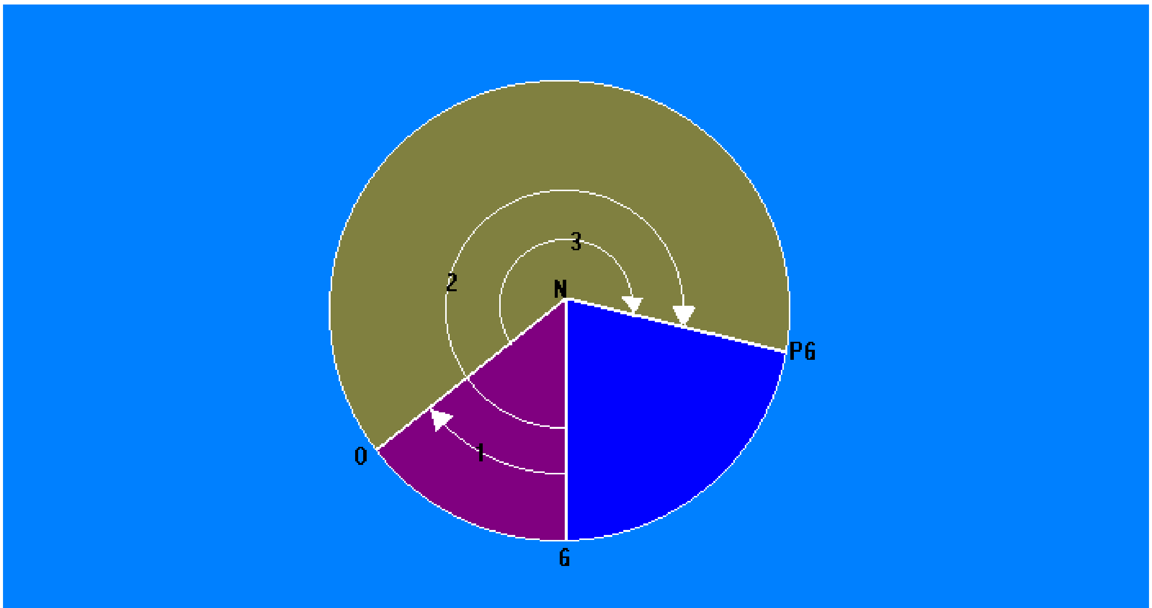


Fig. 14

G: Merid. Greenwich
O: Merid. Observador
PO: Punto Geogr.. Sol

1: Long. Oeste observador
2: hGSol
3: hLSol = hGSol – L (W)

Recomendamos al lector dibuje las distintas combinaciones posibles entre la situación del observador y el ángulo horario del astro y Greenwich, para, aplicando la fórmula de una forma gráfica, averiguar el ángulo horario local (hLAstro) y familiarizarse así con estas opciones.

Del estudio de todos estos conceptos se deduce fácilmente que si el ángulo horario de un astro (por ejemplo el Sol) varía de segundo en segundo, es de vital importancia que al tomar la observación del astro con el sextante (su altura sobre el horizonte) tengamos un control exacto de la hora, con sus minutos y segundos. (Trataremos más ampliamente el tema cuando hablemos de lo concerniente al sextante).

Hoy día, con los relojes de cuarzo y su admirable precisión, esta exactitud ya no es tan problemática como antes. En cualquier caso es muy conveniente poder comprobar la exactitud de nuestro reloj, y para ello lo mejor es disponer de un receptor de radio con el que podamos sintonizar las señales horarias que dan las emisoras nacionales y extranjeras; ajustaremos así los segundos de forma exacta.

La hora "redonda" la convertiremos en hora UT, según lo dicho en el tema del tiempo; pasaremos primero, si fuera preciso, de hora oficial a hora legal y, luego, de hora legal a hora civil de Greenwich o UT, para, con esa hora, poder entrar en el Almanaque Náutico a buscar hGAstro y declinación. Pero, repetimos: es muy importante comprender que todos nuestros cálculos se iniciarán tras obtener la UT del momento de la observación del astro.

CAPITULO 3

CONCEPTOS ASTRONOMICOS LOCALES AL OBSERVADOR

En este apartado, tal y como el título indica, describiremos los conceptos que están en relación directa con el hecho de que existe un "observador". Son, pues, conceptos implícitos al mismo.

HORIZONTE APARENTE

Llamaremos **horizonte aparente** de un lugar (O, en la figura 15) al plano tangente a la superficie terrestre que pasa por ese lugar.

Obviamente, al hablar de "un lugar" nos referimos a la posición que ocupa el observador.

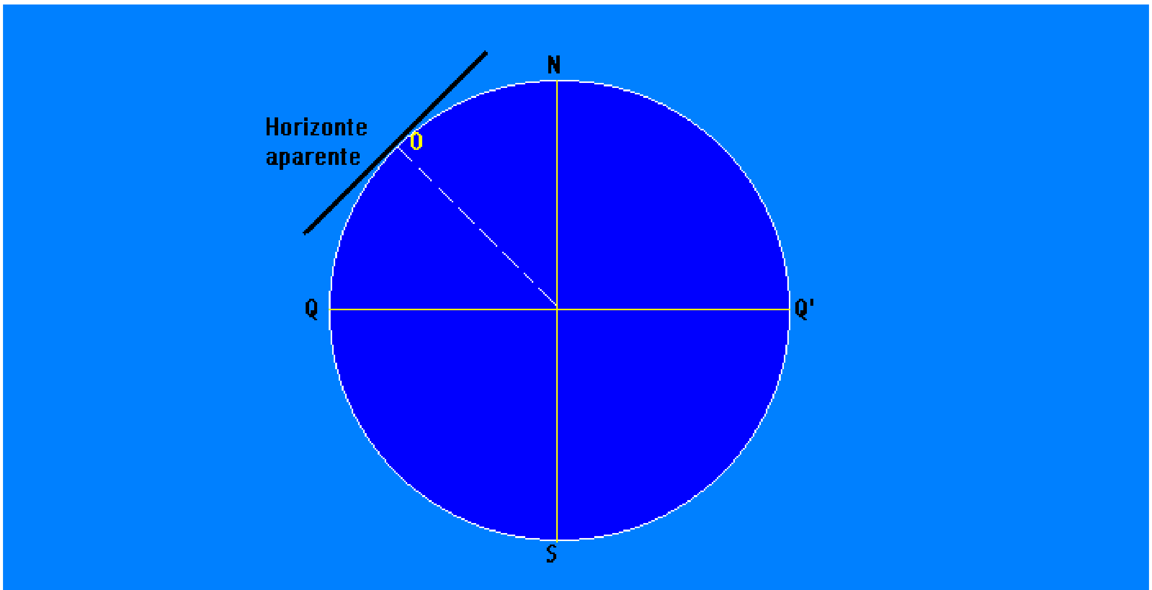


Fig. 15

De esta definición deducimos que el horizonte aparente es perpendicular al radio terrestre del punto o lugar a que se refiere dicho horizonte.

Hablando en sentido figurado y muy localista, el horizonte aparente de un observador en alta mar sería un plano formado por las aguas tranquilas de la mar hasta donde alcanza la vista.

CENIT

Si unimos el centro de la esfera terrestre con el punto donde está situado el observador y lo prolongamos al espacio, obtenemos el **cenit** del observador. En otras palabras: es la prolongación al espacio de la vertical, en el lugar del observador (Figura 16)

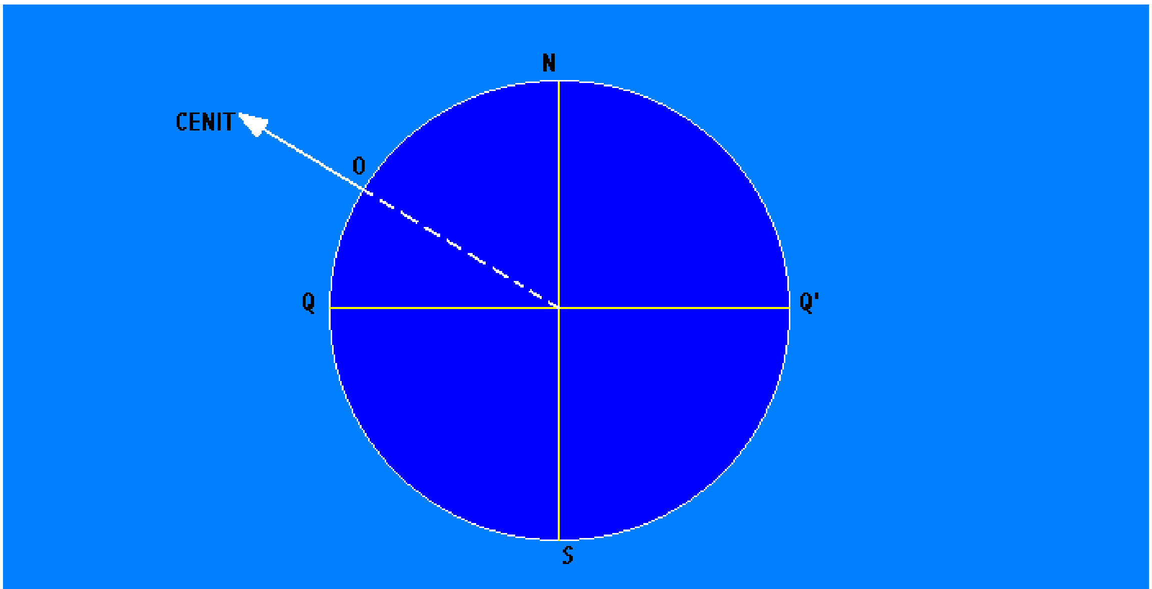


Fig. 16

En sentido figurado, sería la prolongación al cielo de la “coronilla” de la cabeza del observador, estando éste en posición de firmes (vertical).

BOVEDA CELESTE LOCAL

Imaginemos un observador en la mar, con su horizonte aparente y la porción de firmamento que alcanza a visualizar desde su posición. Todo ello se podía representar como una inmensa bóveda celesta local, acoplada a un plano (el horizonte local) con sus puntos cardinales.

En esta bóveda aparecen los astros por el Este, la recorren, y desaparecen por el Oeste (Figura 17)

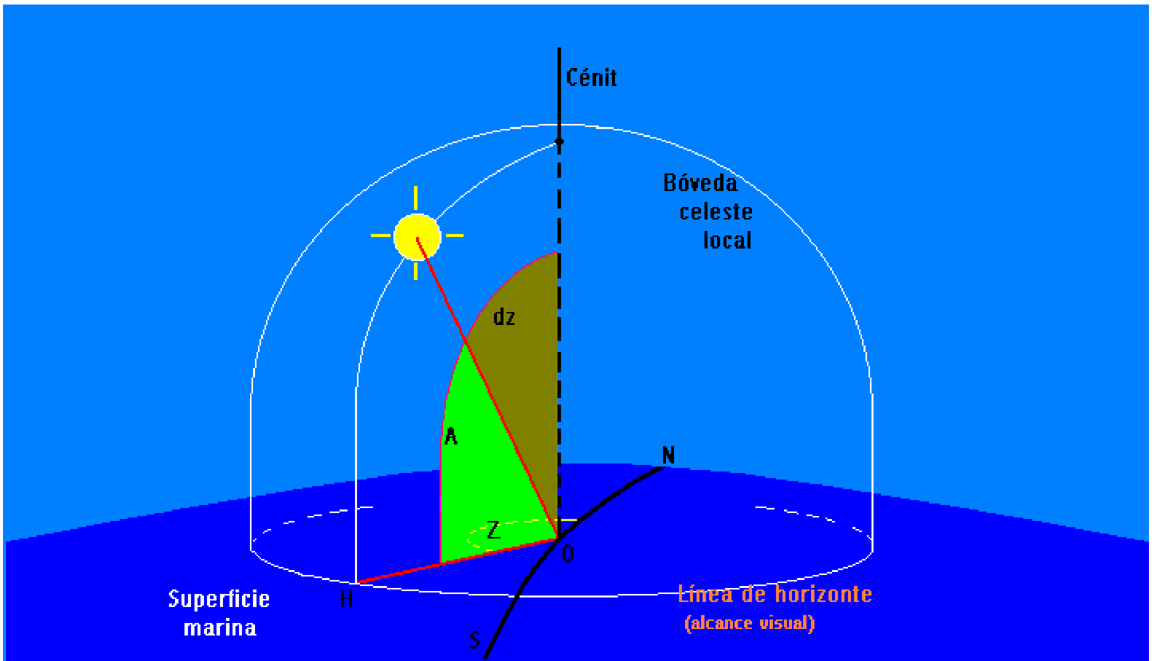


Fig. 17

O : Observador	Ze : Cenit
Z : Acimut	dz : Distancia cenital

Sobre este esquema vamos a intentar describir los tres conceptos siguientes: **Altura, Distancia cenital** y **Acimut**.

ALTURA Y DISTANCIA CENITAL

Volvamos a la figura 17; si desde el astro dejamos caer una vertical a nuestro horizonte, cortará a éste en el punto H.

Desde el punto O (observador) llevamos una recta hasta el astro y otra al punto H. Entre ambas se forma un ángulo (A), que no es otro que la llamada **altura** del astro sobre el horizonte del observador. En otras palabras, la altura de un astro en un momento dado es el ángulo que forma la visual dirigida al astro y la línea que va desde el observador al punto en que la vertical del astro corta al horizonte.

En una imagen de toda la esfera terrestre sería tal y como se aprecia en la figura 18.

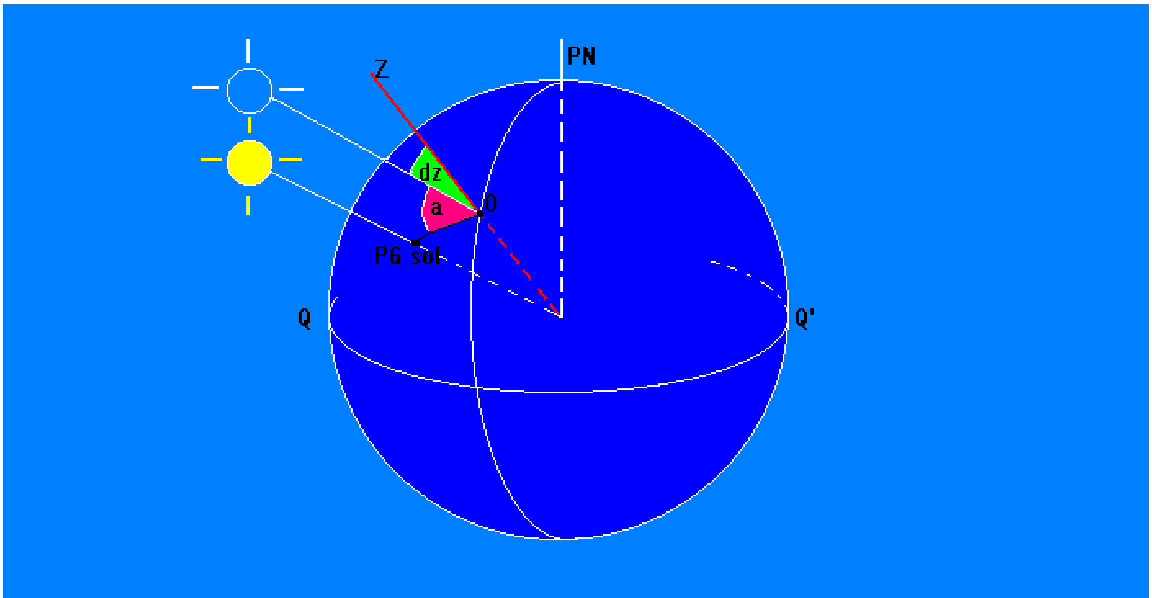


Fig. 18

a : Altura — O : Observador
PGSol : Punto geográfico Sol — dz : Distancia cenital

Cuando el astro pasa por el meridiano del observador, la altura será máxima; hablamos, entonces, de “**culminación**” del astro. El momento en que ello ocurre es a las doce horas del medio día (hora civil del observador).

En nuestras latitudes (hemisferio Norte), este momento se produce cuando el Sol pasa por el Sur verdadero del observador.

Consecuencia del concepto de “altura” es el de **distancia cenital** (**dz**). Se define como el ángulo que se forma entre: la visual de la observación del astro y la recta del cenit del observador (Ze).

La importancia del concepto de distancia cenital es la de saber que se trata de un ángulo complementario de la altura; es decir,

Dist. Cenital (dz) = 90º - A

Se comprende, viendo la figura 18, que el ángulo dz y el a (distancia cenital y altura) suman 90º, pues, por definición, la recta del cenit es perpendicular al horizonte aparente.

En un esquema más sencillo, con el horizonte aparente como base, sería (Figura 19):

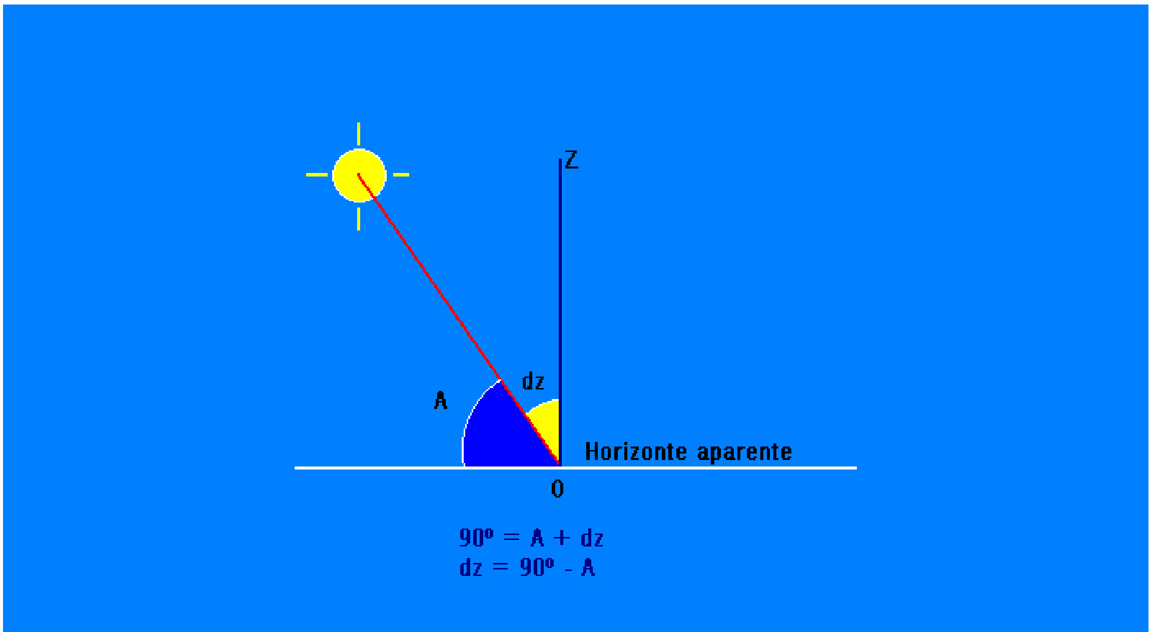


Fig. 19

$90º = A + dz$ $\qquad\qquad$ $dz = 90º - A$

ACIMUT

Definimos el **acimut** (**Z**) como el ángulo que forma la línea que une la base del astro al horizonte, con el Norte del observador (o meridiano del observador). Figura 17 y 20,A.

Cuando el punto geográfico del Sol se encuentra en el meridiano del observador (doce del medio día, hora civil): el acimut será de 0º, si el punto geográfico del Sol se encuentra al Norte del observador; y de 180º, si se encuentra al Sur del mismo (Figura 20, B y C).

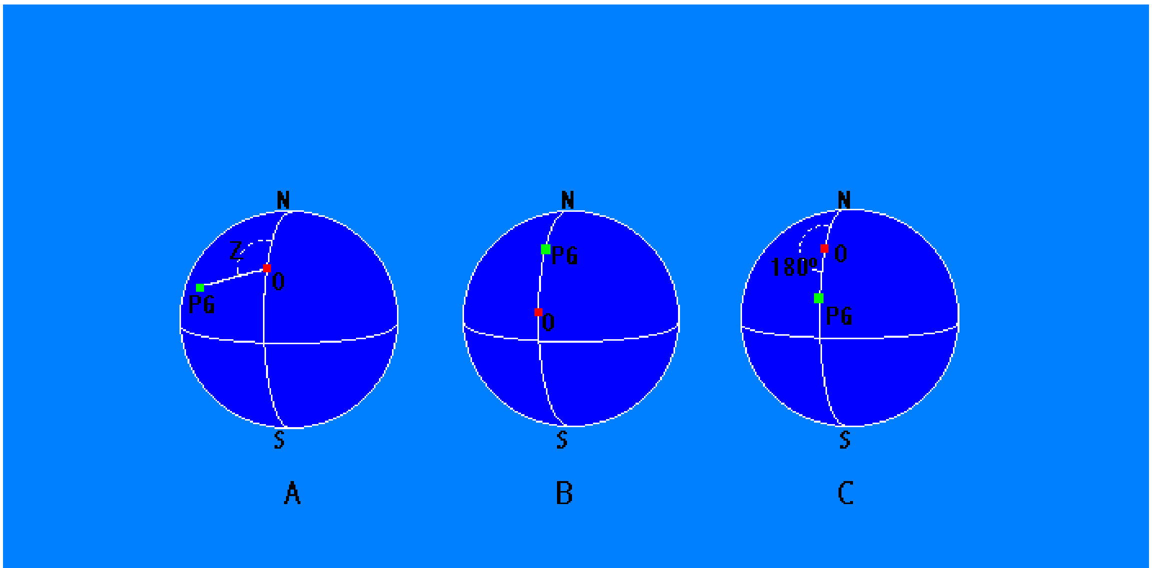


Fig. 20

Precisamente en estos casos es cuando se produce el ya citado momento de la culminación o "**meridiana**". Como veremos más adelante, es el instante preciso para "tomar" la **altura meridiana** del astro y obtener rápidamente la latitud del observador; pero, antes hemos de estudiar todo lo relativo al sextante.

CAPITULO 4

SEXTANTE

DESCRIPCIÓN

El sextante es un instrumento de tipo óptico cuya única misión es la de medir valores angulares. Consta de las siguientes partes (Figura 21):

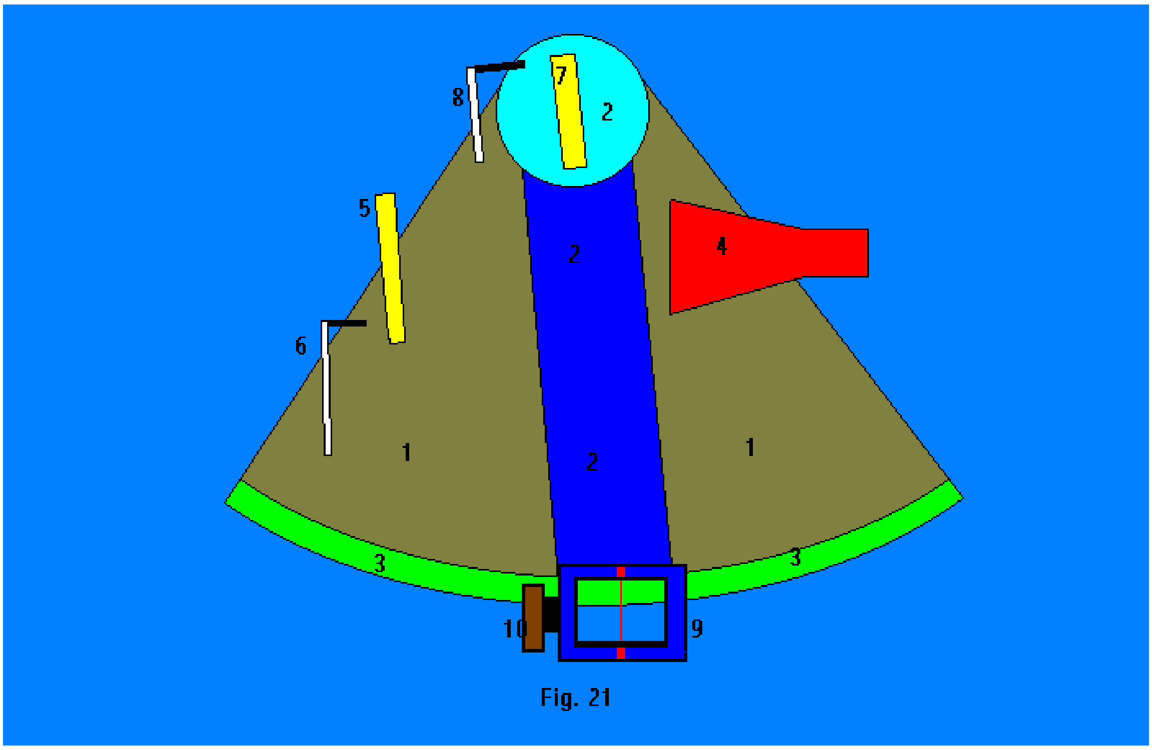


Fig. 21

A) Partes fijas: **Cuerpo** o **Sector** del sextante (1), con:
   - **Limbo**(3), graduado en grados
   - **Visor** óptico (4).
   - **Espejo pequeño** (5) con sus **filtros** (6)

B) Partes móviles: **Alidada** (2), con:
   - **Espejo grande** (7) con sus **filtros** (8)

-**Indice** de lectura de grados (9)
-**Tambor** para movilizar la alidada por el limbo mediante movimiento de tornillo, en cuya cabeza existe otra escala para leer los minutos y décimas de minuto (10).

Los filtros (6 y 8) no son más que cristales de colores para mitigar el brillo intenso del Sol o los reflejos del horizonte.

El espjo grande (7) va fijo a la alidada (2) y sigue los movimientos de esta. El espejo pequeño (5) va fijo en el sector.

Hemos de citar la particularidad de que este espejo es más estrecho en sentido vertical, quedando la diferencia de anchura sin reflectante y formada sólo por cristal transparente (Figura 22). En su momento veremos el porqué de esta peculiaridad.

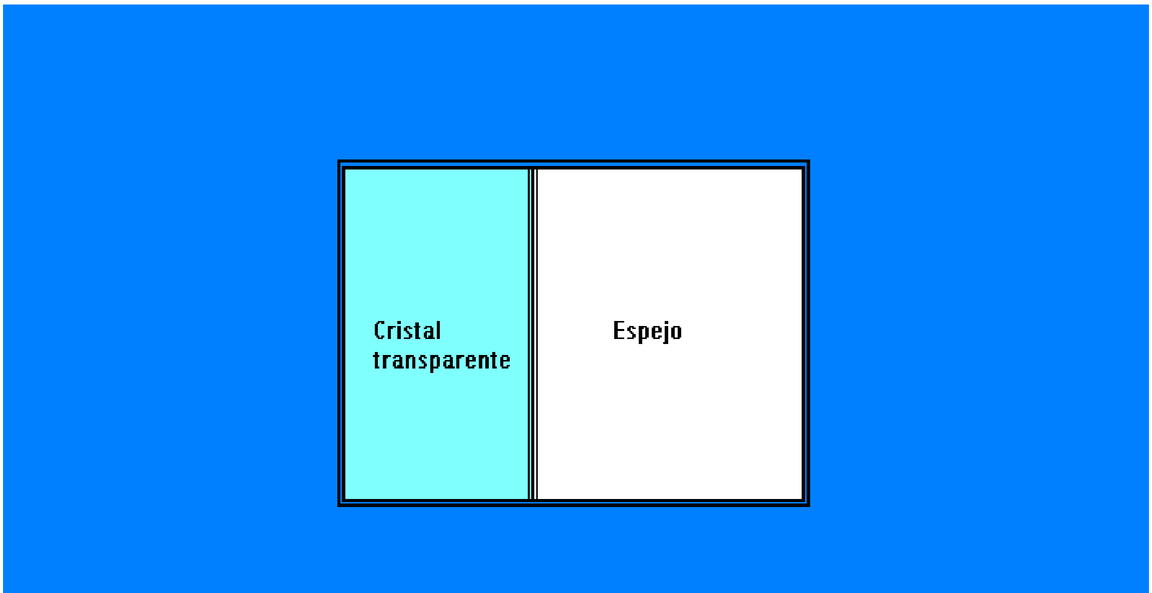


Fig. 22

FUNCIONAMIENTO

Como ya sabemos, la finalidad del sextante es medir el ángulo formado entre la visual del observador al astro y la visual del observador al horizonte, en la vertical de dicho astro.

Antes de introducirnos en el tema, aclararemos que vamos a referirnos al caso particular del Sol. A tal respecto, lo ideal sería medir el ángulo entre el “centro” del Sol y el horizonte, pero como no hay ningún dato que nos haga referencia a ese centro, tendremos que guiarnos por el borde inferior del Sol (**limbo inferior**), o por el borde superior (**limbo superior**).

En la práctica usaremos solamente el limbo inferior.

El fundamento óptico del aparato se aprecia en la figura 23:

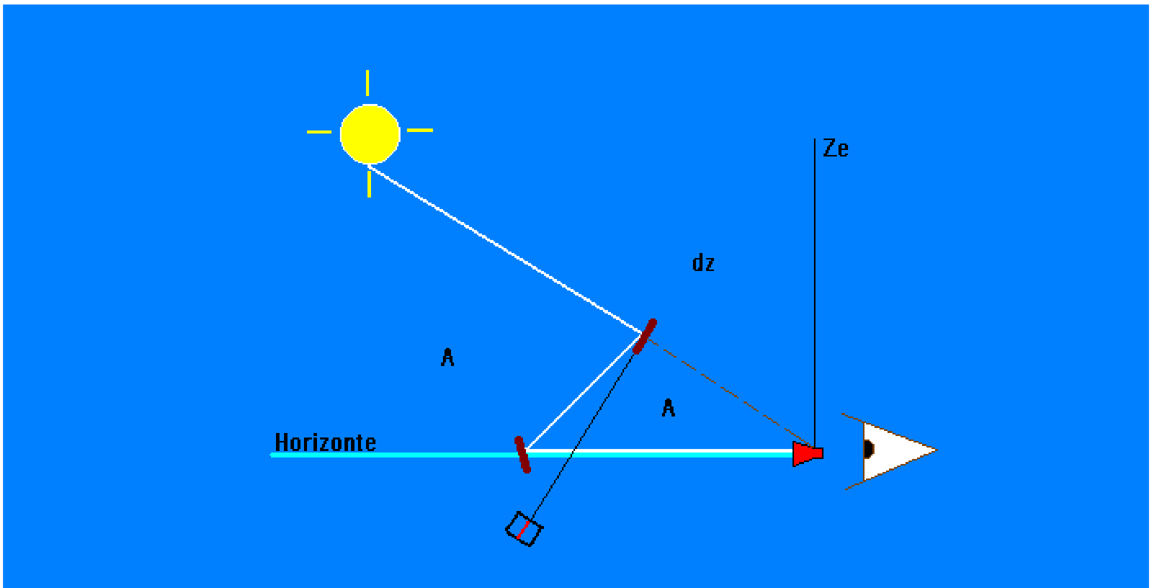


Fig. 23

El horizonte se transmite al ojo del observador a través de la parte de cristal transparente (a que antes hacíamos referencia) del espejo pequeño o fijo; es, pues, una visión directa.

El Sol se refleja en el espejo grande (móvil, unido a la alidada) y su imagen es enviada al espejo pequeño (zona de “espejo”, propiamente dicha).

Moviendo la alidada hacia delante o hacia atrás, haremos que la imagen reflejada del Sol ascienda o descienda. Cuando consigamos que su limbo inferior esté tangente al horizonte, la cifra que nos indique (leída en el limbo del sector) será la altura del Sol (limbo inferior) en grados.

En una imagen de lo que ve el observador (Figura 24),

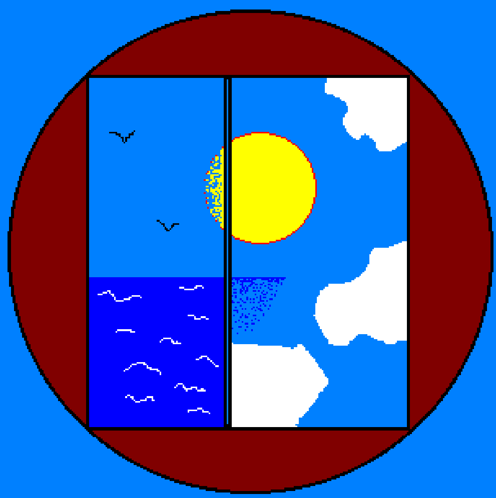


Fig. 24

a la izquierda se aprecia la visión directa del horizonte; a la derecha aparece la imagen reflejada del cielo y del astro. Si bajamos un poco más el Sol (accionando el tornillo "sin fin" del tambor de la alidada), lo llevaremos a "tangentear" al horizonte.

Existe un procedimiento muy conveniente que consiste en balancear el sextante mediante un ligerísimo movimiento de muñeca, teniendo como eje de balance el visor óptico a través del cual estamos observando (Figura 25).

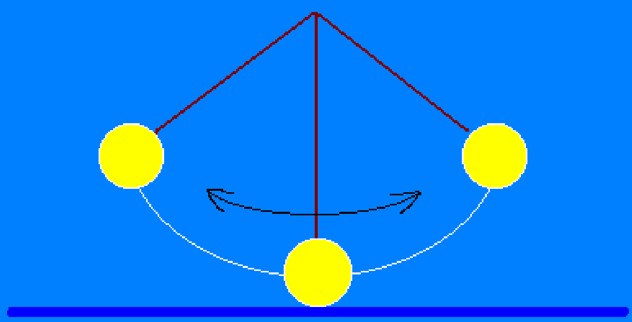


Fig. 25

Al realizar esto obtenemos dos ventajas: por un lado, conseguimos que se imbriquen (prácticamente) las imágenes del Sol y del horizonte, facilitando así la operación de colocar el Sol en su sitio correcto; por otro lado, obtenemos la ilusión óptica de que el Sol describe un movimiento de péndulo, de forma que conseguimos el "tangenteo" al horizonte en su posición más baja posible.

AJUSTE DEL INSTRUMENTO

La exactitud del sextante depende, esencialmente, de que el espejo grande sea perfectamente perpendicular al plano del sector, y de que el espejo pequeño sea perfectamente paralelo al espejo grande. Por tanto, para conseguir su ajuste debemos comenzar por colocar el espejo grande perpendicular al sector y, luego, ya nos preocuparemos del pequeño.

1-Ajuste del espejo grande:

Para conseguirlo nos valdremos de la siguiente artimaña (Figura 26,A): Colocaremos la alidada del sextante en la posición aproximada de los 30º y el sector en posición horizontal (se consigue fácilmente apoyando las patas-soporte de que va dotado, sobre una mesa).

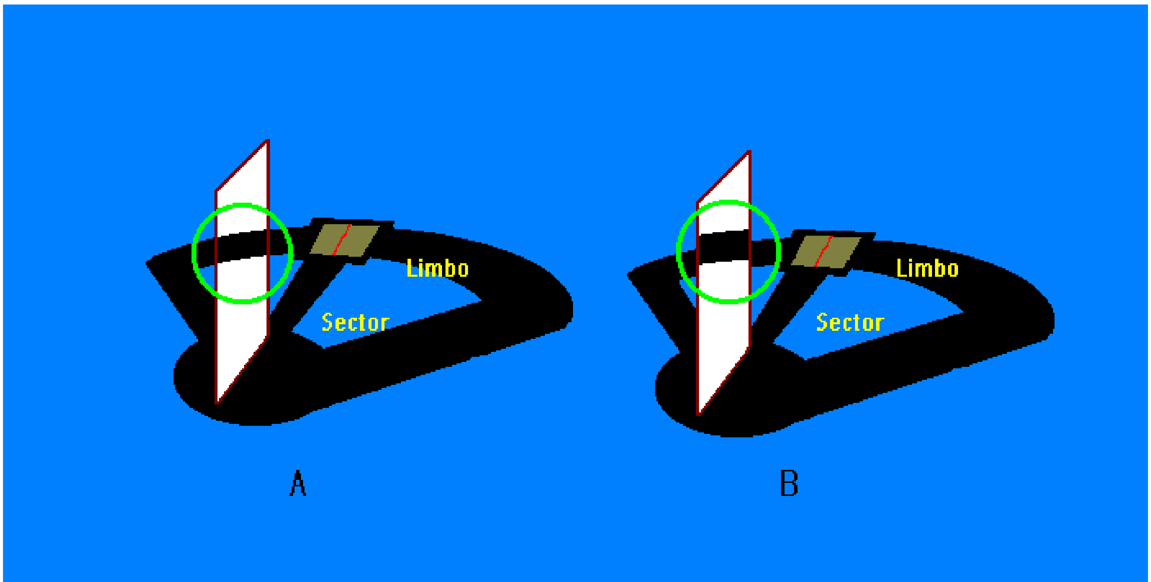


Fig. 26

Enrasando la vista al plano del sector, miraremos por el espejo grande y observaremos la imagen directa del limbo y la imagen reflejada del mismo limbo, que aparece en el espejo. Si ambas aparecen alineadas (Figura 26,A) significa que el espejo está perpendicular al plano del sector; si ambas imágenes no se alinean, significa lo contrario (Fig. 26,B). Tendremos que actuar sobre el espejo –ajustando unos pequeños tornillos dispuestos al efecto por el fabricante- hasta conseguir la alineación de las imágenes.

Es importante saber, respecto a la manipulación de los tornillos, que estos son muy sensibles; el ajuste se consigue (casi siempre) no a base de vueltas, sino de “cuartos” de vuelta, o, tal vez, menos.

2-Ajuste del espejo pequeño:

La haremos siempre en segundo lugar, tras haberlo logrado con el grande.

Para ello existen varios métodos: el más conveniente (por lo práctico) consiste en tomar como referencia un objeto nítido, distante (al menos) dos millas, por ejemplo: un edificio, una torre o una montaña.

Ajustamos el tornillo del tambor a 0º y 0´, y miramos al objeto (Figura 27).

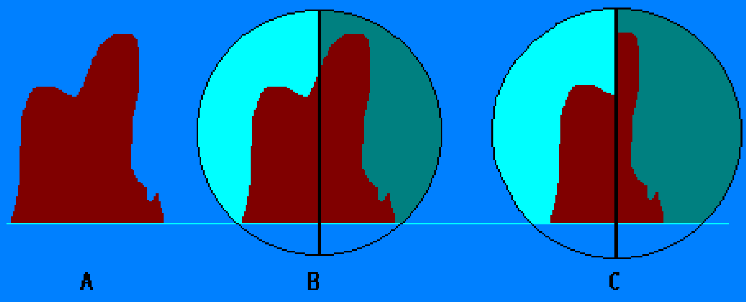


Fig. 27

Puede ocurrir que veamos la imagen (Figura 27,A) tal cual es (Figura 27,B) o que haya una alteración en sentido lateral, vertical o ambas. Moveremos con cuidado (y por tanteo) los tornillos del espejo pequeño hasta que la imagen aparezca sin alteraciones.

Si nos encontramos en mar abierta y no hay costa a la vista, podemos hacer el reglaje del espejo con el Sol o con el horizonte; si es con el Sol, colocamos igualmente el sextante a cero “total” y (visualizando el Sol) si existe mala posición del espejo pequeño, veremos la imagen de la figura 28, A o B.

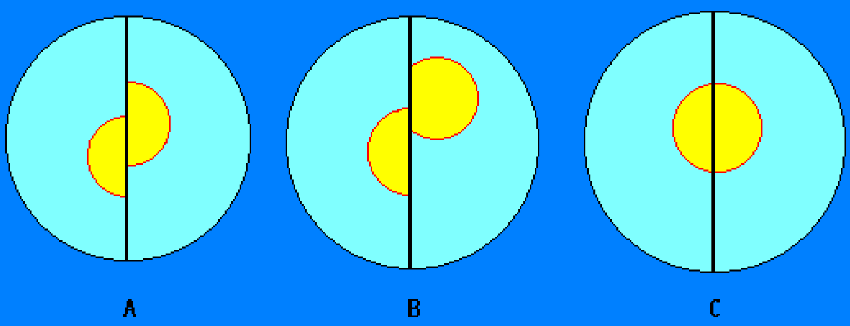


Fig. 28

Actuaremos, entonces, sobre los tornillos del espejo pequeño para conseguir la imagen correcta (Figura 28,C).

A pesar de todo lo dicho, el método más usado en la rutina del sextante es el de comprobar el espejo pequeño mediante la visualización del horizonte. Puede ocurrir que veamos la imagen correcta, en cuyo caso no debemos hacer nada; pero puede ocurrir, también, que aparezca la imagen de un horizonte no lineal (Figura 29,B y C)

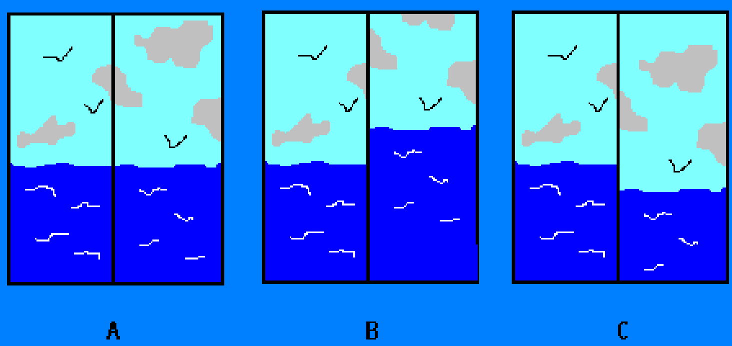


Fig. 29

En este caso podemos (como ya hemos indicado) actuar sobre los tornillos y corregir la posición; sin embargo, lo más práctico será alinear correctamente la imagen del horizonte accionando la cabeza del tambor. A continuación, leeremos lo que indica la graduación de los minutos (lógicamente no marcará cero, puesto que hemos tenido que moverlo, sino unos minutos por arriba o debajo de ese cero) (Figura 30, A y B)

Esa cifra nos dará la **corrección**, en más o en menos, que hemos de hacer a la lectura, para obtener el ángulo exacto.

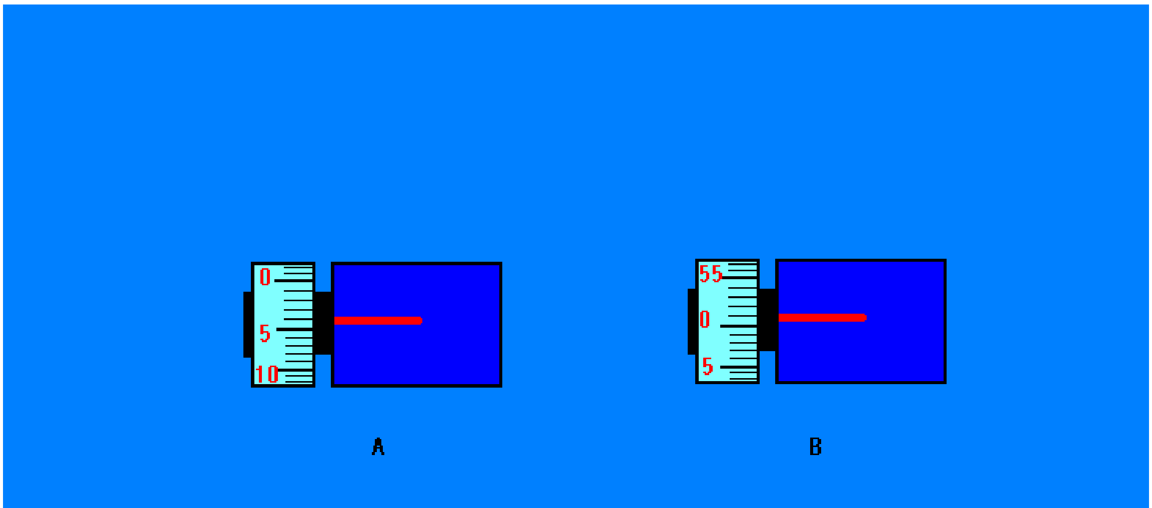


Fig. 30

Pues bien, esa "corrección"constituye el llamado **error de índice** o **error instrumental** (**Ei**).

Así, en el caso de la figura 30,A, marca 4´ pasado el cero, cuando debía marcar cero; por tanto:

$$Ei = -4$$

que es la cifra que habrá que restar a la altura obtenida.

En el caso de la figura 30,B, por el contrario,

$$Ei = +1$$

Como norma general, y para prevenir errores, esa comprobación con el horizonte debería hacerse siempre, antes de tomar cualquier altura.

CORRECIONES AL ANGULO DE ALTURA

Hemos visto que con el sextante obtenemos la altura de un astro; es lo que llamamos **Altura Instrumental** (**Ai**).

Comprobaremos si el instrumento tiene error de índice (Ei) y lo añadiremos o sustraeremos a la Ai, obteniendo, así, la **Altura Observada** (**Ao**), de modo:

Ai +/- Ei = Ao

Pero, hemos de tener en cuenta que esta altura observada no es la verdadera; ello por varias razones:

A) La altura variará según sea la elevación del observador sobre el nivel del mar (Figura 31).

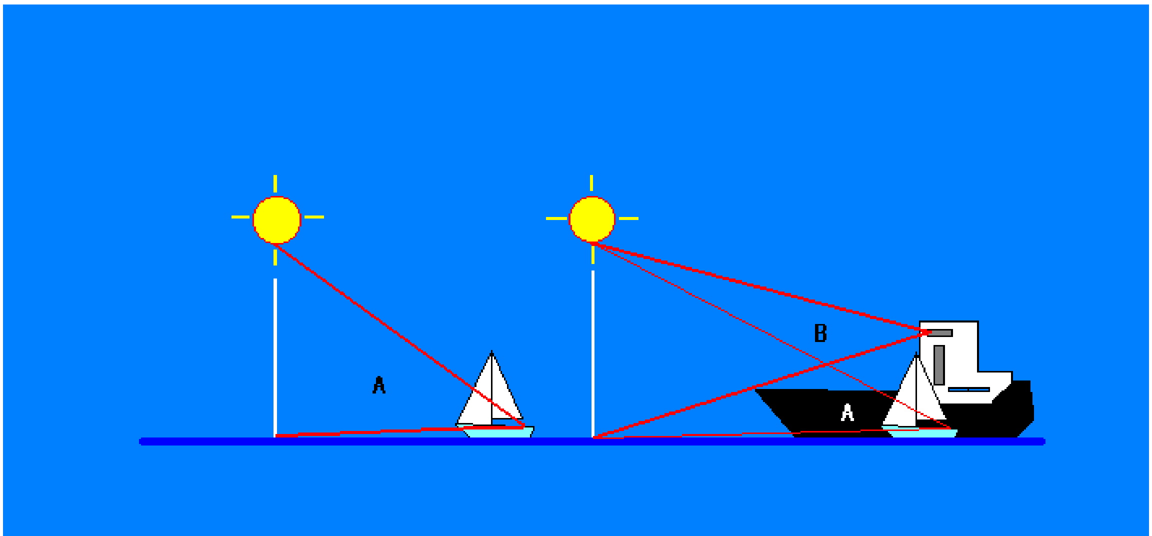


Fig. 31

En efecto, no es lo mismo la altura tomada desde la cubierta de un pequeño velero, que la obtenida desde el puente de un gran buque, a más de 20 metros sobre el nivel del mar. Eso es lo que recibe el nombre de: corrección por **depresión del horizonte**.

Existen unas tablas, al final del Almanaque Náutico, que indican la corrección (en minutos y décimas, y siempre negativa) que debe hacerse a la altura observada (Ao), en virtud de esa elevación del observador (ver Apéndice).

B) Existen otras circunstancias que modifican, igualmente, la altura observada, cuando se trata del Sol y la Luna (no será así en el caso de planetas y estrellas).

Hemos de recordar que tomamos la altura de un “limbo”, pero NO del centro del astro; se comete, por tanto, un error de medición que corresponde al valor del ángulo que ocupa el radio del objeto (también llamado: semidiámetro).

Pero, además, hay que tener en cuenta que existen unos fenómenos de **refracción** visual a nivel de las capas atmosféricas; por último, hemos de pensar que tomamos la altura desde la superficie de nuestro planeta, cuando, en realidad, deberíamos hacerlo desde el centro de la Tierra. Ello implica otro error, error de **paralaje**, que deberemos corregir.

Afortunadamente, todas estas correcciones vienen agrupadas y definidas en el Almanaque Náutico, en relación a la magnitud de la altura observada (ver Apéndice).

Hemos preparado, de forma informal, un compendio de estas correcciones, tomando como constante una elevación del "ojo" del observador de dos metros sobre el nivel del mar (que es la que suele haber desde la bañera de un yate deportivo medio), de modo que con una sola corrección podamos pasar de altura observada (Ao) a **Altura Verdadera** (**Av**).

Es este:

Elevación del Observador: 2 m.

Sol, limbo inferior		**Estrellas y Planetas**	
Ao	Correc.	Ao	Correc.
08º45'		*09º20'*	
	+ 8'		**– 8'**
10º00'		*10º00'*	
	+ 8,5'		**– 7,6'**
11º06'		*11º30'*	
	+ 9'		**– 7'**
12º26'		*12º30'*	
	+ 9,5'		**– 6,7'**
13º44'		*14º*	
	+ 10'		**– 6,1'**
15º45'		*16º*	
	+ 10,5'		**– 5,5'**
18º23'		*19º*	
	+ 11'		**– 5'**
21º59'		*22º*	
	+ 11,5'		**– 4,5'**
25º59'		*28º*	
	+ 12'		**– 4,1'**
35º16'		*36º*	
	+ 12,5'		**–3,5'**
48º53'		*50º*	
	+ 13		**–3'**
73º14'		*80º*	
	+ 13,5'		**– 2,5'**
90º		*90º*	

Debemos dejar claro que este método es para abreviar; en realidad, lo verdaderamente correcto es aplicar las distintas correcciones que traen las tablas, aunque, en la práctica, las diferencias entre un método y otro apenas son apreciables.

Cuando el astro observado es la Luna, existen peculiaridades que merecen ser tratadas en otro capítulo.

En cualquier caso, y tras asimilar estos conceptos relativos al sextante, estamos ya en condiciones de tomar alturas a los astros y sacar las consecuencias prácticas pertinentes.

CAPITULO 5

LA MERIDIANA

Tal como hemos comentado ya, denominamos: “momento de la meridiana” al instante en que el astro (durante el desarrollo de este capítulo será siempre el Sol) pasa por encima del meridiano del observador; dicho de otra forma: el “punto geográfico” del Sol (PGSol) coincidirá, en ese momento, con el meridiano del observador.

También hemos estudiado que el Sol tiene una declinación que varía, aproximadamente, entre los paralelos 23º27’N y 23º27’S, a lo largo del año. Por tanto, el PGSol estará siempre comprendido entre ambos (zona tropical).

Nuestra embarcación podrá estar situada, lógicamente, en cualquier punto de “su” meridiano (fuera o dentro de los trópicos, hemisferio Norte o Sur), según sea su latitud. Pues bien, en todos los casos posibles, pero siempre dentro del momento de la meridiana, va a ser aplicable lo que vamos a comentar en este capítulo.

LATITUD POR LA MERIDIANA

Conociendo una longitud estimada aproximada (Le) y, por tanto, conociendo también la hora civil del lugar en cuestión (repasad el capítulo 2) y disponiendo de un reloj (luego veremos que incluso sin él), podemos averiguar de forma sencilla la latitud (l) en que se encuentra la embarcación.

Fijémonos en la figura (Figura 32),

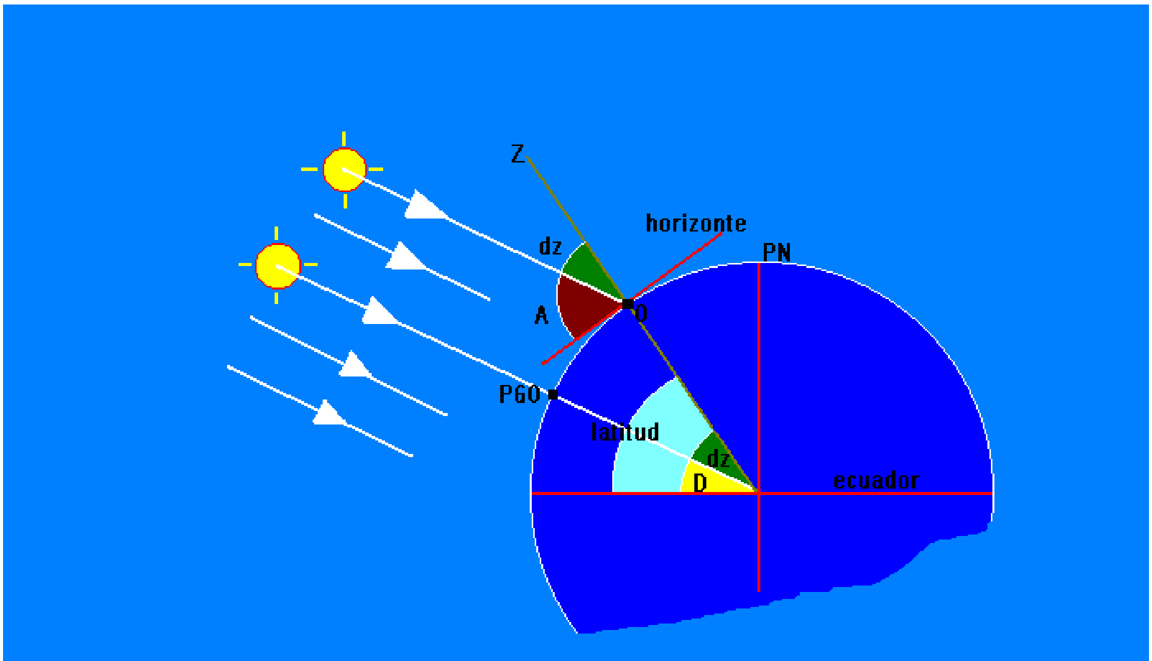


Fig. 32

Podemos ver la posición del observador (O) y el punto geográfico del Sol (PGSol). Puesto que dijimos que en el momento de la meridiana el PGSol pasa por el meridiano del observador , en la figura representaremos a ambos en el mismo meridiano, que, para mayor claridad de la demostración, haremos coincidir con el plano del papel del dibujo.

Podemos darnos cuenta que hemos representado dos soles; de esta forma comprenderemos mejor el objetivo del esquema. Podemos permitirnos el hacerlo así, pues, teniendo en cuenta la gran distancia entre el Sol y la Tierra, es cierto el suponer que los rayos del Sol llegan paralelos a la Tierra.

Hecha esta aclaración, seguiremos interpretando la figura. Vemos el horizonte aparente del observador y su cenit (Z). El ángulo correspondiente a la altura del Sol es “A”, y el ángulo de la distancia cenital es “dz”.

Recordemos el concepto ya conocido de que:

$$A + dz = 90º,$$

por tanto,

$$dz = 90º - A$$

De este modo, conociendo A (que nos proporciona el sextante) conocemos también dz.

Pero, en la figura,

$$dz = dz'$$

puesto que un lado es común y los otros dos son paralelos.

Además, el ángulo D es la declinación en ese momento (que conocemos por el Almanaque).

Podemos decir, por tanto: **“Conociendo los ángulos distancia cenital (dz) y declinación (D), la relación entre ambos** (en este caso, la suma) **proporciona, directamente, la latitud del observador”**.

Así:

$$l = dz + D$$

Dijimos que el PGSol varía durante el año, por tanto, la declinación será Norte o Sur. Nuestra latitud puede, también, ser Norte o Sur, pero ello no nos ofrecerá duda, a menos que nos encontremos muy cerca del ecuador. Así pues, según la declinación sea Norte o Sur, y según estemos navegando por el hemisferio Norte o Sur, existirán unas variaciones en el signo de esta fórmula, que se pueden resumir en:

a) Se cumple la regla: **l = dz + D** cuando la latitud y la declinación son ambas Norte o Sur.
b) Se cumple la regla: **l = dz – D** cuando la latitud y declinación son de distintos hemisferios.
c) Existe una excepción a la primera regla: cuando la latitud y declinación son del mismo hemisferio (ambas Norte o Sur), pero se sospecha que la latitud debe ser menor que la declinación (esto sólo es posible navegando por latitudes menores de 23º27’), en ese caso: **l = D – dz**

A continuación veremos, sobre un caso práctico, cómo sabremos cuándo va a encontrarse el Sol en el momento de la meridiana y cómo obtenemos la altura del Sol en ese preciso momento.

Hemos de hacer hincapié en que el único dato que deberemos aportar por nuestra parte es el de la altura del Sol en el momento propicio.

CASO PRACTICO:

Fecha: 18 de Abril de 1978

Estamos navegando por una zona al NE del archipiélago balear, en una longitud estimada de 005º10’E.

La mañana ya está avanzada, el día es bueno, despejado, y las condiciones de navegación son óptimas.

Decidimos preparar una toma de altura del Sol a la hora de la meridiana. Para ello, lo primero que deberemos saber es a qué hora se producirá el paso del Sol por la meridiana (longitud) de nuestra embarcación.

Sabemos que nuestra longitud estimada es 005º10’E; abrimos el Almanaque Náutico por la página referente al 18 Abril (ver Apéndice) y, en la columna referente al Sol, vemos:

PMG = 11h59m’4

Ello quiere decir: **P**aso del Sol por el **M**eridiano de **G**reenwich, a las 11 horas, 59 minutos y 4 décimas de minuto.

Recuérdese que todas las referencias a horas se hacen en UT.

Nosotros estamos en longitud estimada 005º10'E. Convertimos el arco 5º10' en tiempo. Al final del Almanaque (véase Apéndice) existe una Tabla de Conversión Arco-Tiempo y viceversa, donde vemos:

5º = 0h 20m
10'= 0m 40s
5º10'= 0h 20m 40s

Como quiera que estamos al Este de Greenwich, el punto geográfico del Sol (que camina del Este hacia el Oeste) pasará antes por nuestro meridiano que por el de Greenwich, por tanto:

PMG = 11h 59m (despreciamos los segundos) - 0h 20m = **11h 39m**

Ello quiere decir que a 11h 39m (UT) será el "momento de la meridiana" para la posición estimada de nuestro barco. Pues bien, sabiendo esto, unos diez minutos antes de esa hora comenzaremos a observar el Sol con el sextante y lo llevaremos a tangentear con el horizonte. Haremos observaciones cada minuto aproximadamente y veremos que, en cada ocasión, es necesario "bajar" el Sol al horizonte del instrumento, puesto que el astro sigue ganando altura hasta llegar al momento de la culminación, para ir descendiendo a continuación.

Tomando, pues, estas observaciones sucesivas, llegará un momento en que ya no será necesario tocar el sextante, pues el Sol, durante unos minutos, seguirá tangente al horizonte, para, posteriormente, ir descendiendo por debajo de este.

En ese momento, sin tocar el sextante (insistimos), leeremos el valor angular que nos marca. En el caso práctico que estamos considerando sería:

Ai = 59º44'4 Sol, limbo inferior
(En el caso del Sol siempre nos referiremos al limbo inferior)

Hemos obtenido así la altura; pero esta es la altura instrumental y ya sabemos que debemos corregirla. Supongamos que nuestro sextante tiene un error de índice nulo; sólo tendremos que corregir semidiámetro, refracción y paralaje.

Si suponemos que la elevación del observador es de dos metros, podemos aplicar la corrección global de la tabla que se propuso en el capítulo anterior, así:

Ao = 59º44'4
+ 13'
Av = 59º57'4

A partir de este dato podemos obtener la distancia cenital; en efecto:

dz= 90 – Av
dz= 90º - 59º57'4

Esta resta la haremos así:

$$90º = 89º59'10$$

$$\begin{array}{r} 89º59'10 \\ \underline{-\ 59º57'04} \\ dz = 30º02'6 \end{array}$$

Ya tenemos un dato; hemos de buscar ahora el otro: la declinación.

Pasemos de nuevo al Almanaque, página 18 Abril, y en la columna Sol, Dec, leemos:

11h (UT) ...... D = +10º46'9 (el signo + quiere decir: Norte),

pero, como la hora no es las 11h exactamente, sino las 11h 39m, promediamos (más o menos a ojo) entre la declinación de las 11h y la de las 12h, y obtenemos:

D = 10º47'4 N (+)

Como sabemos que estamos navegando por el hemisferio Norte y vemos que la declinación es también Norte, aplicamos la fórmula y obtenemos

$$l = dz + D$$

$$l = 30º02'6 + 10º47'4 = 40º50'0N$$

$$\mathbf{l = 40º50'0N}$$

que es la latitud que deseábamos obtener.

Acabamos de aprender el famoso método de la **"latitud por la meridiana"**. Hemos visto también que era necesario conocer una longitud de estima y disponer de un reloj con una exactitud relativa. Con un poco de práctica podemos incluso suprimir el reloj.

Sabemos que nuestra zona de navegación suele ser el hemisferio Norte y, generalmente, por encima de la zona tropical. Sabemos también que el Sol no alcanza su máxima altura hasta llegado el momento de la meridiana y que ello ocurrirá cuando se encuentre por encima del horizonte situado en el Sur verdadero de nuestra embarcación (nuestro meridiano).

Localizamos el Sur en el horizonte y, cuando el reflejo del Sol en ese mismo horizonte comience a acercarse a ese punto, podemos iniciar las observaciones con el sextante. Cuando ya no precisemos manipular el instrumento para descender el Sol al tangenteo, es porque hemos obtenido ya la altura que necesitábamos.

Como conocemos la longitud estimada, calculamos (igual que anteriormente) a qué hora se habrá producido la culminación y con esa hora obtenemos la declinación en el Almanaque. Para todo esto no hemos precisado el uso de reloj; el resto coincide con los cálculos del anterior ejemplo.

LONGITUD POR LA MERIDIANA

Del mismo modo que hemos utilizado el momento de la meridiana para obtener la latitud, podemos aprovecharlo para averiguar la longitud.

Es un procedimiento que apenas se usa, pues requiere un periodo de tiempo prolongado y no siempre acompañan las condiciones climatológicas; no obstante, debemos conocerlo. Puede ocurrir que en todo el día sólo haya Sol a la vista en los momentos del mediodía, y es una lástima no obtener el máximo provecho posible.

El sistema consiste en lo siguiente: partimos de una longitud estimada, calculamos (por el mismo sistema explicado anteriormente) la hora del paso del punto geográfico del Sol por el meridiano (estimado) del barco (hora de la meridiana). Esta hora calculada es sumamente importante porque antes y después de ella realizaremos observaciones.

Unos 30 minutos antes de dicha hora obtenemos una altura con el sextante y anotamos la hora exacta; dejamos el sextante quieto, sin tocar el ángulo que hemos obtenido.

Unos 20 minutos después de esa misma hora calculada anteriormente, tomamos el sextante y (recordemos que no debemos variar el ángulo obtenido anteriormente) vamos observando continuadamente hasta que el Sol vuelva a tangentear al horizonte. En ese instante anotamos, de nuevo, la hora exacta.

Obtenemos, pues, dos horas de observación que son los datos con los que vamos a trabajar. La altura que marque el sextante, en realidad, no nos hace falta para nada.

Averiguamos, por cálculo, la hora intermedia entre ambas y la hora que obtengamos será la del paso del Sol por el meridiano de la embarcación, puesto que es la hora equidistante entre dos momentos de alturas iguales; una mientras el Sol iba ascendiendo; la otra, con el Sol descendiendo. Este concepto es fundamental.

A continuación, acudimos al Almanaque y vemos cuál es la hora del paso del Sol por el meridiano de Greenwich (PMG).

Obtenemos la diferencia entre esa hora y la obtenida en los cálculos y “ese” tiempo, convertido en arco será la **longitud** del observador; longitud que será E u W, igual que la estimada.

Pero, repitamos: “ese tiempo, convertido en arco, será la longitud que buscamos”.

En el caso de que estemos navegando cerca del meridiano de Greenwich y podamos tener la duda de si nuestra longitud estimada es E u W, nos guiaremos por lo siguiente: si la hora que obtuvimos al intermediar ambos momentos observados es más temprana que la del paso del Sol por Greenwich (PMG), quiere decir que la longitud es E; si fuera más tardía, será W.

Caso Práctico.

Fecha: 18 Abril 1978

Navegamos por algún lugar del Mediterráneo y tenemos una longitud estimada de:

Le = 005º45’E

Queremos averiguar nuestra longitud real, el día está despejado y aún es media mañana.

Primero calcularemos el momento teórico de la meridiana (paso del PGSol por nuestro meridiano).

En el Almanaque Náutico leemos:

PMG = 11h 59'4m

Convertimos nuestra longitud estimada en tiempo:

5º = 0h 20m
45' = 3m 0s

5º45' = 0h 23m

Como la longitud estimada es Este, el PGSol pasará por el meridiano del barco a:

11h 59'4m
– 0h 23m

11h 36'4m

Así sabemos el momento teórico de la meridiana (siempre en horario civil de Greenwich, UT).

Sabiendo esta hora, una media hora antes, tomamos el sextante y sin prisas obtenemos una altura con su hora exacta, sea,

a las 11h 07m 16s...............Ai = 61º24'

Dejamos es sextante tal cual y unos 20 minutos después de la hora obtenida como paso del Sol por la meridiana (11h 36'4m), lo tomamos de nuevo y (siempre sin tocar la altura que se obtuvo) vamos observando el Sol hasta que vuelva a tangentear con el horizonte. Volvemos a anotar esa nueva hora exacta, sea,

a las 12h 03m 04s

Disponemos, a partir de ahora, de dos instantes horarios (con el Sol a la misma altura); a continuación, hemos de obtener la "hora media" entre ambas. Este se consigue así:

primer instante	11h 07m 16s
+ segundo instante	12h 03m 04s
suma ambas	23h 10m 20s
semisuma de horas	11h 30m
semisuma del resto	+ 5m 10s
hora intermedia buscada	11h 35m 10s

Esta es la hora del paso del Sol por la longitud verdadera del observador. Obtenemos, ahora, la diferencia entre esa hora y la del paso del Sol por el meridiano de Greenwich:

$$\begin{array}{r} 11h\ 59m\ 24s \\ -\ 11h\ 35m\ 10s \\ \hline 0h\ 24m\ 14s \end{array}$$

que, transformada en arco, da:

0h 24m 14s = 6º03’5

que será la longitud buscada:

L = 006º03’5 E

CAPITULO 6

LA RECTA DE ALTURA

FUNDAMENTO

En el capítulo anterior hemos estudiado un método para averiguar la posición de nuestra embarcación en latitud y longitud; el principal inconveniente del mismo reside en que está limitado por la hora del día. Nuestras observaciones deberán realizarse, necesariamente, próximas al momento de la meridiana.

Necesitamos otro procedimiento que no dependa de esta circunstancia y que pueda aplicarse en cualquier momento, con el único condicionamiento de la buena visibilidad del astro y del horizonte.

De esta necesidad surge el concepto de "**recta de altura**", cuya descripción y puesta a punto debemos al almirante Marc Saint Hilaire.

Aplicando este sistema, con una observación del astro y el cálculo subsiguiente, obtenemos una línea en la cual se encuentra nuestra posición; por tanto, será necesaria otra observación para obtener una nueva línea que, cruzada con la primera, nos proporcione la posición exacta.

Es importante adelantar que, como en todos los cálculos de navegación astronómica, necesitaremos conocer una posición de estima (más o menos correcta) para, partiendo de ella, calcular la posición verdadera.

Veamos el fundamento teórico de este procedimiento: si consiguiéramos (mediante el cálculo) obtener la altura y el acimut a que se vería un astro desde un punto de posición estimada y en un instante dado, tendríamos el problema resuelto.

Por supuesto que para comenzar este cálculo nos apoyaríamos en datos conocidos, como son: por una parte la longitud y latitud estimadas de ese punto; por otra, las coordenadas del astro para cada instante de tiempo (ángulo horario y declinación), que encontramos en el Almanaque.

Pero, antes, reflexionemos: mediante estos cálculos (que en la práctica, y de forma compendiada, constituyen las tablas "precalculadas") y partiendo de una situación supuesta de estima, averiguaremos la altura y el acimut que deberíamos obtener, si realmente estuviéramos donde supusimos.

Sin embargo, nosotros, con el sextante, obtenemos una altura que es diferente a la que nos indican esos cálculos.

Ya veremos mas adelante que de la comparación de ambas alturas resulta esa "recta de altura" que vamos buscando.

A partir de ahora iremos viendo, de forma gradual, el desarrollo teórico que nos conduce a averiguar esa “altura calculada” partiendo de la posición estimada del observador y de las coordenadas del astro.

Supongamos un observador situado en el punto geográfico del Sol; en ese instante dado, si se toma una altura, se obtendrá 90º, puesto que coinciden Sol y cenit.

Imaginemos ahora que en ese instante se detiene el tiempo. El observador toma un hilo que le une a él con el centro del Sol (representará a la visual dirigida desde el observador al astro) y comienza a andar en cualquier dirección (supongamos que el hilo es elástico y nos lo permite). A medida que se vaya separando del punto geográfico del Sol, el ángulo que formará ese hilo con el horizonte será menor; es decir, la altura del astro disminuye.

Si dejamos al observador con una altura de, por ejemplo, 50º y le pedimos que se mueva, pero manteniendo constante el valor de ese ángulo (ahora el hilo ya no es elástico), el único movimiento que podrá hacer será recorrer una circunferencia cuyo centro será el punto geográfico del Sol, PGSol en la figura 33.

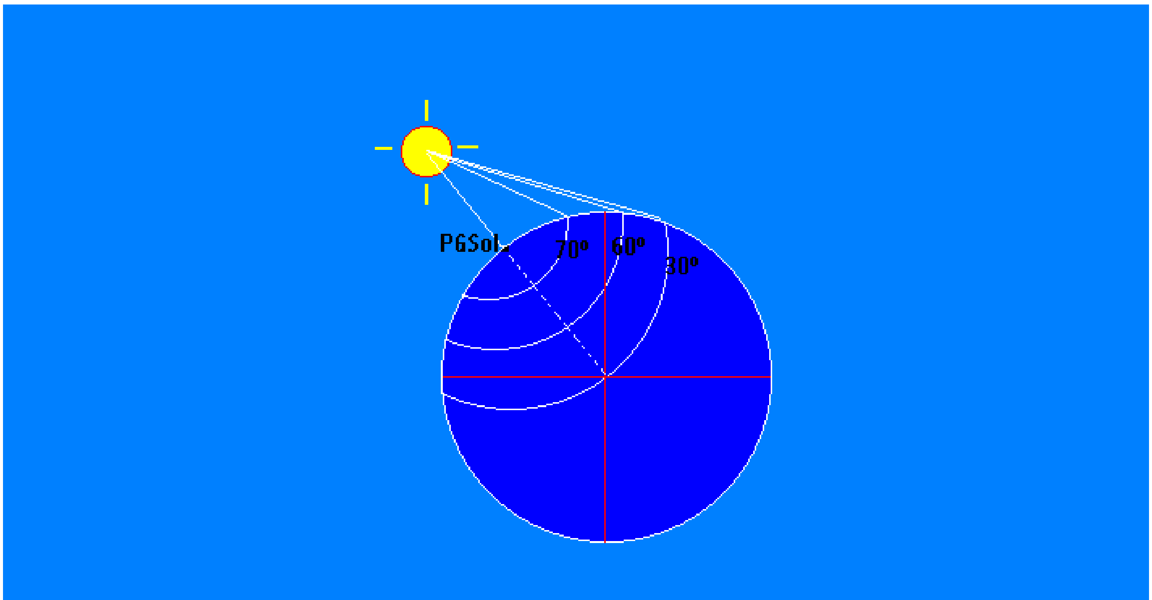


Fig. 33

Si le pedimos que haga lo mismo, pero con un ángulo de 30º, recorrerá también otra circunferencia –concéntrica a la anterior- pero más alejada del PGSol; si el ángulo que exigimos es de 70º, la circunferencia será también concéntrica, pero más interior.

A cada unos de estos círculos desde los que se ve un astro bajo una altura constante, es a lo que llamaremos: **círculo de iguales alturas**.

No debemos olvidar que durante todo el supuesto estamos en el mismo instante dado; ya dijimos que suponíamos que se detenía el tiempo.

Será fácil comprender que el círculo de iguales alturas sobre la esfera terrestre podrá representarse por una porción de recta en nuestra carta de navegación. Esa recta es la que llamamos: **Recta de Altura.** (Figura 34)

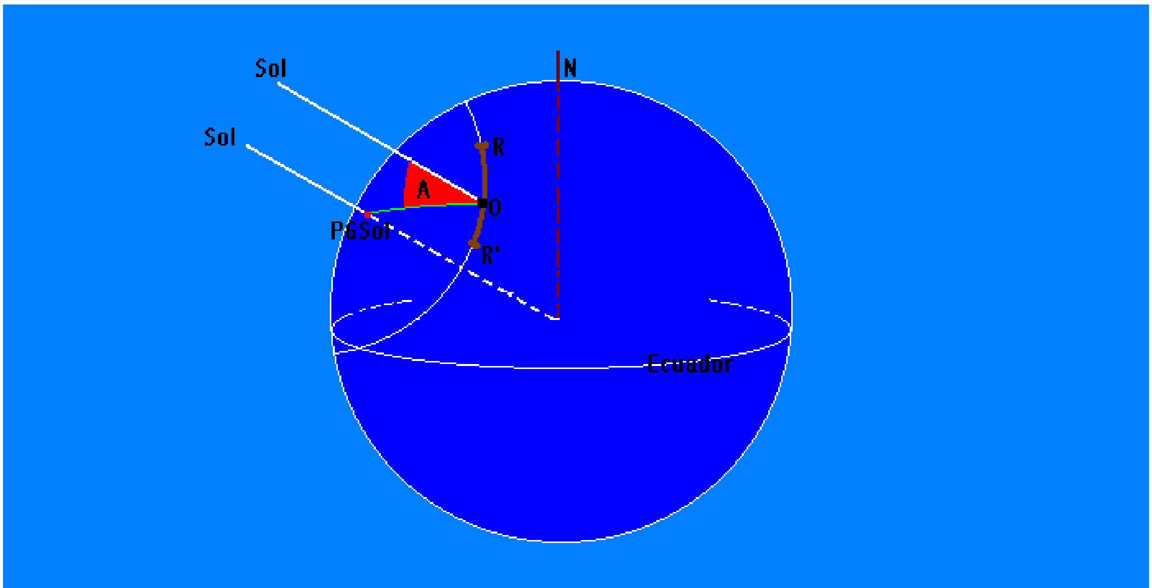


Fig. 34

En efecto, en esta figura se aprecia el círculo de iguales alturas (en realidad es una circunferencia) donde se encuentra el observador (O) y la altura del astro(A). Pues bien, insistimos, lo que representaremos en la carta será sólo una porción de circunferencia (RR’) y, comparando escalas, bien podemos permitirnos la licencia de representarla como una línea recta.

Para poder dibujar esta recta sobre la carta, hemos de resolver dos incógnitas:

¿Qué orientación le damos?
¿Desde qué punto la trazamos?

Fijémonos en la siguiente figura (Figura 35)

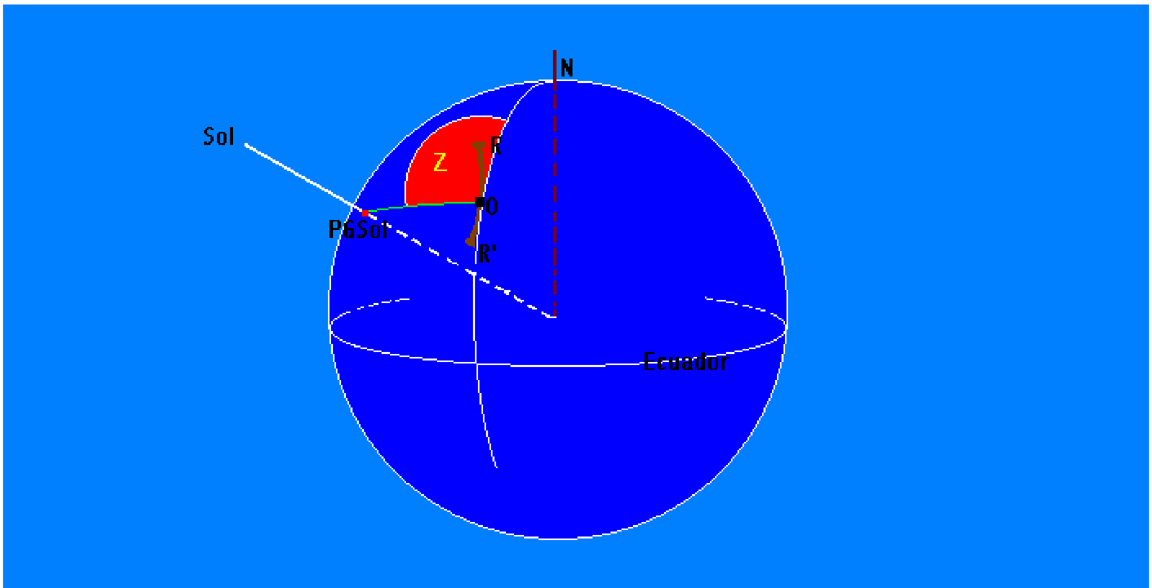


Fig. 35

Si unimos al observador (O) con el PGSol mediante una línea y medimos el ángulo que esta línea forma con el Norte (que es lo mismo que decir: el ángulo que esta línea forma con el meridiano del observador), obtenemos el acimut (concepto ya visto en el capítulo anterior).

Sabemos que el segmento RR’ (recta de altura) es perpendicular a esa línea (PGSol-O), que es, insistimos, la línea del acimut. Por tanto, trazándole una perpendicular, obtendremos la recta de altura.

Si conseguimos saber el valor del acimut, sabremos también la orientación que buscábamos para la recta de altura; nos falta, pues, conocer ahora en qué punto la trazamos.

En pura lógica, deberá ser sobre algún punto de la línea de acimut (PGSol-O), pero: ¿sobre qué punto?.

Ese punto nos vendrá dado por la longitud del segmento PGSol-O, y si nos fijamos en la figura 36,

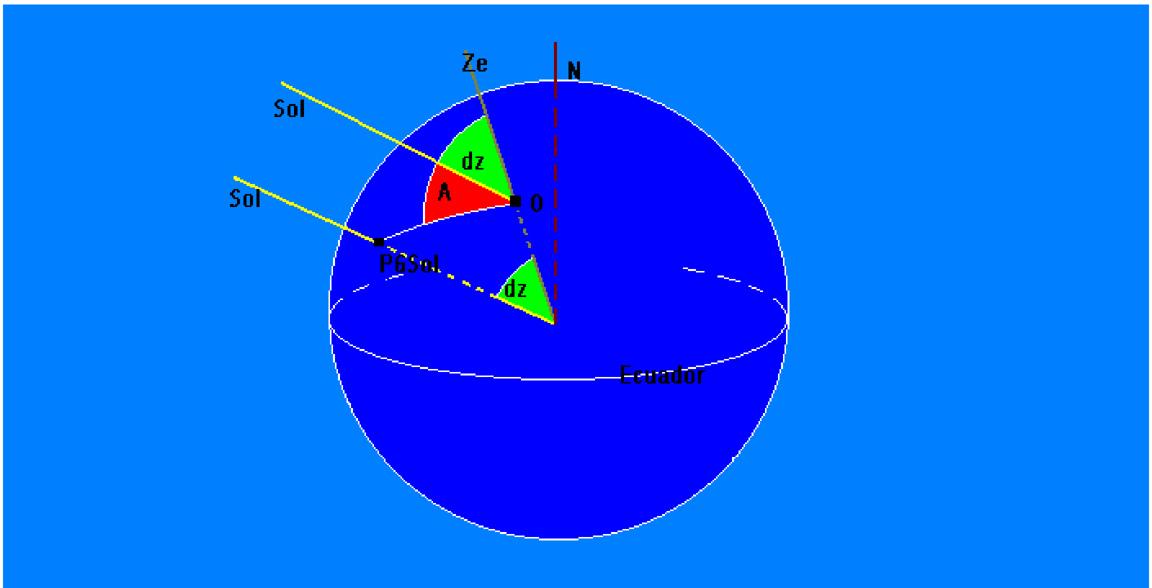


Fig. 36

el segmento PGSol-O es igual a la distancia cenital (dz); y, como ya conocemos por anteriores descripciones, la distancia cenital es complemento de la altura (A).

$$dz = 90^{o} - A$$

Por tanto, si conseguimos obtener por cálculos el valor angular del arco PGSol-O, será lo mismo que decir que podremos saber cuál será la altura que obtendríamos desde ese punto “O”, estimado. Eso es lo que estamos intentando obtener para poder confeccionar las “tablas precalculadas”.

Recapitulando todo lo dicho hasta ahora bajo la forma de imagen descriptiva, podemos dibujar la siguiente figura (Figura 37).

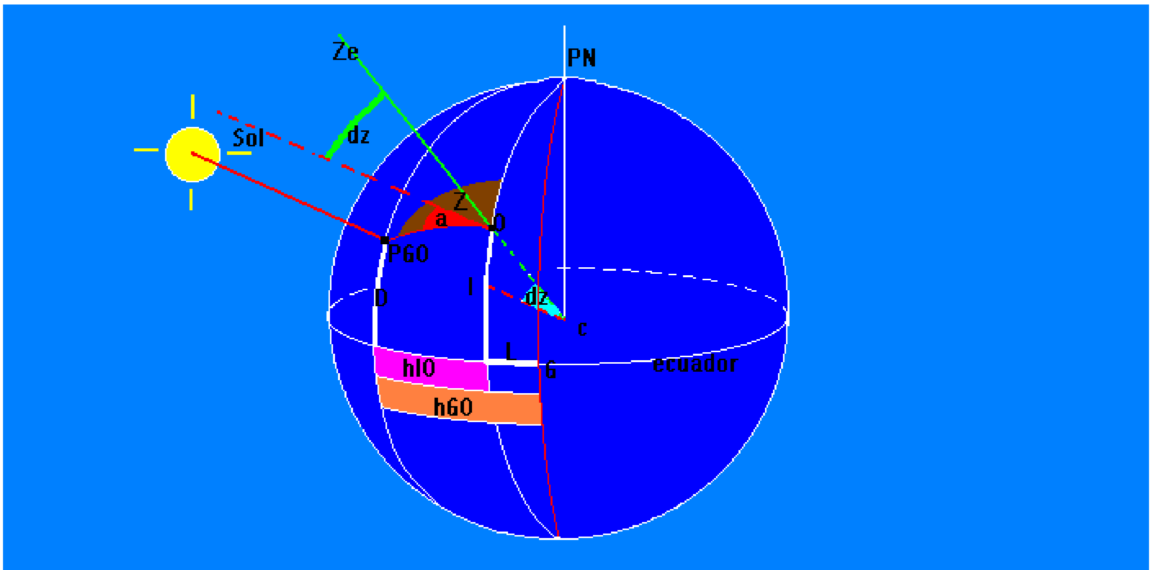


Fig. 37

Observando, reconocemos:

1. G: Meridiano de Greenwich
2. O: Posición estimada del observador, con sus coordenadas conocidas:
   l : latitud estimada
   L: longitud estimada (su relación con el ángulo horario del Sol y Greenwich -hGSol- dará el ángulo horario del observador y el Sol –hLSol-).
3. PGSol: Punto geográfico del Sol, con sus coordenadas conocidas:
   hGSol : ángulo horario del Sol y Greenwich (Almanaque Náutico)
   D : declinación (Almanaque Náutico)
4. a: Altura del astro
5. dz : distancia cenital, que es igual al arco: PGSol-O
6. Z : acimut (ángulo PGSol-O-N)

Los datos dz y Z son los que deseamos conocer, puesto que conociendo dz, sabemos a.

En resumen, vemos que se forma un triángulo esférico (Figura 38)

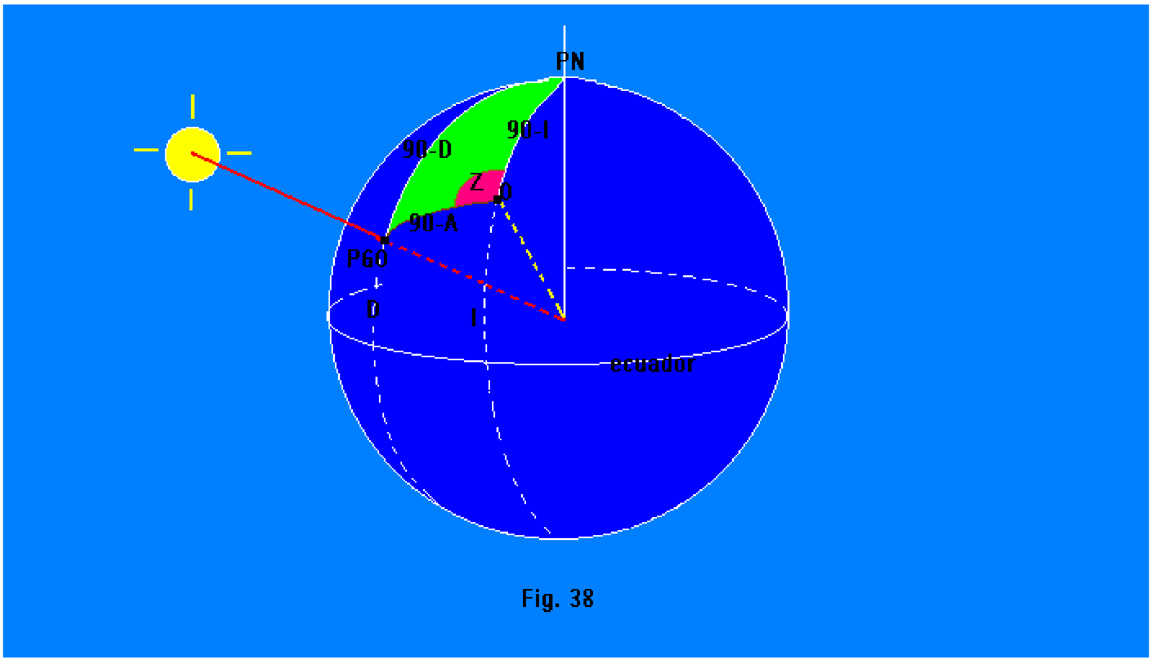


Fig. 38

En ese triángulo esférico, también llamado **triángulo de posición,** conocemos:

-Dos lados: PGSol-N = 90º-D
O-N = 90º-l
-Un ángulo: hLSol (ángulo 1, en la figura)

y queremos conocer:

-PGSol-O, que es dz=90º-A (de este modo conoceremos la altura)
-ángulo PGSol-O-N (que es el acimut)

Aplicando los conocimientos de trigonometría esférica, sabemos que conociendo dos lados y el ángulo intermedio de un triángulo esférico podemos obtener el lado opuesto; y, si nos fijamos en la figura, ese "lado opuesto" es, nada menos, que: 90º-A.
Así:

$$\cos (90º\text{-}A) = \cos (90º\text{-}l) \cos (90º\text{-}D) + \text{sen } (90º\text{-}l) \text{ sen } (90º\text{-}D) \cos hLSol$$

Por otro lado sabemos también que el seno de un ángulo es igual al coseno del ángulo complementario (y viceversa); por tanto, sustituyendo, obtenemos:

$$\text{sen } A = \text{sen } l \text{ sen } D + \cos l \cos D \cos hLSol$$

En esta formula conocemos l, D y hLSol; por tanto, **conocemos ya la altura del astro**. En consecuencia, podemos tabular los datos para distintas posiciones estimadas y distintos instantes horarios y obtener las alturas que aparecerían en la observación. Resultado: **podemos confeccionar unas tablas precalculadas**.

Pero, además, conociendo A, no es problema obtener el acimut, pues basándonos en la trigonometría esférica:

$$Z = \frac{\cos D \; \text{sen} \; hLSol}{\cos A}$$

Ya conocemos, pues, cual es el procedimiento para confeccionar esas tablas. El comercio pone a nuestra disposición varios tipos de ellas; bastará entrar con los datos referentes a la posición del astro y la posición estimada del observador, para obtener la altura y el acimut correspondientes.

Hasta aquí lo concerniente a la explicación que queríamos dar del sistema y el "cómo" de estas tablas. Con ellas obtenemos la altura de un astro; pero, desde nuestra embarcación y con el sextante, la altura que obtenemos es diferente.

Si ambas alturas resultaran idénticas querría decir que la situación estimada coincidía con la verdadera, y tendríamos que felicitarnos por nuestra excelente estima; esto, en la práctica, no ocurre nunca.

Siempre, la altura obtenida con el sextante difiere, en más o en menos de la obtenida en las tablas. Esa diferencia entre ambas alturas recibe el nombre de **determinante**.

Ese "determinante", que se expresa en minutos de arco, equivale a las millas que hay que hay que desplazar la recta de altura (medidos sobre la línea del acimut) a partir del punto de la posición estimada.

Llamaremos: altura verdadera (Av) a la obtenida por la observación, y altura calculada (Ac) a la que dan las tablas.

Al comparar ambas alturas para obtener el determinante, pueden ocurrir dos casos (Figura 39):

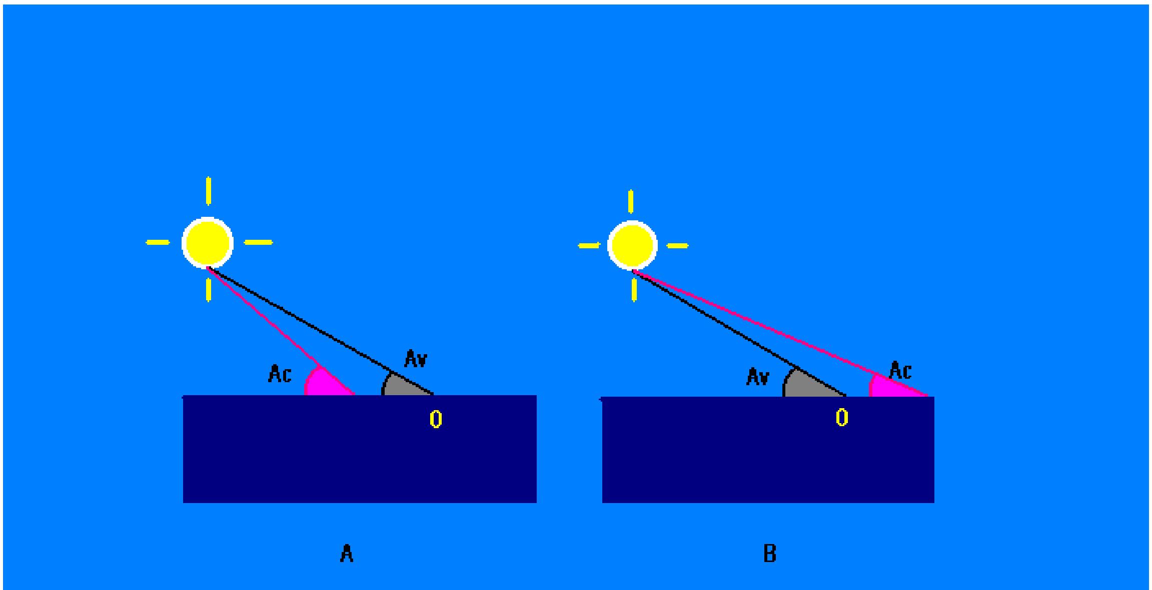


Fig. 39

1- Que la Av sea menor que la Ac. Significa que la posición real está más alejada que el punto de estima. El determinante habrá que medirlo desde la posición estimada, pero en sentido “alejado” del astro (Figura 39,A)
2- Que la Av sea mayor que la Ac. Es el caso contrario al anterior. Ello quiere decir que el observador está más próximo al punto geográfico del astro de lo que marca la posición estimada (Figura 39,B). Por tanto, el determinante habrá que medirlo desde la posición estimada “hacia” el astro. (Estos conocimientos se aclararán mucho más al hablar del **trazado** de la recta de altura).

Apliquemos ahora estos conocimientos en un símil sobre la carta de navegación; supongamos que:

Av = 35º26’
Ac = 35º21’

Determinante = 5’

Como Av es mayor que Ac, el determinante lo mediremos “hacia” el astro, a partir del punto de situación estimada y sobre la línea del acimut (Figura 40). Será la recta R-1 en la figura.

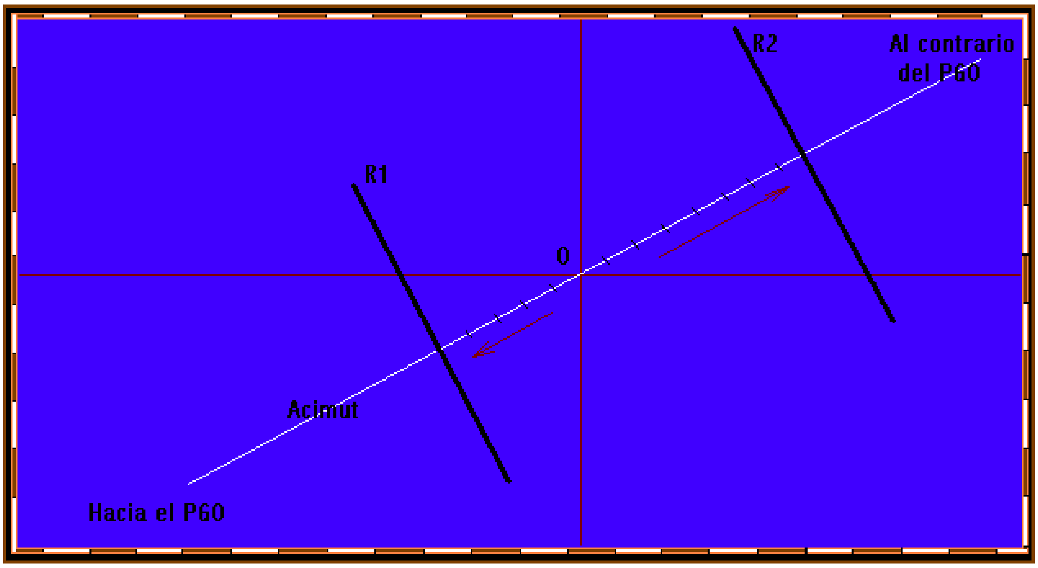


Fig. 40

El otro caso posible será, por ejemplo:

Av = 35º42’
Ac = 35º51’

Determinante = 9’

Como Av es menor que Ac, el determinante lo mediremos “alejado” del astro, igualmente a partir del punto de posición estimada y sobre la línea del acimut. Será la recta R-2 de la figura.

El que la diferencia en minutos se transforme en millas al pasar a la carta es fácil de comprender si se tiene en cuenta que, por definición, la milla marina es el minuto de latitud.

Antes de pasar a describir la utilización de la recta de altura, bueno será hacer unas consideraciones a propósito de las citadas Tablas de Cálculo.

Partiremos de la base de que, sabiendo aplicar las fórmulas de trigonometría esférica y sabiendo usar las tablas trigonométricas, tendremos el problema resuelto, puesto que hallaremos altura y acimut. Esto, en la práctica, supone la necesidad de realizar múltiples operaciones aritméticas. A tal efecto, las tablas se confeccionan exclusivamente con objeto de evitar o simplificar dichos cálculos.

Las hay de muchos tipos: Dieumegard, Bataille, etc. Nosotros nos guiaremos por las HO 249 americanas, o AP 3270 inglesas que son idénticas).

En ellas, con una previa manipulación de la posición estimada (que llamaremos: Posición Estimada de Conveniencia) obtenemos de forma directa: la altura y el acimut que buscamos.

En su momento describiremos la forma de servirnos de ellas.

USO DE LA RECTA DE ALTURA

Con lo explicado hasta ahora referente a la recta de altura tenemos suficiente por el momento; en capítulos sucesivos veremos, en los casos particulares de cada astro, cuál es el método específico a realizar, e ilustraremos la descripción con ejemplos prácticos comentados.

Veremos ahora las utilidades de esta recta de altura. Ya dijimos que con una única recta de altura sólo conseguimos saber que nuestra situación estará en algún punto de esa recta, pero no más. Es, pues, necesario valernos de otros elementos para, conjugándolos con la recta, obtener una posición concreta en latitud y longitud.

Existen distintas posibilidades, a saber:

A) Un caso especial lo constituye la combinación de una recta de altura, tomada por la mañana o por la tarde, con la latitud obtenida en el momento de la meridiana (Capítulo 5).
   Para ello, si la embarcación va navegando, tendremos que trasladar la primera recta al momento de la segunda. Esto se realiza así (Figura 41):

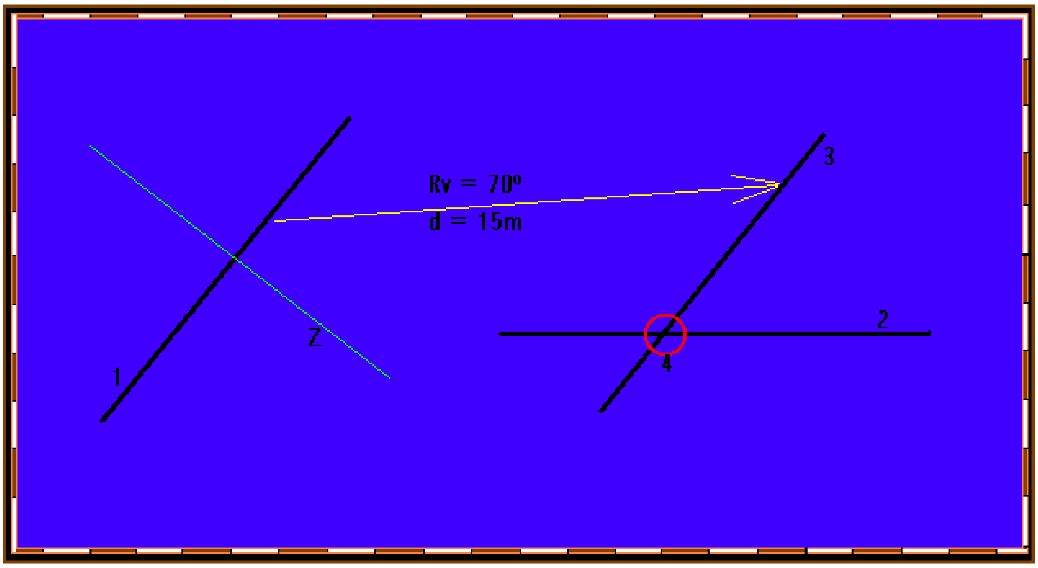


Fig. 41

En esta figura vemos:

1. Recta de altura de las 09 horas
2. Meridiana
3. Recta de las 09 trasladada al momento de la meridiana (el barco ha navegado 15 millas al 70º verdadero).
4. Posición del observador en el momento de la meridiana.

Para trasladar la recta 1 a la 3, trazamos el rumbo seguido por la embarcación, a partir de un punto cualquiera de la recta; sobre ese rumbo medimos las millas navegadas y, en el punto obtenido, trazamos la recta 3, paralela a la 1.

B) Otra variante es la de combinar entre sí dos rectas de altura tomadas al mismo astro, con una diferencia entre ambas observaciones de, al menos, tres horas. Ello se explica porque así conseguimos líneas de acimut que se cruzan con ángulos suficientemente claros (la cuestión es similar al tema de los ángulos recomendados en el caso de demoras simultáneas, cuando nos situamos en navegación costera).
C) Si el día es propicio y en el cielo se observan visibles simultáneamente el Sol y la Luna, podemos combinar una recta de altura del Sol con una de la Luna, tomadas a la vez. Este es un caso ideal; como las observaciones son simultáneas, no es necesario practicar traslados (en la práctica, este acontecimiento ocurre sólo en fase de cuarto creciente o menguante: unos cuatro días cada mes).
D) En los momentos crepusculares podemos combinar rectas de altura simultáneas de estrellas, Luna o planetas; veremos las particularidades de este sistema en su momento oportuno.

E) En algunos casos, a título orientativo (y estando cerca de la costa), podemos cruzar una recta de altura con una demora radiogoniométrica (siempre y cuando el ángulo entre ambas sea fiable). Es un procedimiento poco exacto, pero orientativo.

F) Por último, y aunque poco usada, existe otra posibilidad de aprovechar la recta de altura: combinarla con el rumbo de la embarcación. Su peculiaridad hace que abramos un epígrafe para ampliar dicho proceder.

RECTA DE ALTURA Y RUMBO DE LA EMBARCACIÓN

Sabemos que la recta de altura es perpendicular al acimut del astro (supongamos que en este caso se trata del Sol) y sabemos también que el acimut del astro es el ángulo entre el Norte y la línea que une nuestra posición y la vertical del astro con el horizonte.

Según esto, si navegando tomamos una altura del Sol cuando lo tenemos por el través, la recta que obtengamos sobre la carta será superponible al rumbo que sigue la embarcación (Figura 42). Análogamente, si la observación es con el Sol por la proa o por la popa, la recta de altura será perpendicular al rumbo seguido (Figura 42).

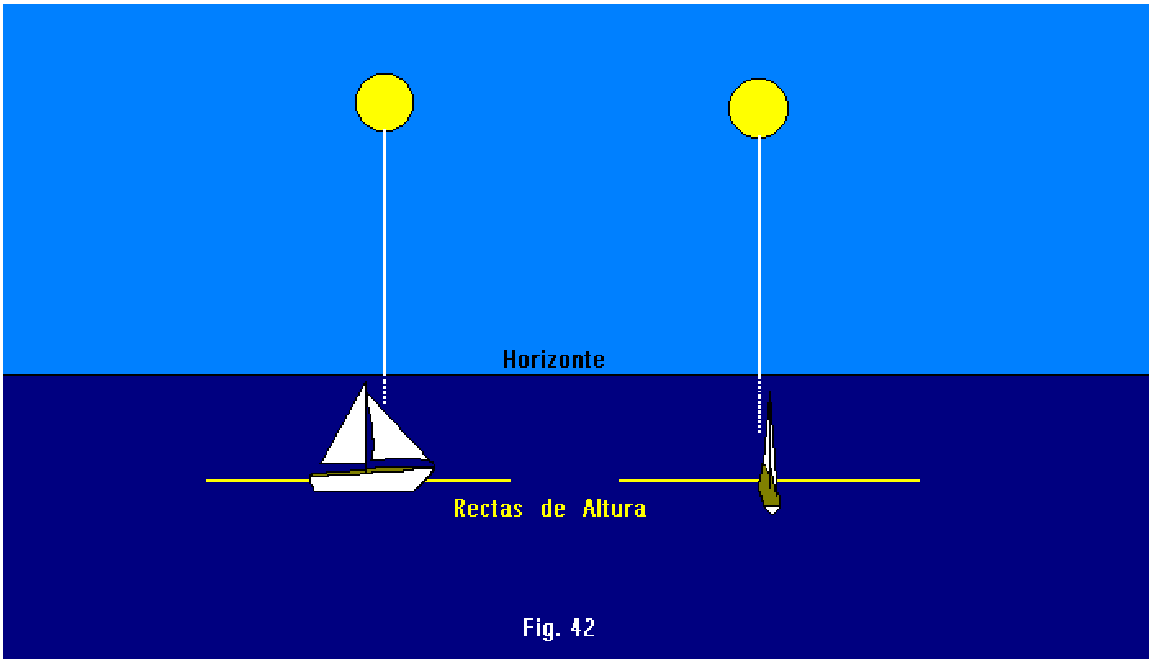


Fig. 42

El conocer estas peculiaridades (por otro lado, perfectamente lógicas) puede sernos de provecho en algunos casos de recalada.

Si, navegando y sin tener que apartarnos de nuestro rumbo, da la coincidencia de que tenemos el Sol por el través, debemos aprovecharnos y tomar una altura.

Como ya hemos dicho, la recta de altura coincidirá con el rumbo verdadero de la embarcación y, prolongándola hacia la costa nos dará información del punto de recalada.

Podremos hacer las rectificaciones de gobierno que sean convenientes a efecto de corregir (o confirmar) el rumbo. (Figura 43)

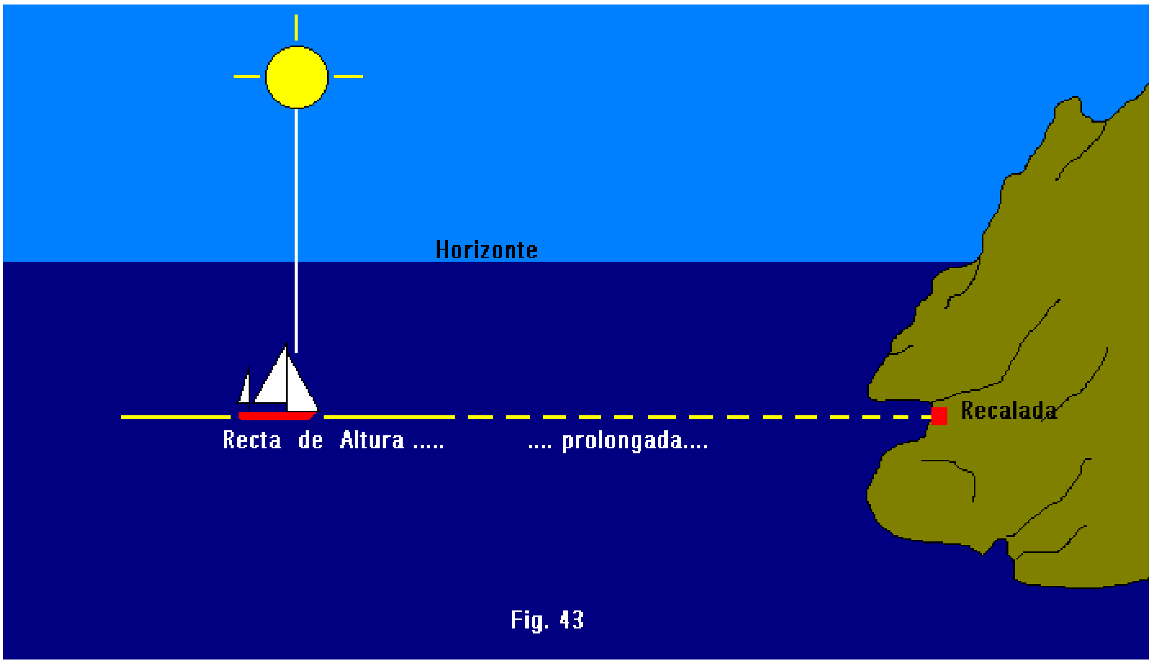


Fig. 43

Este proceder puede practicarse en casos de :

-Costa próxima, pero fuera del alcance visual
-Costa al alcance visual, pero no identificable, por desconocida.
-Costa cercana, pero con mala visibilidad.

CAPITULO 7

LA RECTA DE ALTURA DEL SOL

CONSIDERACIONES GENERALES.

En los próximos capítulos vamos a tratar el tema práctico de la obtención de la recta de altura para los distintos astros, resaltando las peculiaridades de cada caso.

La descripción discurrirá paso a paso, comenzando por estudiar las particularidades de la toma de altura del astro y su debida corrección para obtener así la altura verdadera a partir de la altura instrumental (Capítulo 4).

Se detallará, también, la obtención –a partir del Almanaque Náutico- de los datos necesarios para entrar con ellos en tablas y obtener la altura calculada y el acimut.

Por último, hablaremos del trazado de la propia recta de altura.

Pero, antes de comenzar, debemos hacer unas consideraciones respecto al "tiempo horario". Ya dijimos que la hora que empleamos en los cálculos es siempre la Hora Civil de Greenwich u Hora UT (que así le llama el almanaque español). Ello viene acuneto de que, cuando marquemos la hora, minuto y segundo de la observación, podríamos hacerlo con distintos modos horarios. Ya vimos que, a bordo de una embarcación, el tiempo podía expresarse en:

-Hora Oficial (impuesta para mayor aprovechamiento de la luz solar)
-Hora Legal (según el huso horario por donde naveguemos)
-Hora Civil de Greenwich, o UT

Pues bien, sea cual fuere la hora en que se tome la observación, deberá siempre transformarse a la hora UT.

Para simplificar estos inconvenientes, y siempre dentro del marco de la navegación deportiva, es aconsejable llevar a bordo dos relojes. Uno, el de "muñeca" u ordinario, que nos indique la hora en uso por donde naveguemos y que sea más o menos exacto; será el que señalará la hora de la vida a bordo y referenciará los acontecimientos de navegación en el diario o libro de bitácora (marcará la que llamaremos: hora reloj de bitácora).

El otro reloj precisará unas características diferentes. Deberá ser lo ,más exacto posible; para ello es recomendable que sea de cuarzo, y si es digital, mejor. Lo guardaremos con sumo cuidado, alejado de la humedad y de los golpes. Estará puesto en hora UT y será este el que usaremos para tomar el tiempo de las observaciones astronómicas. Tendremos que controlarlo lo más a menudo posible con las señales horarias transmitidas por radio, para anotar los segundos de atraso o adelanto, o bien, corregirlo, colocándolo al segundo exacto.

Por tanto, a partir de ahora, siempre que hablemos de horas, minutos y segundos, nos referiremos a tiempo UT.

CALCULO DE LA RECTA DE ALTURA.

En este caso, al igual que en los siguientes, haremos una descripción teórica, con ampliación a un caso práctico.

Procuraremos, para mejor seguimiento del proceso, que ambos procedimientos vayan dispuestos de forma simétrica y paralela; a tal efecto, dividiremos la página en dos columnas: el lado izquierdo contendrá la descripción teórica y, a su mismo nivel, en la derecha se irá desarrollando el caso práctico.

Descripción teórica	***Caso Práctico***
Lo primero que debemos hacer será anotar fecha y situación (longitud y latitud estimadas) para el momento en que vamos a observar el Sol.	Fecha:18-Abril-78 Se: le = 47º21'N Le = 14º15'W
Primer Paso	
Tomamos el sextante y bajamos el Sol a tangentear su limbo inferior al horizonte. Obtenemos así la altura instrumental (Ai), que corregimos de error instrumental para obtener la altura observada (Ao). Anotamos hora (UT).	UT = 10h22m16s Ai = 40º57'4 ei = + 2' Ao = 40º59'4
Obtenemos, a continuación, la altura verdadera (Av). Para ello corregimos la altura observada, de elevación del observador, refracción, semidiámetro y paralaje. Suponemos una altura del observador de dos metros y aplicamos la tabla de corrección global, descrita en el capítulo 4.	Ao = 40º59'4 Corr= 12'5 Av = 41º11'9
Tenemos ya un dato importante: la AV, que, de momento, dejaremos a un lado pues no la necesitaremos hasta el final (cuando la comparemos con la altura calculada (Ac) para obtener el determinante).	
Segundo Paso	
Ahora los cálculos van a ir encaminados a buscar los datos necesarios para entrar en las tablas y obtener la altura calculada y el acimut.	

Estos datos van a ser:

- -Angulo horario del Sol (hLSol)
- -Declinación del Sol (D)
- -Latitud estimada del observador (le)

Veremos cómo obtenemos cada uno.

Primer dato (hLSol)

Abrimos el Almanaque (página III, apéndice) por la página correspondiente a la fecha actual, y en la columna del Sol (superior izquierda) vemos una columna de horas UT (que va de hora en hora) y, a continuación, una columna correspondiente al ángulo horario del Sol con Greenwich (hGSol). Buscamos en ella el ángulo correspondiente a la hora "redonda" (prescindiendo de minutos y segundos) de la observación.

hGSol para 10h = 330º09'0

Pero, la hora de la observación tiene también minutos y segundos; por ello, al final del Almanaque hay unas tablas con la equivalencia para esa fracción de hora, que es lo que añadiremos al valor anteriormente hallado para la hora entera (ver apéndice, página VII).
Ya hemos obtenido el ángulo horario del Sol y Greenwich (hGSol).

hGSol 10h =	330º09'0
c.p.22m16s=	5º34'0
hGSol =	335º43'0

Tal y como vimos en el capítulo de ángulos horarios, para obtener el ángulo horario local (hLSol) a partir del ángulo horario con Greenwich (hGSol), teníamos que sumar o restar la longitud estimada (según fuera E u W, respectivamente). Por tanto:

hGSol =	335º15'0
- Le (W)=	14º15'
hLSol =	321º28'0

Hemos obtenido, así, el primer dato. El resultado obtenido es el que se usa en todos los métodos tradicionales para seguir operando las fórmulas trigonométricas con logaritmos, o bien mediante otras tablas. No obstante, para el que aconsejamos en este manual, necesitaremos hacer antes una corrección.
En efecto, para entrar en las tablas HO 249 o en las AP 3270 necesitamos un ángulo horario local en grados enteros, sin minutos ni décimas.

Para conseguir esto debemos modificar algo nuestra longitud estimada, adoptando unos minutos y décimas tales que, al sumarla o restarla al ángulo horario del Sol y Greenwich, dé un resultado igual a cero y obtengamos, de esta forma, un ángulo "redondeado" en grados enteros.
En el caso del ejemplo, como la Le es W, adoptamos los mismos minutos y décimas que el ángulo horario.

Por tanto, en este caso, haremos:

hGSol = 335º43'0
-Le(conv)= 14º43'0

hLSol = 321º

(Al final del capítulo referiremos un ejemplo en el que deberemos realizar una suma).
Conseguido esto, hemos de tener en cuenta que la longitud estimada ya no es la inicial, sino una "de conveniencia". Será importante recordarlo en el momento de trazar la recta de altura.

Le inicial : 14º15'W
pasa a ser:
Le de conveniencia:
14º43'W

Segundo Dato (D)

Volvemos otra vez al Almanaque en el día de la fecha; en el cuadro correspondiente al Sol, al lado de la columna de hGSol existe otra, con "Dec" en la cabecera. Las cifras llevan un signo más o menos; se refieren a la declinación N o S, respectivamente.
Vemos la cifra correspondiente a la hora redonda. Como tenemos que contar con los minutos y segundos, interpolamos, pero esta vez "a ojo", pues la declinación varía más lentamente que el ángulo horario.
Este valor fraccionario lo sumaremos o restaremos, según la declinación vaya aumentando o disminuyendo.

D para 10h = 10º46'1N
c.p. 22m16s = + 0'4

D para 10h22m16s=10º46'5N

Tenemos así, ya, el segundo dato.
Para entrar en la tablas, necesitaremos también una cifra de grados enteros. De modo es que tomaremos los grados y guardaremos aparte los minutos y décimas (ya veremos con qué fin).

D = 10º46'5N
pero, para entrar en tablas,
D = 10ºN
(y guardamos 46')

Tercer Dato (le)

Ya desde el comienzo, al escribir la situación estimada, anotamos la latitud estimada. Lo único que cabe decir es que (tal y como vimos antes a propósito del ángulo horario local y la declinación) para entrar en tablas necesitamos también una latitud al grado entero; en consecuencia, redondearemos por exceso o por defecto.
Consecuencia importante: a la hora de situar el punto de estima para trazar la recta, lo haremos (ya de entrada) con la latitud de conveniencia

le = 47º21'N

le (de conv.) = 47ºN
En este caso es la más próxima por defecto.
Si fuera, por ejemplo,
47º48'
escogeríamos:
48º, por exceso.

Tenemos ya los tres datos que necesitamos para entrar en tablas. Estas tablas constan de tres volúmenes. El volumen número uno está reservado a las estrellas, los otros dos comprenden cualquier astro de hasta 30º de declinación (N o S). Las páginas están ordenadas según latitudes (ver apéndice). Una vez en las páginas de latitud, seleccionaremos la correspondiente a la declinación (pues las hay para declinaciones de 0º a 14º y de 14º a 29º).
Buscaremos, por último, la página con "Declinación igual signo que latitud" o "Declinación distinto signo que latitud" (Same name o Contrary name).
Situados ya, por fin, en la página correcta, en las columnas extremas de derecha e izquierda tenemos referido el ángulo horario. En la tabla se designa como LHA.
Siguiendo la línea correspondiente a su valor y cruzándola con la columna correspondiente a la declinación obtenemos: Altura calculada y acimut, así como una pequeña cifra precedida de un signo.
Con esta cifra y su signo vamos a una hoja aparte de la tabla (ver apéndice) en que vemos: arriba, una línea que va desde el uno al sesenta (corresponderá a esa pequeña cifra a la que, repetidamente, hemos hecho alusión).
En ambos lados hay dos columnas que van desde 1' a 60'; son los minutos que, en anteriores pasos habíamos "guardado", correspondientes a la declinación (al convertirla en grados enteros).
Donde se crucen ambos datos (d y minutos de declinación) obtendremos una cifra que será la que hemos de sumar o restar (según fuera el signo que acompañase a la cifra pequeña) a la altura calculada, para obtener la altura calculada correcta.

Entrada en tablas, datos:
- hlSol = 321º
- D = 10º
- le (conv.) = 47ºN

Tomamos el volumen en que se halla 47º de latitud; buscamos las páginas con l=47; buscamos la hoja correspondiente a: "Declination (0-14) SAME NAME as latitude" (ver apéndice); entramos en la línea correspondiente a hLSol (HLA, en la tabla) = 321º, y en el punto donde se cruza con D = 10º, leemos:
Ac = 400º28'
d = +49
Z = 126º

Respecto al acimut que nos da la tabla, sólo hemos de tener en cuenta que : si el ángulo horario local es mayor de 180º, ese acimut es el correcto; si el ángulo horario local es menor de 180º, el acimut será el que da la tabla pero restado de 360º.

Resumiendo, tenemos ya:

Una situación de estima de conveniencia

Un acimut que nos dará la orientación de la recta de altura.

Una altura calculada

Una altura verdadera (observación del sextante)

De la diferencia de ambas alturas obtendremos el "determinante" (Det.)

Habíamos obtenido:

Ac = 40º28' d = +49

y con los 46' sobrantes de la declinación, obtenemos: 38'

Por tanto:

Ac = 40º28'
+ 38'

Ac = 41º06'

En el caso del "Z", como:

hLSol es > que 180º,

el Z de la tabla es el correcto.

Obtención del determinante:

Av = 41º11'9
- Ac = 41º06'0

Det = 5'9

Disponemos ya de todos los datos necesarios para pasar a la carta y trazar la recta de altura.

Pero, antes de ello, con objeto de no tener los datos esparcidos en el desarrollo del caso práctico, y con el fin de apreciar la forma normal de disponer el cálculo, vamos a repetir el caso sin mediar explicaciones.

Fecha: 18-Abril-1978

Se : le = 47º21'N

Le = 14º15'W

Observación.

Ai = 40º57’4
ei = + 2’

Ac = 40º59’4
corr.total +12’5

Av= 41º11’9

Datos Almanaque.

hGSol a las 10h = 330º09’0
corr. p. 22m16s = 5º34’0
----
hGSol (10h22m16s)=335º43’0
- Le (de conven.) = 14º43’
----
hLSol = 321º

D a 10h = 10º46’1N
corr. a ojo = + 0’4

D = 10º46’5N
D = 10ºN (y guardo los 46’)

Tablas.

Ac = 40º28’
corr= + 38’

Ac = 41º06’

d= +49

Z = 126

Determinante.

Av = 41º11’9
Ac = 41º06’0

Det.= 5’9 hacia el Sol (pues Av>Ac)

Trazado Gráfico.

Comentaremos este trazado observando la figura 44

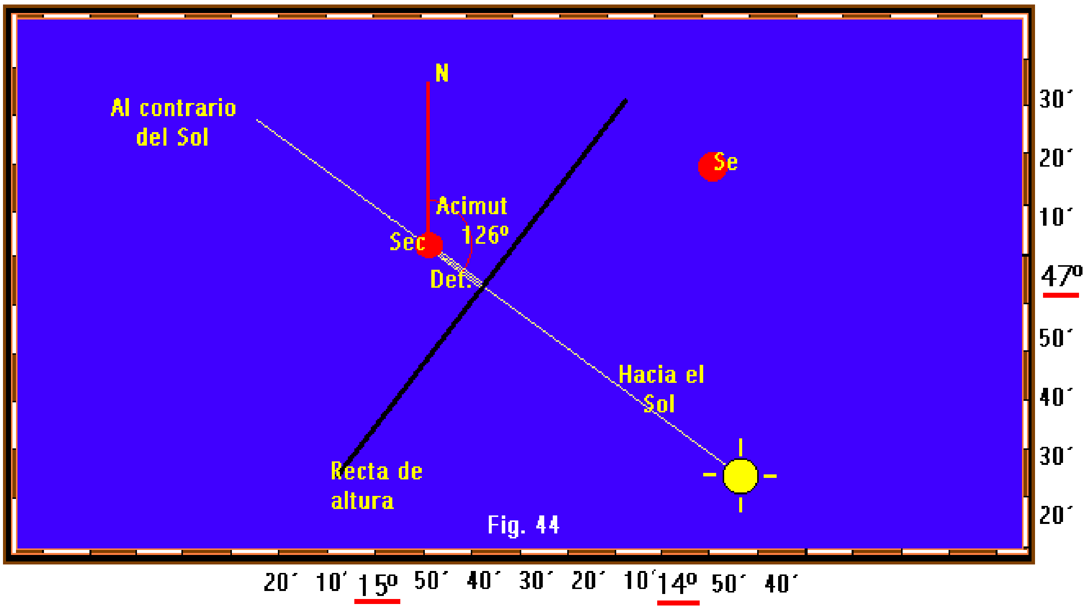


Fig. 44

Sobre la carta de navegación reflejamos la situación de estima (Se), que en el ejemplo práctico que hemos resuelto era:

le = 47º21N
Le= 14º15'W

Pero, recordemos que hemos decidido acomodar estas coordenadas a nuestro interés para la entrada en tablas; por tanto, hemos de comenzar el trazado desde esta situación de conveniencia, que en este caso concreto será:

le = 47ºN
Le= 14º43'W

Marcamos este punto en la carta y, a partir de él, trazamos la línea de acimut según la magnitud de dicho ángulo. En el extremo de dicha línea dibujamos un pequeño sol que nos indicará la dirección en que se halla el astro.

A partir del punto de la situación estimada de conveniencia, y hacia un sentido u otro (siempre sobre la línea del acimut) medimos el determinante en millas. Por el punto que obtengamos, trazamos una perpendicular al acimut y obtenemos así la recta de altura.

EJEMPLOS DE LONGITUD ESTIMADA DE CONVENIENCIA.

Ya hemos visto, en el caso práctico propuesto, cuál es el procedimiento a aplicar cuando la longitud estimada es Oeste; recordemos:

hGSol = 335º43'0
Le W = 14º15'0..............pasa a ser............14º43'0, con lo cual, al restar:

335º43'0
- 14º43'0

321º (obtenemos grados enteros).

El caso contrario que puede presentarse es aquel en que la longitud estimada es Este; si ello ocurre, deberemos sumar (tal como se describe en el siguiente ejemplo).

hGSol = 335º43'0
Le E = 14º15'0..............pasa a ser...........14º17'0, con lo cual, al sumar:

335º43'0
+14º17'0

350º (obtenemos grado enteros).

CAPITULO 8

RECTA DE ALTURA DE LA LUNA

CONSIDERACIONES GENERALES

En líneas generales, el procedimiento del cálculo de la recta de altura de la Luna es el mismo que el seguido para el de la recta del Sol. Las variaciones son fruto de las peculiaridades de este satélite en lo referente a su proximidad a la Tierra y velocidad de movimientos, así como en cuanto a su apariencia en distintas fases para un espectador situado en la Tierra.

El primer factor –la proximidad a la Tierra- junto con el hecho de que la revolución lunar no tiene a la Tierra como centro, hace que el diámetro aparente de la Luna sea variable (entre 29’ y 33’ de arco). Lo comprobamos fácilmente al observar el distinto tamaño de la Luna, según el momento de su fase.

Igualmente, por esa proximidad a la Tierra, se deduce la mayor repercusión de la corrección del paralaje; es decir, la relativa mayor trascendencia del hecho de tomar la altura del astro desde la superficie terrestre, en vez de desde su centro.

Para un observador que mire la Tierra desde la Luna, el semidiámetro de la Tierra, que duda cabe, será realmente considerable; sobretodo si lo comparamos al semidiámetro de la Tierra, observada esta desde el Sol o las estrellas.

Pero, además, este error de paralaje varía de un momento a otro. Su valor viene dado en el Almanaque, en la columna “Luna”, para las 4,12 y 20 horas, dentro de una llave que lleva delante las iniciales PHE (Paralaje Horizontal Ecuatorial).

Todos estos son, como ya dijimos, factores derivados de la proximidad entre Luna y Tierra, pero existe otro factor a considerar: el derivado de las fases de creciente y menguante que presenta el satélite. La observación con el sextante deberá hacerse tangenteando el limbo inferior o superior, según la Luna esté en ascenso hacia su culminación o haya iniciado ya el descenso hacia su ocaso. Es simplemente una cuestión teórica que se aprecia con lógica al encarar el astro con el sextante, y se comprende fácilmente al revisar las figuras 45, a y b.

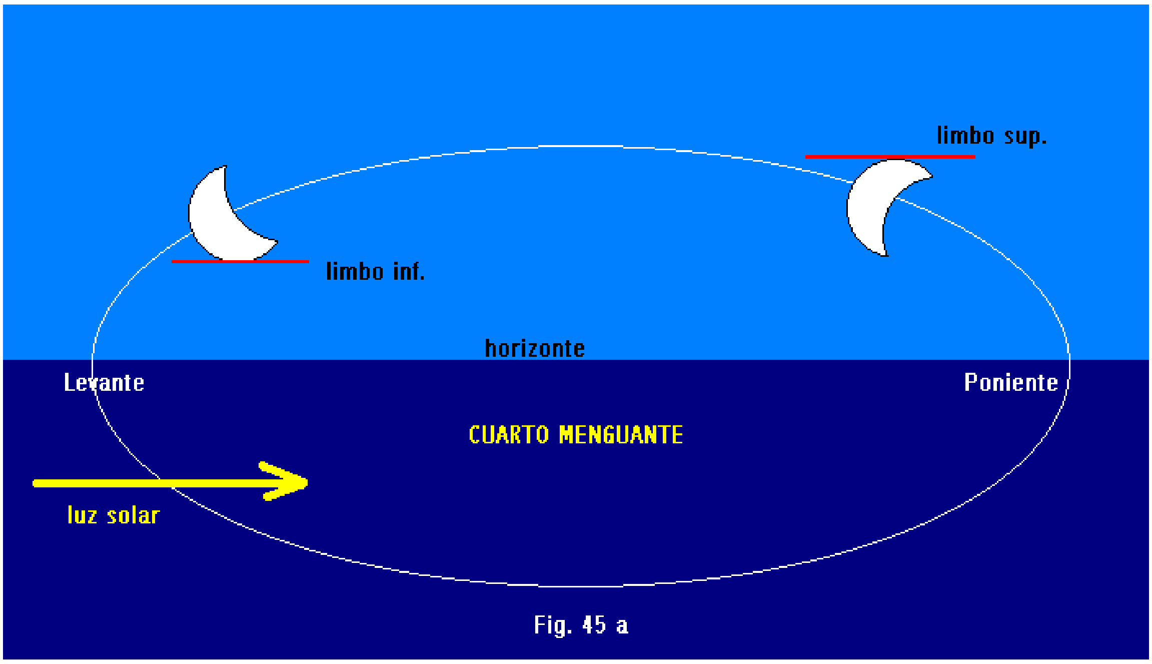


Fig. 45 a

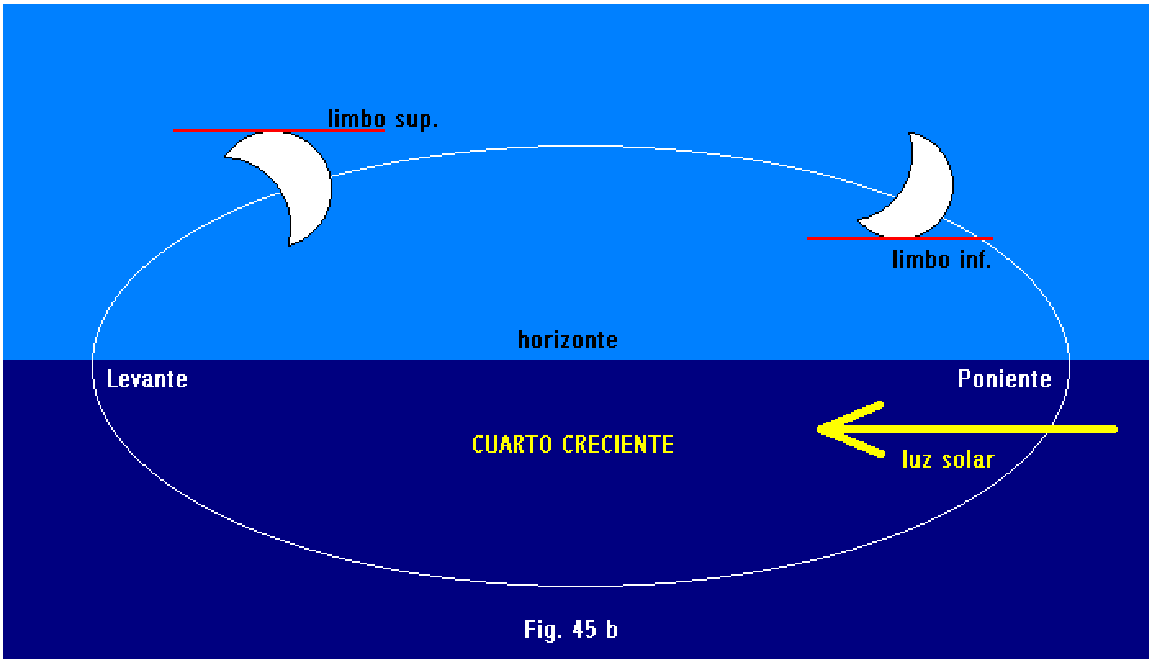


Fig. 45 b

Obtenida ya la altura del astro y antes de entrar en tablas (tal como hemos explicado en el caso del Sol) deberemos realizar previamente otros procedimientos.

En primer lugar haremos una corrección –siempre sustractiva- referente a la elevación del observador (ver tablas del Apéndice).

A continuación obtendremos el PHE (Paralaje Horizontal Ecuatorial) que le corresponde, según sea la hora de la observación.

Con este dato y el de la altura instrumental –teniendo en cuenta si es limbo inferior o superior- iremos a la tabla correspondiente (Apéndice) y encontraremos una corrección en minutos que, sumada a la altura instrumental, nos dará la altura verdadera.

Lo veremos mejor con un ejemplo:

Día: 18- Abril- 1978 UT: 15h45m16s Elev. obs.= 2m

Ai = 41º15'4 limb. inf. (se supone error instrm.=0)

Primera Corrección: Elevación del observador.

Ai = 41º15'4
- 2'5
____
41º12'9

Segunda Corrección: Vemos en el Almanaque: PHE a las 12h (que es la más próxima a las 15h) = 55'6

Pasamos a la tabla (Apéndice); hemos anotado: limbo inferior. En la columna "altura aparente", buscamos 41º y la cruzamos con la columna de paralaje horizontal de 55'.

Obtenemos corrección a efectuar = 55'5 (si queremos ser más exactos deberemos promediar, pero en la práctica no es necesario).

Así pues,

Ao = 41º12'9
+ 55'5
____
Av = 42º08'4

En realidad, y en pura ortodoxia, cabe decir que existen otras dos correcciones que son el resultado de aplicar las décimas de la cifra del paralaje ecuatorial horizonral y los minutos de la altura observada; pero, como no son muy significativas, y para evitar complicaciones de cálculo, no las tendremos en cuenta.

Revisadas estas consideraciones estamos ya en condiciones de pasar a la descripción a que hace referencia el título de esta capítulo.

CALCULO DE LA RECTA DE ALTURA.

Procederemos de forma idéntica a la realizada en el caso del Sol.

Descripción teórica	***Caso práctico***
Anotaremos fecha y posición estimada	18-Abril-1978 Se = le =47º08'N Le=16º12'W

Primer paso.

Observamos la Luna y decidimos qué limbo vamos a tangentear al horizonte. Tomamos la Altura instrumental y anotamos la hora exacta.

UT = 19h31m12s

Ahora corregimos esta altura; en primer lugar, de error instrumental, a continuación, de elevación del observador y, por fin, del resto de correcciones. Para esto último entramos en tablas teniendo en cuenta el PHE que nos da el Almanaque.
Obtenemos así la altura verdadera.

Ai=40º42’4 (limb. sup.)
ei = + 2 (por ejemplo)

Ao=40º44’4
elev.= - 2’5

40º41’9
corr= +26’1

Av=41º08’

Segundo paso

Calcularemos ahora los tres datos necesarios para entrar en tablas:

- -Angulo horario local
- -Declinación
- -Latitud estimada

Primer Dato:

Mismo método que para el Sol. En el Almanaque (página del día de la fecha), en el recuadro correspondiente a la Luna (columna de ángulo horario) vemos el ángulo que da para la hora entera.
A esta cifra añadiremos la correspondiente a minutos y segundos (páginas del Apéndice, correspondientes a la Luna).
Hasta aquí era suficiente en el caso del Sol, pero la Luna tiene un movimiento mucho más errático (menos promediable), razón por la cual hemos de hacer una nueva corrección.

hGLuna a 19h = 336º21’8

corr. p. 31m12s= 7º26’7

343º48’5

Se realiza así: en el Almanaque, junto a la cifra del valor de ángulo horario aparece otra (en menor tamaño) con las letras “Dif” en la cabecera. Tomamos nota de esta cifra y vamos a la página correspondiente a los minutos. Observamos que hay dos columnas, una: Dif. y otra: “Corrección”.
La corrección que corresponde a esa “Dif” es la que hay que añadir a la cifra del ángulo horario, para obtener el realmente correcto.

En el Almanaque:
Dif. = 131
En pág. apéndice, de 31’, en la columna diferencia, leemos:
132 (por aproxim.) que corresp. a 6’9 en la columna corrección.

A partir de ahora seguimos ya el mismo que con el Sol. Sumamos o restamos la longitud estimada, según sea E u W, respectivamente, para obtener así el ángulo horario local, que es el dato que vamos buscando.
Tomaremos buena nota de la longitud estimada de conveniencia que resulte necesaria para hacer entero el ángulo horario con la suma o la resta.
Tenemos ya pues el primer dato.

Segundo Dato (Declinación)

También –al igual que en el caso del Sol- buscamos en el Almanaque la declinación para la hora redonda. Recordemos que el signo más representa al Norte y el menos al Sur. Pero nos falta una corrección para minutos y segundos, que en el caso del Sol hacíamos "a ojo"; aquí, sin embargo, no es posible.
Para efectuarla nos fijaremos en la cifra de menor tamaño que aparece al lado de la declinación. Esta cifra es la "dif" que, cotejada con la que le corresponda en la columna "Corrección" de las páginas de conversión correspondientes a los minutos y segundos que pasan de la hora entera, nos dará, precisamente, la cantidad que sumaremos o restaremos a la declinación (según vaya esta aumentando o disminuyendo).

Tercer Dato (Latitud estimada)

Igual que en el caso del Sol. Redondeamos la latitud estimada al grado entero para la entrada en tablas y lo tenemos en cuenta a efectos del posterior trazado de la recta de altura.

Disponemos ya de los datos necesarios para entrar en tablas. Seguiremos exactamente los mismos pasos que en el caso del Sol.

Por tanto,

343º48'5
+ 6'9
____
hGLuna 343º55'4

Ahora, como la Le es W, la restaremos, y para conseguir grados enteros, en vez de usar:
16º12'W,
usaremos:
16º55'4

hGLuna=343º55'4
- Le (conv)= 16º55'4
____
hLLuna=327º

D, para 19h= 7º22'3N

La cifra "dif"=91
En la tabla de 31m, en la columna: Corrección, a 91 de dif corresponde 4'8
Así pues,
D para 19h=7º22'3
"correcc" = - 4'8
____
D= 7º17'5N
Por tanto, **D=7ºN** (guardamos 17')

le = 47º08N
le (conv)**= 47ºN**

De forma resumida:

-Acudir a las tablas

-Buscar página de latitud

-Guiarnos por la magnitud de la declinación y por su signo, en relación con la latitud (SAME o CONTRARY).

-Entrar en la columna de ángulo horario local (LHA) y cuadrar con la declinación. Aparecerán: Ac, d y Z.

-A partir de la "d", y en la tabla aparte, obtener la corrección a la altura; obtenemos así Ac y Z.

Datos obtenidos:

hLLuna=327º
D = 7ºN
le = 47ºN

Con las tablas:

Ac = 41º04'
d = +52
Z = 134º

Con d = +52, y los 17' que nos guardamos de la declinación, en tabla aparte obtenemos:

41º04'
+ 15'

Ac= 41º19'

El acimut, como quiera que hLLuna es menor de 180º, no cambiará: **Z=134º**

Sólo nos queda ahora obtener el determinante:

Av = 41º08'
Ac = 41º19'

Det= 11'

Como la altura verdadera es menor que la altura calculada, este determinante lo mediremos desde el punto de situación estimada de conveniencia, en sentido "alejado" del astro (recordemos que en el caso del Sol lo fue "hacia" el astro).

En resumen, agrupando el desarrollo del caso práctico:

Observación

Ai = 40º42’4 (Luna, limb. sup.)   UT = 19h31m12s
ei =   +2’

Ao = 40º44’4
elev. 2 m. = -   2’5

40º41’9
corr. tot. = + 26’1

Av = 41º08’0

Almanaque

hGLuna para 19h = 336º21’8 (Dif. = 131)
corr. para 31m12s=   7º26´7

343º48’5
para Dif 131 = + 6’9

hGLuna = 343º55’4
- Le (conv.) = 16º55’4

hLLuna = 327º

Tablas

Ac = 41º04’   d = +52   **Z= 134º**
con d=+52, + 15’

Ac = 41º19’

Determinante

Av = 41º08’
Ac = 41º19’

Det= 11’ (alejado)

Trazado gráfico

No se diferencia en nada del ya descrito en el caso del Sol (Figura 46).

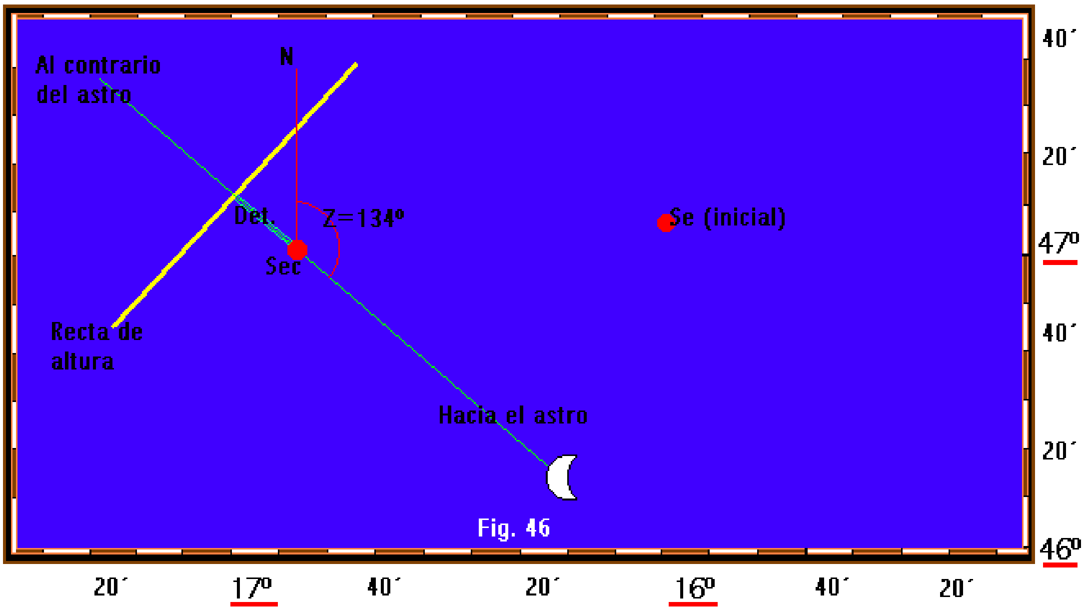


Fig. 46

Tenemos pues representados:

-Se (situación estimada inicial)
-Sec (situación estimada de conveniencia)

OTRAS CONSIDERACIONES RESPECTO A LA OBSERVACIÓN LUNAR.

Ya hemos comentado que la Luna (aparte del Sol) es el único astro que puede ser visible a pleno día; ello permitirá, en ocasiones, obtener alturas simultáneas a dos astros, con una intersección inmediata de las dos rectas de altura, que nos ofrecerán una situación correcta y bien definida.

Estos momentos se producirán coincidiendo con las fases de cuarto creciente y menguante del astro lunar. La hora más propicia será la de media mañana, cuando el Sol está a mitad de camino de su culminación y la Luna menguante ya la ha pasado y se encuentra a mitad de camino entre aquella y su ocaso; o la de media tarde, cuando la Luna creciente va hacia su culminación y el Sol ya la ha pasado y va hacia su ocaso.

Nos gusta, a título personal, aplicar un verso nemotécnico que resume lo que acabamos de referir:
“Cuarto menguante, va la Luna por delante; cuarto creciente, gana el Sol por el poniente”.

Hemos de advertir también que si bien las observaciones de la Luna durante el día o en los momentos crepusculares proporcionan situaciones perfectamente correctas, no podemos decir lo mismo de las observaciones nocturnas. No son tan de fiar.

En efecto, a pesar de que la Luna produce reflejo y, por tanto, ilumina su propio horizonte, se trata en general de un horizonte poco fiable. Puede ocurrir que haya una zona de mar con un rizado diferente del de la vecindad, o simplemente que unas nubes bajas den sombra sobre ese horizonte, para que se produzcan errores en la altura instrumental y consiguientemente importantes errores al final del cálculo.

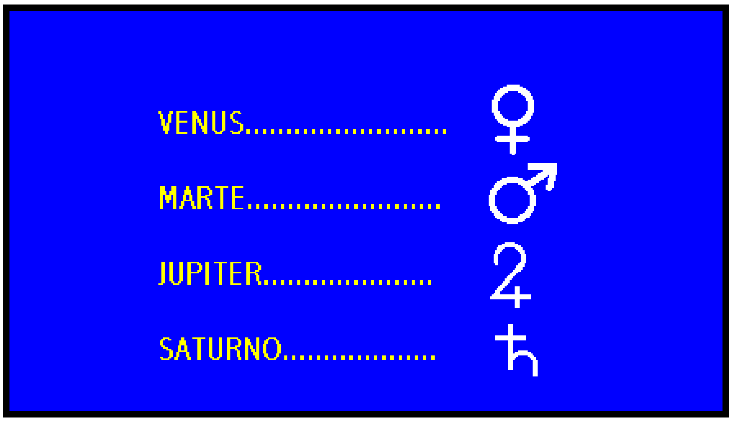
CAPITULO 9

RECTA DE ALTURA DE PLANETAS

CONSIDERACIONES GENERALES

Cuatro son los planetas de los que nos vamos a servir en navegación astronómica; de ellos, tres tienen su órbita exterior a la terrestre: Marte, Júpiter y Saturno; el restante, Venus, tiene órbita interior (está, por tanto, más cercano al Sol).

Cada uno de los cuatro tiene asignado un símbolo que debemos conocer para simplificar su representación en los cálculos. Son ellos:



Respecto a su identificación, existen unas particularidades inherentes a los planetas, que los diferencian de las estrellas. Son:

-Brillo diferente del de las estrellas.

-Ausencia del "parpadeo"; el suyo es un brillo continuo, distinto del típico centelleo de las estrellas.

-Si el momento y la altura son los adecuados, producen reflejo luminoso en la mar a nivel del horizonte, sobre todo si su superficie está en calma.

A pesar de estas peculiaridades, los planetas son difícilmente identificables entre sí, puesto que sus movimientos sobre la esfera celeste son independientes de los de las estrellas; están animados de movimientos alrededor del Sol que les son propios.

También las estrellas tienen sus movimientos propios, pero, al estar situadas tan lejanas, no son aparentes y pueden considerarse fijas las unas con las otras.

Remarquemos que al hablar de “movimiento conjunto de las estrellas”, en realidad nos referimos al movimiento diario de la Tierra sobre sí misma. Ya al principio dijimos que íbamos a suponer fija la Tierra y, a su alrededor, la esfera celeste en movimiento.

Pues bien, ese distinto movimiento de los planetas en relación con las estrellas hace que no los podamos encuadrar en ninguna constelación a efectos de su identificación. Por esa misma razón, a los planetas se les denomina “astros errantes”, en comparación con las estrellas: “astros fijos”.

A esta dificultad se une el hecho de que el mejor momento para observar un planeta es el del crepúsculo, ya sea el de la salida del Sol (orto) o el de su puesta (ocaso); ello quiere decir que disponemos de poco tiempo (una media hora corta) para identificar el planeta y realizar la observación.

El mejor sistema para identificar un planeta es disponer de un “Identificador de Estrellas”. Con este identificador alcanzamos dos objetivos; o bien identificamos un planeta mediante una observación “a ojo” de su altura y acimut aproximados y, basados en estos datos averiguamos con el identificador de qué planeta se trata; o bien buscamos antes el acimut y la altura del planeta, con el identificador, y, con el sextante reglado a esa altura, buscamos (en el horizonte correspondiente al acimut) el planeta seleccionado.

Todas los resultados que proporciona el identificador de astros se pueden obtener también mediante el cálculo; como todo ello va a ser estudiado también en el capítulo de las estrellas, lo soslayaremos por el momento.

Hemos citado, no obstante, un aspecto que no conviene dejar pasar sin dedicarle mayor atención; nos referimos al tema del “momento” propicio para la observación. Hemos dicho que ese momento era el crepúsculo; en efecto, si tomamos el Almanaque Náutico en el día de los casos prácticos, por ejemplo: 18 de Abril de 1978, podemos apreciar que a la derecha de las columnas correspondientes a la Luna hay, primero, una columna con la cabecera: “Latitud” (hace referencia a las posibles latitudes del observador) y a continuación, otra columna: “Puesta del Sol” y luego: “Crepúsculos (Civil y Náutico)”. Aquí encontraremos las Hcl (horas civiles del lugar) para estos eventos.

En esta página del 18 de Abril, la referencia es al ocaso; alternando las páginas, los datos indican, alternadamente, la salida y puesta del Sol.

En resumen, disponemos ya, para cada latitud el observador –entre 60ºN y 60ºS- de unos datos horarios que nos indican cuándo va a salir o ponerse el Sol y cuándo se producen los momentos crepusculares.

Se define el crepúsculo civil como el momento en que el Sol se encuentra 6º por debajo del horizonte del observador, bien sea por levante (en el amanecer) o por poniente (al anochecer). Podríamos decir que la altura del Sol es de 6º “menos”

El crepúsculo náutico se produce, en cambio, cuando el Sol está 12º bajo el horizonte, con las mismas aclaraciones que hemos hecho en el caso del crepúsculo civil.

En el caso del orto (amanecer) se producirá en primer lugar el crepúsculo náutico y, aproximadamente, media hora después el crepúsculo civil; en el caso del ocaso (anochecer) primero tendrá lugar el crepúsculo civil y, después de media hora, el náutico.

En cualquier caso, esa media hora que transcurre entre ambos es el momento idóneo para tomar alturas a planetas y estrellas, pues la claridad es suficiente para que se visualice el horizonte, los objetos son identificables y las estrellas importantes son, ya o aún, visibles en el firmamento.

Por tanto, lo único que nos interesará desde el punto de vista de la observación astronómica será el periodo comprendido entre el momento de ambos crepúsculos. Es a este periodo al que denominaremos: "Periodo de observación o Periodo hábil".

Queda bien entendido que las horas que definen estos periodos serán, siempre, "horas civiles del lugar".

CALCULO DE LA RECTA

Identificado el planeta (lo estudiaremos a propósito de las estrellas) y conocido el momento propicio para la observación, lo demás sigue, paso a paso, la misma sistemática empleada en el caso del Sol. Aclararemos sólo los puntos en que haya alguna diferencia.

Altura del planeta.

Corregimos la altura instrumental del error instrumental y, a continuación, de corrección global. En este caso emplearemos el lado derecho de la tabla que ya referimos en el capítulo cuarto. Es necesario hacerlo así, pues debemos recordar que en el caso del Sol teníamos un semidiámetro que aquí no nos afecta.

Obtenemos así la altura verdadera y anotamos la hora exacta de la observación (en hora civil de Greenwich, es decir: UT).

Pasamos a continuación a buscar los datos necesarios para entrar en tablas.

Latitud Estimada.

Redondeada al grado entero.

Angulo horario local.

Lo hallamos igual que en el caso del Sol; partimos del ángulo horario con Greenwich (hGPlaneta) para la hora exacta, al que sumamos la corrección para minutos y segundos, de las páginas a propósito.

A este respecto hay una variación en comparación a lo referido en el caso del Sol; como el planeta tiene un movimiento más rápido que el terrestre, hay que añadir una porción de ángulo. Para hallarlo. veremos que debajo de la columna referente a los ángulos horarios, aparece una cifra (Dif.) con un signo. En la misma página en que hemos buscado la corrección para minutos y segundos, llevamos la cifra de la "Dif." y, a su altura, en la columna "Corrección", obtenemos la cifra que hay que sumar o restar (según el signo que acompañaba a la cifra de "Dif.") al ángulo horario.

Obtenemos así el ángulo horario con Greenwich. Para obtener el buscado “Angulo horario local” (hLPlaneta), le sumamos o restamos la longitud estimada, pero transformada en “de conveniencia”, según sea esta Este u Oeste, respectivamente.

Lo comprobaremos con un ejemplo:

Fecha: 18 Abril 1978 UT: 19h12m15s
Se: le = 46º52’N
Le = 21º28’W

En el Almanaque:

hGVenus para 19h	84º26’9
corr. para 12m15s	3º03’8
hGVenus para 19h12m15s	87º30’7

“Dif.” = -6

En la página correspondiente de los 12’, Corrección = -0’1

Por tanto:

		87º30’7
		- 0’1
hGVenus	=	87º30’6
Le (convenc.)	= -	21º30’6W
hLVenus	=	66º

Declinación

Respecto a la declinación, procederemos igual que con el Sol. La corrección para minutos y segundos la haremos interpolando “a ojo”.

A partir de aquí, la entrada en tablas no difiere en nada con la del procedimiento seguido en el caso del Sol y Luna.

Obtenemos así la altura calculada y el acimut.

Comparando las alturas verdaderas y calculada, obtenemos el determinante, y con todos estos datos procederemos, como ya sabemos, al trazado gráfico de la recta de altura sobre la carta de navegación.

CAPITULO 10

RECTA DE ALTURA DE LAS ESTRELLAS

CONSIDERACIONES GENERALES.

Si bien, en esencia, las líneas maestras del procedimiento son las mismas que para los demás astros, en el caso de las estrellas existen peculiaridades importantes que es necesario describir a fondo. Iremos aclarando los nuevos conceptos de forma paulatina.

Punto Vernal o Punto Aries.

Al hablar del Sol, planetas y Luna, vimos que las coordenadas de sus "puntos geográficos" venían referenciadas en el Almanaque (Angulo horario con Greenwich y Declinación).

Imaginemos por un momento que tuviéramos que disponer de los mismos datos para cada una de las estrellas. Debido a su número, la cantidad de tomos que integrarían el Almanaque sería tremendo.

Afortunadamente existe una característica que lo hace innecesario; a saber: las estrellas (ya lo dijimos) permanecen fijas entre ellas, todo lo contrario al Sol, planetas y Luna que tienen movimientos propios. Podríamos hablar, pues, de un "conjunto estelar".

Aprovechando esa circunstancia y mediante un acuerdo internacional (al igual que ocurrió con el meridiano de Greenwich), se ha buscado un punto fijo en el firmamento con declinación igual a cero (su punto geográfico se encuentra en el ecuador terrestre) y situado en el lugar del inicio de la primavera.

Dicho de otro modo: vimos, al hablar del plano de la eclíptica, que cuando el punto geográfico del Sol se situaba sobre el ecuador terrestre, era el momento del inicio de la primavera (en el punto opuesto era el inicio del otoño). Definido con otras palabras, podríamos decir que ese momento corresponde al punto de intersección entre el plano de la eclíptica y el ecuador terrestre, proyectado este a la bóveda celeste.

Este punto es el llamado **punto Vernal o punto Aries,** y se representa con la letra griega "aries".

Pues bien, también este punto tiene, diariamente, una columna dedicada en el Almanaque, donde se expresa el ángulo horario con Greenwich en cada momento, como si se tratara de cualquier otro astro.

Una vez conocido dicho punto, podremos referir todas las estrellas en relación con él por medio de una coordenada de características horarias; a esa coordenada, distinta y significativa para cada estrella, le llamaremos **ángulo sidéreo (AS)**; y se medirá de 0º a 360º por el Oeste, desde ese punto descrito, hasta la estrella.

Combinando el ángulo horario de Aries y Greenwich con el ángulo sidéreo de la estrella obtenemos el ángulo horario de la estrella y Greenwich (hGEstrella). Ver figura 47

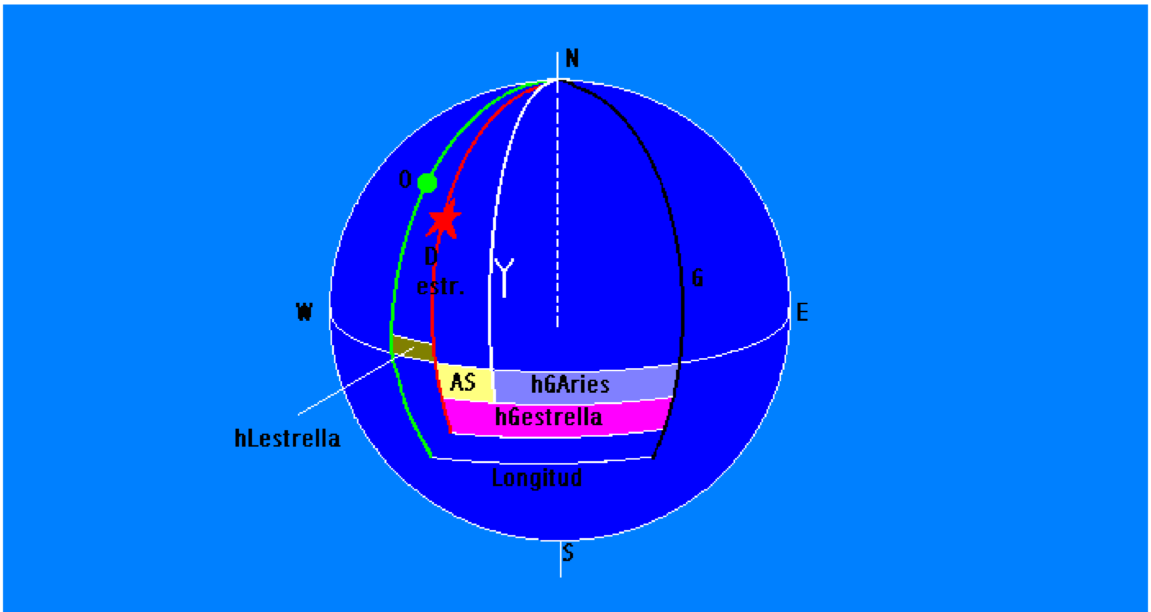


Fig. 47

G : meridiano de Greenwich
+ : punto geográfico de la estrella
AS : ángulo sidéreo de la estrella
O : posición observador en su merid.
Aries : punto Geogr. del punto vernal
D : declinación de la estrella
L : longitud del observador

Tal como hemos dicho, y si observamos la figura, nos damos cuenta de que conociendo:

hGAries (lo da el Almanaque)
AS (lo da el Almanaque)
L (longitud estimada),

es fácil obtener el ángulo horario local de la estrella (hL+).

Habiendo llegado a esta conclusión comprendemos perfectamente que cada estrella tiene sus coordenadas:

-Angulo sidéreo, en relación con el punto vernal o Aries, y que se cuenta desde 0º a 360º desde el punto Aries hacia el Oeste.
-Declinación, que es el mismo concepto que en el caso de los demás astros, pues, como la declinación del punto vernal es cero, la de la estrella es, a todos los efectos, como la de otro astro cualquiera.

A consecuencia de la fijeza de las estrellas, ambos datos son prácticamente constantes; únicamente tienen variaciones del orden de algunos minutos en un mes.

El Almanaque indica, en sus páginas finales, la referencia de ambos datos para noventa y nueve estrellas; igualmente, en una cartulina suelta, da el resumen de estos datos, pero sólo para treinta y cinco estrellas seleccionadas (ver apéndice).

Más adelante veremos que con media docena de estrellas en cada hemisferio es suficiente para todas nuestra necesidades de observación.

Momento de observación.

Por descontado que no se puede tomar la altura de una estrella en pleno día; los momentos adecuados serán la noche y los periodos hábiles (intercrepusculares).

La noche tiene el inconveniente de la no visualización del horizonte; no obstante, navegantes como B. Moitessier alaban el método nocturno y son capaces de tomar alturas de estrellas con la técnica (que el propio Moitessier define en su libro “El largo viaje”) de “...observar retirando el objetivo del sextante y con ambos ojos abiertos”. De este modo se consigue que un ojo aprecie el horizonte y el otro la imagen de la estrella en el espejo.

Realmente es un sistema efectivo, a condición de conseguir asimilar la doble imagen visual; de cualquier forma, para empezar es mejor seguir los pasos clásicos.

Por tanto, y según comentábamos antes, dado que necesitamos un horizonte realmente visible, hemos de contentarnos con los periodos intercrepusculares. Pero ello tiene un inconveniente: en este fase de periodo hábil de observación sólo se ven las estrellas más brillantes. Cuando se trata del orto, ello no tiene mayor importancia pues tuvimos ocasión con anterioridad de identificar la estrella en su constelación y ponerle su nombre; sólo será necesario esperar un horizonte válido para tomar altura y hora.

Pero, cuando el periodo hábil es el del ocaso, no podremos saber bien de qué estrella se trata, pues no disponemos aún de constelaciones visibles y, si esperamos a que estas aparezcan, ya nos habremos quedado sin horizonte.

Más adelante estudiaremos la forma de resolver este inconveniente; de momento no complicaremos más el problema y nos limitaremos a observar la estrella cuyo nombre conocemos, para resolver los cálculos y obtener la recta de altura. Una vez detallado el sistema, iremos progresando en su explicación, para poder adentrarnos en métodos más ventajosos y simplificados.

Cálculo de la recta de altura.

Haremos simultánea la explicación teórica aplicada a un caso práctico, haciendo hincapié en las fases que difieran de los astros ya estudiados.

Sea:

Fecha: 18 Abril 1978
Situación estimada:
le = 47º12’N
Le = 15º05’W

Sabemos, por el Almanaque, que el periodo hábil de observación comenzará, aproximadamente, a las 04h18m (para una latitud 40ºN), según podemos leer en los datos de salida del Sol, del día anterior. No es necesario decir que, en este caso, esa hora será la “hora civil del lugar” por donde estamos navegando (no hablamos aquí de hora de Greenwich), y en ella darán, comienzo nuestras observaciones.

Algún tiempo antes localizamos (aún se ven todas las estrellas) y bautizamos la estrella que pensamos observar; pero, antes de seguir, quiero hacer una salvedad: como quiera que vamos a emplear el método de las tablas HO 249, y en ellas las declinaciones no pasan de 30º, elegiremos para la observación una estrella cuya declinación no sea mayor de esa cifra (el cartón suelto que acompaña al Almanaque nos indicará rápidamente si esa estrella cumple, o no, dicho requisito). Ver láminas XVI y XVII del Apéndice.

Imaginemos que la estrella es Altair. Ya, de entrada, en el Almanaque vemos que su ángulo sidéreo es 62º34’1, y que se declinación vale 8º48’6N (datos para el mes de Abril).

Le tomamos la Ai:

Ai = 45º23’8

y la hora:

UT = 05h26m14s

Corregimos la altura:

Ai = 45º23’8
ei = + 2 (suponiendo que sea así)

Ao = 45º25’8
corr. global = - 3’5 (suponemos altura observador de 2 m.)

Av = 45º22’3

A continuación vamos a obtener los datos necesarios para entrar en tablas, que serán:

- Angulo horario local de la estrella
- Declinación
- Latitud estimada

Seguiremos los mismos pasos de siempre.

Obtención del Angulo horario local de la estrella

Para ello, y deducido de las explicaciones dadas anteriormente referentes al punto Aries, primero deberemos hallar el Angulo horario de Aries y Greenwich (hGAries), para sumar luego el Angulo sidéreo de la estrella (AS) y obtener, de ese modo, el Angulo horario de la estrella y Greenwich (hGEstrella).

Añadiendo o sustrayendo, después, nuestra longitud estimada (según sea ésta Este u Oeste) obtendremos el Angulo horario local de la estrella (hLEstrella).

Así:

hLEstrella = hGAries + AS +ó- Le

En el caso práctico:

hGAries para 05h	280º57’6	
corr. para 26m14s	+ 6º34’6	(pág. conversiones, columna Aries)
hGAries	287º32’2	

A este valor añadimos el Angulo sidéreo:

hGAries	287º32’2	
AS	62º34’1	
hGEstrella	349º06’3	
Le W (de convenc.)	-15º06’3	(ajustamos minutos y décimas)
hLEstrella	**334º**	(que es el ángulo buscado)

Obtención de la Declinación.

Ya citamos antes que para Altair, en Abril, el Almanaque da:

D = 8º48’6

nos guardamos 48’ (despreciamos los segundos) y queda:

D = 8ºN

Obtención de la Latitud estimada.

Vimos que era:

le = 47º12’D

y, por conveniencia, pasará a ser:

le = 47ºN

Disponemos ya de los datos buscados:

hLEstrella = 334º
D = 8ºN
le = 47ºN

por tanto podemos entrar en tablas; pero hemos de recordar que a “hLEstrella”, en la tabla, se le denomina: LHA.

Así, obtenemos:

Ac = 45º08’
d = +55
Z = 142º

Pasamos a la tabla de conversión y, con d = +55 y los 48’ que nos habíamos guardado de la declinación, obtenemos una corrección de + 44

45º08’
\+ 44’
______
Ac = 45º52’

Respecto al acimut, como el ángulo horario local es mayor de 180º, no tenemos que rectificarlo.

Comparamos ambas alturas para obtener el determinante:

Av = 45º22’3
Ac = 45º52’
____
Determin. = 0º29’7 “alejado”, pues Av es menor que Ac.

A partir de este momento seguiremos con exactitud los pasos realizados con anterioridad para trazar, sobre la carta, la recta de altura.

Recordemos, una vez más, que, en virtud de las necesidades del método, iniciamos este trazado desde un punto estimado de conveniencia diferente al de estima normal; en este caso sería:

le = 47ºN
Le= 15º06’3W

========================

Un sistema diferente.-

Hasta ahora, y referente a las estrellas, hemos seguido la misma pauta que en los demás astros (Sol, Luna y planetas). Derivado de ello, hemos observado varios inconvenientes:

-Con los volúmenes segundo y tercero de las tablas sólo podemos trabajar con estrellas de hasta 30º de declinación. Recordemos que las tablas se dividen en: volumen primero (para las estrellas seleccionadas) y volúmenes segundo y tercero (para el Sol, planetas y estrellas, pero siempre que estas tengan una declinación inferior a 30º).

-Los momentos adecuados para la observación son los menos apropiados para proceder a la identificación de la estrella.

Para obviar estos inconvenientes existe el volumen primero: "Estrellas Seleccionadas". En él, contando únicamente con dos datos (Angulo horario local de Aries y Latitud estimada de conveniencia) nos vienen descritas, con su altura calculada y acimut, siete estrellas importantes.

Este volumen se edita con una vigencia de cinco años, a diferencia del segundo y tercero, que no tienen caducidad.

Por tanto, no es necesario el Angulo horario local del astro (hLAstro), que es el dato que empleábamos hasta ahora, ni la declinación; no es necesario tampoco el Angulo sidéreo de la estrella (AS), ya que, repetimos, lo que precisamos es el Angulo horario local de Aries, que sabemos que es:

hLAries = hGAries +/- L estimada

De todo ello se deriva un hecho de enorme importancia: obtenemos el momento del crepúsculo civil para nuestra posición (ya hemos referido cómo se obtiene a partir del Almanaque); partiendo de esa hora, y transformada en UT, obtenemos el Angulo horario local de Aries; entramos, con ese dato (hLAries), en el volumen primero de la tabla, en la página de la latitud estimada y encontramos siete estrellas con sus respectivas alturas y acimuts.

Procediendo así podremos "preparar" el momento de una observación simultánea de varias estrellas con la debida antelación. Anotamos en un papel las dos o tres estrellas que hemos seleccionado, con su altura calculada y su acimut, dejando sitio en blanco a la derecha.

Cuando llegue la hora del crepúsculo, subimos a cubierta y colocamos la primera altura en el sextante; nos ponemos a observar el horizonte en dirección de la demora correspondiente a su acimut (podemos averiguar esta dirección con el pequeño compás de demoras). Como por arte de magia, aparecerá en el espejo del sextante la estrella que teníamos anotada, "bailando" muy cerca del horizonte.

Le tomamos la altura correcta y anotamos la hora de ese instante. A continuación hacemos lo mismo con las otras estrellas. Ya practicadas las observaciones, corregimos las alturas para obtener las verdaderas.

Pasamos, después a corregir las alturas calculadas que nos dieron las tablas, que no serán las correctas, puesto que esas correspondían a un Angulo horario local de Aries obtenido para la hora del comienzo del crepúsculo, pero no de la observación propiamente dicha.

Para ello deberemos obtener, primero, el Angulo horario local de Aries para el instante horario anotado en cada observación, para, entrando con él de nuevo en la tabla, obtener (ahora si) la altura calculada y el acimut correctos.

Es ya sólo cuestión de comparar, en el caso de cada estrella, la altura verdadera y la calculada, obtener el determinante y trazar las rectas de altura.

No obstante, queda por considerar un pequeño detalle: hemos visto que el volumen primero de las tablas (Estrellas Seleccionadas) es válido durante cinco años; pues bien, según el año en que estemos, hay que hacer una pequeña corrección en la posición de esas rectas de altura. Esa corrección viene tabulada en una tabla aparte (Table 5: “Precession and Nutation Correction”). Con la latitud y el Angulo horario local de Aries como datos, en el año correspondiente, aparecen dos cifras juntas; la primera indica las millas; la segunda, el ángulo a que hay que trasladar la recta de altura obtenida (ver Apéndice).

Hasta ahora hemos procurado explicar el procedimiento de forma teórica, paso a paso; a continuación resolveremos un caso práctico, con los comentarios que estimemos pertinentes.

CASO PRACTICO

Fecha: 31 Agosto 1978
Situación estimada: le = 47º17’N
Le = 15º12’W

En primer lugar, vamos a preparar con antelación una observación que realizaremos al amanecer del día de la fecha (supongamos que estamos navegando durante la noche del 30/31 de Agosto)

En el Almanaque:

Hora comienzo periodo observación = 04h13m
Le = 15º12’W = 1h00m48s (arco/t) = 01h00m

Hora TU para nuestra posición = 05h13mt

Calculamos, ahora, hLAries para esa hora (UT)

hGAries para 05h	54º01’4
correcc. para 13m	+3º15’5
hGAries	57º16’9
LeW de conveniencia	- 15º16’9
hLAries	42º

Una vez hecho esto, con hLAries = 42º y le = 47ºN, entramos en tablas, volumen primero (estrellas seleccionadas), y anotamos en nuestra hoja de papel:

Capella	Ac = 64º56’	Z = 79º
Rigel	Ac = 26º03’	Z = 139º
Deneb	Ac = 30º13’	Z = 305º

Tenemos ya preparada la futura observación .

A las 05h13m (UT), con estos datos y el sextante, colocamos éste a 64º56’ y lo orientamos al 79º verdadero; aparecerá Capella en el espejo, muy próxima al horizonte. Le ajustamos la altura correcta y anotamos la hora exacta.

Seguiremos el mismo procedimiento con las otras dos estrellas. Sean, por ejemplo, los resultados:

Capella	Ac = 64º56’	Z = 79º	Ai = 65º32’	UT = 05h16m12s
Rigel	Ac = 26º03’	Z = 139º	Ai = 26º26’5	UT = 05h19m22s
Deneb	Ac = 30º13’	Z = 305º	Ai = 29º20’1	UT = 05h22m07s

Transformaremos, ahora, las Alturas instrumentales en verdaderas (suponemos un error instrumental cero y una elevación del observador de dos metros).

	Capella	Rigel	Deneb
Ai =	65º32’	26º26’5	29º20’1
corr. glob.=	- 3’	- 4’5	- 4’1
Av =	65º29’	26º22’	29º16’

Obtendremos, a continuación, el ángulo horario local de Aries para los tres instantes de la observación:

	Capella	Rigel	Deneb
hGAries para 5h	54º01’4	54º01’4	54º01’4
corr. para m. y s.	4º03’7	4º51’3	5º32’7
hGAries	58º05’1	58º52’7	59º34’1
LeW (convenc.)	- 15º05’1	- 15º52’7	- 15º34’1
hLAries	43º	43º	44º

Obtenidos estos tres ángulos horarios locales de Aries, entramos de nuevo en la misma hoja de la tabla y leemos:

Capella, con hLAries de 43º.............. Ac = 65º36' .... Z = 79º
Rigel, con hLAries de 43º .... Ac = 26º29' .... Z = 140º
Deneb, con hLAries de 44º ………... Ac = 29º07 .... Z = 306º

Podemos, ya, calcular los determinantes:

	Capella	Rigel	Deneb
Av =	65º29'	26º22'	29º16'
Ac =	65ª36'	26º29'	29º07'
Det.=	7' "contra"	7' "contra"	9' "hacia"

Con estos datos pasamos a trazar las rectas de altura de las tres estrellas, partiendo, para cada una de ellas, de la situación de conveniencia, que –recordemos- era:

Capella	Rigel	Deneb
le = 47ºN	le = 47ºN	le = 47ºN
Le = 15º05'1W	Le= 15º52'7W	Le= 15º34'1

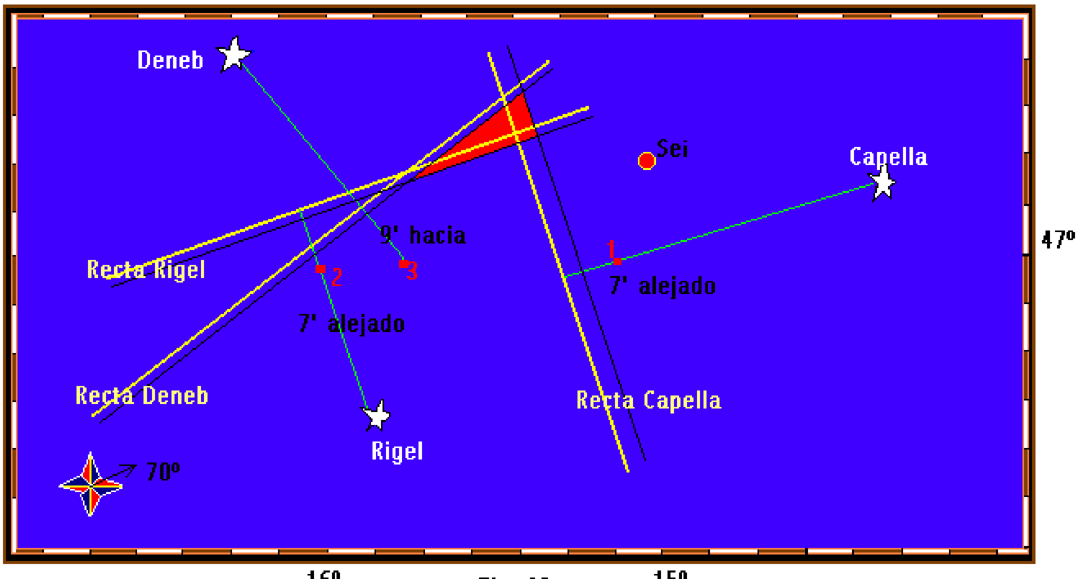


Fig. 48

Vemos en la carta (Figura 48) el punto "Se" que corresponde a la situación estimada inicial, y los puntos 1, 2 y 3 (todos ellos sobre la latitud 47ºN) que representan las longitudes estimadas de conveniencia.

A partir de ellas, y sobre los acimutes, hemos trazado las tres rectas de altura.

En el caso de Deneb hemos medido el determinante “hacia” la estrella, y en los otros dos casos en sentido “contrario” a la estrella, tal y como teníamos previsto.

Queda ya, solamente, hacer un pequeño traslado de estas rectas de altura, según nos indica la ya mencionada tabla 5, para una latitud redondeada de 50º N y unos ángulos horarios del lugar y de Aries de 30º (que es lo más cercano a 43º y 44º), en el año 1978; lo hacemos así y leemos:

2 070

Es decir: hemos de trasladar las rectas, dos millas al 70º verdadero.

Al realizarlo, en la figura 48 se obtienen las nuevas rectas que delimitan entre sí un triángulo que corresponde a la posición del observador.

Hemos realizado, pues, en la práctica lo que antes vimos de forma teórica.

Pero, antes de continuar, hemos de aclarar que el volumen I de las tablas (Estrellas Seleccionadas) podemos usarlo –como en este caso- para preparar la observación de varias estrellas simultáneas, o también para preparar la observación simple de sólo una de ellas (con el procedimiento que ya vimos en Altair). Huelga decir que en este caso, en lugar de obtener un triángulo, nos contentaremos con una única recta de altura.

Identificación de una estrella observada desconocida.

Para completar al máximo el estudio de las estrellas desde el punto de vista de la navegación astronómica, y después de haber visto dos sistemas de cálculo y el tratamiento de las observaciones efectuadas, es necesario hablar de una circunstancia que puede producirse.

Supongamos que no hemos hecho ninguna preparación por anticipado del momento de la observación; sin embargo, necesitamos – por el motivo que sea- obtener, al menos, una recta de altura que nos guíe en nuestra posición.

Estamos en el periodo hábil de observación, el momento es propicio pero el cielo está cubierto. Entre algunas nubes vemos una estrella que no podemos identificar, aunque el hecho de que sea visible durante el periodo crepuscular indica que es de cierta importancia.

Tomamos el sextante y obtenemos una altura, con su hora correspondiente.

Nos encontramos ahora con una observación completa, pero de una estrella “desconocida”.

Pues bien, disponemos de medios para identificar esa estrella, poder continuar el cálculo y obtener la recta de altura.

Existe unas tablas de identificación de estrellas (HO 214), otras más modernas y con un método similar (HO 229), y existen también la minicomputadoras.

No obstante, y sin descartar estos métodos, creo más idóneo el uso del llamado: “Identificador de estrellas”; con él, conociendo la altura observada y el acimut, obtenemos el nombre de la estrella.

Antes de comenzar la descripción del identificador, hay que aclarar que no tiene nada que ver con el conocido planisferio. El planisferio, efectivamente, sirve para reconocer las estrellas, pero no nos proporciona los datos que nos da el identificador, de modo que, para lo que pretendemos, el planisferio no es suficiente.

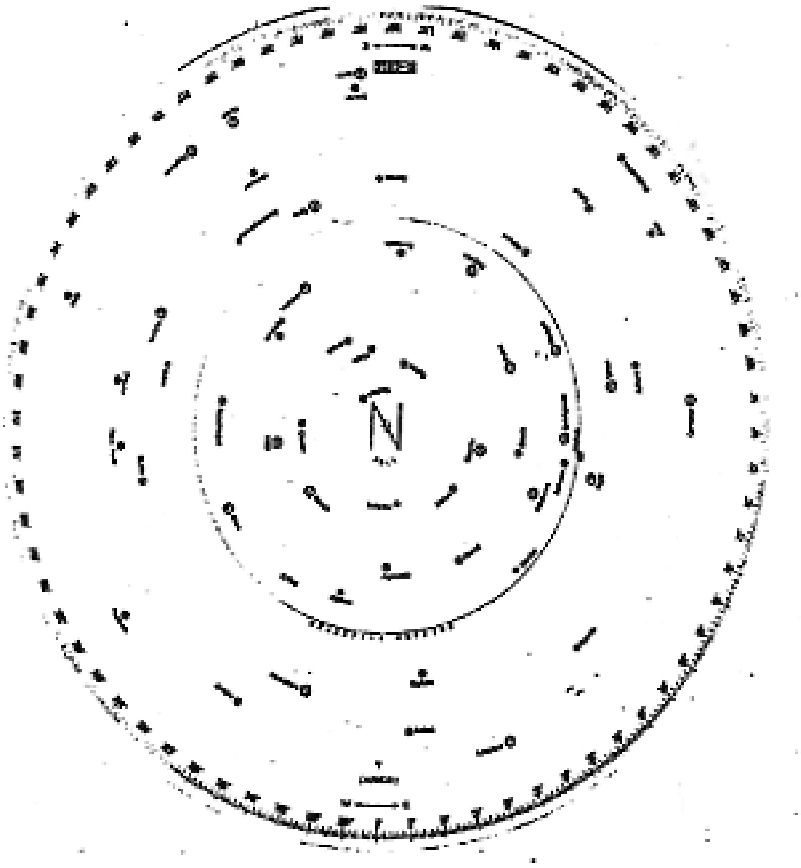
Existen varios tipos de identificadores de estrellas; en esencia, son todos semejantes. Describiremos aquí, por creerlo más conveniente, el modelo 2102-D, de la U.S. Naval Oceanografic Office.

Consta de varias partes (figura 49 y 50):

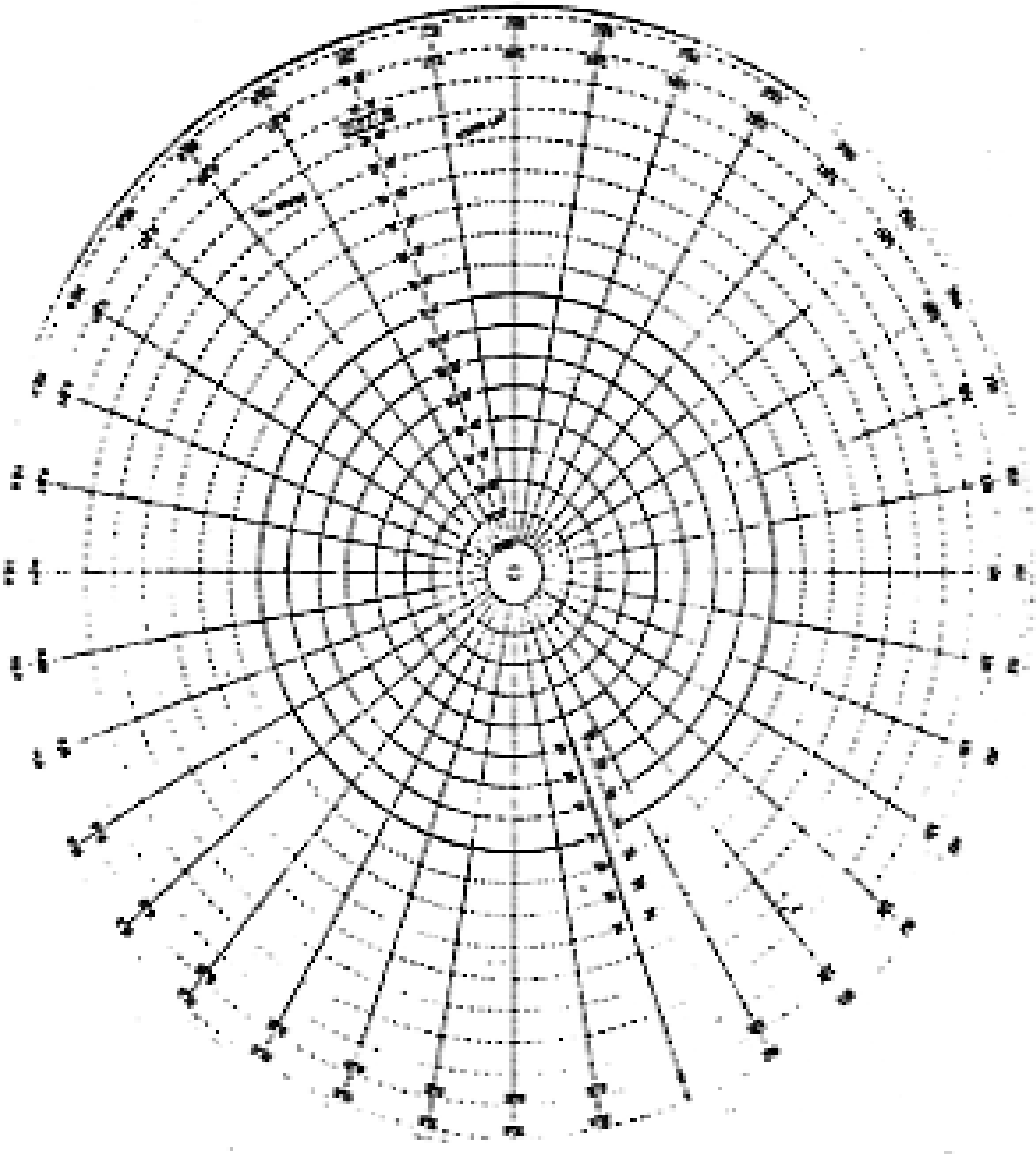
Un disco, que llamaremos **Disco Base**, con el Norte en su centro (o el Sur, por la otra cara) y la periferia repartida en 360º a partir del punto Aries. En este disco vienen representadas las principales estrellas de ambos hemisferios celestes. Las estrellas se localizan según su ángulo sidéreo y su declinación. Un círculo concéntrico divide ambos hemisferios. (Figura 49).

Otro disco, que llamaremos **Disco de Coordenadas**, perforado en su centro, superponible al anterior, transparente, con círculos concéntricos que marcan intervalos de 10º. La periferia está dividida, de 10º en 10º, hacia el Este y el Oeste, a partir de un punto que representa al meridiano de Greenwich. Lleva, sobre este mismo meridiano, una ventana perforada que abarca declinaciones desde 30ºN a 30ºS (más adelante veremos su utilidad) (Figura 50-A).

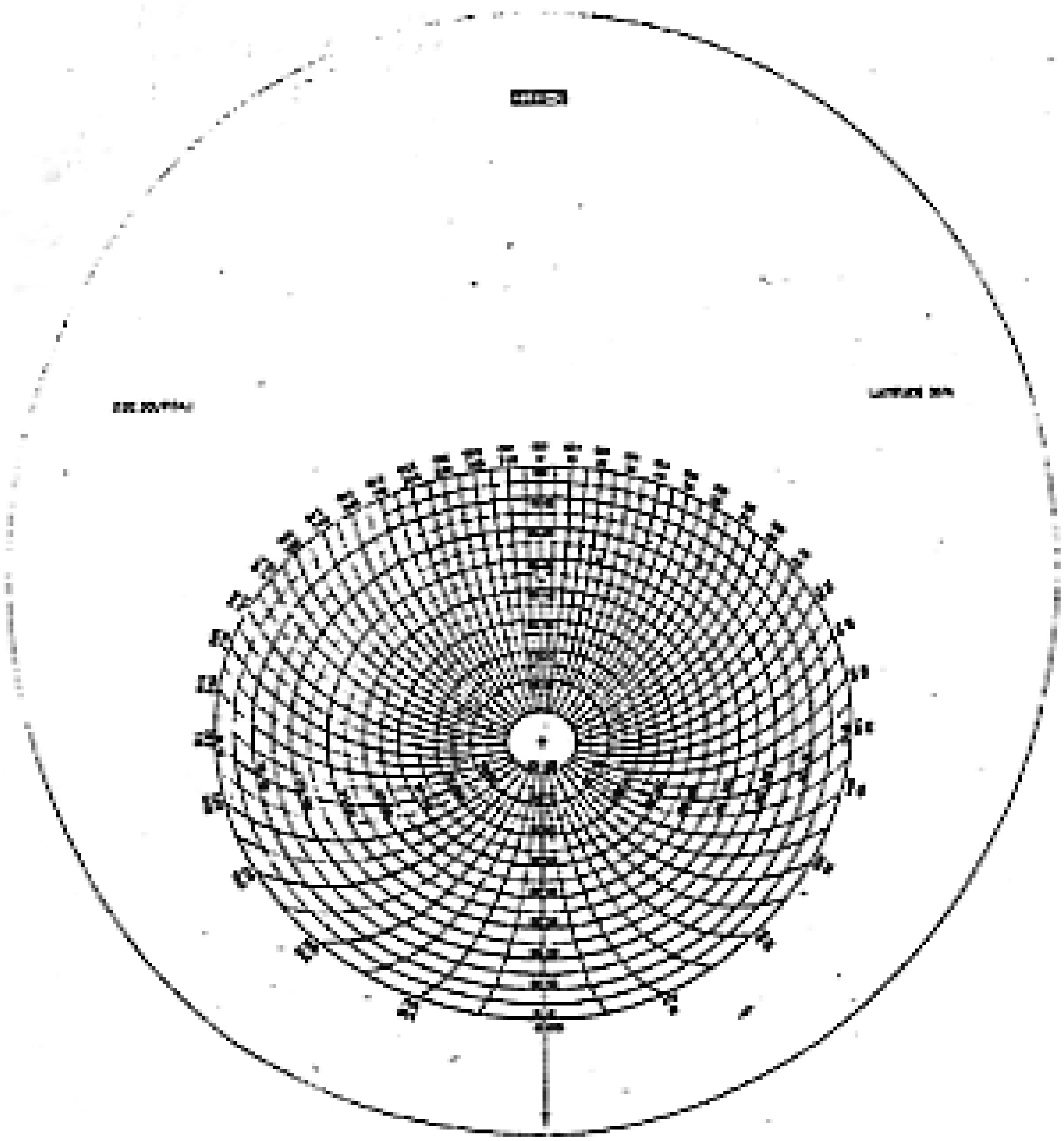
Por fin, una serie de discos, que llamaremos **Discos de Observación**, todos ellos con perforación central para superponerlos al primero. Van diferenciados para cada 10º de latitud, Norte o Sur, y llevan impresa una figura, más o menos ovoide, cuyo centro representa al observador, surcada por dos tipos de líneas céntricas y radiales; las céntricas representan alturas y las radiales, acimutes de astro (Figura 50-B).



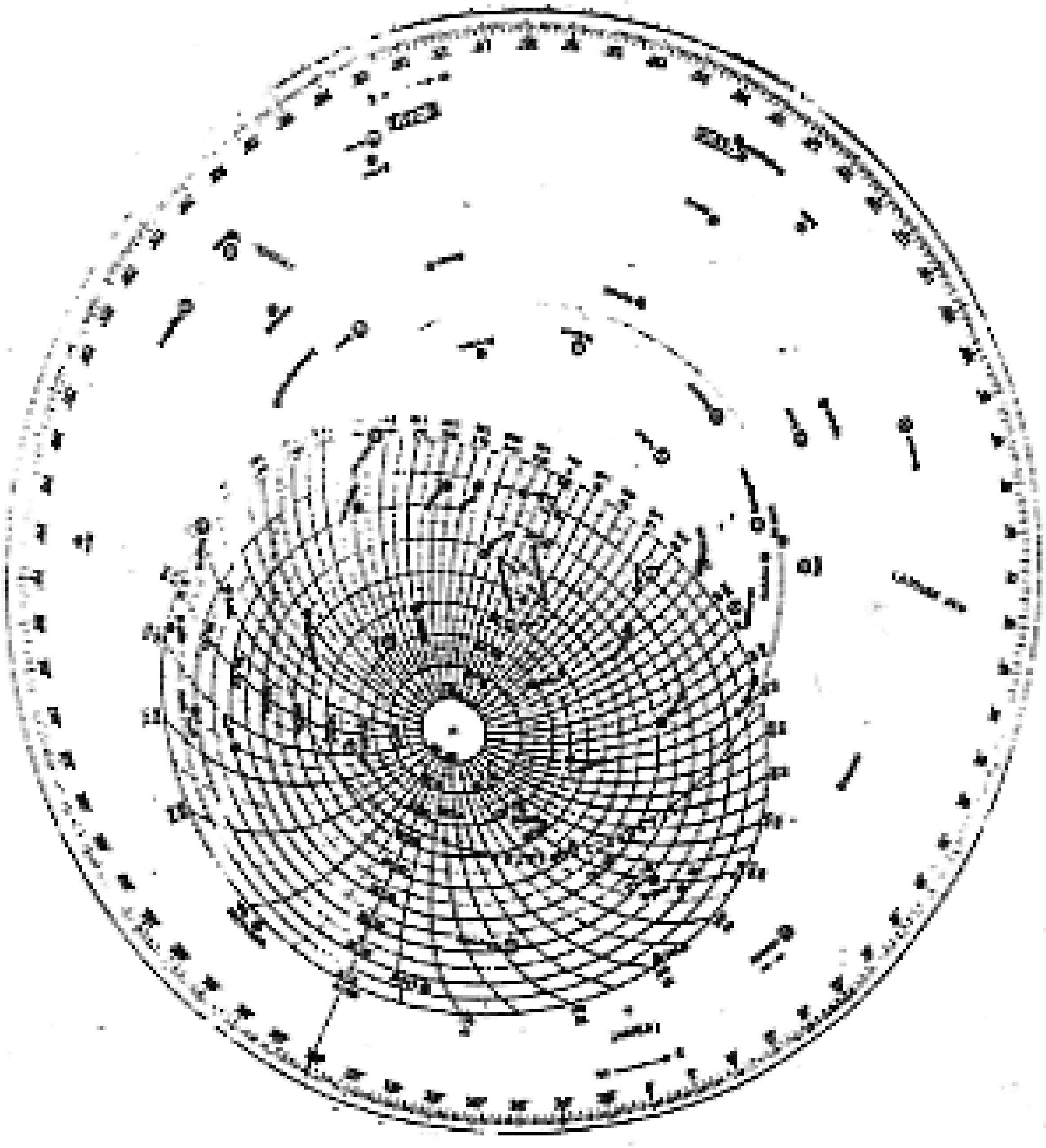
Disco base
Figura 49



Disco de Coordenadas Terrestres
Figura 50-A



Disco de Observación
Figura 50- B



Disco de Observación sobre Disco Base
Figura 50-C

Instrucciones de uso.-

El disco base (con las estrellas, el ecuador, el Norte y la periferia graduada a partir del punto Aries) será la "base" sobre la que superpondremos los demás.

Sobre él colocaremos el disco de observación correspondiente a nuestra latitud más próxima. Dentro del ovoide excéntrico aparecerán todas las estrellas visibles desde nuestra posición en un momento determinado; pero, para ello, hemos de situar el disco de observación en posición. Esto se consigue colocando la recta que pasa por nuestro meridiano (que es la recta que sale del ovoide hacia la periferia) en el ángulo correspondiente con Aries.

Este ángulo no es más que el ángulo horario local de Aries.

De modo es que, sabiendo la fecha y la hora a que queremos observar (o hemos observado), en el almanaque veremos, según la fórmula que ya conocemos:

hLAries = hGAries para la hora exacta + corr. m. s. +/- Le

Con este ángulo horario local de Aries orientamos el disco de observación.

Inmediatamente vemos localizada cada estrella, pues el ovoide nos da: la altura (líneas concéntricas) y el acimut (radios curvos), para el momento que estamos estudiando. (Figura 50-C).

Averiguamos entonces, cuál era la estrella desconocida observada, pues conocíamos los datos de la observación (altura y acimut).

Vemos por tanto, que con el identificador podemos descubrir cuál era esa estrella a la que hemos tomado una observación "entre nubes". Fácil es comprender que podremos usarlo también para preparar de antemano el momento de una próxima observación.

Veamos ahora cuál es la función del disco que hemos llamado de Coordenadas Terrestres. Con él podemos dibujar sobre el Disco Base la posición del Sol, Luna y planetas en el momento para el que vayamos a necesitar estos datos en nuestra bóveda celeste local.

Para ello, como el Disco Base va graduado con referencia al punto Aries, necesitaremos algo que nos relacione cada uno de estos astros con ese punto Aries, en el instante deseado.

Por una parte conocemos el ángulo horario de Greenwich y el astro; por otra, sabemos también el ángulo horario de Greenwich y Aries. Restando uno de otro, obtenemos el ángulo horario entre el astro y Aries (que en el caso de las estrellas se llamaba ángulo sidéreo), denominado Ascensión Recta (AR)

AR = hGAries – hGAstro

Ello es lógico si observamos la figura 51:

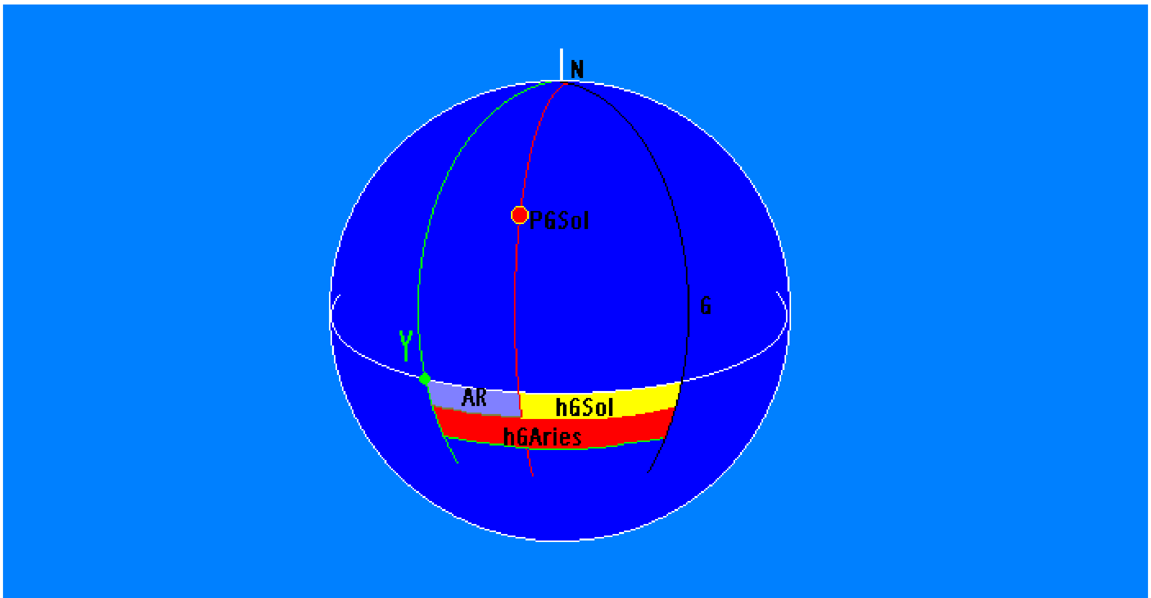


Fig. 51

Puede ocurrir que:

hGAstro sea mayor que hGAries

en cuyo caso, el resultado será un ángulo negativo.

Aplicaremos siempre la regla: “Si el resultado es negativo, se hace positivo restándolo de 360º”.

Este resultado se mide sobre la graduación de Aries en el Disco Base, colocando el meridiano de la ranura perforada sobre el ángulo obtenido y punteando con lápiz el astro de que se trate en cada cálculo (Sol, Luna y los cuatro planetas), teniendo en cuenta su declinación en ese momento (círculos concéntricos).

A continuación, retirando el disco de coordenadas y colocando el de observación (según hemos estudiado antes) veremos, no solo las estrellas, sino también en qué lugar se encuentran Sol, Luna y planetas; y si son, o no, observables para el momento en que estamos trabajando. Caso de ser observables, sabremos cuál será su altura y acimut para ese momento. Igualmente, podremos identificar un planeta desconocido al que hayamos tomado altura y acimut aproximado.

CAPITULO 11

SUGERENCIAS

Hemos dado un repaso general a toda la sistemática de la navegación astronómica que puede ser útil al navegante deportivo.

Todos los cálculos los hemos encaminado a la consulta final en las tablas HO 249 o AP 3270. Con ellas no podemos alardear de una exactitud absoluta; puede haber un error máximo de una milla; error que, por otra parte, creemos perfectamente aceptable para la navegación a bordo de embarcaciones pequeñas. En ellas, por muy grande que sea la exactitud que se consiga con los cálculos de las tablas, las dificultades con la toma instrumental de la altura del astro siempre conllevan tanto o más error.

En consecuencia, el sextante debe estar perfectamente ajustado y las tomas de altura deben realizarse con meticulosidad. Si las condiciones meteorológicas lo permiten, no debemos ir con prisas; tengamos en cuenta que un minuto de arco en la toma de altura de un astro equivale a una milla de error en la posición final, puesto que hará variar en esa cantidad el determinante y, con él, la recta de altura.

Es recomendable, antes de cada observación, averiguar el error instrumental mediante el método de observar el horizonte. Más de tarde en tarde, lo averiguaremos con el Sol y, si es necesario, haremos el pertinente ajuste de los espejos.

Las mismas precauciones respecto a la hora exacta de la toma de la altura. Según lo que ya sabemos, podemos decir que, a nivel de latitudes cercanas al ecuador, cuatro segundos de error en la toma del tiempo equivalen a una milla de error en la posición (recordemos que, en la relación de equivalencia tiempo-arco, un minuto de arco es igual a cuatro segundos de tiempo, y un minuto de arco es una milla de distancia). Huelgan comentarios al respecto.

En lo referente al reloj (que llevaremos a bordo en hora Greenwich), procuraremos que sea lo más exacto posible y lo controlaremos a menudo, comparándolo y ajustándolo a las señales horarias de radio (un buen receptor de radio es muy importante).

Cuando se navega en solitario existe el problema de que no se puede tomar la altura y simultáneamente mirar el reloj. Recomiendo lo siguiente: tener el reloj a la vista, tomar la altura con tranquilidad y, sin perder un instante, ni distraernos, mirar la hora. Desde el instante de la colocación del astro en el horizonte hasta que se mira el reloj, no han pasado más de dos segundos; esos son los segundos que descontaremos de la hora anotada.

A propósito de la lectura de la hora, si el reloj es digital no hay problema para memorizarla, pero si es de manecillas, nos fijaremos primero en la de los segundos, después en la de los minutos y, por último, en la de las horas. Anotaremos la hora “de derecha a izquierda”, comenzando por los segundos, luego minutos y, por fin, la hora.

A la hora de adquirir un reloj (por supuesto de cuarzo) deberemos exigir que las saetas de segundos y minutos sean lo suficientemente finas y largas para que no ofrezcan dudas sobre la cifra que señalan (sobre todo la de los minutos). Recordemos que un minuto de error equivale a unas quince millas.

Cuando debamos tomar el acimut de un astro (para, posteriormente, identificar dicho astro) o cuando, con un acimut calculado, salgamos a cubierta para buscar un astro, lo que haremos será usar el compás de demoras, de uso en navegación costera. Mediremos el ángulo horizontal de la proyección del astro en el horizonte, con el Norte; pero es importante tener en cuenta que en astronomía náutica hablamos de acimutes verdaderos, y el compás de demoras nos señala demoras de aguja; tendremos, pues, que aplicar la corrección de declinación magnética.

En el caso particular del Sol, si nuestro barco lleva un compás de bitácora de tipo semiesférico horizontal, colocándonos de forma que el compás quede entre nosotros y el Sol, veremos que se produce un punto luminoso en la semiesfera de recubrimiento. Podríamos decir, un poco en broma, que es el que corresponde al “punto geográfico” del Sol en la esfera del compás. Ese punto luminoso, que no es más que el reflejo del Sol en la convexidad del cristal, marca el acimut en la rosa (ojo, porque muchos de estos compases llevan graduación invertida).

Quiero referirme también al hecho de que, para el navegante deportivo, las ocasiones de practicar la navegación astronómica son generalmente escasas. Consecuencia de ello es que, aunque hayamos estudiado a fondo estos temas, es muy fácil que los detalles del procedimiento de cálculo se olviden. Para evitarlo, aconsejo dos soluciones: por una parte, aprovechar cualquier circunstancia para tomar una observación y practicar un cálculo (aunque estemos navegando por aguas costeras); por otra, es muy útil confeccionar un “esquema” de la sistemática de los cálculos para cada astro en particular y tenerlo clavado, a la vista, en el mamparo de la mesa de navegación.

Podría ser así (aunque lo mejor es que cada cual lo confeccione según sus preferencias):

	hLO = hGO + corrc.m.s. +/- Le (conveniencia) D = Dec. +/- corrc. "a ojo"
	hLluna = hGluna + corrc.m.s. + corrc.dif. +/- Le (conveniencia) D = Dec. +/- corrc.dif. en pags. min.
PI	hLPI = hGPI + corrc.m.s. +/- corrc.dif. +/- Le (conveniencia) D = Dec. +/- corrc. "a ojo"
	METODO CONVENCIONAL hLest = hGest + corrc.m.s. + AS +/- Le (conveniencia) D = Dec. del mes de la fecha VOLUMEN Nº 1 hLAries = hGAries + corrc.m.s. +/- Le (conveniencia)

CUADRO

No quiero, por último, finalizar, sin dedicar unas palabras a la **Estrella Polar.**

Desde el punto de vista de la navegación astronómica, el primer y fundamental concepto es que esta estrella está situada en el punto correspondiente al cenit del polo Norte terrestre; señala, por tanto, al Norte.

Podemos decir que esto es así sólo “a grosso modo”; en realidad no es del todo cierto, existe un error de unos cuantos minutos entre la situación de esta estrella y el polo Norte (y dentro de unos miles de años, ni siquiera estará cerca de esta posición, pero, de momento, nos vale tal y como está).

Deducimos, por tanto, una primera consecuencia: bastará localizar esta estrella para, automáticamente, conocer la dirección de los puntos cardinales en nuestro entorno.

Igualmente la usaremos, teniendo en cuenta unas correcciones derivadas de la no coincidencia con el Norte, para averiguar la corrección total del compás. Esto es válido para las grandes embarcaciones pero no podemos aplicarlo a nuestras “naves”, poco estáticas y con unos compases de gobierno que, con suerte, podemos ver graduados cada ... cinco grados. En última instancia, esta aplicación puede servirnos para detectar errores intensos en nuestro compás; aproándonos a la vertical de la estrella polar, observaremos lo que marca el compás y extraeremos consecuencias; pero, repetimos, la apreciación será, únicamente, orientativa.

Con todo, hay más factores que permiten aprovecharnos de esta estrella. Derivado de su especial posición, existe un concepto fundamental: **la altura verdadera de esta estrella es igual a la latitud del observador** (previa una pequeña corrección).

Observemos la figura 52:

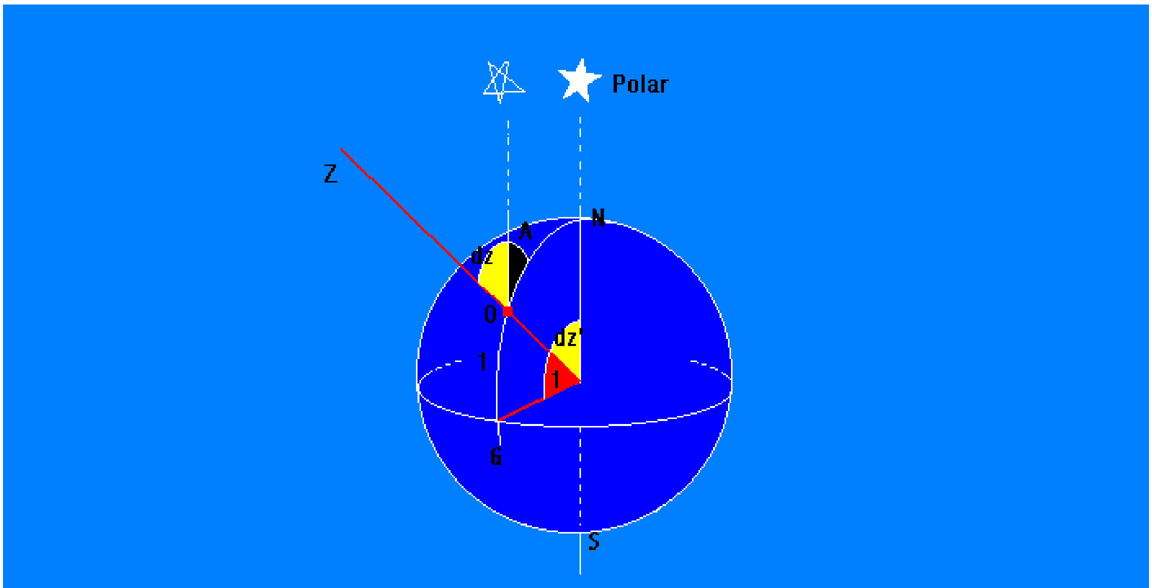


Fig. 52

Conociendo la situación en que se encuentra la estrella polar comprendemos fácilmente que su punto geográfico coincidirá con el polo Norte terrestre.

Sea “O” la posición del observador y “M” su meridiano. La altura del astro será “A”, con el ángulo de la distancia cenital (dz) como complementario.

Recordemos:

$$90^\circ = dz + A$$

Vemos que el ángulo dz es igual al dz’ (tal y como ya referimos al hablar de las rectas de altura).

Por tanto, si:

$$dz + A = 90^\circ$$

y

$$dz' + l = 90^\circ \quad (l = \text{latitud observador})$$

se comprende que:

$$A = l$$

En consecuencia: “**Si conseguimos tomar una altura con el sextante a la estrella polar, obtenemos (previa corrección) nuestra latitud**”.

El problema consiste en que la estrella polar no es, ni con mucho, una estrella de primera magnitud y cuando aparece en el firmamento, el horizonte es muy dudoso o francamente indiscernible. No obstante, es necesario que conozcamos el método; pueden producirse ortos o, sobre todo, ocasos en que, por condiciones especiales de visibilidad, podamos apreciar el horizonte.

Supongamos ya obtenida la altura instrumental, a continuación la corregimos y obtenemos la verdadera. Pasamos, después, a obtener el ángulo horario local de Aries, para, entrando con él en tablas, obtener la corrección.

Por supuesto que sabemos que:

hLAries = hGAries (+o-) Le

(en este caso especial, la exactitud requerida es de sólo medio grado).

Con estos datos (Av y hLAries), y valiéndonos de unas tablas que vienen al final del Almanaque (ver Apéndice), obtenemos la corrección, de la siguiente manera: esta tabla se compone, a su vez, de tres subtablas:

Tabla I: entramos con el ángulo horario local de Aries y obtenemos una primera corrección (positiva o negativa).

Tabla II: entramos, también, con el ángulo horario local de Aries y la altura verdadera, y obtenemos la segunda corrección (siempre positiva).

Tabla III: entramos, igualmente, con el mismo ángulo y el mes del año, y obtenemos la tercera corrección.

Lo comprenderemos mejor usando un ejemplo:

Fecha: 18 Abril 1978
Situación estimada: le = 38º20’N
Le = 004º16’W
Ai Polar = 38º42’6
UT = 19h56m15s

Corregimos la altura instrumental:

Ai = 38º46’2
ei = 0’

Ao = 38º42’6
corr. glob. = - 3’5

Av = 38º39’1

Obtenemos el ángulo horario local de Aries:

hGAries para 19h	131º32’1
corr. 56m15s	14º06’1
hGAries	145º38’2
Le (W)	- 4º16’
hLAries	141º22’2 = 141’5º (aprox..)

Pasamos ya a la tabla:

Tabla I : con hLAries de 141’5º, correcc. = +15’9
Tabla II: con hLAries de 140º y A de 40º, correcc. = +0’3
Tabla III: con hLAries de 140º y mes de Abril, correcc. = 0’5

por tanto:

Correcc. total = +15’9 + 0’3 + 0’5 = +16’7

es decir,

Av = 38º39’1
corr. total = + 16’7

Lat. observador = 38º55’8 N

Una última sugerencia que recomiendo es la de tener siempre al alcance un manual sobre navegación astronómica; no importa cual; el que mejor nos haya servido para aprender y el que mejor nos haya informado. Más de una vez tendremos que acudir a él para recordar conceptos y procedimientos. Hemos tenido ocasión de comprobar que la sistemática de los cálculos comprende muchos pequeños detalles, y ello, unido a nuestra distanciada práctica, hace que en ocasiones tengamos necesidad de consulta.

Razón de más, igualmente, para insistir en la importancia de las tomas de altura y cálculos subsiguientes, incluso durante la navegación “dominguera”; es la mejor forma de practicar y tener los conocimientos a punto.

APÉNDICE
