



Universidad
de La Laguna

Escuela Politécnica Superior de Ingeniería
Sección de Náutica, Máquinas y
Radioelectrónica Naval



TRABAJO DE FIN DE GRADO

Curso 2018-2019

LA ESFERA CELESTE. RECONOCIMIENTO DE ASTROS EN NAVEGACIÓN

Tutor/es: D. Antonio Ceferino Bermejo Díaz

Alumno: Ardiel Ráez Mesa

Grado en Náutica y Transporte Marítimo

Santa Cruz de Tenerife, marzo de 2019

ÍNDICE

1. RESUMEN (Abstract)	pág.5-6
2. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	pág. 7-9
3. LA ESFERA CELESTE	pág. 9-10
3.1 Principales líneas y puntos de referencia	pág.10-15
4. COORDENADAS CELESTES	pág.15
4.1 Coordenadas geográficas	pág. 15-17
4.2 Coordenadas horizontales	pág.17-19
4.3Coordenadas horarias	pág.19-21
4.4Coordenadas uranográficas ecuatoriales	pág.21- 23
5. ECLÍPTICA. MOVIMIENTO APARENTE DEL CIELO	pág.24 - 28
6. TRIGONOMETRÍA ESFÉRICA	pág.28-29
6.1 Teoremas del seno, coseno y cotangente	pág.29- 33
7. TRIÁNGULO DE POSICIÓN	pág. 33 - 38
8. MEDIDA DEL TIEMPO Y ARREGLOS DEL CRONOMETRO	pág.38- 41
8.1 De altura instrumental a verdadera	pág. 41-45
8.2 Crepúsculos	pág.45 - 46
9. USO DE 2102-D STAR FINDER (IDENTIFICADOR DE ESTRELLAS)	pág.46-49
9.1 Errores comunes en el uso de Star Finder	pág.49-50
10. RECONOCIMIENTO DE CONSTELACIONES Y ESTRELLAS	pág.50-51
10.1 Constelación de orión	pág.51- 52
10.2 Osa mayor	pág.53-54
10.3 Osa menor	pág.54
10.4 Cruz del sur	pág.54- 55

11. CONCLUSIONES

pág. 56-57

12. BIBLIOGRAFÍA

pág.58 - 60

13. ANEXO I (A.N 2016)

pág. 61-63

1. RESUMEN

Intentaremos explicar de forma sencilla y comprensible las partes que forman la esfera celeste así como sus principales puntos y líneas de referencia.

Tendremos que saber identificar los astros y conocer sus coordenadas celestes. Para ello, hablaremos de diferentes métodos y nos centraremos en resolver un problema de identificación de astro desconocido partiendo de que ya tenemos alturas medidas con el sextante y un azimut determinado hallado con el compás a una hora cronometro.

Así mismo, una vez identifiquemos dichas coordenadas, centrarnos un poco más en cada una de ellas y saber cuál es su función principal a la hora de la identificación. Se explicarán brevemente conceptos matemáticos, físicos y de navegación necesarios para que podamos entender de manera más concreta la esencia de este trabajo y los procedimientos a la hora de su utilización.

Trabajaremos con el Almanaque náutico, herramienta indispensable para el navegante y así poder explicar ciertos conceptos de astronomía y navegación, una vez identificado el astro.

Realizaremos arreglos en el cronometro y en los cálculos de altura y horarios a la hora de la identificación, ya que son procedimientos previos que hay que realizar para que todos los cálculos obtenidos sean lo más real posible.

También hablaremos de otros métodos de identificación como puede ser el StarFinder 2102-D, y de cuál es el procedimiento a realizar cuando queremos identificar el astro observado así como los principales errores cometidos y como solucionarlos.

Cuando observamos el cielo, nos damos cuenta de que existen innumerables estrellas que forman constelaciones, pues bien, hablaremos de cuatro de ellas y lo que supone conocer su ubicación en la esfera celeste a la hora de ayudarnos en la navegación.

La tecnología ha hecho que todos estos procedimientos queden un poco obsoletos pero con este trabajo intentaremos explicar que a pesar del paso de las décadas, estas técnicas tradicionales de identificación siguen siendo necesarias y de gran ayuda para el navegante.

1. ABSTRACT

We will try to explain in a simple and understandable way the parts that make up the celestial sphere as well as its main points and reference lines.

We will have to know how to identify the stars and know their celestial coordinates. For this, we will talk about different methods and we will focus on solving a problem of identification of unknown star, starting from the fact that we already have measured heights with the sextant and a certain azimuth found with the compass at a one-hour time.

Also, once we identify these coordinates, focus a little more on each of them and know what their main function at the time of identification. Mathematical, physical and navigational concepts will be briefly explained so that we can understand in a more concrete way the essence of this work and the procedures at the time of its use.

We will work with the nautical Almanac, indispensable tool for the navigator and thus be able to explain certain concepts of astronomy and navigation, once the star has been identified.

We will make adjustments in the chronometer and in the height and schedule calculations at the time of identification, since they are preliminary procedures that must be carried out so that all the calculations obtained are as real as possible.

We will also talk about other methods of identification such as Star Finder 2102-D, and what is the procedure to perform when we want to identify the star observed as well as the main mistakes made and how to solve them.

When we observe the sky, we realize that there are innumerable stars that form constellations, well, we will talk about four of them and what it means to know their location on the celestial sphere when it comes to helping us navigate.

Technology has made all these procedures obsolete but with this work we will try to explain that despite the passage of decades, these traditional identification techniques are still necessary and of great help for the navigator.

2. INTRODUCCIÓN

La astronomía es, probablemente, la ciencia más antigua estudiada por la humanidad, debido a que con el simple acto de observar nuestro alrededor y fijar la vista en el cielo, siempre que la contaminación lumínica nos lo permita, encontraremos infinidad de cuerpos celestes en él y a la vez que nos surgirán preguntas al respecto cuya respuesta está en el estudio de esta ciencia.

Cuando observamos el cielo y queremos distinguir las estrellas unas de otras, utilizamos métodos de referencia y ubicación.

Cuando buscamos una estrella en concreto, miramos hacia la izquierda o a la derecha, nos colocamos en una situación determinada, puesto que siempre encontramos dicha estrella en una misma zona sobre nosotros, enfilamos con un punto de referencia en tierra para saber dónde se encuentra, etc.

Entendemos entonces que un astro que queremos observar es un punto en el cielo que se encuentra representado por dos coordenadas principales. La primera de ellas es la dirección a nuestro alrededor en la que necesitamos fijarnos para encontrar la vertical del astro, y la segunda es el ángulo de elevación necesario, una vez estemos en la dirección correcta, para diferenciar la estrella buscada.

Si es verdad que existe una tercera coordenada que podría ser la distancia del astro hasta el punto de referencia, pero realmente nos es irrelevante para entender esos conceptos y para ubicar las estrellas en el cielo puesto que los astros que observamos se encuentran a distancias enormes de nosotros.

La relación existente entre la astronomía y la navegación como tal es muy importante puesto que es necesario entender un poco ciertos conceptos para, a la hora de navegar, saber posicionarnos en un plano y conocer cómo cambiar de posición de manera segura y lo más precisa posible.

La navegación ha sido muy importante a lo largo de los siglos ya que el mar era una gran fuente de alimentos y las concentraciones de población se situaban cerca de este por los privilegios que obtenían de él.



Figura 0. Imagen de constelación de orión. [1]

Desde épocas primitivas, el hombre se adentró en el mar en busca de nuevos mundos y oportunidades, descubrir rutas de comercio e incluso civilizaciones nuevas.

Primero lo hicieron en troncos o balsas, luego con embarcaciones a remo y vela, nuevas embarcaciones más evolucionadas y construidas con materiales más resistentes, etc. Pero siempre buscando el mismo fin.

2. OBJETIVOS

Los principales objetivos que quiero mostrar son:

Buscar, entender y reconocer las partes, puntos y líneas pertenecientes a la esfera celeste, así como su principal definición y los usos que tienen a la hora de realizarla identificación de un astro.

Conocer todas y cada una de las coordenadas que se encuentran en la misma, las definiciones de las diferentes partes dentro de ellas y dominar su identificación y uso.

Refrescar las nociones trigonométricas necesarias para hallar cálculos de horarios, declinación, ángulos, etc. Los cuales nos ayudarán a la identificación.

Realizar ajustes horarios o de cronómetro para poder realizar un problema de identificación de astro o planeta y corregir las alturas y azimut en el caso que sea necesario para así poder hallar los astros o planetas desconocidos en un punto determinado del mar y ayudarnos a nuestra situación concreta.

Por otra parte, los métodos que voy a utilizar en este trabajo son sólo algunos de los muchos que hay a la hora de reconocer astros en la mar. Yo me centraré en las fórmulas trigonométricas existentes para calcular datos concretos de declinación y horario y me ayudaré del Almanaque Náutico y tablas de correcciones para ajustar las fórmulas y obtener los resultados deseados.

Entender de manera sencilla otras herramientas de identificación y saber aplicarlas una vez hayamos realizado una observación a una hora determinada.

Cuando queramos posicionarnos de manera más o menos precisa en ciertos lugares, también podremos ayudarnos de ciertas constelaciones y estrellas que a nuestro parecer, permanecen prácticamente inmóviles en el cielo y pueden aportarnos gran ayuda en la navegación y situación en un lugar de la carta.

3. LA ESFERA CELESTE

Cuando observamos el cielo, parece que todos los astros se encuentran a distancia similares de nosotros pero esto es un efecto creado por la información que recibimos de nuestros ojos.

Un observador que contemple el firmamento nocturno sin poseer conocimientos de geografía ni de astronomía puede tener espontáneamente la impresión de encontrarse sobre un plano y estar situado en el centro de una enorme semiesfera hueca, con los cuerpos celestes pegados sobre su superficie interior.

Nuestra visión nos hace percibir formas, volúmenes, colores y la sensación de lejanía de los objetos pero solo hasta una cierta distancia.

A mayor distancia que esta, los objetos parecen iguales en tamaño y los situaremos a la misma distancia en su proyección mental en un plano.

El concepto de la esfera celeste parte de esta sensación.

Se denomina esfera celeste a una esfera concéntrica (comparte el mismo centro, eje u origen) a la esfera terrestre y con radio no definido, donde se reflejan las proyecciones de todos los elementos visibles o astros tales como planetas, Sol, Luna y estrellas.

Aunque parezca que esta definición está obsoleta, se sigue utilizando ya que nos aporta muchas ventajas a la hora de la localización de objetos celestes. [1.1].

En realidad, este modelo simplista del universo se mantuvo actualizado y en uso durante milenios y fue desarrollado por los astrónomos de la antigüedad hasta un altísimo grado

de perfección. Incluso hoy en día se trata de una herramienta totalmente en uso para la navegación astronómica cuando los navegantes miden posiciones aparentes de los astros sobre el firmamento.

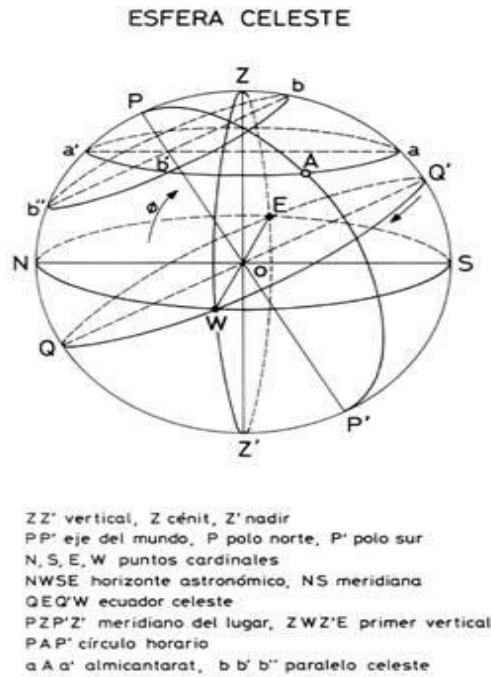


Figura 1. Principales líneas y puntos de referencia de la esfera celeste. [2].

La esfera celeste es el resultado de la recreación mental que realizamos a raíz de la observación del cielo y con distancias arbitrarias impuestas a nuestro parecer dependiendo de la observación. [1.0].

3.1 Principales líneas y puntos de referencia

Eje del mundo (Polos celestes)

Se considera que el eje terrestre es el eje del mundo. Es decir, dicho eje se prolonga hasta cortar la esfera celeste en dos puntos, siendo estos los polos de la esfera celeste.

Se denominan de la misma forma que los polos terrestres, es decir, Polo Norte y Polo Sur (Pn y Ps). Este eje es sobre el que gira rotatoriamente la esfera celeste.

En los polos celestes, siempre tendremos como polo elevado al que comparte la latitud

con el observador y llamaremos polo depresso al opuesto. Esto sucederá siempre que no sea en el ecuador.

Línea Cenit-Nadir.

Vamos pensar que nosotros estamos en un punto arbitrario de la esfera terrestre y prolongamos una línea desde nosotros hacia arriba y hacia abajo.

Pues bien, el Cenit (Z), es un punto en la esfera celeste que se encuentra encima de nosotros, cortando la vertical ascendente con la esfera celeste.

Nadir (Z') es el punto diametralmente opuesto a nuestro Cenit.

La línea Cenit-Nadir es una línea imaginaria que une dichos puntos.

Realmente a dicha línea imaginaria se la conoce también por “Eje del observador” y pasa por el observador, el centro de la esfera terrestre, las antípodas (lugar situado diametralmente opuesto a otro. Sus longitudes geográficas distan 180° y su diferencia horaria equivale a 12 horas aproximadamente) y continua hasta que corta la esfera celeste (ZZ').[2.0].

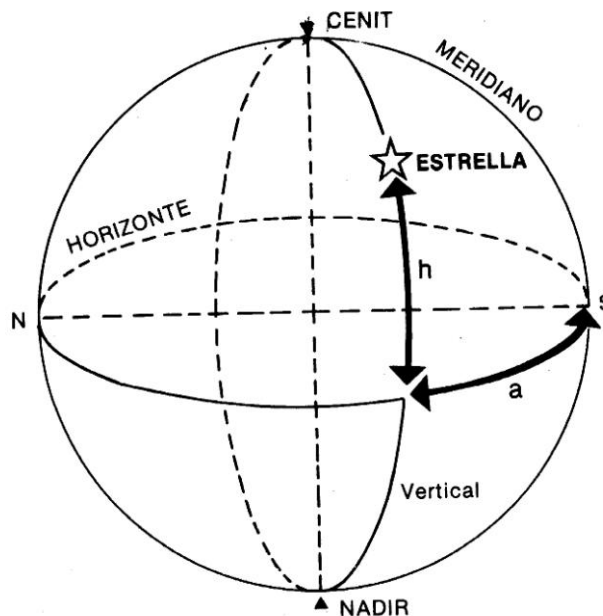


Figura 2. Línea Zenit-Nadir. [3].

Ecuador celeste.

El ecuador celeste es un círculo máximo creado por el corte o encuentro del plano entre el ecuador terrestre y la esfera celeste y es perpendicular al eje del mundo, formado por la unión de los polos celestes.

Es el origen que utilizamos para medir latitudes.

El ecuador celeste divide la esfera celeste en dos hemisferios iguales y cuyos nombres se establecen dependiendo del polo al que corresponden.

El hemisferio con el polo norte de llamará hemisferio *Norte o Boreal* y el del polo sur será *Sur o Austral*.

El ecuador celeste es fundamental para la definición de las coordenadas de los astros.

Los círculos menores de la esfera celeste, paralelos al ecuador celeste y donde los movimientos de los astros tienen su lugar se denominan paralelos celestes.

Horizonte.

Por lo general, el horizonte es un círculo perpendicular a la línea Cenit-Nadir y que divide a la esfera celeste en dos mitades, una visible que contiene al Cenit y la otra no visible que contiene al Nadir.

Se pueden diferenciar tres clases de horizontes en astronomía y navegación y son:

Horizonte verdadero

Entendemos por horizonte verdadero al círculo máximo en la esfera celeste cuyo centro es el centro de la Tierra. Dicha línea es perpendicular a la línea Cenit-Nadir.

Los puntos cardinales norte y sur surgen de el corte de las líneas entre el horizonte verdadero o astronómico y el meridiano celeste del observador y sus nombres surgen de la cercanía a los polos. El más cercano al polo norte será el punto cardinal norte (N) y el más cercano al sur es el punto cardinal sur (S).

Por otra parte, el horizonte astronómico y el ecuador celeste también se cortan en dos puntos de la esfera celeste, dando lugar a los puntos cardinales este (E) y oeste (W).

Horizonte aparente

Se caracteriza por ser un círculo menor en la esfera celeste geocéntrica pero a su vez

también es un círculo máximo en la Local.

Es paralelo al horizonte verdadero pero en este caso el centro es el observador.

Horizonte visible o de la mar.

Círculo menor de la esfera terrestre (que no la celeste) obtenido a partir de las visuales obtenidas por el observador desde la superficie de la Tierra.

Al encontrarse el observador en la superficie de la Tierra, tendrá que medir con un **sex tante** (que no es más que un instrumento utilizado para la medición de la altura de los astros, o el ángulo entre dos puntos demoras, altura de un faro, etc.), la altura en la que se encuentran los astros de su alrededor con respecto a su horizonte.

Debido a la refracción estas visuales obtenidas no son tangentes a la superficie. Es la línea de referencia para tomar la altura de los astros.

Meridiano celeste.

Círculo máximo de la esfera celeste resultado de la proyección del meridiano del observador sobre el cielo.

El *meridiano celeste del lugar* es el círculo máximo que más por los polos celestes y el cenit y nadir y este se forma al cortar a la esfera celeste el plano en la Tierra que contendría el meridiano del lugar terrestre.

El semicírculo resultante que contiene el punto de la esfera celeste que se encuentra verticalmente sobre el observador (cenit) es el *meridiano superior* y, el semicírculo que contiene el punto de corte con la esfera celeste que se encuentra justo en el lado opuesto del zenit (nadir) es el *meridiano inferior*.

Se entiende que el *meridiano celeste de un observador* pasa por el cenit y nadir del observador, así como por los polos celestes y a su vez es perpendicular tanto al ecuador celeste como la horizonte astronómico de observador.

Cuando queremos situar cada una de las líneas imaginarias perpendiculares al ecuador, que pasan por los polos en la Tierra y sirven para determinar la longitud de un lugar (meridiano), definimos un meridiano origen o primer meridiano.

En la esfera celeste tomamos la misma idea y nombramos un *meridiano 0* o *primer meridiano* a modo de punto de partida para describir las coordenadas.

Este es el **meridiano de Greenwich**, que se define por ser el círculo máximo que pasa por los polos, el cenit del observatorio de la ciudad inglesa de Greenwich (G).

El meridiano celeste de Greenwich, viene dado por el corte de la esfera celeste con la prolongación del plano que contiene al meridiano terrestre de Greenwich.

El meridiano de Greenwich divide el planeta en dos semicircunferencias de 180° cada una, y estas a su vez están divididas en husos horarios de 15° cada uno siendo Greenwich el grado cero. Esto es aplicable en la esfera celeste con el meridiano celeste, pues es la proyección en ella de dicho meridiano terrestre.

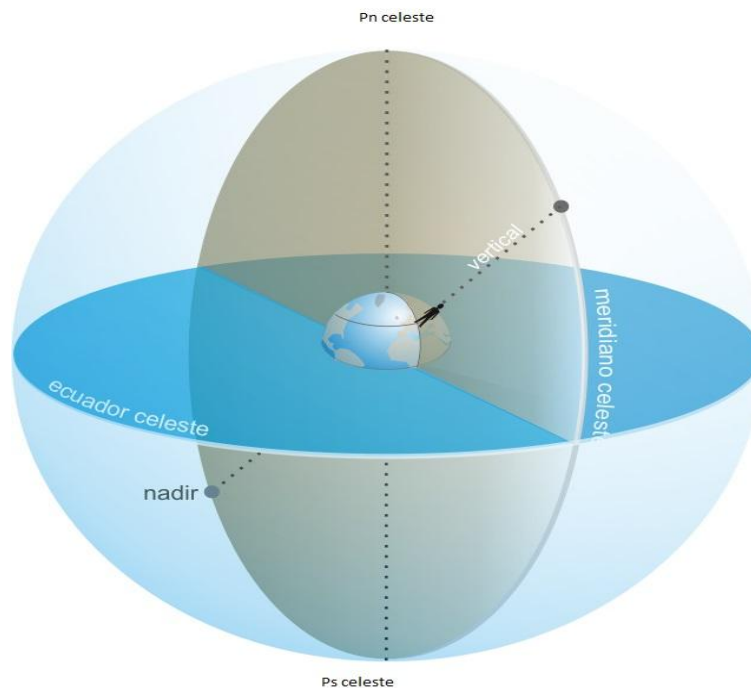


Figura 3. Meridiano celeste y ecuador celeste. [4].

El meridiano celeste de Greenwich, viene dado por el corte de la esfera celeste con la prolongación del plano que contiene al meridiano terrestre de Greenwich.

Teniendo en cuenta que la longitud es el arco de Ecuador que separa el meridiano del lugar con el meridiano de Greenwich y por la proyección cenit de Greenwich, también

podremos dibujar en la esfera celeste esta coordenada, colocándolas sobre el ecuador celeste, tomando los meridianos celestes del lugar y el meridiano celeste de Greenwich como meridiano 0.

Almicantarat.

Es un círculo menor en la esfera celeste paralelo al horizonte verdadero o astronómico y cuyos puntos tienen la misma distancia cenital.

4. COORDENADAS CELESTES

Tras esta introducción de las principales líneas y puntos de referencia de la esfera celeste, estamos preparados para definir las coordenadas celestes de los astros. En navegación astronómica, la situación del barco la obtendremos a partir de la comparación entre la posición de un astro en la esfera celeste y la manera en la que observamos ese astro desde nuestra ubicación. [2.0].

Obtendremos diferentes conjuntos de coordenadas celestes conseguidas a raíz de una serie de valores que son el resultado del manejo de diferentes sistemas de referencia (diferentes ejes y planos de referencia) y darán como resultado la posición de un objeto en la esfera celeste. La finalidad es lograr que las posiciones en la esfera terrestre de latitud y longitud describan la posición de los astros en la esfera celeste.

4.1 Las coordenadas geográficas

Aunque no se reconocen como coordenadas celestes de los astros, son necesarias e importantes por ciertos conceptos que abarcan. Son las principales coordenadas usadas para determinar la posición en un punto arbitrario de la superficie terrestre. Utilizan como círculo fundamental el ecuador terrestre y el eje N-S así como el meridiano de Greenwich como meridiano de referencia.

Son independientes de los movimientos realizados por la Tierra y de la posición que tenga el observador.

Así pues, como que se trata de una esfera, hay que dar dos ángulos que denominamos ***Latitud (I)*** y ***Longitud (L)***.

Al ser dos ángulos, su unidad de medida son los grados ($^{\circ}$), minutos ($'$) y segundos ($''$).

-La Longitud (L), es el arco de ecuador contado desde el *meridiano de Greenwich* hasta el meridiano superior del lugar desde el punto del observador. Se cuenta siempre menor de 180° .

Posicionándonos de frente a la Tierra y con el polo norte arriba, el lugar que queda a la izquierda de Greenwich se denomina *Longitud oeste (Lw)*.

También tendremos *Longitud este (Le)* que es toda aquella posición a la derecha del meridiano de Greenwich. Se comprende que todos los puntos de un meridiano dado, tienen la misma longitud.

-La latitud (l), es el arco de meridiano contado desde el ecuador terrestre al punto donde se encuentra el lugar de observación. Siempre es menor de 90° existiendo de dos clases según el hemisferio terrestre en el que se encuentre. Tendremos una *Latitud norte (ln)* si nos encontramos en el hemisferio norte y *Latitud sur (ls)* si nos encontramos en su opuesto.

Todos los puntos de un determinado paralelo, tienen la misma latitud.

Es de especial importancia en navegación conocer los conceptos de derrota y rumbo. No es parte de las coordenadas geográficas como tal pero si es necesario conocerlas para poder realizar un viaje o situarse geográficamente en un punto concreto.

En navegación, la trayectoria seguida por un barco se denomina *derrota*, cuando la *derrota* seguida es un arco de circunferencia máxima, se denomina ***derrota ortodrómica***.

Cuando el ángulo formado por la derrota y los meridianos permanece constante, hablamos de ***derrota loxodrómica***.

El *rumbo* es el ángulo formado por la derrota orientada por un punto determinado con el meridiano del punto. Se mide tomando como origen del ángulo sobre el arco de meridiano de unión del punto determinado con el *polo Norte* y en sentido (W-E) y sus valores están comprendidos entre 0° y 360° .

En derrotas *loxodrómicas* el rumbo es constante.

En una *ortodrómica* solo será constante si navegamos por el ecuador o por los meridianos.

4.2 Coordenadas horizontales

El sistema de referencia que utilizaremos en la definición de estas coordenadas es la vertical del observador (eje cenit-nadir) y su plano perpendicular al que lo asociamos (horizonte astronómico).

Teniendo esto en cuenta, damos por hecho que las *coordenadas horizontales o azimutales* de un astro dependen de la posición del observador, pues lo hace su vertical y su horizonte.

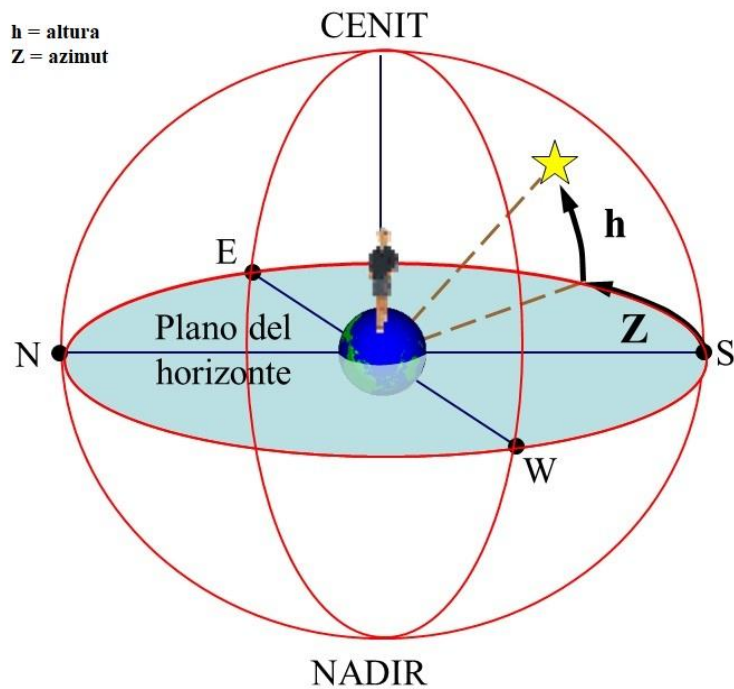


Figura 4. Coordenadas horizontales o azimutales. [5].

Azimut.

Ángulo resultante de la línea formada por el arco de horizonte, contada desde los puntos cardinales Norte y Sur, hasta la vertical del astro.

Debido a que puede tener diversos orígenes, distinguiremos diferentes tipos de *azimut*.

Se llama *azimut verdadero*, al arco de horizonte contado desde el punto cardinal norte y en sentido de las agujas del reloj, de 0° a 360° , hasta el pie del semicírculo vertical que pasa por el astro.

También está el *azimut astronómico o ángulo cenital* que es el arco de horizonte

contado desde el punto cardinal correspondiente (N o S) al polo elevado del observador (0° a 180°) y cuyo valor es E o W, la vertical del astro.

Por último lugar tenemos el *azimut cuadrantal*, se denomina así porque se cuenta en cuadrantes desde el polo celeste a la vertical del astro. Sus valores van de 0° a 90° y se pueden situar puntos cardinales en zonas NW, SE, etc.

Además, relacionado con este apartado encontraremos el concepto de *amplitud*, que no es más que el ángulo complementario a este último tipo de azimut.

Entendemos entonces que la amplitud se medirá desde el E o el W (dependiendo de su azimut cuadrante) con valores comprendidos entre 0° y 90° , hasta el pie del vertical del astro.

Altura.

Llamamos altura o elevación al arco de círculo vertical que hay entre un cuerpo celeste y el horizonte del observador.

Se cuenta de 0° a 90° y se mide con el *sextante*. Si el astro es visible siempre será positiva, y se contará desde el horizonte hasta el almicantarato del astro.

Si se mide por debajo del horizonte, el astro no podemos verlo y por lo tanto el valor de la altura será negativa. Este suceso se denomina *depresión*.

El ángulo complementario a este se denomina *distancia cenital* y es el arco de círculo vertical de un astro con respecto al cenit.

Se mide de 0° a 90° grados desde el cenit al horizonte.

Es decir, entre la *distancia cenital* y la *altura* sumaremos un ángulo recto.

Verticales

Son círculos máximos que pasan por el cenit y el nadir.

Damos importancia al vertical del astro y al vertical primario (círculo vertical que pasa por los puntos cardinales E y W) y secundario (El círculo vertical que pasa por los polos celestes N y S).

Encontramos otro sistema de referencia importante a la hora de establecer las

coordenadas celestes de los astros y no es otro que el que existe entre el *eje del mundo* y su plano perpendicular que contiene un círculo máximo (el *ecuador celeste*).

Este sistema de coordenadas son las **coordenadas horarias** y se basará en intentar definir una equivalencia a la latitud y longitud terrestres trasladado a la esfera celeste para la posición de un astro en concreto.[2.]

4.3 Coordenadas horarias

Las coordenadas horarias necesarias para llegar a este fin son la *declinación* (*codeclinación o distancia polar*) y el *horario* (*del astro*) en el lugar o también llamado *horario local*.

Tenemos que tener en cuenta la siguiente pauta de gran importancia en la que el polo fundamental es el *polo norte celeste* y el círculo fundamental es el *ecuador celeste*.

Declinación.

Es la equivalencia a la latitud terrestre en la esfera celeste o lo que llamaríamos latitud celeste.

Es el ángulo correspondiente al arco de círculo horario del astro (*meridiano celeste*) contado desde el *ecuador celeste* hasta el astro.

Se le otorgará signo positivo cuando está hacia el norte y con signo negativo cuando está hacia el sur e ira de 0° a 90°.

Asociado a este concepto se encuentra la *codeclinación o la distancia polar*, siendo este el ángulo complementario a la declinación.

Hay que tener en cuenta que la *codeclinación* es la distancia angular que existe entre el astro y el polo elevado celeste (el polo que tiene la misma latitud que el observador) medida sobre el meridiano celeste.

Horario en el lugar u horario local.

Sabemos que el eje de referencia para las coordenadas horarias es el que une los polos celestes y el plano de referencia es el ecuador celeste.

Ángulo del ecuador celeste medido desde el *meridiano superior del lugar* (*observador*) hacia el Oeste (W), hasta el *meridiano celeste del astro o círculo horario del astro*.

Tendrá valores comprendidos entre 0° y 360°.

Entendemos que estas coordenadas dependen de la situación del observador ya que se empiezan contar desde el *meridiano celeste del observador* llamado *meridiano superior del lugar*.

Debido a que es posible obtener diferentes maneras de contar el arco de ecuador celeste, hablaremos de diferentes horarios en el lugar o locales como son *el horario astronómico o ángulo en el polo, el horario occidental, horario en Greenwich y horario oriental*.

El ángulo en el polo u horario astronómico.

Es el horario local del astro menor de 180° . Se cuenta desde el meridiano superior del observador hacia el círculo horario del astro y hacia el este (E) o el oeste (W).

Debido a la situación del *horario lugar del astro*, obtendremos las definiciones del *horario occidental y del horario oriental*.

Entendemos por horario occidental (h_w) al *horario en el lugar del astro* menor de 180° dando lugar a que el astro se encuentre al oeste (W) del observador pues el horario del lugar se cuenta siempre hacia el oeste.

Por otra parte, cuando el horario lugar del astro es mayor de 180° entenderemos que el astro se encuentra al este (E) del observador y su horario astronómico habrá que medirse hacia el este desde el meridiano del observador. Esto es lo que llamamos horario oriental (h_e).

El *horario astronómico* es una magnitud muy importante, cuyo valor será menor de 180° y que se utiliza directamente en el cálculo de la posición a partir de la observación.

Podemos entender que el *ángulo en el polo* será igual al *horario lugar del astro* cuando es **oeste** (W) y cuando el *ángulo en el polo* es **este** (E), será igual a la diferencia de 360° y el *horario lugar del astro*.

Oeste (W)

$P_w = hL^*$

Este (E)

$P_e = 360^\circ - hL^*$

Cuando observamos estas definiciones, nos damos cuenta que el horario en el lugar y el ángulo en el polo de un astro, dependen de la posición del observador ya que lo medimos desde el meridiano superior del observador.

Este método no se puede utilizar a la hora de confeccionar el almanaque náutico y definir unas coordenadas ya que habría que hacerlo para cada posible observador.

Como consecuencia de esto surgió el *horario Greenwich del astro* (hG^*).

Se entiende por horario Greenwich del astro (hG^*) es el ángulo correspondiente al arco de ecuador celeste contado desde el meridiano celeste de Greenwich todo seguido hacia el oeste (W) y de 0° a 360° , hasta el círculo horario del astro.

La relación existente entre el horario en el lugar u horario local y el de Greenwich la establece la Longitud (L) del observador.

En conclusión, la declinación en un instante dado de un astro en concreto y su horario de Greenwich no depende del observador, convirtiéndose así en las coordenadas apropiadas para poder confeccionar almanaques o catálogos de los astros.

El Almanaque náutico nos proporciona datos de hG^* y d para cada día y hora medidas en tiempo universal (T.U).

$$hl^* = hG^* - L (+W; -E)$$

4.4 Coordenadas uranográficas ecuatoriales

Las coordenadas horarias más apropiadas para confeccionar un almanaque náutico son la declinación de un astro en un instante determinado y el horario Greenwich del astro.

Pero para crearlo, no es lo más lógico utilizar todas las coordenadas para todos los astros utilizados en navegación.

Las coordenadas celestes que tratamos ahora se denominan *coordenadas uranográficas ecuatoriales* en las que utilizamos el mismo sistema de referencia tratado anteriormente, el definido por el eje del mundo y el plano perpendicular a este (ecuador celeste).

Los paralelos de declinación y meridianos celestes anteriormente llamados círculos horarios de los astros, definen estas coordenadas con una singularidad, el nombre de estos meridianos celestes son ahora *máximos de ascensión*. No es más que llamar a algo que es igual de diferente forma para poder diferenciarlo.

Las *coordenadas uranográficas* ecuatoriales son las mismas que las coordenadas horarias pero tomando como punto de partida para medir los horarios de los astros el

punto vernal (punto fijo en la esfera celeste; *Aries*) en lugar del meridiano de Greenwich y que nos sirven para poder fijar las estrellas ya que para períodos pequeños de tiempo estas permanecen prácticamente en el mismo punto.

Es decir, las *coordenadas uranográficas* de una estrella será el *horario en Aries* de la estrella y su *declinación*. El *horario de Aries* y la estrella no depende del tiempo, siendo estos puntos fijos en la esfera celeste.

El término utilizado como *horario de Aries del astro* no es más que la definición sencilla que utilizamos para nombrar el *Ángulo siderio (As)*.

El *ángulo siderio* está tabulado en el A.N y corresponde al arco de ecuador celeste que va desde el punto Vernal (*Aries*) hasta el oeste (W) contado de 0° a 360° y hasta el *máximo de ascensión* (meridiano celeste del astro). Este ángulo es utilizado en navegación, en cambio los astrónomos utilizan el concepto de *ascensión recta* no el *ángulo siderio (As)*.

La **ascensión recta** se mide a partir del punto *Aries* en horas y se establece que una hora es igual a 15°, minutos y segundos hacia el Este a lo largo del ecuador celeste.

$$A.R = 360^\circ - A.S$$

La *declinación* se describe de igual forma que en la relación encontrada en las coordenadas horarias y es el ángulo correspondiente al arco de círculo horario del astro (*meridiano celeste*) contado desde el *ecuador celeste* hasta el astro, medido de 0° a 90° y siendo norte o sur, según el hemisferio en el que se sitúa el astro.

Como hemos observado, realmente las estrellas no son puntos fijos en la esfera celeste ni tampoco lo es el punto vernal (*Aries*) pero su desplazamiento en el tiempo es tan lento que para la necesidad que tenemos en navegación astronómica, los consideramos como fijos durante periodos de tiempo cortos (un mes).

De esta forma en la confección del almanaque náutico (A.N) nos proporciona el ángulo siderio de cada una de las 99 estrellas utilizadas en la navegación astronómica para cada mes del año y el *horario Greenwich de Aries*.

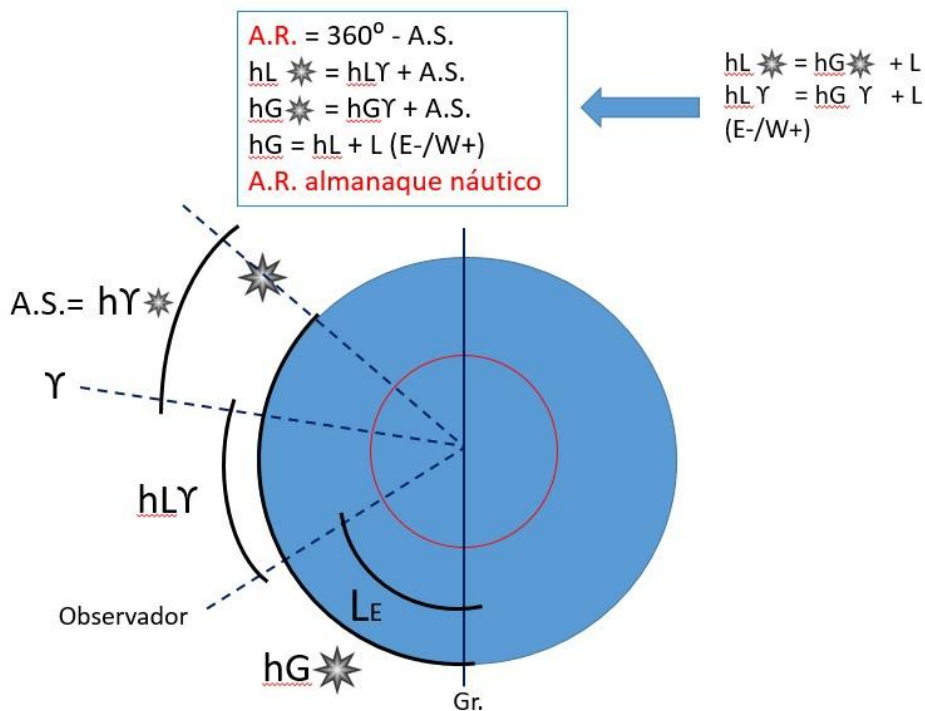


Figura 5. Vista de pájaro relación fórmulas de horarios. [6].

Existen relaciones a tener en cuenta de todo lo tratado anteriormente. No es cuestión de aprenderse fórmulas matemáticas o físicas para poder comprender y realizar relaciones entre horario del lugar, horario de Greenwich, ángulo siderio, etc. Lo importante es que a partir de un esquema podamos ver dichas relaciones y sacar conclusiones claras de ellas. [3.0].

Relación entre las coordenadas que se miden en el ecuador

(+/- dep si es W o E)

$(hL^*) = (hG^*) +/- L$

$hG^* = hL^* +/- L$

$hG^* - hGY = AS$

$hLY = hGY +/- L$

$hL^* - hLY = As$ (no depende de Longitud)

$hL^* = hLY + As$

(+/- dep si es W o E)

5. EL MOVIMIENTO APARENTE DEL CIELO.ECLÍPTICA

A efectos de navegación, consideramos al Sol como un punto fijo, igual que las demás estrellas, y alrededor de este giran la Tierra y los planetas.

Los planetas que giran alrededor del Sol describen órbitas elípticas donde el sol está ubicado en uno de sus focos.

El plano descrito por la órbita del Sol con el ecuador terrestre se denomina Eclíptica y el ángulo que forma este debido a su oblicuidad es de $23^{\circ}27'(\pm 23.5^{\circ})$.

Entendemos por eclíptica entonces a la órbita aparente descrita por el Sol en su giro alrededor de la Tierra durante el período de un año.

El nombre de eclíptica viene dado porque esta órbita descrita hace posible la aparición de las estaciones y los eclipses.

Debido a dicha oblicuidad en la órbita descrita, existen dos puntos de corte con el ecuador celeste llamados *Aries o punto vernal* y *Libra*.

El punto Aries o Vernal es el punto extremo de la línea de equinoccios donde el Sol pasa del hemisferio Sur al hemisferio Norte en su recorrido por la eclíptica.

Por el contrario, el otro punto extremo de la línea de equinoccio se llama *Libra*, y es el punto donde el Sol en su recorrido pasa del hemisferio Norte al hemisferio Sur.

La línea creada en la unión de estos puntos se llama *línea equinoccial o línea de equinoccios* y el valor de la declinación del Sol en ellos es cero.

Esto sucede el 21 de Marzo y el 23 de Septiembre respectivamente, fechas que se denominan equinoccios.

Alcanza su punto de máxima altura aparente o declinación el 21 de Junio, solsticio de verano, en el punto de **Cáncer** y llega al punto más bajo en el punto de **Capricornio** el 21 de Diciembre, que se produce el solsticio de invierno.

La Tierra, Luna y los planetas realizan movimientos de rotación y de traslación reales, propios de cada uno de ellos. Sin embargo, para nosotros los movimientos de rotación y traslación de la Tierra pasan desapercibidos para un observador en la superficie terrestre pero, si es consciente del movimiento de los astros en el tiempo en la esfera celeste.

El más apreciable de los dos es el de rotación, definiéndose este como el giro completo

de la Tierra sobre su eje en sentido oeste-este y con una duración aproximada de un día (unas 23 horas y 56 minutos).

Traducimos esto al movimiento aparente en el tiempo de la bóveda celeste sobre el eje del mundo y en sentido este-oeste, permaneciendo fijos los polos celestes.

Si es cierto que en la observación de un astro, este realiza aparentemente una vuelta completa a lo largo de un día, este se aprecia de diferente manera en consecuencia de las coordenadas geográficas que tiene el observador sobre la Tierra.

Si un observador terrestre, se posiciona en latitudes norte medias, por ejemplo en latitudes de 40°N , implica que el polo norte celeste lo tendremos a una altura de 40° sobre el horizonte cuando miramos hacia el norte.

El polo norte celeste permanece estático en el tiempo durante el movimiento diario aparente de la esfera celeste y veremos el cielo girar sobre nosotros en dirección este-oeste.

De esta forma, siempre permanecerá visible la región celeste próxima al polo norte celeste encontrándose las estrellas de esa región siempre visibles sobre el horizonte.

Denominamos a esta región *casquete circumpolar* y está formado por todas las estrellas cuya distancia angular al Pn celeste es menor que la altura de este sobre el horizonte ósea, menor que la latitud del observador (es decir menor que los 40°N que dijimos de nuestro observador).

De este concepto extraemos una de las estrellas más importantes situadas en el hemisferio norte y de gran ayuda a la hora de situarnos, *la estrella Polar*.

Se encuentra muy cercana y alineada al eje de rotación terrestre, aproximadamente a 1° del polo norte celeste y señala el *Polo Norte geográfico*, por lo que ha sido empleada por navegantes como punto de referencia en sus travesías.

Se puede ver como un punto fijo de gran luminosidad y forma parte de una de las constelaciones más conocidas del hemisferio norte, la Osa Menor.

Entendemos también que existe una parte en la que las estrellas no son visibles para el observador.

Este lugar en el que el paralelo nunca llega a estar por encima del horizonte y que contiene al polo represo se denomina *casquete anticircumpolar* y las estrellas que en él se encuentran se llama *estrellas anticircumpolares*.

El movimiento del sol sobre la eclíptica origina el paso a las diferentes estaciones.

Como ya vimos anteriormente, se describe una elipse en sentido contrario a las agujas del reloj. Este movimiento genera los equinoccios y los solsticios.

Entendemos que en los equinoccios, el eje de rotación de la Tierra es perpendicular a los rayos que caen del Sol de manera vertical sobre el ecuador.

Los solsticios por el contrario, tiene cierta inclinación de $23^{\circ}27'$ y esto hace que los rayos solares caigan verticalmente sobre el *trópico de Cáncer* (verano en el hemisferio norte) o en el *trópico de Capricornio* (verano en el hemisferio sur).

Tenemos dos equinoccios y dos solsticios a lo largo del movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol cuya duración nunca será la misma ya que debido a la excentricidad de la órbita terrestre, la velocidad será mayor cuando la Tierra se encuentra en el punto más cercano al Sol (**perihelio**) y menor en el punto más alejado del Sol (**afelio**) cumpliéndoselo así la segunda ley de Kepler.*

Las estaciones vienen establecidas por fechas concretas en nuestro almanaque y son:

-**Equinoccio de primavera** (punto *Aries*, entre el 21-22 de Marzo).

-**Solsticio de verano** (punto *Cáncer*, en torno al 21 de Junio).

-**Equinoccio de otoño** (punto *Libra*, 22-23 de Septiembre).

-**Solsticio de invierno** (punto *Capricornio*, 22 de Diciembre).

La Tierra presenta tres grandes zonas delimitadas por los paralelos principales (puntos que están situados a la misma distancia o latitud del ecuador). Existen cinco de ellos y por ellos se diferencian las zonas térmicas terrestres.

Los paralelos son:

* *Ecuador*.

Corresponde al círculo máximo, perpendicular al eje de rotación terrestre y equidistante de los polos geográficos Norte y Sur.

El plano que lo contiene pasa por el centro de la Tierra. Se toma como paralelo origen o paralelo 0° y sirve como punto de origen para los demás paralelos.

**Trópico de Cáncer*.

Corresponde al paralelo en latitud $23^{\circ}27'N$ y corresponde al punto en la Tierra más septentrional donde los rayos solares llegan de manera perpendicular en su movimiento de traslación dando lugar al solsticio de verano en este hemisferio.

**Trópico de Capricornio.*

Este paralelo está en latitud $23^{\circ}27'$ en el hemisferio sur y como con el trópico de Cancer, es el punto más meridional de la tierra donde los rayos solares llegan de manera perpendicular.

**Círculo polar ártico.*

Paralelo ubicado en el $66^{\circ}33'N$ hasta el $90^{\circ}N$ y es la zona donde los rayos solares no llegan como en las anteriores zonas. Es el punto más austral de este hemisferio.

**Círculo polar antártico.*

Lo delimita el paralelo $66^{\circ}33'S$ hasta el $90^{\circ}S$ y es el punto más boreal del hemisferio sur.

Las zonas que se encuentran delimitadas por estos paralelos son las siguientes:

Zona intertropical, situada entre los trópicos de Cáncer y de Capricornio ($23^{\circ}27'N$ - $23^{\circ}27'S$) también es llamada zona cálida y es la zona geoastronómica más extensa del planeta.

Zona templada. Existe la zona templada norte y la zona templada sur y cada una de ellas está delimitada por el trópico correspondiente en cada hemisferio y el círculo polar del mismo.

En el hemisferio norte estará entre las latitudes $23^{\circ}27'N$ y $66^{\circ}33'N$ y pasará lo mismo pero en latitud sur.

Zona polar. Es la existente entre los círculos polares y las latitudes de 90° .

Se la llama zona fría y son las zonas más australes (hemisferio sur) y boreales (hemisferio norte) del planeta. [1.0].

Precesión y nutación.

La Tierra no gira sobre un eje vertical perfecto, además, no es una esfera perfecta sino que está achatada por los polos y con imperfecciones debido a las fuerzas de atracción de astros como el Sol o la Luna.

La Tierra es entonces, un elipsoide que gira sobre un eje el cual se balancea a lo largo de su movimiento de traslación alrededor del Sol.

Esto se denomina *precesión o precesión de los equinoccios* y es un balance realizado por la Tierra en su traslación y que se efectúa en sentido contrario a la rotación (sentido de las agujas del reloj).

El eje va describiendo un doble cono de unos 47° de apertura y con vértice en el centro terrestre.

Este fenómeno hace que la posición del *polo celeste* vaya cambiando a lo largo de los siglos, no coincidiendo actualmente *la estrella polar* con el *Polo norte celeste* dando lugar al concepto de *nutación*.

Fue descubierta por James Bradley (1693-1742) y se basa en esas pequeñas irregularidades en el movimiento de *precesión* del eje terrestre debido a las fuerzas de atracción y que como consecuencia hace que la polar y el polo norte celeste no coincidan.

Es un movimiento parecido al descrito por una peonza.

$$hl^* = hly + As$$

(+/- dep si es W o E)

6. TRIGONOMETRÍA ESFÉRICA

Los conocimientos de trigonometría esférica y plana son esenciales para poder posicionarnos y trazar derrotas en una carta.

Es una herramienta fundamental tanto en la navegación marítima como en la aérea.

Su basa en establecer relaciones y propiedades entre un *triángulo esférico* de la esfera terrestre y la proyección en la esfera celeste definidos por arcos de círculos máximos.

Aunque en la actualidad existen instrumentos electrónicos que realizan estos cálculos con gran precisión, la normativa derivada de los convenios de la Organización Marítima Internacional (OMI), así como el sentido común, que imponen que los responsables de los buques posean ciertos conocimientos adecuados a las técnicas de navegación sin ayuda de equipos electrónicos.

Para poder trazar una derrota óptima en la carta y en la esfera terrestre es necesario que conozcamos ciertas nociones de trigonometría.

Entendemos por *triángulo esférico* a la parte de una esfera limitada por arcos de círculo máximo que se cortan entre ellos. Los círculos máximos tienen el mismo radio de la esfera y forma parte de ella, coincidiendo sus centros geométricos.

Con estos conocimientos podremos trazar un *triángulo de posición* en la esfera celeste. El triángulo náutico, como lo denominan algunos autores, es el *triángulo esférico* y vamos a ver algunas fórmulas de relación para él.

6.1 Teoremas del coseno, seno y cotangente

La trigonometría esférica establece relaciones trigonométricas entre los tres lados y los tres ángulos que forman el triángulo esférico

En todo triángulo esférico, ABC se demuestran las siguientes relaciones, siendo las más importantes los *teoremas del coseno* y del *seno* de la trigonometría plana aplicada a la esférica y a la resolución de triángulos.

Estos teoremas son una herramienta necesaria y esencial a la hora de la resolución del triángulo.

*Teorema del coseno (1ª Fórmula de Bessel).

El coseno de un lado es igual al producto de los cosenos de los otros dos, más el producto de sus senos multiplicado por el coseno del ángulo opuesto al lado inicial u origen.

Para explicar este teorema vamos a dibujar un Diedro cuyas aristas tendrán como longitud el radio de la esfera, cada una de sus caras serán los lados del triángulo y los ángulos comprendidos con los ángulos del triángulo esférico.

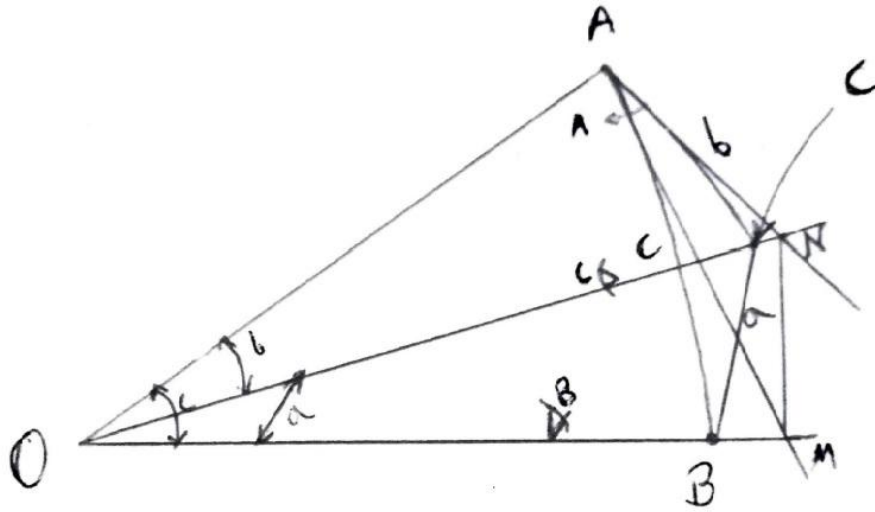


Figura 6. Trigonometría esférica. Diedro [7].

Tomando la figura anterior como ejemplo estableceremos las siguientes equivalencias:

$$OA=OB=OC=R \text{ (circunferencia o esfera)}$$

$$MON \text{ (ángulo)}=a$$

$$MAN \text{ (ángulo)}=A$$

A su vez también diferenciamos dos triángulos el MOA y NOA :

***MOA**

$$OM = R \sec b$$

$$AM = R \tan b$$

$$OM^2 = AM^2 + R^2$$

***NOA**

$$ON=R \sec c$$

$$AN=R \tan c$$

$$ON^2=AN^2+R^2$$

Establecidas estas equivalencias y suponiendo que tenemos las nociones suficientes de trigonometría plana, aplicaremos el **teorema del coseno** de la misma al triángulo MON Y MAN y hallaremos el lado MN:

***MON**

$$- MN^2 = OM^2 + ON^2 - 2 OM ON \cos MON$$

***MAN**

$$- MN^2 = AM^2 + AN^2 - 2 AM AN \cos MAN$$

Las restamos entre ellas:

$$0 = OM^2 - AM^2 + ON^2 - AN^2 - 2 OM ON \cos MAN$$

Nos fijaremos en las equivalencias anteriores y las aplicamos:

$$0 = R^2 + R^2 - 2 R^2 \sec b \sec c \cos a + 2 R^2 \tan b \tan c \cos A$$

$$0 = 1 + \tan b \tan c \cos A - \sec b \sec c \cos a$$

Aplicamos reglas trigonométricas:

$$-\sec \alpha = 1 / \cos \alpha \quad \sec \alpha \times \cos \alpha = 1$$

$$-\tan \alpha = \sin \alpha / \cos \alpha \quad \sin \alpha = \cos \alpha \times \tan \alpha$$

Obtendremos la formula final despejando el coseno:

$$0 = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A - \cos a$$

$$\underline{\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A}$$

Para los otros lados y ángulos deducimos a raíz de esta:

$$\underline{\cos b = \cos a \cos c + \sin a \sin c \cos B}$$

$$\underline{\cos c = \cos a \cos b + \sin a \sin b \cos C}$$

Partiendo del *teorema del coseno*, vamos a sumar y restar las dos ecuaciones que contengan dos de sus dos lados y sus ángulos opuestos y aclarar el teorema resultante de esto, el *Teorema del seno*.

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A$$

$$\cos b = \cos a \cos c + \sin a \sin c \cos B$$

$$\text{SUMA } \cos a + \cos b = (\cos b + \cos a) \cos c + (\sin b \cos A + \sin a \cos B) \sin c$$

$$\text{RESTA } \cos a - \cos b = (\cos b - \cos a) \cos c + (\sin b \cos A - \sin a \cos B) \sin c$$

Sacamos factor común y reagrupamos los términos:

$$(\cos a + \cos b) (1 - \cos c) = (\sin b \cos A + \sin a \cos B) \sin c$$

$$(\cos a - \cos b) (1 + \cos c) = (\sin b \cos A - \sin a \cos B) \sin c$$

Las multiplicamos entre ellas y aplicamos la regla *de la suma por diferencia es igual a la diferencia de cuadrados*:

$$(\cos^2 a - \cos^2 b) (1 - \cos^2 c) = (\sin^2 b \cos^2 A - \sin^2 a \cos^2 B) \sin^2 c$$

Sabemos que $1 - \cos^2 c = \sin^2 c$, como vemos en ambos lados de la igualdad podemos dividir uno y otro miembro por $\sin^2 c$:

$$\cos^2 a - \cos^2 b = \sin^2 b \cos^2 A - \sin^2 a \cos^2 B$$

Transformando todas las funciones coseno:

$$1 - \sin^2 a - 1 + \sin^2 b = \sin^2 b (1 - \sin^2 A) - \sin^2 a (1 - \sin^2 B)$$

$$\sin^2 b - \sin^2 a = \sin^2 b - \sin^2 b \sin^2 A - \sin^2 a + \sin^2 a \sin^2 B$$

$$\sin^2 b \sin^2 A = \sin^2 a \sin^2 B$$

Aplicamos la raíz cuadrada en ambos miembros de la igualdad:

$$\underline{\sin b \sin A = \sin a \sin B}$$

Este teorema establece que los senos de los lados de un triángulo esférico son proporcionales a los senos de los ángulos opuestos a estos lados.

Para hallar el último de los teoremas que utilizaremos en el triángulo esférico necesitamos unificar el teorema del coseno y el del seno.

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A$$

$$\cos c = \cos a \cos b + \sin a \sin b \cos C$$

$$\sin c = (\sin a \sin C) / \sin A$$

Sustituimos y reagrupamos:

$$\cos a = \cos a \cos^2 b + \sin a \sin b \cos b \cos C + \sin a \sin b \sin C \cotan A$$

$$1 - \cos^2 b \cos a = (\cos b \cos C + \sin C \cotan A) \sin a \sin b$$

$$\sin^2 b \cos a = \sin a \sin b (\cos b \cos C + \sin C \cotan A)$$

Llegando a la última fórmula general que define el *Teorema de la cotangente*:

$$\cotan a \sin b = \cos b \cos C + \sin C \cotan A$$

La cotangente de un lado por el seno de otro es igual al coseno de este último por el coseno del ángulo comprendido entre ellos más el seno de éste último ángulo por la cotangente del ángulo opuesto al primer lado.

Todos estos teoremas son los que usaremos para resolver el triángulo de posición.

<i>Teorema del coseno</i>	<i>Teorema del seno</i>	<i>Teorema de la cotangente</i>
$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A$	$\sin b \sin A = \sin a \sin B$	$\cotan a \sin b = \cos b \cos C + \sin C \cotan A$

7. TRIÁNGULO DE POSICIÓN

A continuación hablaremos del *triángulo de posición* y supondremos una esfera celeste en la que hay unas coordenadas horarias y horizontales de un astro (A) y los vértices del triángulo que se origina son *Polo elevado* (de igual nombre que la latitud), *Cenit* (Z) y *el mismo Astro* (A).

Este método es el utilizado para la navegación usando las estrellas. El cometido principal es hallar el horario y la declinación para poder reconocer el astro utilizando el A.N.

Lo ideal para la buena observación de los astro es realizarlo en el intervalo de tiempo antes de la salida o después de la puesta del Sol, *hora del crepúsculo*, ya que el cielo se presenta iluminado pero con la luz suficiente para poder diferenciar el horizonte y las estrellas.

Los astros observados a dichas horas tienen una altura determinada y azimut que serán medidos con instrumentos definidos para ellos como pueden ser el sextante y compas.

En la esfera celeste, *el meridiano superior del lugar*, *círculo horario del astro* y *vertical* del mismo astro forman un triángulo esférico importantísimo en el estudio de la Astronomía Náutica, llamado *triángulo de posición* cuyos vértices son:

- **Polo elevado (de igual nombre que la latitud)**
- **Cenit (Z)**

- **Astro (A)**

Los lados resultantes de la unión de estos vértices son los siguientes:

-**Colatitud (c)**. Es un arco de meridiano del lugar que surge de la unión del *cenit (Z)* con *el polo elevado*. Siempre tendrá como valor máximo 90°.

$$\text{colatitud} = 90^\circ - l$$

-**Distancia cenital (z)**. = $90^\circ - Av$. Se define por un arco vertical que va desde el cenit hasta el astro. Es un segmento de la vertical y siempre tendrá como valor máximo 90° dado que:

$$z = 90^\circ - a \text{ (altura)}$$

-**Distancia Polar (Δ)**. Arco de círculo horario que va desde el polo elevado al astro. El signo dependerá de la especie de la *latitud* y de la *declinación (d)*.

$$\Delta = 90^\circ - d \text{ Si } l \text{ y } d \text{ son de igual especie. (-)}$$

$$\Delta = 90^\circ + d. \text{ Si } l \text{ y } d \text{ son distinta especie. (+)}$$

Este segmento es el único que puede tener valores superiores a 90°.

También distinguimos los ángulos que forman la unión de dichos lados:

-**Ángulo en el polo** (formado con vértice en el polo elevado).

- **Ángulo Cenital** (formado con vértice en el Cenit).

-**Ángulo Paraláctico** o *ángulo en el astro*, (formado con vértice en el astro).

Supondremos un triángulo de posición y estableceremos equivalencias necesarias para hallar datos como el ángulo en el polo y la declinación.

Comenzaremos diferenciando los datos que poseemos y las incógnitas.

DATOS

- *Altura
- *Azimut
- *Latitud

INCOGNITAS

- *Angulo en el polo
- *Declinación

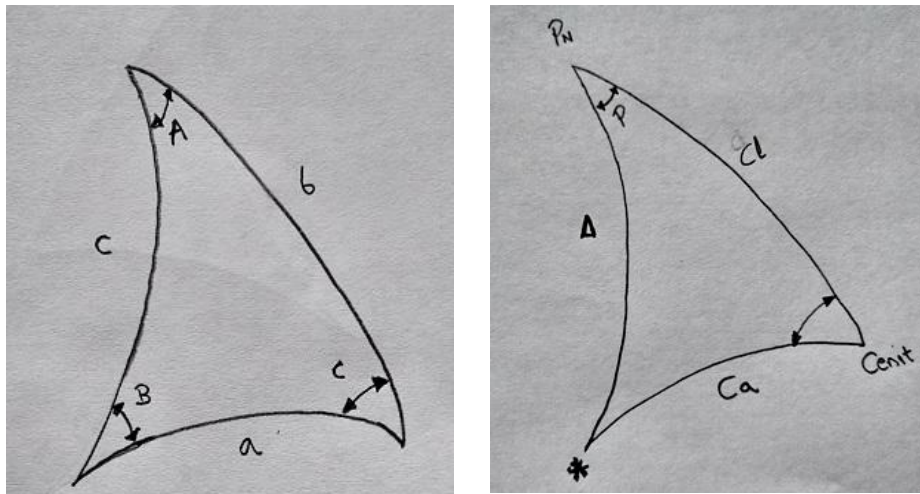


Figura 7. Triángulo de posición. [8].

Vamos a emplear una serie de igualdades matemáticas para hallar un astro desconocido cualquiera una vez han sido aplicadas las diferentes correcciones de altura, azimut y calculada la hora óptima de observación.

Para ello iniciaremos calculando el horario lugar del astro (hL^*) y su ángulo siderio (A.S).

$$\tan a \cos l = \sin l \cos Z + \sin Z \cotan P$$

$$\underline{\cotan P = (\tan a \cos l - \sin l \cos Z) / \sin Z} \quad \underline{\cotan P = \tan a \cos l \operatorname{cosec} Z + \sin l \cotan Z}$$

Tras simplificar dicha fórmula estableceremos la siguiente distribución de la misma en factores:

$$A = \tan a \cos l \operatorname{cosec} Z \quad B = \sin l \cot Z \quad \cotan P = A + B$$

Se establecen unos criterios de signos cuando hallamos el valor de P.

A + → siempre. B + → Si Z se cuenta con diferente nombre que la latitud.

B - → Si Z se cuenta con mismo nombre que la latitud.

Si en cotanP : +P>90° ; -P>90°

Para saber la naturaleza del ángulo en el polo (P) debemos fijarnos en el hemisferio donde se encuentra el astro, indicando su horario oriental u occidental dependiendo del mismo:

h → Si Ze, “Pe”. h → Si Zw , “Pw”.

Oeste (W) Pw=hl*

Este (E) Pe= 360°-hl*

Cuando utilizamos las tablas para el cálculo del azimut del astro (Z), también las podemos utilizar a la hora de calcular el ángulo en el polo (P) sustituyendo uno por otro y sustituir la declinación (d) por la altura (a).

$$\mathbf{d=a ; P= Z}$$

En el caso del cálculo del Azimut (Z) se calcula los valores p' y p'' donde:

$$p' = \tan d / \sin a$$

$$P'' = \tan l / \tan a$$

$$p = p' + p''$$

$$\mathbf{cotan Z = p \cos l ; arctan (p \cos l) = Z}$$

Z norte +

Z sur -

Recordemos la fórmula nombrada con anterioridad para el ángulo siderio y el horario lugar:[4.1].

$$\mathbf{hl^* = hly + AS}$$

$$\mathbf{hl^* = hG^* + L (W+, E-)}$$

$$\mathbf{hG^* = hl^* - L}$$

$$\mathbf{hG^* - hG\gamma = AS}$$

$$\mathbf{hl^* = hly + AS}$$

Este caso es utilizado solo para un astro cualquiera. Cuando queremos saber el horario

para un planeta aplicamos la siguiente fórmula:

$$hl = L - hG$$

$$hG = hl + L$$

El siguiente paso a tomar una vez hallado el horario es el cálculo de la *declinación* (*d*) y para ello utilizamos la siguiente fórmula:

$$\underline{\sin d = \sin a \sin l + \cos a \cos l \cos Z}$$

Obteniendo de nuevo un binomio como fue el caso de los valores de *p*:

Valor A:

$$A = \sin a \sin l$$

Valor B:

$$B = \cos a \cos l \cos Z$$

$$\sin d = A + B; \arcsin (A + B) = d$$

dónde:

A siempre será positivo y **B** será positivo (+) cuando **Z** se cuenta con mismo nombre que la latitud y negativo (-) cuando **Z** se cuente desde diferente nombre.

Si en el resultado el seno de la declinación (*sin d*) tiene igual signo que la latitud, este será positivo (+) y si tiene signo contrario será negativo (-).

Con estos resultados hemos llegado a obtener todos los datos necesarios para identificar un astro, el siguiente paso sería entrar en las columnas y filas correspondientes del almanaque náutico (A.N) al día y la hora en que se realiza la observación y tendremos el astro buscado.

A continuación vamos a realizar un ejercicio práctico a modo de explicación en el que iremos paso a paso explicando los cálculos a realizar con sus respectivas correcciones y así lograr identificar el astro desconocido.

Previamente vamos a poner un recordatorio de las fórmulas a utilizar en este tipo de ejercicios que, aunque pueden ser diferentes entre si, su finalidad es la misma y al final

tendremos que llegar a la solución de los valores de AS^* y d^* para poder identificar el astro en el Almanaque Náutico (AN) correspondiente. [3.1].

8. LA MEDIDA DEL TIEMPO Y LOS ARREGLOS DEL CRONÓMETRO

Los cronómetros se utilizan para medir la hora del meridiano de Greenwich (HcG) o también llamado Tiempo Universal (TU) y es la referencia tomada en el meridiano de Greenwich equivalente al tiempo que transcurre desde que el Sol pasa por el meridiano inferior de Greenwich. Por ejemplo cuando son las cero horas (00°00'00'' TU) es media noche en Greenwich (meridiano origen o de latitud 0°). En inglés se denomina Universal Time Coordinated (UTC).

Cuando se va a observar un astro, se lleva un cronógrafo, que es un reloj que marca los segundos y los minutos y que se pone a funcionar a una determinada hora del cronómetro y con éste se toman las lecturas de las observaciones para luego compararla con el cronómetro y obtener la hora de observación

El arreglo del cronómetro viene dado por una serie de correcciones a aplicar de las que hablaremos a continuación, ya que para el reconocimiento de un astro necesitaremos tener los arreglos de la hora puesto que tendremos que tener el *TU* u *HcG* corregido para que no haya errores en la toma de datos del almanaque náutico (AN).

Suponiendo que partimos de una hora cronómetro (*Hcro*) la primera corrección a aplicar es lo que llamamos el *Estado absoluto del cronómetro (E.A)* para poder obtener un tiempo universal aproximado. El estado absoluto del cronómetro es siempre positivo y lo que hay que tener en cuenta a la hora de correcciones es que la hora del cronómetro (*Hcro*) tomada sea menor que el Tiempo Universal (TU), en cuyo caso le sumaremos al *TU* +12 horas ya que la esfera de los relojes únicamente mide de 00h a 12h.

Las fórmulas que relacionan estos datos son :

$$E.A = HcG - TU - Hcron$$
$$\text{Sí } TU < Hcron; \quad TU (+12h) - Hcron$$

La siguiente corrección a aplicar cuando tenemos hallado el TU aproximado (*TU_{px}*) es

el Movimiento Diario del cronómetro (*Mvto. D*), que no es más que la diferencia entre el EA del cronómetro de dos días consecutivos.

$$\begin{aligned}
 \mathbf{Mvto. D} &= (\mathbf{EA\ final - EA\ inicio}) / \mathbf{n^\circ\ de\ días} \\
 &+ \mathbf{atrassa} \\
 &- \mathbf{adelanta}
 \end{aligned}$$

El resultado de esto nos describe el atraso o adelanto que tiene el cronómetro y hay que hacer especial mención a la hora de colocar los signos y lo que implica. Los valores de adelanto son negativos y los valores de atraso son positivos.

Una vez tengamos esto, tendremos que hallar la parte proporcional de movimiento (*p.p.m*) y será el paso necesario para llegar a nuestro tiempo universal corregido.

El movimiento diario del cronómetro es clave para poder hallar la *p.p.m* y con la hora de tiempo universal aproximado (*TUpx*) y la relación existente de **Mvto. D** para 24 horas se realizará una regla de tres muy sencilla y hallaremos ese dato para la hora de la observación.

$$\begin{array}{r}
 24^\circ \text{ ————— } \mathbf{Mvto. D} \\
 \mathbf{TUpx} \text{ ————— } \mathbf{p.p.m}
 \end{array}$$

Estos actos anteriormente descritos son los arreglos del cronómetro y son esenciales para realizar cualquier cálculo de observación de astros o planetas.

Cuando realizamos actividades a bordo, observaciones etc. hablamos muchas veces de la ***Hora de Reloj Bitácora (HRB)***. Es sinónimo de la ***hora legal (Hz)*** y para relacionar este concepto tenemos que hablar de la división de la esfera terrestre en 24 husos esféricos relacionados con la *Longitud* y con un giro completo de la tierra.

Hay 12 husos horarios negativos, en sentido Este y 12 positivos en sentido Oeste. Un punto al Este tiene una hora superior a la de Greenwich, ya que le ha pasado antes el Sol por encima, por consiguiente a su hora hay que restarle el huso para tener la hora de Greenwich. Al contrario pasa con un punto al Oeste.

$$\mathbf{360^\circ / 24^\circ = 15^\circ\ de\ longitud}$$

La diferencia de hora entre dos lugares es la diferencia de Longitud expresada en

tiempo. Cada punto de la Tierra tiene una hora civil distinta, en función de la longitud que tiene. Esta es la hora que rige los fenómenos astronómicos. Como huso de referencia tomamos el del meridiano de Greenwich, nos da la $HcGy$ equivale al valor 0 entre los meridianos con longitud $07^{\circ}30' E$ hasta $07^{\circ} 30' W$ y así sucesivamente.

La relación encontrada entre esto y el TU es la siguiente:

$$TU = Hz +/- Z$$

$$TU = HcL +/- L (W - ; E +)t$$

Vamos a poner un ejemplo en el que podremos aplicar estas correcciones y así entenderlas por completo:

Encontrándonos el día 7 de Febrero de 2004 en una situación estimada de $l = 38^{\circ}30,0'S$ y $L = 116^{\circ} 12,0'E$ miramos el cronómetro para observar un astro desconocido y nos da $Hcro = 03.36.03$.

Arreglar el cronómetro para hallar TU y HRB.

EA $^{\circ}h = 05.27.02$ Mvto. D = 6 seg adelante (-)

El primer paso es colocar $Hcro$ y aplicarle la corrección por EA a las $^{\circ}h$

$$Hcro = 03.36.03 \quad (7)$$

$$EA \text{ } ^{\circ}h = 05.27.02 (+)$$

$$\underline{TUpX = 09.03.05 (+/- 12h)}$$

$$\underline{TUpX = 21.03.05.} \quad (6)$$

En segundo caso le aplicaremos la parte proporcional de movimiento hallada con el movimiento diario.

$$24 \text{ h} \text{-----} \text{ Mvto. D} = 6''(-)$$

$$21.03.05 \text{-----} \text{ x'' p.p.m}$$

$$\mathbf{p.p.m = 5'' -}$$

Una vez hallemos la parte proporcional del movimiento, se lo aplicamos al $TUpX$ y tendremos el **TU corregido**, dato que utilizaremos para hallar mas adelante diferentes valores.

$$H_{cro} = 03.36.03 \quad (7)$$

$$EA^{\circ h} = 05.27.02 (+)$$

$$\underline{TU_{px} = 09.03.05 (+/- 12h)}$$

$$\underline{TU_{px} = 21.03.05.} \quad (6)$$

$$p.p.m = 5''-$$

$$TU \text{ ó } HcG = 21.03.00$$

El siguiente paso ya que nos pide arreglar el cronómetro, vamos a hallar el huso en el que nos encontramos y terminaremos con el valor de la Hora de Reloj Bitácora.

$$L = 116^{\circ} 12,0'E / 15^{\circ} = 7,75 \text{ aprox. } z = 8$$

$$TU = 21.03.00$$

$$Z = 8+$$

$$\underline{Hz \text{ ó } HRB = 05.05.00 (7)}$$

Una embarcación navegando tiene normalmente como hora para regir la vida a bordo **la Hora del Reloj de Bitácora**, que se hace coincidir con la hora legal del sector por el que navega, si bien a efectos prácticos los cambios se realizan una vez al día y no en el momento exacto de cambio de sector.

Cuando el barco está en puerto se hace coincidir con la hora oficial.

8.1 De altura instrumental a verdadera

Supongamos que en nuestro ejercicio nos dan una observación de un astro a una hora determinada del cronometro y estando nosotros en una situación estimada de latitud (*le*) y Longitud (*Le*).

El astro observado con el *sextante* *(es un aparato o herramienta portátil, utilizado a bordo para poder medir la altura (*a*) de los astros. Sabemos que este dato es una coordenada horizontal y no puede estar tabulada porque al igual que el Azimut (*Z*) dependen de la situación del observador) nos da una determinada altura instrumental (*Ai*). Cuando el observador está tomando los datos, durante el proceso se le atribuyen una serie de desajustes. Para arreglar esto se le aplica una corrección de índice que dará lugar a la altura observada (*Ao*).

$$ai^{*?} + c.i = ao^{*?}$$

Corregiremos la altura observada mediante las Tablas de correcciones con el Almanaque Nautico(AN) entrando con la elevación del observador en metros (*e.o*) en la **Tabla A** para hallar un valor de corrección llamado depresión de horizonte o corrección por depresión (*CxD*). Este valor es aplicable a la altura observada para hallar una altura aparente (*Aa*) y estar cada vez más cerca de la altura verdadera que es lo que buscamos. Continuamos aplicando las correcciones necesarias, en este caso a la altura aparente (*Aa*). Tendremos que ir a las **Tablas B** y **C** del Almanaque Náutico (AN) y fijarnos en el caso al que estamos tratando.

En nuestro caso estamos dando por sentado que es una estrella por lo que entraremos con la altura aparente en los valores de la **Tabla C** para corrección por Refracción y Paralaje. Hay que tener en cuenta que el valor de corrección por refracción puede estar comprendido entre dos valores y habrá que realizar una regla de tres para tener el valor exacto correspondiente a nuestra altura aparente.

Por último se le aplicará a la altura verdadera una corrección adicional para el año y mes en curso dentro de la **Tabla B** y hallaremos la altura verdadera corregida.

$$Ai^{*?} + c.i =$$

$$Ao^{*?}$$

$$Ao^{*?} + CxD =$$

$$Aa^{*?}$$

$$Aa^{*?} + CxR =$$

$$Av^{*?}$$

Los valores de la tabla B indicados son para el Sol (limbo inferior), en cuyo caso sería exactamente igual que el caso anteriormente nombrado pero aplicando la corrección por Semidiámetro, Refracción y Paralaje (*CxSDxRxP*) así como la corrección adicional para cada año en concreto (*cx*) y así lograr la altura verdadera del astro, Sol o planeta.

$$\begin{aligned}
& Ai \odot + c.i = \\
& \quad Ao \odot \\
& Ao \odot + CxD = \\
& \quad Aa \odot \\
& Aa \odot + CxSDxRxP = \\
& \quad Aa \odot_{px} \\
& Aa \odot_{px} + cxa = \\
& \quad Av \odot
\end{aligned}$$

A continuación vamos a realizar un ejercicio práctico para aclarar todo lo descrito y coger soltura en los cálculos:

Supongamos que nos encontramos el día 9 de Abril de 2016, a TU = 22.45.34 y se observa un astro desconocido con una $Ai^*? = 29^\circ 13,9'$. Datos; c.i = +3, e.o = 5m.

1º Pasar Ai a Ao .

$$\begin{aligned}
Ai^*? &= 29^\circ 13,9' \\
c.i &= +3' \\
Ao^*? &= 29^\circ 16,9'
\end{aligned}$$

2º Pasar de Ao a Aa .

$$\begin{aligned}
Ao^*? &= 29^\circ 16,9' \\
CxD &= -4,0' \\
Aa^*? &= 29^\circ 12,9'
\end{aligned}$$

3º corregir la Aa y hallar la $Av^*?$.

$$\begin{aligned}
Aa^*? &= 29^\circ 12,9' \\
CxR \quad 28^\circ &\text{-----} - 1,8 \\
\quad 29^\circ 12,9' &\text{-----} x \\
\quad x &= - 1,7 \\
Aa^*? &= 29^\circ 12,9' \\
CxR &= -1,7 \\
Av^*? &= 29^\circ 11,2' \\
Av^*? + Cad. (2016) &= 29^\circ 11,2' - 0,1' \\
Av^*?c^\circ &= 29^\circ 11,1'
\end{aligned}$$

En el caso del cálculo del Azimut (Z) como ya se nombró anteriormente lo realizaremos utilizando las fórmulas trigonométricas para obtener un Azimut verdadero ($Z_v^{*?}$) y así poder hallar el astro desconocido. [2.1].

Este método conocido por el de los “pepes” no es más que una fórmula en la que se relacionan la declinación, la latitud y la altura para llegar a un azimut verdadero (Z_v). [tablas].

Se calcula los valores p' y p'' donde:

$$p' = \tan d / \sin P$$

$$P'' = \tan l / \tan P$$

$$p = p' + p''$$

$$\cotan Z = p \cos l ; \arctan (p \cos l) = Z_v$$

Z norte +

Z sur -

Recordar que los signos de p' y p'' varían en función de:

p' — + si l y d son del mismo signo y - si son diferentes.

P'' — + si $P > 90^\circ$ y - si $P < 90^\circ$

Además, existe la opción de que el azimut que nos aporta la observación del astro con el compás o el propuesto en un problema sea el Azimut de aguja (Z_a) y habrá que aplicarle la corrección total (ct) para obtener el Azimut verdadero y así tener todos los valores que nos son necesarios.

Para el cálculo del azimut con este método deberemos haber hallado anteriormente el horario lugar del astro en concreto y entenderemos que este será igual al ángulo en el polo (P) cuando es oeste (W) y cuando sea este (E) será igual a la diferencia de 360° y el horario lugar del astro.

Oeste (W)

$P_w = hl^*$

Este (E)

$P_e = 360^\circ - hl^*$

La declinación también es un dato importante puesto que es uno de los valores necesarios para poder identificar el astro.

8.2 Crepúsculos. Hora de salida y puesta de Sol

Los astros cuando aparecen o desaparecen respectivamente en el horizonte de la mar, decimos que se encuentran en su orto u ocaso aparente. La definición de aparente en sentido astronómico corresponde a eso mismo, a cuando son visibles o no con respecto a nuestro horizonte.

Ocaso y orto.

Los astros salen por el este (E) y si nos situamos mirando hacia el sur, veremos como los astros van tomando altura de izquierda a derecha, hasta llegar a un punto de altura máxima denominado culminación, para después ir descendiendo por el oeste (W) y terminar de ocultarse bajo el horizonte.

Estos fenómenos se denominan *orto* y *ocaso* y tienen lugar cuando el astro en concreto se traslada desde el hemisferio no visible al visible (*orto*) desde el punto cardinal este, hacia el oeste y pasa de nuevo al hemisferio no visible(*ocaso*).

En esos momentos la altura del astro es 0° .

A raíz de esto tendremos que hablar del concepto de crepúsculo.

El crepúsculo se define como un cierto periodo de tiempo anterior al orto y posterior al ocaso en el que el cielo se presenta iluminado y ayuda a la observación de astros.

Hay diferentes tipos de crepúsculos que nombraremos a continuación:

- Crepúsculo civil \rightarrow periodo de tiempo crepuscular en el que se desarrollan actividades de la vida diaria y en el que no es necesario luz artificial para efectuarlas.
- Crepúsculo náutico \rightarrow lapso crepuscular de entre 6° y 12° de depresión del Sol en el que se pueden observar estrellas de primera magnitud debido a que distingue perfectamente el horizonte de la mar y así poder realizar cálculos de altura o azimut para el reconocimiento de astros.
- Crepúsculo astronómico \rightarrow la depresión del Sol en este momento está comprendida entre 12° y 18° e indica que desde que se encuentra a 18° bajo el horizonte, comienza o acaba el periodo de oscuridad. [3.3].

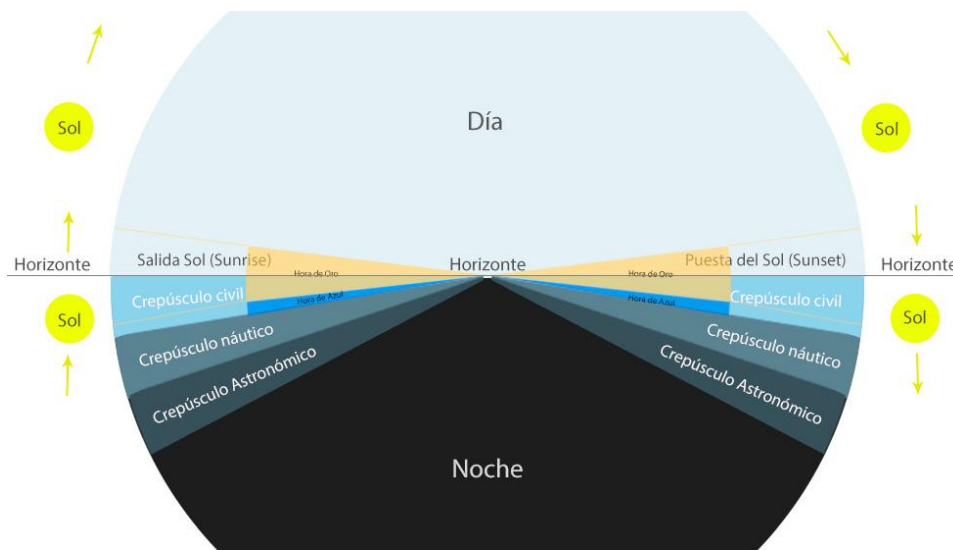


Figura 8. Diferentes tipos de crepúsculos. [9].

Crepúsculo matutino y vespertino: son los intervalos de tiempo que transcurren inmediatamente antes o después de la salida o de la puesta del Sol. Hay tres crepúsculos que se distinguen por los grados que está el Sol por debajo del horizonte

El idóneo para la observación de los astros es el crepúsculo náutico, pues hay suficiente claridad para distinguir el horizonte y es lo bastante oscuro para ver bien las estrellas 1^a, 2^a y 3^a magnitud que son las usadas en navegación.

La duración del crepúsculo varía en relación a la declinación y latitud del Sol. Los periodos más cortos son las zonas en las que coinciden la latitud y declinación del Sol (zona Tropical) y es mayor en los que la diferencia entre la latitud y la declinación es de 90°.

9. RECONOCIMIENTO DE ASTROS. USO DE 2102-D STAR FINDER (IDENTIFICADOR DE ESTRELLAS)

El Star Finder se basa en una carta de estrellas de los hemisferios Norte y Sur (dos placas de plástico principales) y por ocho círculos transparentes, maleables y con latitudes situadas entre los 5° y los 85° aproximadamente (según modelos puede variar) con un tamaño de unos 12'' de diámetro.

El intervalo de latitud entre dos placas debe reducirse de 10 grados a 5 grados. Ahora

puede suceder que el observador en la latitud 40° Norte tenga que usar la placa para 45° o 35° .

Se encuentran representadas 57 estrellas que están en el almanaque náutico (AN) anual. El más utilizado es el modelo americano, utilizado en su momento para el cálculo de posición de los buques.

El método utilizado era preparar un cálculo para 7 estrellas al orto y al ocaso, obteniendo una demora y una altura de las mismas para una hora en concreto. Esto era de gran ayuda para la localización rápida y hacer observaciones certeras y en un periodo de tiempo pequeño, evitando así que el resultado final se viera afectado y poder situarnos de manera precisa.

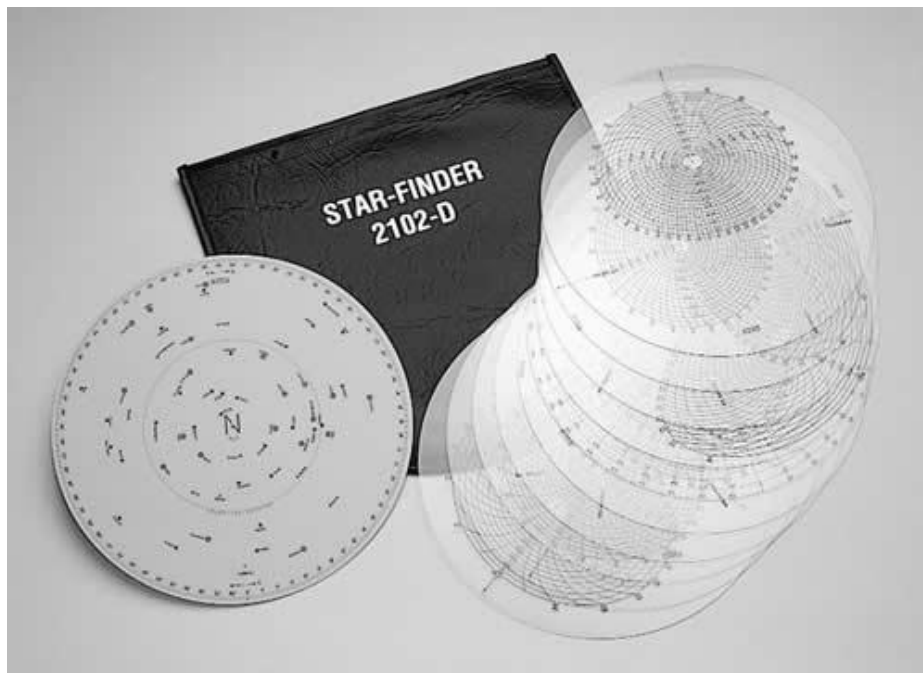


Figura 9 Presentación discos STAR-FINDER 2102-D. [10].

Los pasos a seguir para poder reconocer un astro con el Star Finder son:

1º Calcularemos el horario en Greenwich de Aries ($hG\gamma$) entrando en el almanaque náutico (AN) con la hora en TU en el momento de la observación, realizando la correspondiente corrección.

Lo pasamos al horario lugar de Aries ($hL\gamma$) mediante las formulas ya conocidas.

Usaremos la longitud estimada para la formula siguiente:

$$hG\gamma = hly + L (+W ; -E)$$

2° Trasladaremos el resultado obtenido en el horario lugar de Aries (*hly*) a los discos.

La manera es la siguiente, ponemos el disco transparente con la latitud más cercana a la que nos encontramos sobre el *disco base* para que ambos discos sean a la vez norte y sur con la latitud y a continuación giramos el transparente hasta que concuerde sobre el *disco base* el valor numérico con el horario lugar de Aries (*hly*) anteriormente hallado.

3- En la curva exterior, se encuentran los valores graduados desde 0° a 360° indicando el Azimut de la estrella y sobre el vertical estará la altura, indicando que en ese punto o próximo a este, estará la estrella que queremos reconocer.

A continuación vamos a realizar un ejemplo práctico y sencillo para entender un poco mejor el procedimiento.

Ejemplo.

El día 1 de Agosto de 1987, nos encontramos en Se: $le = 45^{\circ} 12,0' N$;

$Le = 51^{\circ} 00,0' W$ y al ser **HRB** = 23.33.00, observamos la **$A_v^{*?} = 53^{\circ} 30,0'$** y un azimut **$Z_v^{*?} = 180^{\circ}$**

DATOS:

$A_v^{*?}$, $Z_v^{*?}$, l y L estimadas.

En este caso en concreto ajustaremos la hora reloj bitácora para transformarla en horario civil de Greenwich o tiempo universal mediante las relaciones anteriormente descritas.

$$L = 51^{\circ} 00,0' W / 15^{\circ} = 3.40 \text{ aprox. } z = +3$$

$$HRB = 23.33.00$$

$$TU = Hz \pm Z$$

$$TU = 23.33.00 + 3$$

$$TU = 02.33.00 (02/08)$$

Como bien sabemos el siguiente paso es conocer el *hly*, para ello calcularemos el **$hG\gamma$** entrando con **T.U** en el Almanaque náutico para el día y año concreto.

Recordemos la fórmula que relaciona dichos horarios:

$$hG\gamma = h\lambda + L ; +W; -E$$

Una vez tengamos el horario en Greenwich le aplicaremos la corrección por minutos y segundos correspondiente.

$$hG\gamma = 340^{\circ} 08,3'$$

$$C_{mxs} = 08^{\circ} 16,4$$

$$hG\gamma^{\circ} = 348^{\circ} 24,7'$$

$$hG\gamma^{\circ} = 348^{\circ} 824,7'$$

$$Lw = 51^{\circ} 00,0'(-)$$

$$hG\gamma^{\circ} - Lw(+)= h\lambda$$

$$h\lambda = 297^{\circ} 24,7'$$

Una vez hallado el valor, colocaremos en el disco base el disco de latitud más próximo al establecido por el problema, y siempre con centro en el Polo Norte. Colocaremos el disco con latitud norte valor de 45° . Acto seguido giraremos el disco transparente hasta llegar al valor del horario lugar de Aries ($h\lambda$), $297^{\circ} 25'$.

Como resultado, la estrella marcada tendrá unos valores de azimut y altura determinados para ese instante. En nuestro caso, el astro ya reconocido es:

$$*? = \text{ALTAIR}$$

9.1 Errores comunes en el uso de Star Finder

Son errores muy comunes a la hora del uso del Star Finder:

- Cuando miramos el vertical para calcular la altura prevista en el *diagrama de latitud*, comprobar correctamente el resultado.
- A la hora de la colocación del *STARBASE* recordar usar siempre la carta celeste que pertenece al Polo elevado del observador e igual nombre que la latitud estimada (*le*).
- Tienen que corresponder el lado del *diagrama de latitud* con la *latitud estimada* en el instante.
- En cuanto a los Azimut hallados, recordar medirse por la cara interna en latitud N y externa si es S.

El Star Finder también sirve para cálculos de Azimut y alturas de planetas. Como la posición de los planetas es muy variante no pueden estar representados de manera permanente en el *disco base*. Esto implica que los planetas deben de dibujarse para una fecha y hora concreta en la que realizar las observaciones con el sextante.

La representación de los planetas la realizaremos por la ascensión recta (*AR*) y declinación (*d*).

Para hallar la ascensión recta (*AR*) del planeta entramos con la hora de observación en el almanaque náutico y hallaremos el horario en Greenwich de Aries (*hG γ*) y el horario en Greenwich del planeta en concreto (*hGp*) y mediante su diferencia obtendremos el resultado buscado.

$$AR = hG\gamma - hGp$$

Con este resultado y el de la declinación del planeta en el momento determinado trazaremos en las plantillas los puntos de altura.

Las posiciones halladas de los planetas podrán utilizarse durante periodos de tiempo cortos variables según el planeta. [5.0].

10. RECONOCIMIENTO DE CONSTELACIONES Y ESTRELLAS PRINCIPALES

Cuando observamos el cielo vemos innumerables estrellas y constelaciones, algunas de ellas son más simples de identificar y conociendo sus estrellas principales podemos ubicar a otras de su alrededor mediante líneas o enfilaciones imaginarias en la esfera celeste.

Una estrella se define por una enorme esfera de gas en revolución con una fuerza gravitatoria tan grande que atrae el gas hacia el interior y crea un aumento de presión en ella. Las reacciones nucleares en su interior liberan energía en forma de luz, calor y radiación.

Su origen etimológico proviene del latín "*Stella*". El efecto de la adquisición de la *r* entre *stellaa estrella* proviene del efecto de resonancia de una líquida (*l*) en la palabra en el tiempo. [4.2].

Las constelaciones por otra parte son agrupaciones de estrellas en un punto determinado de la esfera celeste y aparentemente invariable. Desde la antigüedad se les atribuyen nombres en relación a la forma que adoptan mediante líneas imaginarias creadas entre ellas.

En muchas constelaciones siempre hay una estrella principal para poder identificar otras. Por ejemplo en la constelación de Orión, en la que encontramos siete estrellas principales y es reconocible desde los dos hemisferios. La estrella más brillante de su constelación es Rigel (β Orionis) mag +0,18.

Hablaremos sobre alguna constelación y sus estrellas principales para explicar brevemente como reconocer ciertos astros en el cielo de manera rápida.

Constelaciones y estrellas principales

Las constelaciones suelen agruparse en relación al hemisferio al que pertenecen, las que están al norte del ecuador celeste se llaman *septentrionales* y *australes* las del hemisferio sur. Los nombres que tienen vienen dados desde tiempos antiguos en relación con figuras mitológicas o animales. Desde hace relativamente poco tiempo (1928) la Unión Astronómica Internacional logro agrupar de manera oficial las 88 constelaciones visibles.

Dentro de la constelación, las estrellas se diferencian entre ellas por *nº* o *letras* con un orden establecido nombrándolas de mayor a menor magnitud*.

Las estrellas predominantes dentro de una constelación suelen diferenciarse dándoles nombres propios como *Alnilam* o *Alnitak* pertenecientes a la constelación de Orión o *Alpheratz* que pertenece a Andrómeda.

Como ya hablamos anteriormente, se redujo a 88 el número de constelaciones visibles representadas en la esfera celeste que sirven para posicionarnos, saber el lugar en el que nos encontramos, etc. Nosotros hablaremos de alguna de ellas.

10.1 Constelación de Orión

El nombre de Orión proviene de la mitología griega y es la figura en el firmamento de un cazador gigante que aparece equipado con su espada y su escudo y a su vez va

acompañado de sus dos perros el *Can mayor* y el *Can menor*. Se sitúa sobre el ecuador celeste y está formada por cuatro estrellas principales que la encuadran, *Rigel* y *Betelgeuse* de primera magnitud y *Bellatrix* y *Saiph* de segunda.

En la zona central del cuadrilátero que forman las estrellas anteriores, encontramos el *cinturón de Orión*, formado por tres estrellas de segunda magnitud a las cuales también se les llama las “Tres Marías”.

Orión es una constelación que puede ser observada tanto desde el Hemisferio Norte como desde el Sur, por lo que es conocida por las culturas de todo el planeta aunque es verdad que en el cielo *boreal* (Norte) se ve orientado hacia arriba y en *austral* (Sur) se ve orientado hacia abajo. [6.0].

Se puede conocer con cierta exactitud la dirección N-S ayudándonos de esta constelación. Podremos encontrar el Sur geográfico cuando esta constelación sea completamente visible y unimos con una línea imaginaria la estrella *Betelgeuse* (unos 10° N del cinturón) y la estrella *Rigel* (unos 10° S del cinturón) y prolongamos hasta el cruce con el horizonte ya sea marino o terrestre, hallando así el Sur geográfico y sirviéndonos de ayuda para saber nuestra situación próxima. Hay que tener en cuenta que Orión únicamente es visible en invierno, poco visible en primavera y otoño y no se ve en verano.



Figura 10 Constelación de Orión y las Tres Marías. [11]

10.2 Osa Mayor

Su origen según la mitología griega, viene asociado al mito de Calisto. La constelación de la osa mayor es una constelación boreal es decir sólo se encuentra en el hemisferio norte y puede ser visualizada por todas las personas que se encuentre ubicadas en latitudes de $+90^\circ$ y -30° durante todo el año, aunque la mejor época es en primavera.

La “cola y las patas” de la osa mayor tienen forma de carro o de cucharón grande, formada por siete estrellas de las cuales tres forman el mango o brazo del cucharón y las otras cuatro forman un polígono cuadrado a modo de carro o base del cucharón. Consideramos más importantes a *Dubhe* y *Merak*, necesarias para situar la estrella polar (*Polaris*), estrella de gran importancia en la navegación astronómica.

La forma más clara de encontrar la osa mayor viene dada por una serie de pasos que a su vez la relacionan con la osa menor y la estrella Polar (*Polaris*).

En primer lugar tenemos que posicionarnos mirando al norte en una noche en la que la contaminación lumínica sea la menor posible y este el cielo lo suficientemente despejado. A continuación buscaremos el carro tratando de ver sus estrellas más brillantes (*Alioth* y *Dubhe*).

No es una constelación muy difícil de encontrar puesto que rodea la estrella Polar como efecto del giro planetario y no se oculta en el horizonte.

Una vez localizada, podemos averiguar dónde se encuentra la Osa menor y por consiguiente la estrella Polar (*Polaris*) ya que forma parte de la constelación.

El método es el siguiente:

Multiplicamos por 5 la distancia entre *Merak* y *Dubhe*.

Prolongamos esa distancia hasta llegar a la estrella polar y así identificar la cola de la Osa menor. [5.0].

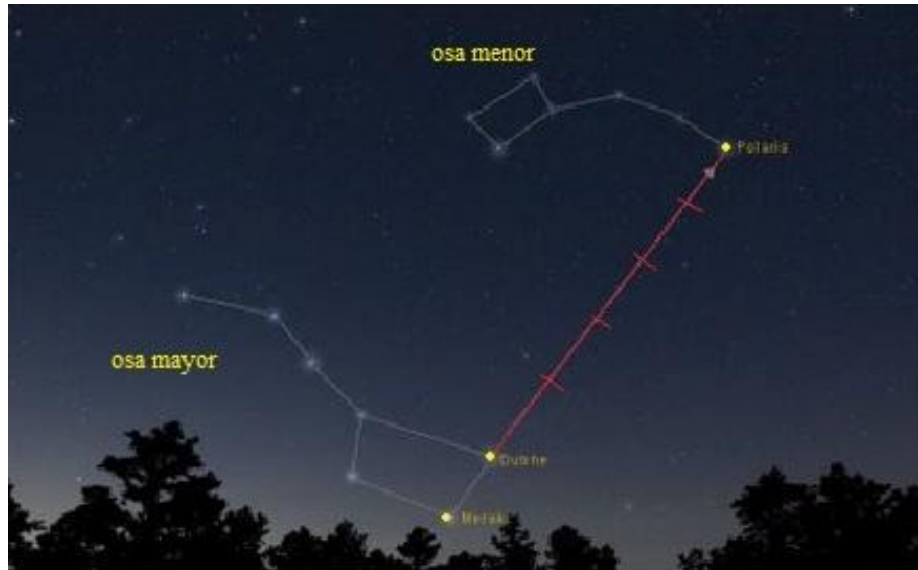


Figura 11. Relación osa mayor y menor. Hallar la polar. [12].

10.3 Osa menor

Esta constelación es visible en el hemisferio norte y marca la situación del polo norte celeste, que se encuentra en torno a 1° de la estrella polar (*Polaris*), estrella de segunda magnitud (+1.86) que forma parte de la osa menor. Consta de siete estrellas con la forma de carro; cuatro de ellas forman lo que es la parte honda del carro y las otras tres son el mango del carro. En su cola se sitúa la estrella más importante en la navegación astronómica y la más brillante de esta constelación, la estrella polar.

La mayor importancia de esta constelación reside en la estrella polar (*Polaris*), siendo la más cercana al eje de la tierra en su prolongación. [6.0].

La polar nos indica el norte verdadero, dato de gran importancia en la orientación.

Todas las estrellas son circumpolares, es decir, que giran alrededor del eje de la tierra teniendo centro en este caso en la propia estrella Polar (no circumpolar). Esto nos ayuda bastante a la hora de posicionarnos ya que la polar no variará su posición respecto al observador.

10.4 Cruz del sur

Con la falta de la estrella polar en el hemisferio sur para ayudar a orientarnos, esta constelación es necesaria para la orientación en el hemisferio sur. Está catalogada como la más pequeña de las constelaciones modernas y es muy útil para la orientación ya que permite determinar el punto cardinal sur.

La componen 4 estrellas *Acrux*, *Gacrux*, *Mimosa* y *Decrux*.

Para situarnos realizaremos una serie de procedimientos que tras la observación nos hará encontrar con bastante precisión el sur geográfico.

La cruz está formada por una unión vertical entre *Acrux* y *Gacrux* y la unión de *Mimosa* y *Decrux*. [6.1].



Figura 12. Cruz del sur. [13].

Para determinar el punto cardinal Sur desde la observación de dicha constelación se realiza el siguiente procedimiento:

Si prolongamos entre cuatro y cinco veces en línea recta el eje principal de la cruz, partiendo de *Acrux* (estrella más brillante), llegaremos al polo sur celeste.

Cuando realicemos esta prolongación, bastará con bajar una vertical hasta el corte con el horizonte y en ese punto estará, de forma más o menos precisa, el sur geográfico.

Todas estas constelaciones nombradas e identificadas, no nos proporcionan la situación exacta en un punto de la carta pero sí nos ayudan a establecer el hemisferio en el que estamos y las latitudes próximas en la que nos encontramos, sirviéndonos de ayuda en la navegación y en los cálculos de posición.

11. CONCLUSIONES

En primer lugar debemos recordar que el reconocimiento de astros en navegación es una materia que implica tener conocimientos de física, matemáticas, trigonometría, etc además de saber interpretar datos analíticos y presentarlos de manera comprensible en cartas.

Deberemos saber utilizar las herramientas de observación como sextantes para cálculos de alturas, cronómetros para las horas de observación y conocer y aplicar las correcciones necesarias para una identificación certera.

El buen uso del almanaque náutico, herramienta fundamental para la interpretación de datos y correcciones es de real importancia y su principal objeto es facilitar a los navegantes los elementos astronómicos necesarios para la reducción de las observaciones realizadas.

En segundo lugar, debemos saber que el problema de identificación de astros realizado como explicación, nos aportará unos resultados de ángulo siderio y declinación con una precisión bastante alta pero no exactamente igual a la aportada por el almanaque ya que los valores de azimut y altura verdaderos obtenidos dependen siempre de la observación del navegante.

Da igual el método utilizado a la hora de identificar un astro desconocido, lo importante es el resultado final que tendrá que ser muy similar independientemente si utilizamos fórmulas matemáticas, almanaque náutico, o el Star finder, del cual hemos hablado en este trabajo.

Para terminar, hay que tener en cuenta que los nuevos dispositivos y herramientas tecnológicas como GPS, programas informáticos actualizados, etc. nos aportan una mayor exactitud en los cálculos y precisión en la observación pero siempre partiendo de los inicios básicos que hemos intentado describir en este trabajo y que no deben caer en el olvido.

11. Conclusions

First of all we must remember that the cognition of stars in navigation is a subject that implies having knowledge of physics, mathematics, trigonometry, etc. besides knowing how to interpret analytical data and present them comprehensibly in charts.

We must know how to use observation tools such as sextants for height calculations, chronometers for observation hours and know and apply the necessary corrections for accurate identification.

The good use of the nautical almanac, fundamental tool for the interpretation of data and corrections is of real importance and its main purpose is to provide the navigators with the astronomical elements necessary for the reduction of the observations made.

Second, we must know that the problem of identification of stars made as an explanation will bring us results side angle and declination with a fairly high accuracy but not exactly equal to that provided by the almanac since the true azimuth and height values obtained always depend on the observation of the navigator.

No matter the method used to identify an unknown star, the important thing is the final result that will have to be very similar regard less if we use mathematical formulas, nautical almanac, or the Star finder, which we have discussed in this work.

To finish, we must take into account that new devices and technological tools such as GPS, updated computer programs, etc. they give us a greater accuracy in the calculations and precision in the observation but always starting from the basic beginnings that we have tried to describe in this work and that should not fall into oblivion.

12. BIBLIOGRAFÍA

- * [1.0] LUIS MEDEROS, Navegación astronómica 6ª ed., Madrid: Junio 2016, (WSPA), ISBN 978-84-16676-08-8.
- * [2.0] JOSÉ PERERA MARRERO. ENRIQUE MELÓN RODRIGUEZ. Tratado de navegación astronómica. Edición 2009, Tenerife: ISBN 84-95847-51-5.
- * [3.0] C. de N. Moreu Curbera y C. De F. Martínez Jiménez. Astronomía y navegación 3ª ed. Tomo I, Madrid: ISBN 84-85645-01-4
- * [4.0] Tablas de navegación. Enrique Martínez Jiménez, 1977. Vigo (España) ISBN: 84-400-2882-2 D.L.: M. 14.141-1977
- * [5.0] Astronomía Náutica y navegación. José Perera Marrero. Enrique A. Melón Rodríguez. 1ª Edición 2010, Tenerife: ISBN 978-84-7756-923-7 D.L.: TF-2038/2010
- * [6.0] “LAS CHULETAS DE BERMEJO” DEPARTAMENTO DE CIENCIAS Y TÉCNICAS DE LA NAVEGACIÓN
E.T.S. DE NÁUTICA, MÁQUINAS Y RADIOELECTRÓNICA
NAVAL. UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA Antonio C. Bermejo Díaz ISBN: 978-84-95847-59-1 D.L.: TF-451-2012

Internet.

- * [1.1] http://www.publicacions.ub.edu/liberweb/astrologia_esferica/material/version_html/Tomo_1/1_1.htm#fig1
- * [1.2] <http://www.masmar.net/esl/Apuntes-Nauticos/Astronom%C3%ADa-Nautica/La-Esfera-Celeste.-Coordenadas>
- * [1.3] <https://layo.wordpress.com/category/navegacion-astrologica/1-las-coordenadas-celestes-reglas-del-juego/>
- * [2.1] <http://www.qmss.com/article/celestial.html>
<https://cruzdelnorte.com/blog>
- * [2.2] <http://www.qmss.com/article/celestial.html>
- * [3.1] <https://nauticajonkepa.wordpress.com/2016/01/31/triangulo-de-posicion-i/>
- * [3.2] <http://aulanautica.org/unidad/calculo-de-navegacion-capitan-yate/> // <http://aulanautica.org/unidad/teoria-de-navegacion-capitan-yate/>
- * [4.1] <http://etimologias.dechile.net/?estrella>

*[4.2] <https://sailandtrip.com/estrella-polar-la-osa-mayor/>

http://rodamedia.com/navastro/online/almanaques_reis/almanaque1.htm

https://fjferrer.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion02/3_recorrido_aparente_del_sol.html

*[5.0] <https://nauticajonkepa.wordpress.com/2012/08/27/2102-d-star-finder-identificador-de-estrellas/>

*[6.0] <https://www.constelaciones.info/orion/>

*[6.1] <https://recuerdosdepondora.com/ciencia/astronomia/precesion-de-los-equinocios-estrella-polar/>

*[6.2] https://www.ecured.cu/Cruz_del_Sur_

Imágenes

Figura 0. [1].

https://www.google.com/search?q=constelaciones&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjkrOXusPgAhUB1RoKHe8dCZcQ_AUIDigB&biw=1366&bih=608#imgrc=tEqCFexV6_kw8M:

Figura 1[2].

<https://www.monografias.com/trabajos94/navegacion-astronomica/navegacion-astronomica.shtml>

Figura 2 [3].

<https://sites.google.com/site/lacienciadelosastros/taller-de-astronomia/el-planisferio>

Figura 3 [4].

LUIS MEDEROS, Navegación astronómica 6ª ed., Madrid: Junio 2016, (WSPA), ISBN 978-84-16676-08-8.

Figura 4 [5].

<https://fjferrer.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion02/Imagen1.2.png>

Figura 5[6].

<http://aulanautica.org/unidad/teoria-de-navegacion-capitan-yate/>

Figura6[7].

Elaboración propia.

Figura 7 [8].

Elaboración propia.

Figura 8 [9].

<http://www.aprendefotografiadigital.com/afd/2016/06/14/entendiendo-las-horas-magicas-la-hora-de-oro-la-hora-azul-y-los-crepusculos-golden-hour-blue-hour-and-twilights/#axzz5hDEymGoj>

Figura 9 [10].

<https://www.celestaire.com/product/star-finder-2102-d/>

Figura 10 [11].

<https://www.astromia.com/fotouniverso/fotorion.htm>

Figura 11 [12].

<https://recuerdosdepandora.com/ciencia/astronomia/precesion-de-los-equinocios-estrella-polar/> y elaboración propia

Figura 12 [13].

https://www.ecured.cu/Cruz_del_Sur_ y elaboración propia.

13. ANEXO I (A.N 2016)

EJERCICIO CORRECCIÓN ALTURA

Sábado 9 de abril de 2016 109

UT	SOL		LUNA				Latitud	Puesta de Sol	Fin del crepúsculo		Salida de Luna		Puesta de Luna			
	SD: 16°0 PMG: 12 ^h 01 ^m 5		SD: 16°7 Edad: 1 ^d 5		PHE { 4 ^h : 61'1 12 ^h : 60'9 20 ^h : 60'7				PMG: 14 ^h 03 ^m R°: 58 ^m							
	hG	Dec	hG	Dif	Dec	Dif			Civil	Náutico	Hora	R°	Hora	R°		
0	179 36.1	+7 39.4	157 33.1	61	+11 24.8	94	60 N	19 04	19 49	20 47	6 17	32	22 06	81		
1	194 36.2	40.3	171 58.2	61	34.2	92	58	19 00	41	35	24 34	21 57	79	77		
2	209 36.4	41.2	186 23.3	60	43.4	92	56	18 55	35	24	30 37	49	77	77		
3	224 36.6	42.2	200 48.3	60	+11 52.6	91	54	52	29	15	36 38	42	75	75		
4	239 36.7	43.1	215 13.3	60	+12 01.7	91	52	48	23	07	41 40	36	74	74		
5	254 36.9	+7 44.0	229 38.3	60	+12 10.7	90	50	18 45	19 19	20 00	6 46	41	21 30	73		
6	269 37.1	+7 45.0	244 03.3	60	+12 19.6	89	45	18 38	19 09	19 45	6 56	44	21 18	70		
7	284 37.3	45.9	258 28.3	60	28.4	88	40	33	19 00	34	7 04	47	21 08	68		
8	299 37.4	46.8	272 53.3	59	37.1	87	35	28	18 54	24	12 48	20 59	67	67		
9	314 37.6	47.7	287 18.2	59	45.8	87	30	24	18 48	17	18 51	52	65	65		
10	329 37.8	48.7	301 43.1	59	+12 54.3	85	20	17	39	19 05	29 54	39	62	62		
11	344 37.9	+7 49.6	316 08.1	60	+13 02.7	84	10 N	18 10	18 32	18 56	7 39	56	20 27	61		
12	359 38.1	+7 50.5	330 33.0	59	+13 11.1	82	0	18 05	18 26	18 50	7 49	58	20 16	59		
13	14 38.3	51.4	344 57.9	59	19.3	82	10 S	17 59	20	45	7 58	61	20 06	56		
14	29 38.4	52.4	359 22.8	59	27.5	82	20	53	16	41	8 08	64	19 54	55		
15	44 38.6	53.3	13 47.6	58	35.5	80	30	47	11	39	20 66	41	52	52		
16	59 38.8	54.2	28 12.5	59	43.4	79	35	43	09	38	27 68	34	50	50		
17	74 38.9	+7 55.1	42 37.3	58	+13 51.3	79	40	17 39	18 06	18 38	8 34	71	19 25	49		
18	89 39.1	+7 56.1	57 02.2	59	+13 59.0	77	45	17 34	18 04	18 38	8 43	73	19 15	47		
19	104 39.3	57.0	71 27.0	58	+14 06.7	77	50	28	01	38	54 76	19 03	44	44		
20	119 39.4	57.9	85 51.9	59	14.2	75	52	26	18 00	39	8 59	77	18 58	43		
21	134 39.6	58.8	100 16.7	58	21.6	74	54	23	17 59	39	9 05	78	52	41		
22	149 39.8	+7 59.8	114 41.5	58	29.0	74	56	20	57	40	11 81	45	40	40		
23	164 39.9	+8 00.7	129 06.3	58	36.2	72	58	16	56	41	18 83	37	38	38		
24	179 40.1	+8 01.6	143 31.1	58	+14 43.3	71	60 S	17 13	17 54	18 42	9 26	85	18 29	35		
UT	ARIES PMG: 10 ^h 47 ^m 6		VENUS Mag.: -3.8 PMG: 11 ^h 07 ^m		MARTE Mag.: -0.8 PMG: 3 ^h 16 ^m		JÚPITER Mag.: -2.4 PMG: 21 ^h 51 ^m		SATURNO Mag.: +0.3 PMG: 3 ^h 50 ^m							
	hG	Dec	hG	Dec	hG	Dec	hG	Dec	hG	Dec						
h	° / ' / "	° / ' / "	° / ' / "	° / ' / "	° / ' / "	° / ' / "	° / ' / "	° / ' / "	° / ' / "	° / ' / "						
0	197 40.2	193 20.1	+0 14.5	310 49.0	-21 02.2	31 14.6	+7 23.0	302 25.7	-20 57.2	57.2						
1	212 42.6	208 19.8	15.7	325 51.2	02.3	46 17.2	23.1	317 28.2	57.2	57.2						
2	227 45.1	223 19.4	17.0	340 53.4	02.4	61 19.9	23.2	332 30.7	57.2	57.2						
3	242 47.5	238 19.0	18.2	355 55.6	02.5	76 22.6	23.3	347 33.3	57.2	57.2						
4	257 50.0	253 18.7	19.4	10 57.8	02.6	91 25.3	23.4	2 35.8	57.2	57.2						
5	272 52.5	268 18.3	+0 20.6	26 00.1	-21 02.7	106 27.9	+7 23.4	17 38.3	-20 57.2	57.2						
6	287 54.9	283 17.9	+0 21.9	41 02.3	-21 02.8	121 30.6	+7 23.5	32 40.9	-20 57.1	57.1						
7	302 57.4	298 17.5	23.1	56 04.5	02.9	136 33.3	23.6	47 43.4	57.1	57.1						
8	317 59.9	313 17.2	24.3	71 06.7	03.0	151 35.9	23.7	62 45.9	57.1	57.1						
9	333 02.3	328 16.8	25.5	86 09.0	03.1	166 38.6	23.8	77 48.4	57.1	57.1						
10	348 04.8	343 16.4	26.8	101 11.2	03.2	181 41.3	23.8	92 51.0	57.1	57.1						
11	3 07.3	358 16.1	+0 28.0	116 13.4	-21 03.3	196 43.9	+7 23.9	107 53.5	-20 57.1	57.1						
12	18 09.7	13 15.7	+0 29.2	131 15.6	-21 03.4	211 46.6	+7 24.0	122 56.0	-20 57.1	57.1						
13	33 12.2	28 15.3	30.4	146 17.9	03.6	226 49.3	24.1	137 58.6	57.1	57.1						
14	48 14.6	43 15.0	31.6	161 20.1	03.7	241 52.0	24.2	153 01.1	57.1	57.1						
15	63 17.1	58 14.6	32.9	176 22.3	03.8	256 54.6	24.2	168 03.6	57.1	57.1						
16	78 19.6	73 14.2	34.1	191 24.6	03.9	271 57.3	24.3	183 06.1	57.0	57.0						
17	93 22.0	88 13.9	+0 35.3	206 26.8	-21 04.0	287 00.0	+7 24.4	198 08.7	-20 57.0	57.0						
18	108 24.5	103 13.5	+0 36.5	221 29.0	-21 04.1	302 02.6	+7 24.5	213 11.2	-20 57.0	57.0						
19	123 27.0	118 13.1	37.8	236 31.3	04.2	317 05.3	24.5	228 13.7	57.0	57.0						
20	138 29.4	133 12.7	39.0	251 33.5	04.3	332 08.0	24.6	243 16.3	57.0	57.0						
21	153 31.9	148 12.4	40.2	266 35.7	04.4	347 10.6	24.7	258 18.8	57.0	57.0						
22	168 34.4	163 12.0	41.4	281 38.0	04.5	2 13.3	24.8	273 21.3	57.0	57.0						
23	183 36.8	178 11.6	42.7	296 40.2	04.6	17 16.0	24.9	288 23.9	57.0	57.0						
24	198 39.3	193 11.3	+0 43.9	311 42.5	-21 04.7	32 18.6	+7 24.9	303 26.4	-20 57.0	57.0						
Dif	-	-4	+12	+22	-1	+27	+1	+25	0	0						

CORRECCIONES PARA OBTENER LA ALTURA VERDADERA DEL SOL (LIMBO INFERIOR), PLANETA O ESTRELLA, 2016

387

TABLA A
DEPRESIÓN DE HORIZONTE

Elevación del obsdor. en metros	Corrección	Elevación del obsdor. en metros	Corrección
1.6	-2.3	12.7	- 6.4
1.7	-2.4	13.1	- 6.5
1.9	-2.5	13.6	- 6.6
2.0	-2.6	14.0	- 6.7
2.2	-2.7	14.4	- 6.8
2.3	-2.8	14.8	- 6.9
2.5	-2.9	15.3	- 7.0
2.7	-3.0	15.7	- 7.1
2.9	-3.1	16.2	- 7.2
3.1	-3.2	16.6	- 7.3
3.3	-3.3	17.1	- 7.4
3.5	-3.4	17.6	- 7.5
3.7	-3.5	18.0	- 7.6
3.9	-3.6	18.5	- 7.7
4.2	-3.7	19.0	- 7.8
4.4	-3.8	19.5	- 7.9
4.7	-3.9	20.0	- 8.0
4.9	-4.0	20.5	- 8.1
5.2	-4.1	21.0	- 8.2
5.4	-4.2	21.5	- 8.3
5.7	-4.3	22.1	- 8.4
6.0	-4.4	22.6	- 8.5
6.2	-4.5	23.1	- 8.6
6.5	-4.6	23.7	- 8.7
6.8	-4.7	24.2	- 8.8
7.1	-4.8	24.8	- 8.9
7.4	-4.9	25.4	- 9.0
7.7	-5.0	25.9	- 9.1
8.0	-5.1	26.5	- 9.2
8.4	-5.2	27.1	- 9.3
8.7	-5.3	27.7	- 9.4
9.0	-5.4	28.3	- 9.5
9.4	-5.5	28.9	- 9.6
9.7	-5.6	29.5	- 9.7
10.1	-5.7	30.1	- 9.8
10.4	-5.8	30.7	- 9.9
10.8	-5.9	31.3	- 10.0
11.2	-6.0	32.0	- 10.1
11.6	-6.1	32.6	- 10.2
11.9	-6.2	33.3	- 10.3
12.3	-6.3	33.9	- 10.4
12.7	-6.3	34.6	- 10.4

TABLA B = SOL (LIMBO INFERIOR)
SEMIDIÁMETRO, REFRACCIÓN Y PARALAJE

Altura apte.	Corrección	Altura apte.	Corrección	Altura apte.	Corrección	Altura apte.	Corrección	Correc. adicional (2016)
6 15		8 45		13 23		25 59		Ene. 1 +0'3
6 21	+ 8.2	8 54	+10.2	13 44	+12.2	27 12	+14.2	Ene. 23 +0'2
6 27	+ 8.3	9 05	+10.3	14 06	+12.3	28 32	+14.3	Feb. 27 +0'1
6 33	+ 8.4	9 15	+10.4	14 29	+12.4	29 59	+14.4	Mar. 22 +0'0
6 40	+ 8.5	9 26	+10.5	14 53	+12.5	31 34	+14.5	Abr. 13 -0'1
6 46	+ 8.6	9 37	+10.6	15 18	+12.6	33 19	+14.6	May. 6 -0'2
6 53	+ 8.7	9 48	+10.7	15 45	+12.7	35 16	+14.7	Jun. 11 -0'3
7 00	+ 8.8	10 00	+10.8	16 13	+12.8	37 25	+14.8	Jul. 27 -0'2
7 06	+ 8.9	10 12	+10.9	16 43	+12.9	39 49	+14.9	Sep. 1 -0'1
7 14	+ 9.0	10 25	+11.0	17 14	+13.0	42 30	+15.0	Sep. 25 0'0
7 21	+ 9.1	10 38	+11.1	17 47	+13.1	45 30	+15.1	Oct. 17 +0'1
7 28	+ 9.2	10 52	+11.2	18 23	+13.2	48 53	+15.2	Nov. 9 +0'2
7 36	+ 9.3	11 06	+11.3	19 01	+13.3	52 43	+15.3	Dic. 14 +0'3
7 44	+ 9.4	11 21	+11.4	19 41	+13.4	57 01	+15.4	Dic. 31
7 52	+ 9.5	11 36	+11.5	20 24	+13.5	61 51	+15.5	
8 00	+ 9.6	11 52	+11.6	21 10	+13.6	67 16	+15.6	
8 08	+ 9.7	12 09	+11.7	21 59	+13.7	73 14	+15.7	
8 17	+ 9.8	12 26	+11.8	22 53	+13.8	79 42	+15.8	
8 26	+ 9.9	12 44	+11.9	23 50	+13.9	86 30	+15.9	
8 35	+10.0	13 03	+12.0	24 52	+14.0	90 00	+16.0	
8 45	+10.1	13 23	+12.1	25 59	+14.1			

TABLA C = PLANETAS Y ESTRELLAS

REFRACCIÓN				PARALAJE (2016)				
Altura apte.	Corrección	Altura apte.	Corrección	Fechas	Venus para cualquier altura	Marte Altura aparente		
						< 30°	> 30° < 60°	> 60°
6 30	-7.8	14 00	-3.8	Ene. 1	+0'1	+0'1	+0'1	0'0
6 40	-7.6	15 00	-3.6	Mar. 8	+0'1	+0'1	+0'1	+0'1
6 50	-7.5	16 00	-3.3	Mar. 17	+0'1	+0'2	+0'1	+0'1
7 00	-7.3	17 00	-3.1	Abr. 13	+0'1	+0'2	+0'2	+0'1
7 15	-7.1	18 00	-3.0	May. 7	+0'1	+0'3	+0'2	+0'1
7 30	-6.9	19 00	-2.8	Jun. 25	+0'1	+0'2	+0'2	+0'1
7 45	-6.7	20 00	-2.6	Jul. 26	+0'1	+0'2	+0'1	+0'1
8 00	-6.5	21 00	-2.5	Sep. 5	+0'1	+0'1	+0'1	+0'1
8 15	-6.3	22 00	-2.4	Sep. 19	+0'1	+0'1	+0'1	0'0
8 30	-6.2	24 00	-2.2	Dic. 16	+0'2	+0'1	+0'1	0'0
8 45	-6.0	26 00	-2.0	Dic. 31				
9 00	-5.9	28 00	-1.8					
9 20	-5.7	32 00	-1.6					
9 40	-5.5	36 00	-1.3					
10 00	-5.3	40 00	-1.2					
10 30	-5.1	45 00	-1.0					
11 00	-4.8	50 00	-0.8					
11 30	-4.6	60 00	-0.6					
12 00	-4.5	70 00	-0.4					
12 30	-4.3	80 00	-0.2					
13 00	-4.1	90 00	0.0					

La altura aparente es la observada corregida por depresión del horizonte.
Para el uso de estas tablas, en los valores explícitos tomar el valor superior.

