



TRABAJO FIN DE GRADO

Curso 2013-2014

IDENTIFICACIÓN DE LOS CUERPOS CELESTES EN LA MAR

Tutor: Antonio Ceferino Bermejo Díaz

Alumno: Dalia María Reyes Pérez

Grado en Náutica y Transporte Marítimo.

ÍNDICE

1. Introducción.....	Pág. 5
2. La Esfera Celeste.....	Pág. 7
2.1 Esfera Celeste. Líneas y puntos principales.....	Pág. 7
2.2 Coordenadas Celestes de los Astros.....	Pág. 10
2.2.1 Coordenadas Horizontales.....	Pág. 10
2.2.2 Coordenadas Horarias.....	Pág. 12
2.2.3 Coordenadas Uranográficas Ecuatoriales.....	Pág. 14
2.3 Relación entre las distintas coordenadas que se miden en el Ecuador.....	Pág. 15
3. Trigonometría Esférica.....	Pág. 17
3.1 Demostración del teorema de senos, cosenos y cotangentes...	Pág. 17
4. Triángulo de posición.....	Pág. 22
5. Reconocimiento de Astros.....	Pág. 25
5.1 Mediante el triángulo de posición.....	Pág. 26
5.2 Identificador Americano 2102-D (Star Finder).....	Pág. 32
5.2.1 Uso del Star Finder para reconocer los Astros.....	Pág. 35
5.2.2 Puntos críticos.....	Pág. 37
5.2.3 Trazado de los Planetas.....	Pág. 37
5.3 Reconocimiento por enfilaciones.....	Pág. 39
5.3.1 Constelaciones y estrellas.....	Pág. 39

5.3.2 Estrellas obtenidas por enfilaciones de la Osa Mayor.....	Pág. 43
5.3.3 Estrellas obtenidas por enfilaciones de Orión...	Pág.46
5.3.4 Estrellas obtenidas por enfilaciones de Pegaso y Andrómeda.....	Pág. 47
5.3.5 Estrellas obtenidas por enfilaciones deCruz del Sur	Pág. 49
5.4 Sight Reduction for Air Navigation: Stars.....	Pág. 51
5.5 Reconocimiento con las Tablas Náuticas (XVI).....	Pág. 54
5.6 Reconocimiento mediante Software.....	Pág. 61
5.6.1 PC Navigator. Copyright Pacific Marine Corporation 1984, 1986, 1987.....	Pág. 61
5.6.2 WinNav Navegante 2.0 for Windows.....	Pág. 62
5.6.3 Marine Navigator. Version 1.0.29.....	Pág. 69
6. Conclusiones.....	Pág. 72
7. Bibliografía.....	Pág. 73
ANEXO I. Colección de Tablas Náuticas (XVI).....	Pág. 75

1. INTRODUCCIÓN.

Desde la más remota antigüedad, a partir de desde el momento en que la costa se pierde de vista, los navegantes han recurrido a la observación de los astros visibles para orientarse y conocer su posición.

Ya en la antigua Grecia, observando la situación de la estrella Polar, que apunta al Norte, y de otros astros, estimaban su posición. Estos conocimientos se perdieron y volvieron a Europa a través de la España musulmana en el Siglo XI.

A finales del Siglo XV el desarrollo de las grandes expediciones navales impulsaron la navegación astronómica. El método astronómico perfeccionaba los conocimientos anteriores y mediante observaciones de la altura de los astros con respecto al horizonte y unos cálculos matemáticos podía hallarse con precisión la posición de la nave.

Hasta la invención del cronómetro en el Siglo XVIII, todos los instrumentos utilizados para la navegación astronómica servían para determinar la latitud. Uno de estos instrumentos es el astrolabio, invención de los antiguos griegos, que significa “buscador de estrellas”, consiste en un inclinómetro con una alisada que sirve para localizar y predecir las posiciones de las estrellas según la hora y el día del año.

La ballestilla, es otro de estos instrumentos que se utilizaban para medir la altura de los astros sobre el horizonte determinando la latitud mediante la observación de la Polar o el Sol. Este instrumento fue la última invención náutica de la época de los grandes descubrimientos.

En el Siglo XVIII apareció el sextante que permitía medir ángulos entre un astro y el horizonte con mayor precisión. Se utiliza orientando el instrumento

perpendicularmente hacia el horizonte, se busca el astro por la mira telescópica moviendo el espejo móvil y se mide el ángulo que forman determinando la latitud.

Hoy en día se han desarrollado sistemas de ayuda a la navegación que han dejado en segundo plano la práctica de la navegación astronómica, existiendo la posibilidad de dejarla al olvido. De todas formas ya no es solo los nuevos sistemas de navegación electrónicos los que la han puesto en peligro de extinción, también ha contribuido en parte, la evolución de los medios de realizar los cálculos de navegación astronómica, que tampoco son necesarios los conocimientos básicos sobre la ciencia que la ocupa.

Para finalizar, debemos de tener en cuenta que la navegación astronómica nos puede sacar de apuros ante un fallo de los sistemas satelitarios, ya sea por disfunción del sistema, fallo en nuestro receptor, interferencias provocadas o accidentales (Jamming o Spoofing). Es por ello por lo que el Convenio STCW de la IMO establece como competencia fundamental que el Capitán y los oficiales sean capaces de obtener la situación del buque con la ayuda de los cuerpos celestes.

2. LA ESFERA CELESTE.

2.1 ESFERA CELESTE. LÍNEAS Y PUNTOS PRINCIPALES.

Todos los astros están repartidos en una gran superficie esférica que envuelve la Tierra; el radio de esta esfera es tan inmenso y arbitrario que la Tierra sería de un tamaño despreciable y se encontraría en el centro de la misma. Por tanto el centro de la Tierra y el de la esfera coinciden y por ello se le denomina Esfera Celeste Geocéntrica. Además podemos considerar que la Esfera Celeste Local, que es aquella cuyo centro son los ojos del observador también coincide con la esfera celeste Geocéntrica debido a las grandes distancias a las que se encuentran los astros.

Como ya hemos dicho, consideramos que todos los astros están proyectados en una gran Esfera Celeste y por lo tanto, en navegación, no nos interesa conocer la distancia a la que se encuentran si no la dirección con que vemos los astros.

Supongamos que el observador se encuentra en un punto cualquiera de la superficie terrestre, al prolongar el radio terrestre desde el observador la Esfera Celeste se cortará en dos puntos, el Cenit (Z) y el Nadir (N). El **Cenit** es el punto que está sobre el observador y el punto diametralmente opuesto es el **Nadir** y es, evidentemente, invisible para el observador. La línea que une el Cenit y el Nadir y por lo tanto pasa por el observador y por el centro de la Tierra se le conoce como **vertical** (Fig. 2.1).

Podemos hablar de tres tipos de horizontes, dependiendo de donde se encuentre el centro del mismo: **horizonte verdadero, astronómico o racional**, es el círculo máximo de la esfera celeste perpendicular a la línea cenit-nadir (o sea a la vertical del observador), cuyo centro coincide con el de la esfera Celeste; **horizonte aparente o del observador**, es paralelo al verdadero, por lo tanto más pequeño que éste y perpendicular a la vertical del observador, tiene como centro al observador; **horizonte visible o de mar**, es aquel que está formado por las visuales del mar y

depende de la elevación del observador. Visto todo esto, podemos adelantar que el horizonte que nos interesa es el verdadero, y por lo tanto a la hora de hacer un cálculo, reducimos la altura instrumental, que es la lectura del sextante a altura verdadera (Fig. 2.3).

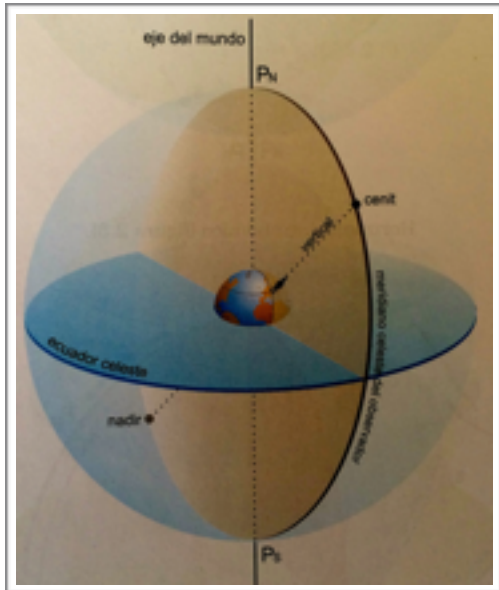


Figura 2.1. Esfera Celeste. Cenit y Nadir [1]

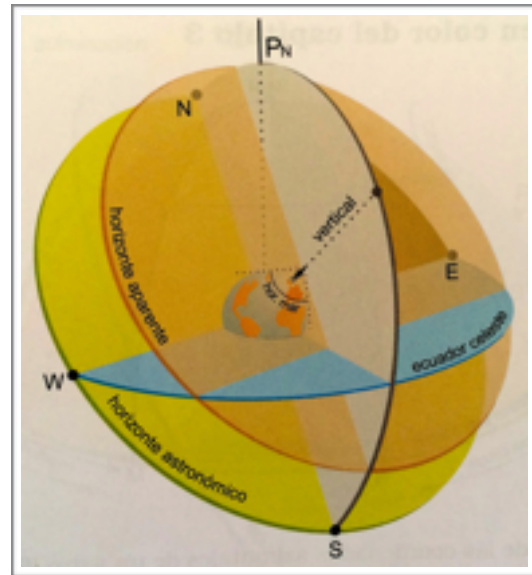


Figura 2.2. Clases de Horizontes [1]

La prolongación del eje de la Tierra corta la superficie de la Esfera celeste en dos puntos, los denominamos **Polos Celestes** y llamamos polo elevado a aquel que tiene el mismo nombre que la Latitud, ya que los polos celestes, al igual que los terrestres se denominan Norte y Sur (PN y PS). Y el polo deprimido será el opuesto.

El **Meridiano del Lugar** es aquel círculo máximo que pasa por los polos celestes además de por el Cenit y el Nadir.

El **Ecuador Celeste** (QQ') es el círculo máximo de la esfera celeste obtenido al proyectar sobre ella el ecuador terrestre, por lo tanto es perpendicular al eje de los polos celestes.

Sobre el horizonte verdadero o astronómico, tendremos los cuatro puntos cardinales, encontrándose el Norte en el punto de corte de éste con el meridiano del lugar y que esté más cercano al polo norte celeste. El sur está sobre el meridiano del lugar en el punto opuesto al anterior. El Este y el Oeste vienen determinados por la ubicación del Norte y del Sur, y la línea que los une (al Este con el Oeste), es la intersección del círculo máximo que nos marca el horizonte verdadero con el que determina el ecuador celeste.

Los polos celestes dividen al meridiano del lugar en **Meridiano superior**, que es aquel semicírculo comprendido entre los dos polos y que contiene al cenit, y en **Meridiano inferior** que es el que contiene al nadir.

A todos los semicírculos secundarios que pasan por los polos celestes se les denomina círculos horarios.

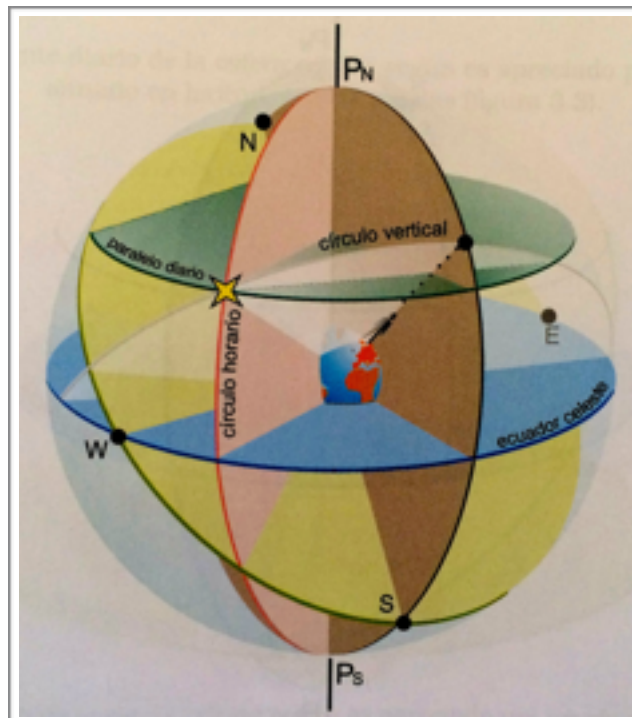


Figura 2.3. Líneas de la Esfera Celeste [1]

2.2 COORDENADAS CELESTES DE LOS ASTROS.

Después de comprender la esfera celeste, ya estamos en condiciones de definir las coordenadas celestes. Existen diferentes conjuntos de coordenadas celestes que se obtienen utilizando distintos sistemas de referencia, o sea diferentes ejes y planos básicos, para su definición.

2.2.1 Coordenadas Horizontales.

Las coordenadas horizontales tienen como ejes el horizonte verdadero y la línea cenit-nadir. Así que es evidente que las coordenadas horizontales de un astro concreto dependen de la posición del observador, pues lo hace su vertical y su horizonte. A todos los semicírculos secundarios que pasen por el cenit y el nadir se les denomina **verticales**, mientras que los círculos paralelos al horizonte se les denomina **almicantaradas**.

Supongamos que estamos observando un astro denominado **A**, las coordenadas horizontales son:

- **Altura (a)**. Es el arco de círculo vertical contado desde el horizonte verdadero o astronómico hasta el almicantarad en que se encuentra el astro. Su valor va de 0° a 90° y siempre es positiva, cuando se encuentra bajo el horizonte se suele llamar depresión. El ángulo complementario de la altura se llama **distancia cenital (Ca)**, $Ca = 90^\circ - a$.

- **Azimut (Z)**. Es el arco de horizonte, contado desde el meridiano hasta la vertical del astro. El azimut se puede contar de distintos orígenes, lo que define diferentes azimutes:

Azimut náutico o circular. Se mide desde el punto cardinal Norte hacia el Este hasta el Vertical del Astro, va de 0° a 360° .

Azimut cuadrantal. Se empezaría a contar desde el polo celeste que estuviese más cercano a la vertical del astro, con lo que se pondrá por delante el punto cardinal correspondiente al polo desde el que se va a contar (Norte o Sur) y detrás de su valor la dirección en que se contó (Este u Oeste). Siempre es menor de 90° .

Azimut astronómico. Se mide desde el punto cardinal correspondiente a la latitud del observador, poniéndose detrás de su valor si es oriental (Este), u occidental (Oeste).

El suplementario del azimut cuadrantal se llama **amplitud** ($90^\circ - Z$) y se nombra al contrario que el azimut, es decir, primero el punto cardinal (Este u Oeste) seguido de la cantidad en grados y al final el polo desde donde se cuenta el azimut (Norte o Sur).

Por ejemplo, en la Figura 2.4, suponemos que el ángulo $NOM = 45^\circ$. Entonces el azimut náutico o circular es 315° . El azimut cuadrantal es $N 45^\circ W$ y el azimut astronómico es 45° al W desde el N. La amplitud será de 45° .

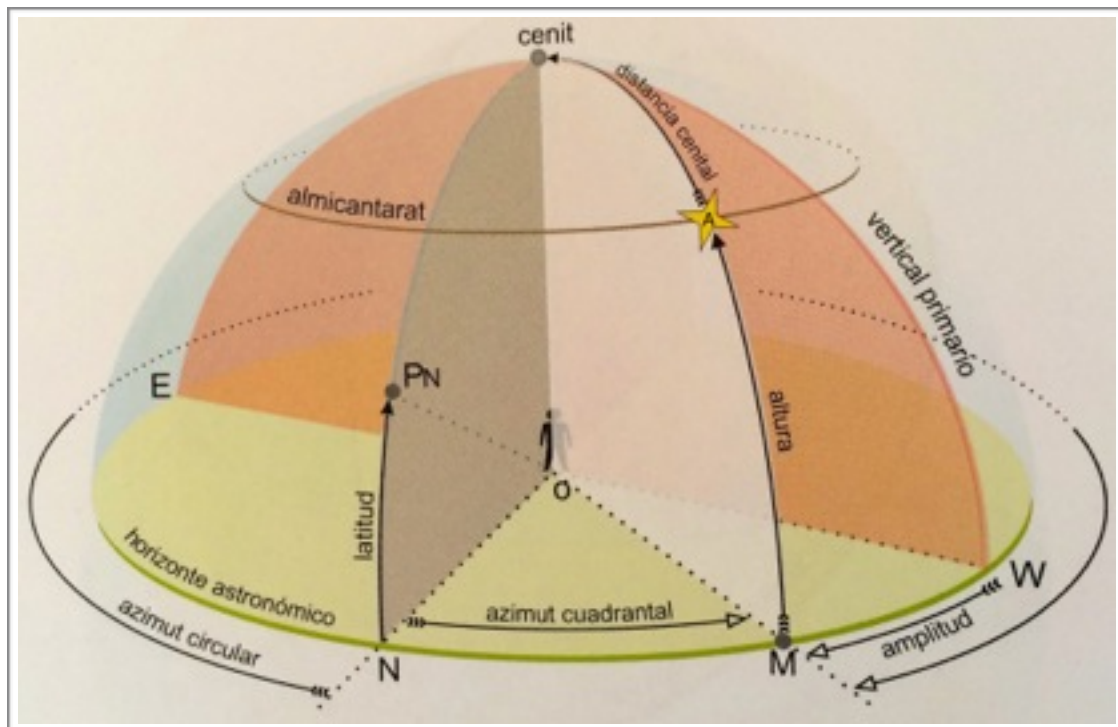


Figura 2.4. Coordenadas Horizontales [1]

2.2.2 Coordenadas Horarias.

El eje básico en este caso es el eje de los polos, el plano de referencia es el ecuador celeste y los círculos que se utilizan son el círculo horario del astro (que es el meridiano celeste del astro) y el paralelo de declinación (o paralelo diario, que es el paralelo celeste del astro). Estas coordenadas dependen del observador porque lo hace el origen que se utiliza para medir los ángulos que vamos a definir.

- **Horario en el lugar o horario (h^*L)**. Es aquel arco de Ecuador celeste contado desde el meridiano superior del lugar hacia el Oeste, hasta el semicírculo horario del astro. Por tanto, el horario del astro así definido puede tomar un valor comprendido entre 0° y 360° . Como ocurría en el caso del azimut, las diferentes maneras de contar el arco de ecuador celeste conducen a diferentes horarios. Así, el **horario astronómico** o **ángulo en el polo (P)** es el mismo que el anterior pero contado desde el meridiano superior del observador hasta el círculo horario del astro hacia el Este o el Oeste, de forma que sea menor de 180° . Esta es una magnitud muy importante porque se utiliza directamente en el cálculo de la posición a partir de observaciones astronómicas. Cuando el horario astronómico (siempre $<180^\circ$) es hacia el Oeste se llama **horario occidental** (h_w) y cuando ha de contarse hacia el Este, porque el horario occidental sería $h_w > 180^\circ$, se llama **horario oriental** (h_e).

No debemos olvidar que el meridiano de Greenwich va a ser proyectado sobre la superficie de la esfera celeste y que por lo tanto, también va a existir un **horario del astro en Greenwich (h^*G)**. Este sólo se puede contar de 0° a 360° hacia el Oeste, y no va a tener ángulo en el polo a menos que el observador se encuentre en este meridiano. Su relación con el horario del lugar (hL), se establece, evidentemente, a través de la Longitud (L) del observador.

$$hL = hG + L$$

Siendo la longitud negativa si es al Este y positiva si es al Oeste. Es importante este dato porque el almanaque náutico nos proporciona el horario en Greenwich, y para realizar los cálculos lo que nos hace falta es el horario en el lugar.

- **Declinación (d)**. Es aquel arco del círculo horario del astro, contado desde el ecuador celeste hasta el centro del mismo. Se cuenta de 0° a 90° , y decimos que las que se cuentan en el hemisferio Norte Celeste, tendrán el signo positivo, y serán de signo negativo las que se cuentan en el hemisferio Sur. En otras, la declinación de un astro no es más que su latitud celeste. La **codeclinación** o **distancia polar** del astro es el ángulo complementario de la declinación, pero teniendo en cuenta que se define siempre como la distancia angular sobre el círculo horario del astro desde el astro hasta el polo elevado (o sea, el polo de igual latitud que la del observador).

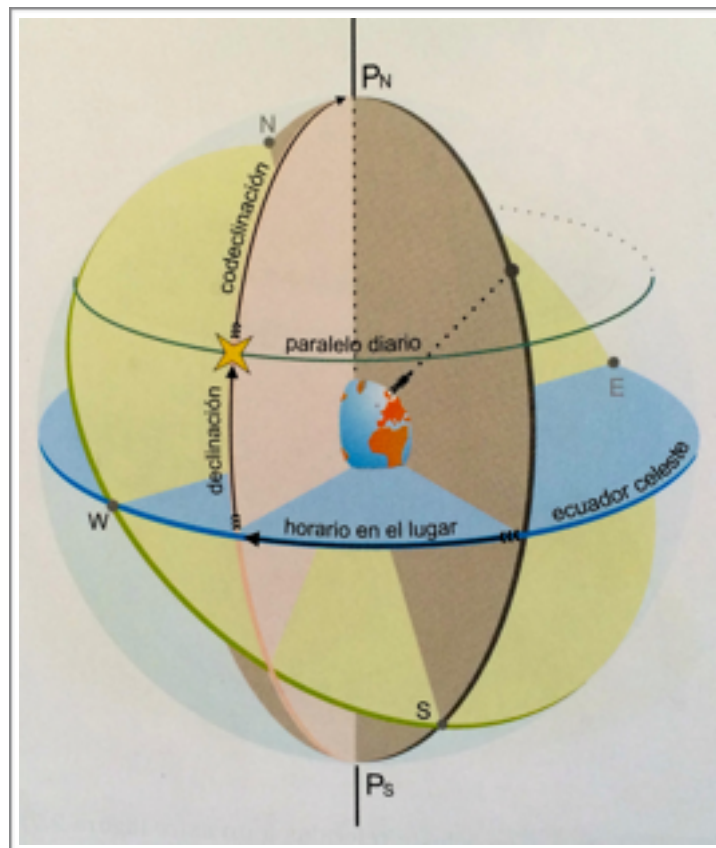


Figura 2.5. Coordenadas Horarias [1]

2.2.3 Coordenadas Uranográficas Ecuatoriales.

Antes de definir estas coordenadas, diremos que Eclíptica (E-E') es el círculo máximo que aparentemente recorre el Sol verdadero en un año; la Eclíptica está inclinada respecto al Ecuador $23^{\circ} 27'$ aproximadamente. Los puntos de corte de la Eclíptica con el Ecuador (QQ') se llaman "Aries" (♈) y "Libra" (♎), siendo Aries aquel en que al pasar el Sol cambia su declinación de Sur a Norte.

Este sistema de coordenadas no depende del observador. El plano fundamental para su definición es el ecuador celeste y el eje de referencia es el eje del mundo. Los semicírculos secundarios que unen los polos se denominan **máximos de ascensión**, que no son otra cosa que los círculos horarios o meridianos celestes de los astros. En realidad, como vamos a ver inmediatamente, las coordenadas uranográficas ecuatoriales son las mismas que las coordenadas horarias pero, con el fin de hacerlas independientes del observador, tomando el origen para medir los ángulos en el punto vernal en lugar de en el meridiano del observador.

- **Declinación (d)**. Es el ángulo correspondiente al arco de círculo horario o máximo de ascensión del astro medido desde el ecuador celeste hasta el astro, de 0° a 90° , siendo positiva cuando es hacia el Norte y negativa cuando es hacia el Sur.

- **Ángulo sidéreo (AS)**. Es el arco de Ecuador contado desde el primer máximo de ascensión (Aries), hasta el máximo de ascensión del astro, contado hacia el Oeste, o lo que es lo mismo contrario al movimiento aparente del Sol. Se cuenta de 0° a 360° .

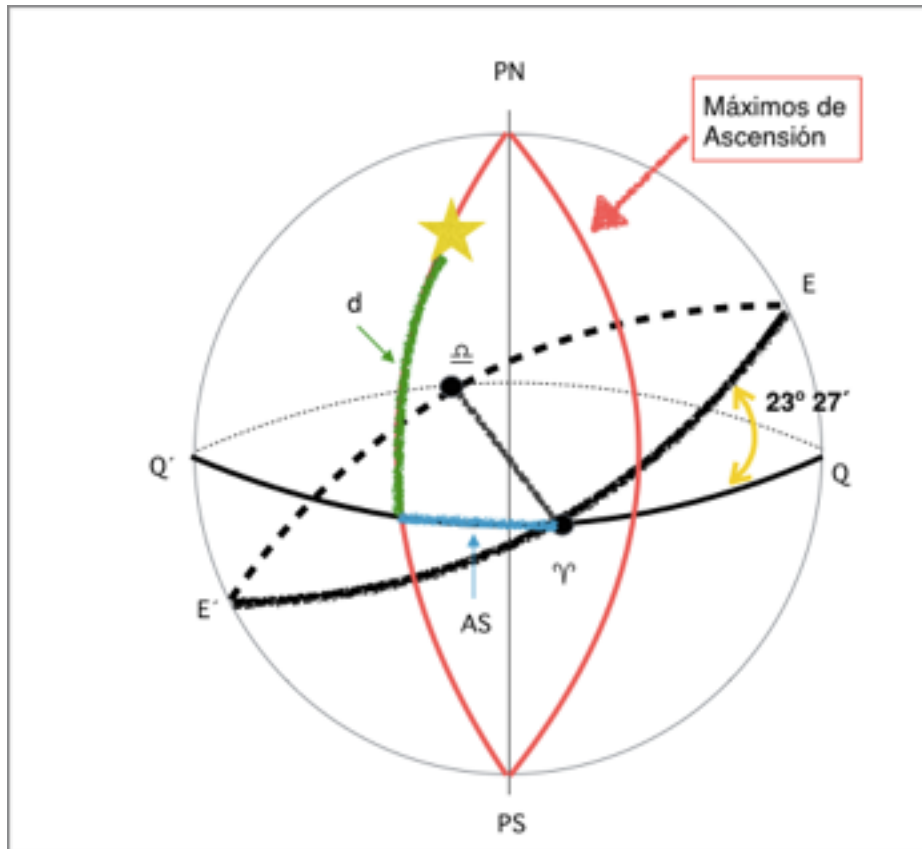


Figura 2.6. Coordenadas Uranográficas Ecuatoriales [2]

2.3 RELACION ENTRE LAS DISTINTAS COORDENADAS QUE SE MIDEN EN EL ECUADOR.

Es evidente que el horario de un astro y su ángulo sidéreo están relacionados. Para establecer esa relación definimos el horario de Aries en el lugar ($H\gamma L$) y el horario de Aries en Greenwich ($H\gamma G$) que serán, lógicamente el ángulo correspondiente al arco de ecuador celeste, de 0° a 360° hacia el Oeste, hasta el primer punto de Aries contado desde el meridiano superior del observador el primero de ellos y desde el meridiano celeste de Greenwich el segundo.

La figura representa el ecuador celeste mirado desde el polo norte celeste, muestra los conceptos antes hablados de manera gráfica y permite obtener de manera evidente una serie de relaciones entre las distintas coordenadas que se definen como

arcos de ecuador celeste. Se debe tener en cuenta que la longitud (L) del observador es positiva cuando es Este y negativa cuando es Oeste.

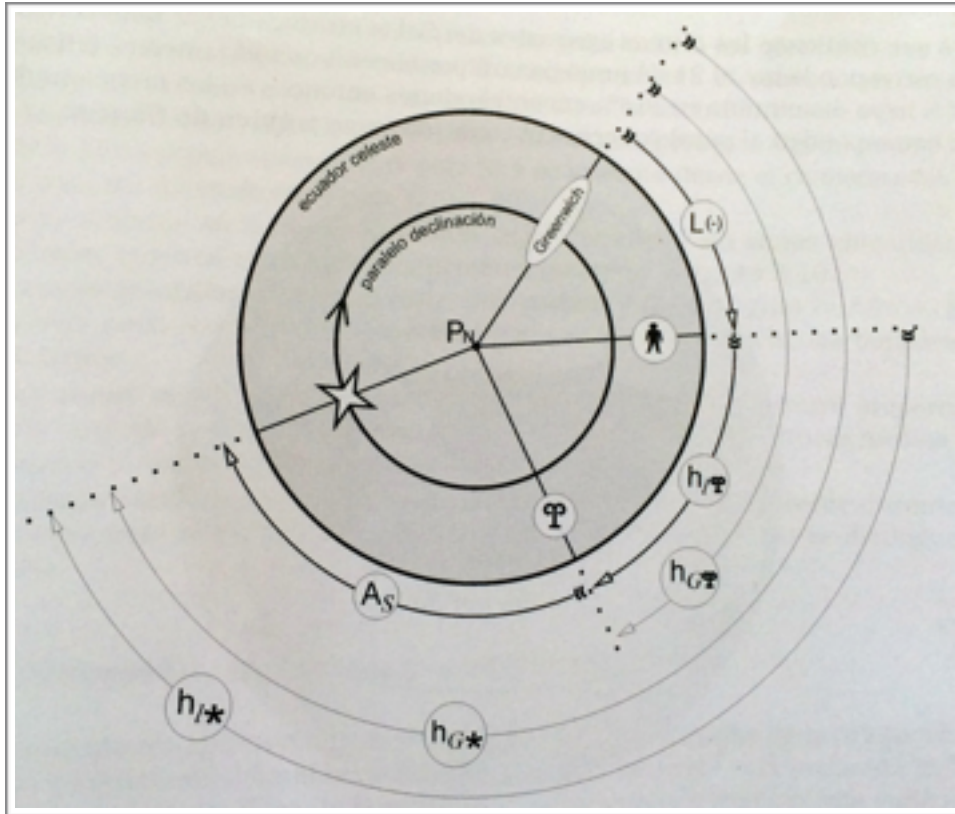


Figura 2.7. Ángulos sobre el Ecuador Celeste [1]

$$h^*L = h_{\gamma}L + AS$$

$$h^*G = h_{\gamma}G + AS$$

$$h^*L = h^*G + L$$

$$h_{\gamma}L = h_{\gamma}G + L$$

3. TRIGOMETRÍA ESFÉRICA.

3.1 DEMOSTRACIÓN DEL TEOREMA DE COSENOS, SENOS Y COTANGENTES.

Un triángulo esférico es la parte de la superficie de una esfera limitada por tres círculos máximos que se cortan entre sí, los círculos máximos son aquellos que tienen el mismo radio que la esfera y están contenidos en ella y por lo tanto sus centros geométricos coinciden con el de ésta. Como resultado de estos cortes obtendremos un diédro, el cual la superficie esférica que posee es lo que llamamos un “triángulo esférico”.

Las aristas de este diédro tendrán como longitud el radio de la esfera los ángulos en el vértice de cada una de sus caras corresponde a los lados del triángulo esférico, y los ángulos formados por una de sus caras y la adyacente, corresponde a los ángulos de dicho triángulo.

$$OA = R$$

$$OC = R$$

$$OB = R$$

$$\angle MON = a$$

$$\angle MAN = A$$

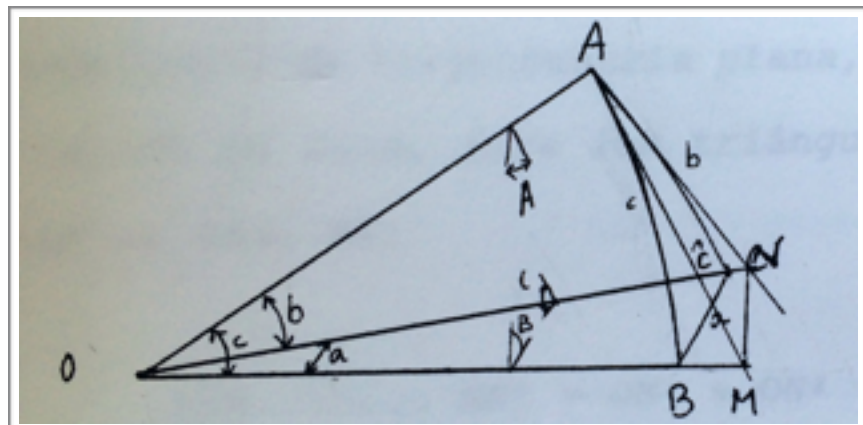


Figura 3.1. Diédro [2]

Una vez determinado el diédro, y explicando la figura anterior, vemos que al diédro le hemos dibujado otra superficie triangular tangente en A del siguiente modo: trazamos en A una tangente al lado c, que corta a la continuación de OB en el punto

M; hacemos lo mismo en el mismo punto (A) pero para el lado b, que cortará a la continuación de OC en el punto N. Ya tenemos unos nuevos triángulos que nos van a ayudar a la hora de resolver el triángulo esférico. No debemos olvidar que el triángulo MOA y NOA son triángulos rectángulos, ya que al ser AM y AN tangentes a la superficie esférica, forman un ángulo recto con el segmento OA.

De la figura anterior obtenemos las siguientes equivalencias:

- $OA = OC = OB = R$; considerando R el radio de la circunferencia.
- El ángulo $MON = a$
- El ángulo $MAN = A$

Del triángulo MOA:

- $OM = R \sec b$
- $AM = R \tan b$
- $OM^2 = AM^2 + R^2$

Del triángulo NOA:

- $ON = R \sec c$
- $AN = R \tan c$
- $ON^2 = AN^2 + R^2$

Dando por hecho los conocimientos de la trigonometría plana, vamos a aplicar el teorema del coseno de ésta, para los triángulos planos MON y MAN, para hallar el lado MN:

Del triángulo MON:

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

Del triángulo MAN:

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

Ahora restamos la ecuación del triángulo MON a la ecuación del triángulo MAN, obtendremos:

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

Si aplicamos las equivalencias que salen de la figura y ya nombradas anteriormente obtenemos:

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

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

Teniendo en cuenta lo siguiente sobre trigonometría plana:

$$- \sec \alpha = 1 / \cos \alpha; \quad \text{por lo que:} \quad \sec \alpha \cos \alpha = 1$$

$$- \tan \alpha = \sin \alpha / \cos \alpha; \quad \text{por lo que:} \quad \tan \alpha \cos \alpha = \sin \alpha$$

La ecuación de arriba nos quedará de la siguiente manera:

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

Despejando el coseno de A, nos queda:

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

Esta fórmula recibe el nombre de **teorema del coseno**. Este teorema nos dice:

El coseno de un lado es igual al producto de los cosenos de los otros dos lados más el producto de los senos de esos mismos dos lados por el coseno del ángulo opuesto al lado de partida.

De esta fórmula se pueden sacar expresiones similares utilizando los otros lados y ángulos.

Una vez demostrado el teorema del coseno y definido lo que es un triángulo esférico, nos queda por demostrar el teorema del seno y la cotangente. Para ello vamos a partir del teorema del coseno, relacionando dos lados y sus ángulos opuestos, y vamos a sumar y restar las dos ecuaciones. Por lo que:

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

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

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

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

Reagrupando y sacando factor común, nos queda:

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

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

Multiplicando una por otra y aplicando la regla de suma por diferencia de cuadrados, nos queda:

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

Como $1 - \cos^2 c = \sin^2 c$, podemos dividir uno y otro miembro de la igualdad 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 por la que sirvió para deshacernos de el lado “c”, tenemos:

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

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

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

Tomando raíz cuadrada a uno y a otro lado de la igualdad, obtenemos:

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

Esta fórmula es conocida como el **teorema del seno**, con éste teorema y con el de los cosenos, hallaremos el teorema de la cotangente:

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

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

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

Sustituyendo y realizando las operaciones adecuadas:

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

Reagrupando y sacando factor común:

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

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

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

Esta última fórmula es la conocida como **teorema de las cotangentes**. Lo que nos viene a decir:

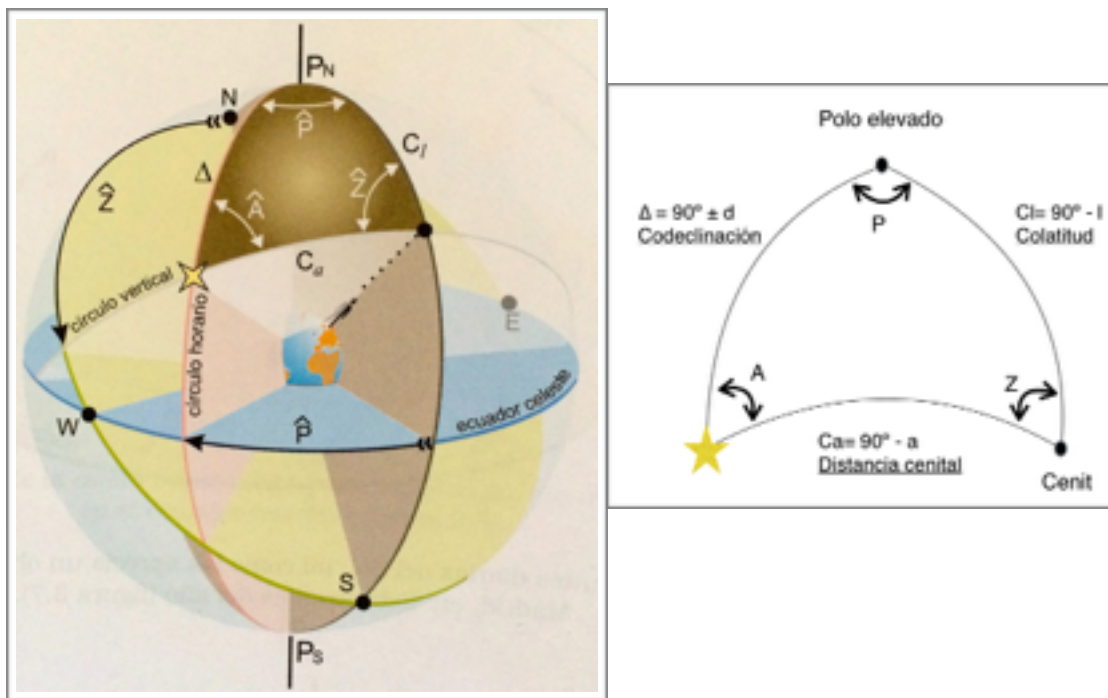
La cotangente de un lado por el seno de otro es igual al coseno de este último lado por el coseno del ángulo comprendido más el seno de éste último ángulo por la cotangente del ángulo opuesto al primer lado.

De esta fórmula se pueden sacar expresiones similares utilizando los otros lados y ángulos.

Estos teoremas se aplicarán más adelante a la hora de resolver el triángulo de posición.

4. TRIANGULO DE POSICIÓN.

Suponemos que tenemos una esfera celeste en la que hemos dibujado las coordenadas horarias y horizontales de un astro cualquiera denominado "A". Esto origina un triángulo formado por los vértices: Polo elevado (P), cenit (Z) y astro (A).



Figuroa 4.1 Triángulos de posición [1]

Como vemos en la imagen anterior, los lados son los siguientes:

- Si el arco medido sobre el meridiano superior de lugar medido desde el Ecuador celeste hasta el cenit es la latitud del observador, el lado comprendido entre el polo elevado (P) y el vértice anteriormente nombrado, será la colatitud ($cl = 90^\circ - l$).

- Si el arco medio sobre el vertical del astro desde el horizonte hasta el centro del mismo es la altura verdadera, el lado que queda comprendido entre los vértices astro (A) y cenit (Z) es la distancia cenital ($Ca = 90^\circ - a$).

- Si el arco medido sobre el horario del astro desde el Ecuador celeste hasta el centro del mismo es la declinación, el lado que queda definido por los vértices polo elevado ya astro, es la codeclinación ($\Delta = 90^\circ \pm d$).

Cada uno de los vértices da el nombre al ángulo del triángulo en el que se encuentran, así tendremos el ángulo en el polo, ángulo cenital, y la única excepción, el ángulo que se encuentra en el vértice donde se encuentra el astro recibe el nombre de ángulo paralítico.

Es importante saber los valores máximos que pueden tener los lados y los ángulos. Son los siguientes:

- La colatitud siempre va a ser positiva y menor de 90° , ya que la latitud también lo es.

- La distancia cenital también va a ser siempre positiva y menor de 90° .

- La codeclinación si que va a variar, ya que puede ser un valor mayor de 90° , debido a que si la latitud es negativa, entonces la codeclinación es: $\Delta = 90 + d$, siendo “d” en valor absoluto. Entonces podemos decir que este valor está comprendido entre 0° y 180° .

- El ángulo en el cenit, debido a las propiedades de los triángulos esféricos, no puede ser mayor de 180° . Entonces, sabido esto podemos decir que el ángulo en el cenit y el azimut astronómico coinciden.

- El ángulo en el polo, es igual al horario del lugar contado de 0° a 180°

- El ángulo paraláctico no interesa para el estudio de la astronomía náutica.

El triángulo que ha quedado definido, se puede proyectar sobre la superficie terrestre, y lo único que va a variar es la denominación del vértice donde se encuentra el astro, proyección que se va a llamar polo de iluminación del astro o punto astral. Este triángulo también se denomina triángulo de posición.

Una vez definido el triángulo de posición, sólo nos quedaría resolverlo y todo se reduce a aplicar los teoremas de la trigonometría esférica, ya explicados, para obtener a partir de datos que se conocen aquellos que nos interesan.

Básicamente con los problemas que nos podemos encontrar son dos:

-Conocida la situación del observador y el horario y la declinación del astro, hallar su altura y azimut.

- Conocida la situación del observador y la altura y azimut del astro hallar su horario y declinación y reconocer el astro.

El primer caso no lo vamos a resolver, ya que lo que abarca el trabajo es el reconocimiento de astro y en esta situación se supone que el astro es conocido.

El segundo caso lo resolvemos más adelante, a la hora de explicar los diferentes métodos de reconocer un astro.

5. RECONOCIMIENTO DE ASTROS.

El problema de reconocimiento e identificación consiste en conocer el nombre del Astro que observamos para tomar en el Almanaque Náutico sus coordenadas.

Los astros pueden ser reconocidos de varias formas:

- Por enfilaciones.
- Con la Naviesfera.
- Con identificadores.
- Con tablas náuticas (XVI).
- Trabajando el triángulo de posición
- Con la Publicación Especial N° 4.
- Con las Tablas de identificación del Observatorio de Marina.
- Programas Software

Con enfilaciones, naviesferas e identificadores, obtenemos directamente el nombre del Astro. Empleando los otros métodos, calculamos aproximadamente las coordenadas uranográficas ecuatoriales (AS y d) o, para planetas, las horarias (hG y d) obteniendo en el Almanaque Náutico el nombre del Astro.

No se explicarán todos los métodos, nos centraremos en el reconocimiento de astros mediante las enfilaciones de las estrellas conociendo las constelaciones; utilizando el identificador H.O 2102-D; trabajando con el triángulo de posición mediante las fórmulas sacadas de los teoremas, ya explicados anteriormente; también explicaremos el uso de las tablas náuticas XVI, construidas para calcular el Azimut, como las “Sight Reduction Tables For Air Navigations”, y explicaremos como se utilizan tres programas de software.

5.1 MEDIANTE EL TRIÁNGULO DE POSICIÓN.

Este es un caso práctico que se utiliza frecuentemente cuando se navega utilizando las estrellas, por lo cuál, a la hora de reconocer un astro resolviendo el triángulo de posición lo que debemos de hallar es el horario y la declinación para poder realizar el reconocimiento por lo medios facilitados en el almanaque.

Este método se debe de llevar a cabo a la hora del crepúsculo, es decir, en el intervalo de tiempo que precede a la salida del Sol y sigue a la puesta del Sol. Esto es así porque es cuando podemos utilizar las estrellas para navegar, debido a que vemos tanto la estrella como el horizonte y podemos medir la altura de la estrella.

A la hora del crepúsculo, observamos un astro desconocido del cual medimos su altura con el sextante y su azimut con compases especialmente diseñados para este fin.

Para poder obtener en el Almanaque Náutico el nombre de la estrella necesitaremos el ángulo sidéreo y la declinación. Pero si el astro a reconocer es un planeta en vez del ángulo sidéreo, necesitaremos el horario en Greenwich.

Lo primero que debemos de hacer es dibujar el triángulo de posición correspondiente indicando lo valores de los lados y los ángulos conocidos como las incógnitas. Mediante una visualización a la imagen podremos definir las leyes de la trigonometría que nos conviene utilizar.

Los datos conocidos son:

- La altura.
- El azimut
- La latitud

Las incógnitas son:

- La declinación
- El ángulo "P"

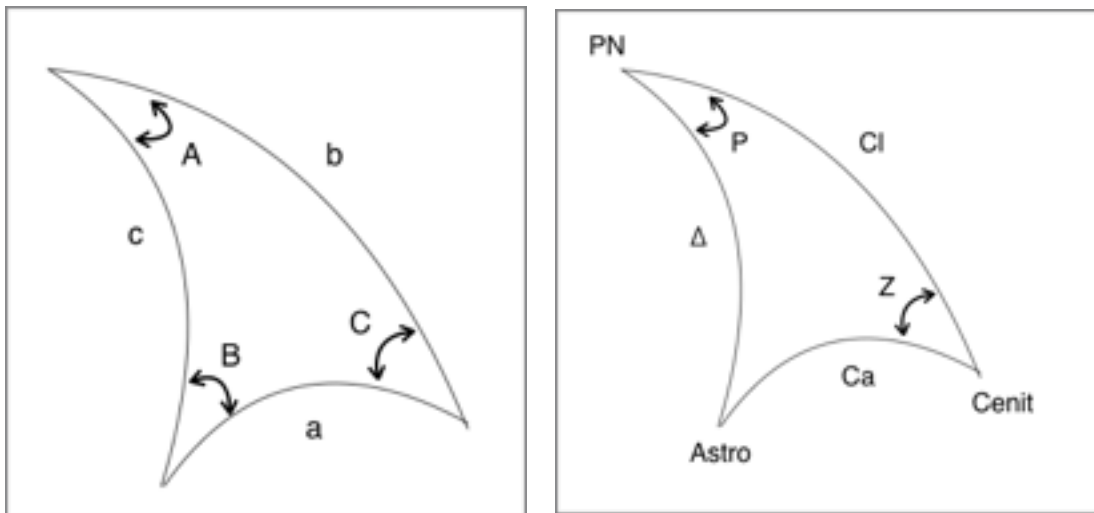


Figura 5.1 Triángulo de posición con datos e incógnitas [2]

Comenzaremos hallando el ángulo horario (P) y el ángulo sidéreo (AS) , empleando la siguiente fórmula:

$$\tan a \cos l = \sin l \cos Z + \sin Z \cotan P , \quad \text{despejando } \cotan P$$

$$\cotan P = (\tan a \cos l - \sin l \cos Z) / \sin Z$$

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

Con lo cuál obtenemos una fórmula binómica, si en ella hacemos:

$$\mathbf{A = \tan a \cos l \operatorname{cosec} Z}$$

$$\mathbf{B = \sin l \cot Z}$$

$$\mathbf{\cotan P = A+B}$$

La regla de signos será la siguiente:

A + → será siempre positivo.

B + → Cuando Z se cuente desde distinto nombre que la latitud.

B - → Cuando Z se cuente desde el mismo nombre que la latitud.

Si $\cotan P \rightarrow +P < 90^\circ ; -P > 90^\circ$

El ángulo en el polo corresponderá al horario oriental u occidental, según el hemisferio en el que se halle el astro.

$h \rightarrow$ Si Z es al Este, Polo al Este "PE", (h oriental)

$h \rightarrow$ Si Z es al Oeste, Polo al Oeste "PO", (h occidental)

$$hL = PW \quad hL = 360^\circ - PE$$

Como ya hemos nombrado anteriormente, sabemos que:

$$hL = h\gamma L + AS; \text{ despejando,}$$

$$AS = h * L - h\gamma L$$

Si se tratara de un planeta: $hG = hL + L$

Una vez hallado el horario, nos toca calcular la declinación, y para ello utilizaremos la siguiente fórmula:

$$\sin d = \sin a \sin l + \cos a \cos l \cos Z$$

De nuevo obtenemos una fórmula binómica, si hacemos:

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

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

$$\sin d = A + B$$

La regla de signos será la siguiente:

$A + \rightarrow$ será siempre positivo.

$B + \rightarrow$ Cuando Z se cuente desde el mismo nombre que la latitud.

$B - \rightarrow$ Cuando Z se cuente desde diferente nombre que la latitud.

Si $\sin d \rightarrow +$; tendrá igual signo que la latitud.

Si $\sin d \rightarrow -$; tendrá distinto signo que la latitud.

Ya tenemos todos los datos necesarios para identificar el astro, ahora lo que tenemos que hacer es ir al almanaque náutico para el día observado y que astro se corresponde con los datos obtenidos.

Ahora se realizará un ejemplo práctico de reconocimiento de una estrella y otro de un planeta, para comprender y aplicar lo explicado anteriormente.

Ejemplo. El día 27 de Julio de 2013 nos encontramos en posición estimada $le=28^{\circ}28,5'N$ y $Le=16^{\circ}15' W$. Calculamos la hora del crepúsculo vespertino para saber cuando podemos realizar la observación.

Puesta de Sol

$$le = 30^{\circ} \text{ ——— } 18:57$$

$$hcL = TU - L (+W; -E)$$

$$18:57 = TU - (+16^{\circ} 15'/15)$$

$$18:57 = TU - 1^{\circ} 05'$$

$$TU = 20:02$$

Fin del Crepúsculo

$$le = 30^{\circ} \text{ ——— } 19:23$$

$$hcL = TU - L (+W; -E)$$

$$19:23 = TU - (+16^{\circ} 15'/15)$$

$$19:23 = TU - 1^{\circ} 05'$$

$$TU = 20:28$$

Le restamos la hora de Fin del crepúsculo a la Puesta de Sol, para obtener la ventana de tiempo que tenemos para observar.

$$20:28 - 20:02 = \underline{00:26}$$

Este es el tiempo que tenemos para observar a partir de la puesta de Sol, por lo tanto ahora se elige la hora de la observación. **TU = 20:15**

A la TU= 20 : 15, es cuando observamos y vemos un astro con una altura verdadera aproximada a $av= 38^{\circ} 16'$ y un azimut aproximado de $Z= 162^{\circ}$. Con estos datos identificar el astro.

DATOS

$av= 38^{\circ} 16'$

$Z= 162^{\circ}$ $Z= S 18 E$

$l= 28^{\circ} 28.5'N$

$L= 16^{\circ} 15'W$

-Cálculo del Ángulo horario del astro y el ángulo sidéreo.

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

$A= 2,243832315 (+)$

$h^*L = 360^{\circ}-PE$

$B= 1,467363364 (+)$

$h^*L= 344^{\circ} 55,2'$

$\cotan P = 3,711195679$

$P = 15^{\circ} 04,8' E$

Ahora tenemos que calcular el $h\gamma L$ ($h\gamma G= h\gamma L +L$; +W, -E), para poder obtener el Ángulo Sidéreo ($AS= h^*L - h\gamma L$), para ello nos metemos en el Almanaque Náutico con el Tiempo Universal (TU) y hallamos $h\gamma G$.

$h\gamma Gp= 245^{\circ} 39,7'$

$c_{xmxs}= 3^{\circ} 45,6'$

$h\gamma G= 249^{\circ} 25,3'$

$L= 16^{\circ} 15'+ (-)$

$h\gamma L= 233^{\circ} 10,3'$

$h^*L= 344^{\circ} 55,2'$

$AS= 111^{\circ} 44,9'$

-Cálculo de la declinación.

$$A = \sin a \sin l \quad B = \cos a \cos l \cos Z \quad \sin d = A + B$$

$$A = 0,2952775795 (+)$$

$$B = 0,6563764713 (-)$$

$$\sin d = -0,3610988918$$

$$d = 21^{\circ} 10,0'S$$

Ya tenemos la declinación y el ángulo sidéreo, por lo tanto en el Almanaque Náutico, en el catálogo de estrellas, buscamos que estrella tiene los datos próximos a los que hemos calculado.

La estrella que se aproxima a nuestros datos es ANTARES, con un AS= $112^{\circ} 25,9'$ y $d=26^{\circ} 27,6'S$.

5.2 IDENTIFICADOR AMERICANO 2102-D (Star Finder).

El Star-finder N°2102 D, normalmente se denomina sólo “Star Finder”, es el medio más común utilizado en la Navegación Astronómica para auxiliar al navegante a identificar y localizar los Astros.

El identificador está diseñado para determinar los valores aproximados de Azimut verdadero y altura de las 57 estrellas listadas en el Almanaque Náutico y de los otros astros que puedan ser dibujados en la placa base (inclusive los cuatro planetas utilizados en Navegación Astronómica; Venus, Marte, Júpiter y Saturno), mientras estén encima del horizonte del observador, para un determinado sitio y hora.

La precisión de los datos obtenidos en el “Star Finder” es considerada generalmente de $\pm 3^\circ$ a 5° , en altura y Azimut verdadero, lo que es bastante para permitir la correcta identificación de los astros a ser observados o la identificación de los astros a ser observados o la identificación posterior de un astro de oportunidad.

La unidad completa consiste en:

-Una **placa base** (“base plate” o “star base”), de forma circular de menos de 30 cm de radio, construida en plástico blanco, opaco, con un pequeño pincho en el centro, teniendo impresa en ambos lados las posiciones de las 57 estrellas usadas en navegación astronómica.

Esta placa base, impresa por las dos caras, una para cada hemisferio, es en realidad, un conjunto de dos cartas celestes, una para el Hemisferio Norte Celeste (con el Polo Norte Celeste como su centro) y otra para el Hemisferio Sur Celeste (con el Polo Sur Celeste como centro). Estas Cartas Celestes son construidas en la Proyección Polar Azimutal Equidistante.

Las 57 estrellas utilizadas en Navegación Astronómica son dibujadas en las Cartas Celestes de la Placa Base por sus coordenadas Ecuatoriales uranográficas, Ascensión

Recta (AR) y Declinación (Dec). Las coordenadas ecuatoriales uranográficas de las estrellas varían muy poco. Por esta razón, ellas pueden ser dibujadas en las Cartas Celestes de la Placa Base de una forma permanente, lo que no ocurre con los otros astros usados en navegación astronómica (planetas, Sol y Luna), que están en constante movimiento entre las estrellas.

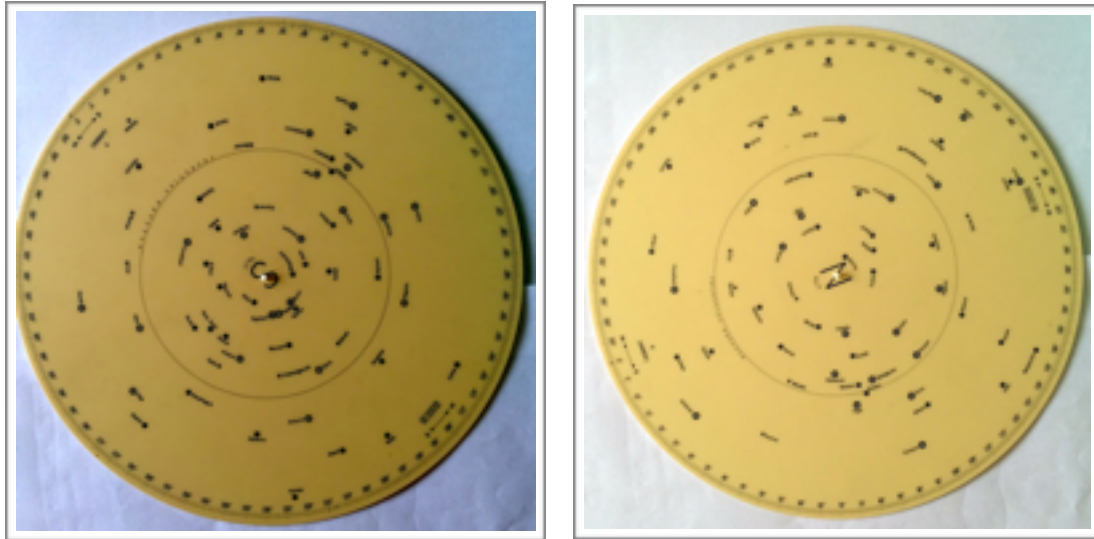


Figura 5.2. Placa Base [3]

-**Nueve diagramas de latitud**, o “plantillas” circulares de Altura-Azimut, en plástico transparente, con líneas impresas en azul.

Estas “plantillas” son proyectadas para posibilitar la determinación de los Azimutes y alturas de los astros. hay una “plantilla” para cada 10° de Latitud, Norte o Sur, de 5° hasta 85°. Cada “plantilla” está impresa en ambos lados: uno para la Latitud Norte, otro para la Latitud Sur.

Cada “plantilla” de Latitud presenta el Sistema de Coordenadas Horizontales en un conjunto de curvas ovals de altura (almicantaradas), a intervalos de 5^a, con la curva más exterior representando el horizonte celeste (altura cero), y un conjunto de curvas radiales de Azimut, también a intervalos de 5°.

Todas las curvas impresas en ambos lados están rotuladas a intervalos de 10°.

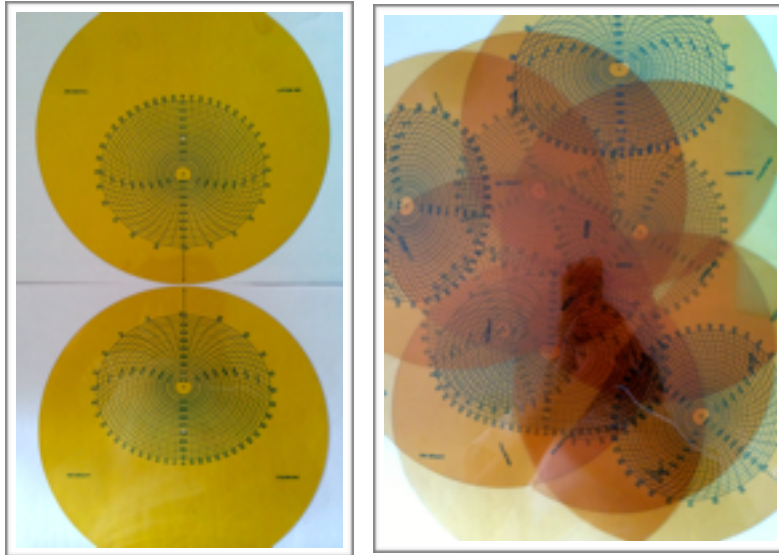


Figura 5.3. Diagrama de Latitud [3]

-Una **“plantilla” circular de Ángulo en el Polo-Declinación**, en plástico transparente, con líneas impresas en rojo. Esta “plantilla” presenta el Sistema de Coordenadas Ecuatoriales Horarias en un conjunto de curvas concéntricas, una para cada 10° de Declinación, y un conjunto de líneas radiales de Ángulo en el Polo, también rotuladas cada 10° al Este y al Oeste. Además tiene una abertura que permite dibujar fácilmente sobre la Placa Base a los astros que tengan una declinación entre 30° N y 30° S. Dicha “plantilla” es usada normalmente para dibujar un planeta sobre la Placa Base u otros astros distintos de las 57 estrellas elegidas. Puede ser empleada con la Plantilla de Latitud correspondiente para estimar el Ángulo en el polo y recordar la declinación de los astros.

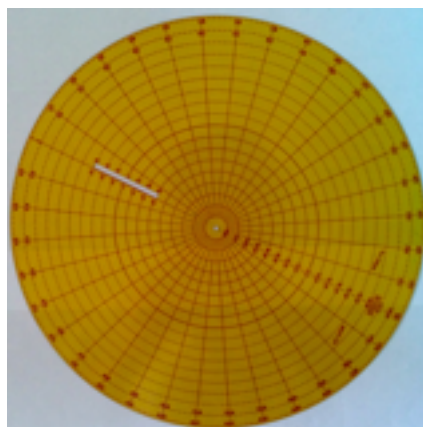


Figura 5.4. Plantilla de Ángulo en el Polo- Declinación.

5.2.1 Uso del Star-Finder para reconocer los astros.

El reconocimiento de astros mediante el Star-Finder, se realiza de la siguiente manera:

1- Tendremos que calcular el horario en Greenwich de Aries ($h\gamma G$) y lo pasamos a horario del lugar en Aries ($h\gamma L$).

Para ello entramos con el día en el que nos encontramos en el almanaque náutico (AN) y con la hora en tiempo universal (TU), obtenemos $h\gamma G$, le aplicamos la longitud de la situación estimada en la que estamos y se pasa a $h\gamma L$.

$$h\gamma G = h\gamma L + L (+W; -E)$$

2- Ponemos el disco transparente de latitud más próxima a la que nos encontramos sobre el disco-base, de forma que los discos sean ambos Norte o Sur de acuerdo con la latitud.

Giramos el disco transparente hasta que su índice nos marque en el disco-base el $h\gamma L$ que hemos calculado anteriormente.

3- Las estrellas visibles están dentro del hemisferio visible del observador. En la curva exterior, en la graduación que vemos los números en su posición correcta, tomando el Azimut (0° a 360°) y sobre el vertical correspondiente el valor de la altura; en este punto o muy próximo a él, estará la estrella que queremos reconocer.

Ahora, realizaremos un ejercicio práctico para comprender y aplicar lo explicado.

Ejemplo. El día 8 de Diciembre de 2012, nos encontramos en situación estimada, $l = 28^\circ 28.12' N$ $L = 16^\circ 15' W$. Al ser hora, $TU = 00:59.4$, observamos la altura

verdadera de un astro desconocido que es $a_v = 38^\circ 27.7'$, mientras que su azimut $Z = 148^\circ 4.2'$.

DATOS

$$a_v = 19^\circ 09' N$$

$$Z = 75' 8 \quad Z = N 75' 8 E$$

$$l = 28^\circ 24' N$$

$$L = 16^\circ 32.4' W$$

Lo que necesitamos para saber de que estrella se trata es el horario de Aries en el lugar ($h\gamma G = h\gamma L + L ; +W ; -E$), por lo que tendremos que calcular el horario de aries en Greenwich ($h\gamma G$), el cual lo obtenemos del almanaque náutico con el tiempo universal.

$$h\gamma G_p = 77^\circ 09.3'$$

$$c_{xmxs} = 14^\circ 53.4'$$

$$h\gamma G = 92^\circ 02.7'$$

$$L = 16^\circ 15' + (-)$$

$$h\gamma L = 75^\circ 47.7'$$

En el disco base, con centro en el Polo Norte, colocamos el disco de latitud Norte con el valor de 25° , ya que es la latitud más próxima a la nuestra. Giramos el disco transparente hasta leer en el índice el valor $75^\circ 50'$. La estrella que tiene en ese instante por coordenadas $Z = 148^\circ$ y $a = 38^\circ$ es: SIRIUS

5.2.2 Puntos críticos.

Los puntos críticos en la utilización del “Star finder”, que provocan la mayoría de los errores en su empleo y que, por tanto, requieren el máximo de atención del navegante, son:

- Usar siempre el lado correcto de la “Star base”, esto es, usar siempre la Carta Celeste correspondiente al Polo elevado del observador (del mismo nombre que la Latitud estimada del observador).
- Usar siempre el lado correcto del Diagrama de Latitud, correspondiente a la Latitud estimada del observador en el instante planeado para las observaciones.
- Verificar que el valor del AHL γ esté correcto para la posición y hora planeada para las observaciones. Si el AHL γ estuviera errado, todos los otros datos obtenidos del “Star Finder” también lo estarán.
- Prestar atención a las lecturas de los Azimutes previstos, que deberán ser hechas en la escala interna del diagrama de latitud, si la latitud es Norte, o en la escala externa del diagrama, si la latitud es Sur.
- Prestar atención para que las lecturas de las alturas previstas, en las curvas del Diagrama de Latitud, sean hechas correctamente.

5.2.3 Trazado de los Planetas.

El “Star Finder” también puede ser usado para obtener los Azimutes Verdaderos y alturas previstos de los planetas disponibles para observación en un determinado sitio y hora. Para esto, se deben dibujar en la Carta Celeste impresa en el lado de la placa base del “Star Finder” correspondiente al Polo elevado del observador.

Como las posiciones de los planetas están continuamente cambiando, en relación a las estrellas (prácticamente fijas, entre sí), los planetas no pueden ser

permanentemente representados en la placa base del “Star Finder”, como ocurre con las 57 estrellas usadas en Navegación Astronómica.

De esta forma, los planetas deben ser dibujados en la placa base para la fecha y hora en que se planea hacer las observaciones con el sextante. Los planetas son dibujados en el “Star Finder” por su Ascensión Recta (AR) y Declinación.

Obtenemos del almanaque náutico el $h\gamma G$ y hpG (horario de Greenwich en el planeta) a la misma hora. Por diferencia entre estos dos horarios obtenemos la Ascensión Recta (AR) del planeta.

$$AR = H\gamma G - HPG$$

Con la Ascensión Recta (AR) y la Declinación (Dec), se traza el planeta en la placa base del Star Finder con el auxilio de la “plantilla roja”, orientando el “cero” en la “plantilla” para el valor de la AR del planeta y marcando a lápiz, un punto a la altura de la Declinación (Dec) del planeta, obtenida del almanaque náutico, en el hueco de la “plantilla”.

Aunque los planetas alteren su posición en relación a las estrellas, una posición trazada en el “Star Finder” podrá servir para un período de días dependiendo del planeta. Habrá que variarla con la frecuencia siguiente:

- Staurno..... cada 3 meses.
- Júpiter..... cada 2 meses.
- Marte y Venus..... cada 14 días.

5.3 RECONOCIMIENTO POR ENFILACIONES.

Conociendo algunas Constelaciones y estrellas principales, podemos reconocer otras estrellas trazando mentalmente enfilaciones o líneas imaginarias en la Esfera Celeste.

Para obtener las enfilaciones primero vamos a explicar cuatro Constelaciones para poder determinar las estrellas que se obtienen a partir de ellas.

5.3.1 Constelaciones y estrellas.

Se llaman constelaciones a los grupos de estrellas que desde la Tierra vemos con forma determinada. Los nombres de las Constelaciones suelen ser mitológicos como Orion, Perseo, Andrómeda...o nombres de animales u objetos, Osa mayor, León, Corona Boreal...sugeridos por las formas que presentan y la fantasía de los primeros observadores.

Las estrellas se denominan dentro de la constelación con letras griegas, si no llegan con letras latinas y también con números. Siempre la letra α es para la Estrella de mayor magnitud aparente (la más brillante) de la Constelación, las siguientes β , γ δ , etc. se suelen dar de mayor a menor magnitud, o también teniendo en cuenta la posición de la estrella respecto a la más brillante, o sea la que tiene la letra α .

Las estrellas principales o de mayor magnitud, también se conocen con nombre propio. Las mayoría son de origen árabe, como Altair (águila volante), otros de origen griego y latino, como Arcturus y Regulus (pequeño rey); otras se nombran según el lugar de la constelación en la cual se encuentran, por lo que a Aldebarán se le llamó “ojo del Toro”; Rigel, “pie izquierdo de Orión”.

Existen 88 Constelaciones conocidas. Nosotros como ya comentamos al principio explicaremos cuatro de ellas, no porque sean las más importantes, sino porque al

estar situadas en zonas del Firmamento diferentes, nos sirven para reconocer las estrellas observables en Navegación.

OSA MAYOR

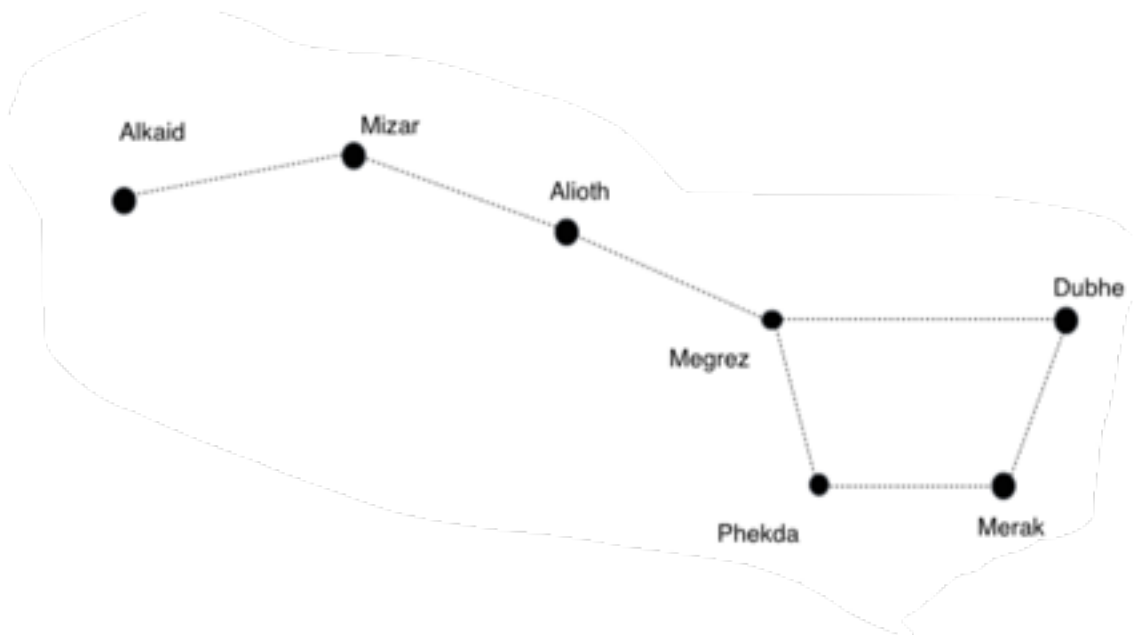


Figura 5.5. Osa Mayor [4]

La forman, principalmente, siete estrellas, todas ellas de segunda magnitud, menos Phekda, que es de tercera. Las cuatro primeras forman un cuadrilátero y las otras tres forman una especie de cola o lanza. A esta constelación también se le conoce con el nombre de “Carro”.

Desde latitudes superiores a 45° Norte esta constelación está siempre sobre el horizonte, es decir que es circumpolar.

ORION

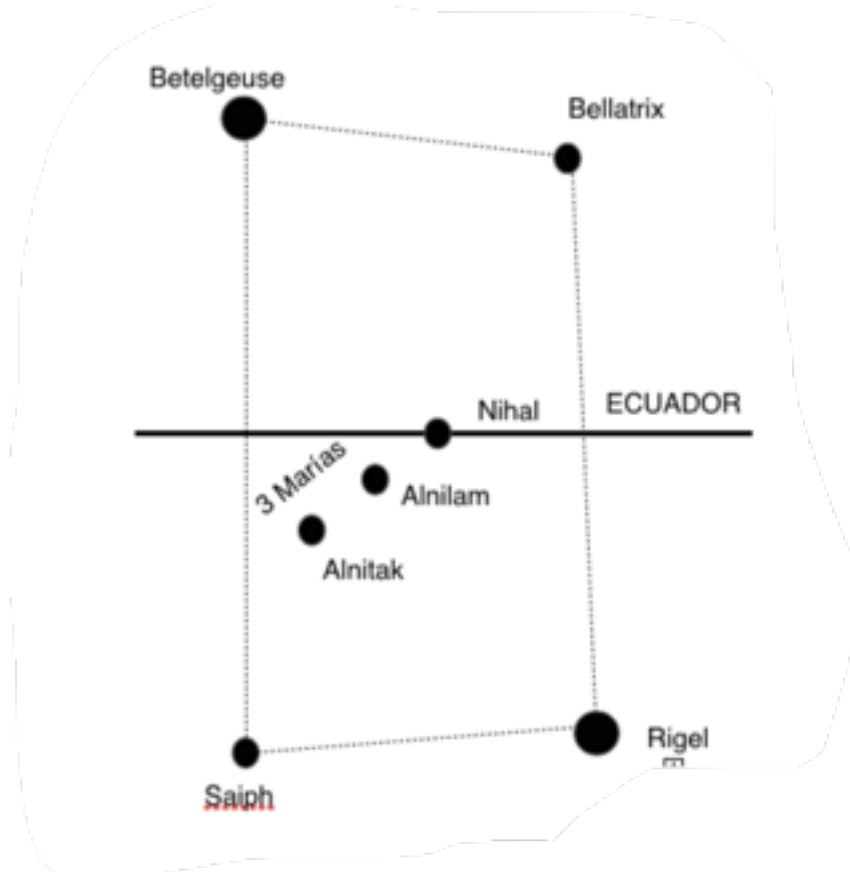


Figura 5.6. Orión [4]

Es la constelación más fácil de reconocer en el Firmamento. Está constituida principalmente por cuatro estrellas, dos de las cuales son de primera magnitud, Betelgeuse y Rigel y dos de segunda magnitud, Bellatrix y Saiph. En el centro del cuadrilátero, formado por estas cuatro estrellas, se encuentran tres estrellas en línea recta de segunda magnitud llamadas las Tres Marías o Cinturón de Orión. Por una de las tres Marías para el Ecuador dejando a las otras dos en el Hemisferio Sur, así como a Rigel y a Saiph ; Betelgeuse y Bellatrix están en el Hemisferio Norte.

PEGASO Y ANDRÓMEDA

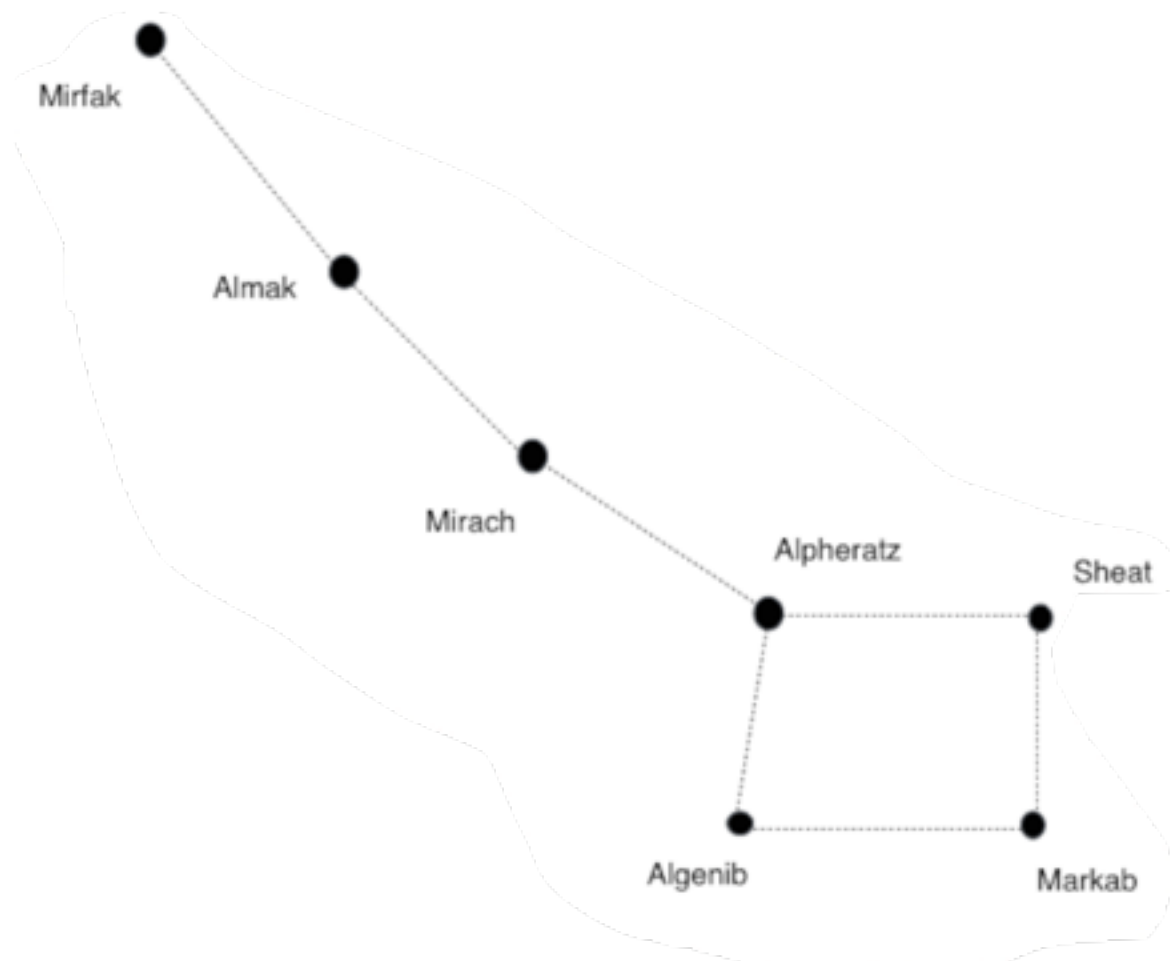


Figura 5.7. Pegaso y Andrómeda [4]

En dirección opuesta a la Osa Mayor respecto a La Polar, se encuentra un gran cuadrilátero formado por tres estrellas de tercera magnitud del Pegaso, llamadas Markab, Scheat y Algenib. La cuarta estrella del cuadrilátero es Alpheratz de segunda magnitud de la Constelación de Andrómeda. En prolongación del cuadrilátero sale una cola, como la de la Osa Mayor pero de mucho mayor tamaño, formada por las estrellas de segunda magnitud Mirach y Almak de la Constelación de Andrómeda, y la última Mirfak, también de segunda magnitud, de la Constelación de Perseo.

CRUZ DEL SUR

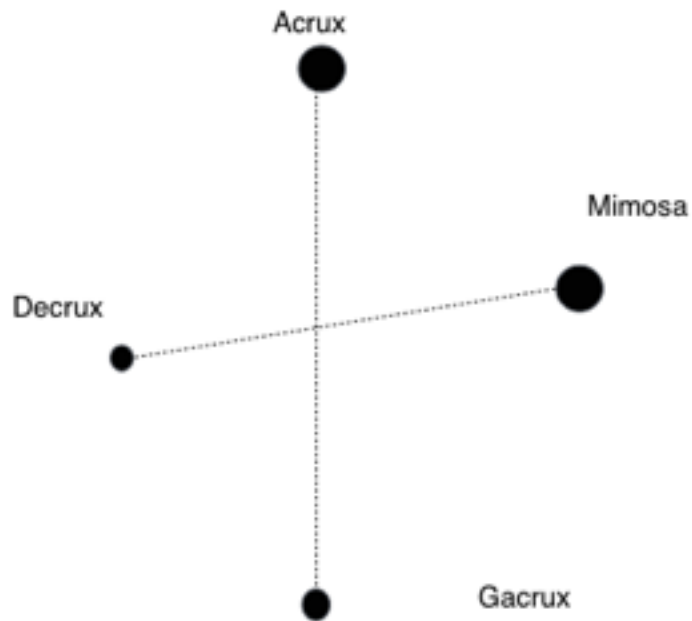


Figura 5.8. Cruz del Sur [4]

Próximamente a igual distancia que se encuentra la Osa Mayor del Polo Norte, se encuentra esta constelación del Polo Sur. Las principales estrellas de esta Constelación son cuatro formando una cruz, dos de primera magnitud, Acrux y Mimosa; Gacrux de segunda magnitud y Decrux de tercera magnitud.

5.3.2 Estrellas obtenidas por enfilaciones de la Osa Mayor.

Partiendo de las siete estrellas principales que forma esta Constelación conocemos las siguientes estrellas:

-La Polar. Prolongando unas cinco veces la distancia Merak-Duhbe obtenemos esta estrella de segunda magnitud.

Es una estrella situada en el Hemisferio Norte y de gran importancia para la navegación por su proximidad al Polo Norte Celeste. Pertenece a la constelación de la Osa Menor, siendo la última estrella de la cola de esta constelación.

Cuando la Osa Mayor está por debajo del horizonte se reconoce a partir de Casiopea, que forma una “W” cuando está más baja que la Polar o una “M” cuando está más baja. Esta Constelación está formada por cinco estrellas principales, estando situada la Polar en la bisectriz del ángulo derecho cuando tiene forma de “M”, o del ángulo de la izquierda si tiene forma de “W”.

-Arcturus y Spica. Prolongando la cola de la Osa Mayor siguiendo su curvatura, se encuentra primero Arcturus y después Spica. Estas dos estrellas son de primera magnitud.

-Regulus. Prolongando la enfilación de Megrez y Phekda de la Osa Mayor (las dos estrellas que forman el lado del cuadrilátero próximo a la cola) se encuentra Regulus, estrella de primera magnitud.

-Castor y Polluz. Prolongando la diagonal del cuadrilátero Megrez-Merak, para por Pollux, estrella de primera magnitud. Muy próxima a ella se encuentra una estrella de segunda magnitud, Castor.

-Eltanin, Vega, Altair y Deneb. Prolongando la enfilación Phekda- Megrez pasa por Eltanin, estrella de segunda magnitud, y su prolongación pasa cerca de Vega y después de Altair , a un lado se encuentra Deneb. Estas tres estrellas de primera magnitud forman un gran triángulo con un ángulo en Vega de unos 60°.

-Antares. Prolongando la enfilación Dubhe-Arcturus, pasa por Antares, estrella de primera magnitud.

-Denebola. La unión entre Regulus y Arcturus pasa cerca de Denebola, de segunda magnitud.

-Menkalinan y Capella. Prolongando la unión Pollux-Castor pasa por Menkalinan y a continuación por Capella; Menkalinan es de segunda magnitud y Capella de primera magnitud.



Figura 5.9. Estrellas mediante la Osa Mayor [4]

5.3.3 Estrellas obtenidas por enfilaciones de Orión.

Partiendo de las siete estrellas principales que forman esta Constelación, reconocemos las siguientes estrellas:

-**Sirius.** Prolongando la línea de las tres Marías hacia el Hemisferio Sur pasa cerca de Sirius. Estrella de primera magnitud y la más brillante de la Esfera Celeste.

-**Hamal.** Prolongando la línea de las tres Marías hacia el Hemisferio Norte pasa cerca de Hamal, estrella de segunda magnitud.

-**Aldebaran.** La prolongación de Sirius-Alnilam (central de las tres Marías) pasa por Aldebaran, estrella de primera magnitud.

-**Elnath y Capella.** Prolongando la enfilación Sirius-Betelgeuse pasa cerca de Elnath, estrella de segunda magnitud y a continuación de Capella, de primera magnitud.

-**Procyon.** Prolongando la enfilación Bellatrix-Betelgeuse pasa cerca de Procyon, estrella de primera magnitud.

-**Alhena y Castor.** Prolongando la línea Rigel-Betelgeuse pasa, primero próximo a Alhena y a continuación por Castor, ambas de segunda magnitud.

-**Wezen y Adara.** Prolongando la unión Betelgeuse-Sirius pasa por Wezen y cerca de ésta se encuentra Adara, ambas de segunda magnitud.



Figura 5.10. Estrellas mediante Orión [4]

5.3.4 Estrellas obtenidas por enfilaciones de Pegaso y Andrómeda.

Partiendo del cuadrilátero que forman estas dos Constelaciones, deducimos las estrellas siguientes:

-**Fomalhaut.** Prolongando la unión de Scheat-Markab pasa cerca de Fomalhaut, estrella de primera magnitud.

-**Altair.** Prolongando la unión Alpheratz- Scheat pasa próxima a Altair, estrella de primera magnitud.

-Deneb y Vega. La prolongación de la diagonal del cuadrilátero Algenib-Scheat pasa cerca de Deneb y a continuación cerca de Vega, ambas de primera magnitud.

-Hamal. Prolongando Scheat-Alpheratz pasa cerca de Hamal, de segunda magnitud.

-Diphda. Prolongando Alpheratz-Algenib pasa cerca de Diphda, estrella de segunda magnitud.

-Enif. Laprolongación Algenib-Markab pasa próxima a Enif, estrella de segunda magnitud.

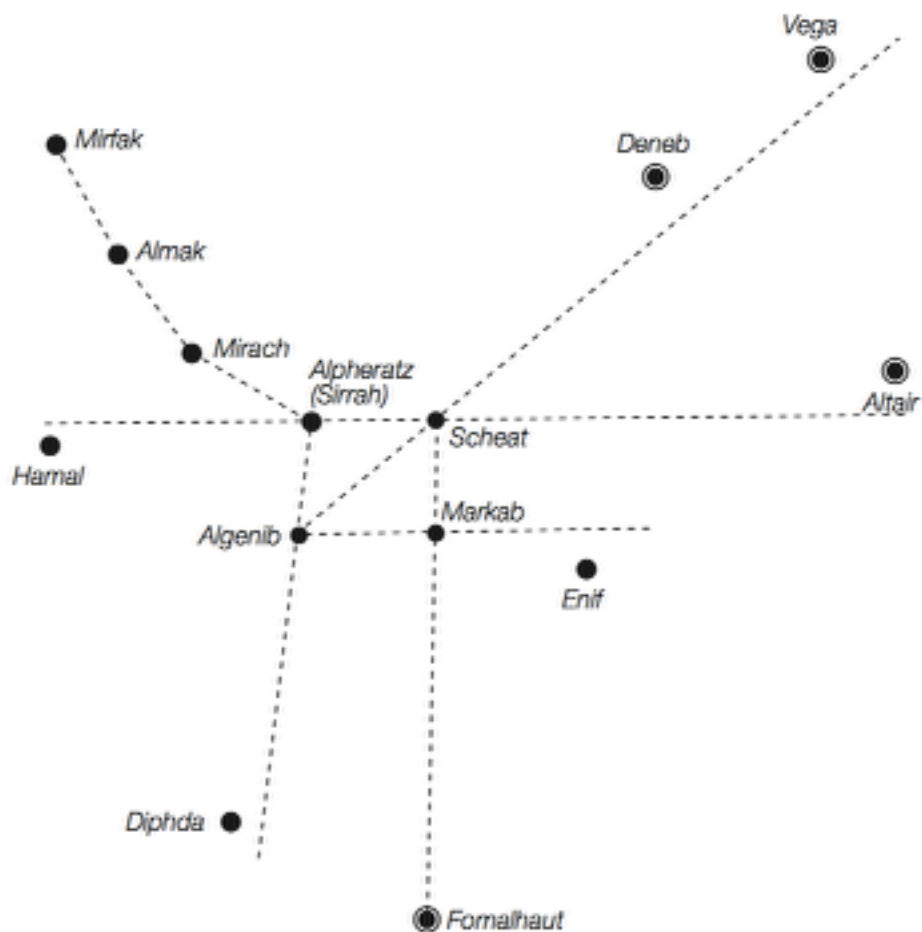


Figura 5.11. estrellas mediante Pegaso y Andrómeda [4]

5.3.5 Estrella obtenidas por enfilaciones de la Cruz del Sur.

Partiendo de las cuatro estrellas principales que forman la cruz, encontramos las siguientes estrellas:

-**Spica.** Prolongando Acrux-Mimosa pasa cerca de Spica, primera magnitud.

-**Hadar y Rigil Kent.** Prolongando Decrux-Mimosa (brazo menor de la cruz) pasa por Hadar y a continuación por Rigil Kent, ambas estrellas de primera magnitud.

-**Antares.** La prolongación de la unión Acrux-Hadar pasa por Antares, estrella de primera magnitud

-**Achernar.** La prolongación Gacrux-Acrux, después de pasar por el Polo Sur, pasa cerca de Achernar, estrella de primera magnitud.

-**Canopus.** Prolongando Gacrux-Decrux pasa cerca de Canopus, estrella de primera magnitud.

-**Fomalhaut.** Prolongando la unión Canopus-Achernar pasa por Fomalhaut, estrella de primera magnitud.

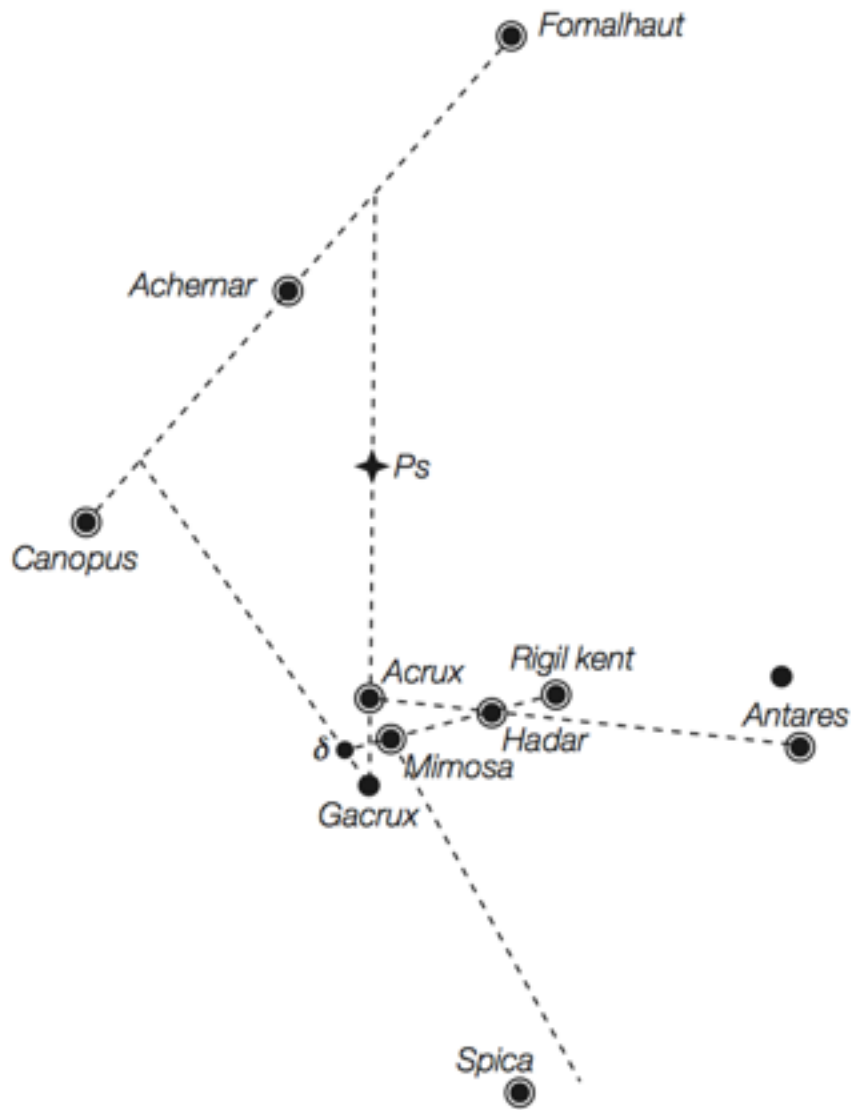


Figura 5.12. Estrellas mediante Cruz del Sur [4]

5.4 SIGHT REDUCTION FOR AIR NAVIGATION: STARS.

Mediante las tablas “Sight Reduction For Air Navigation” podemos planificar la observación. Las tablas nos dan el azimut y la altura de 7 estrellas óptimas observables para cada latitud. De esta manera sabremos por donde nos vamos a encontrar las 7 estrellas a un determinado rumbo.

Los pasos a seguir para esta planificación son los siguientes:

- 1°. Calculamos la hora del crepúsculo en el que se desea observar.
- 2°. Con la hora obtenida se Calcula el horario de Aries en el Lugar ($h\gamma L$).
- 3°. Buscamos en las tablas la página correspondiente a la latitud estimada al grado próximo de la situación.
- 4°. Subrayar en dicha página, la línea correspondiente al horario de Aries al grado próximo, previamente calculado.
- 5°. Se obtendrán los Azimutes y Alturas aproximadas, de las 7 estrellas óptimas observables.
- 6°. En la rosa de rumbos de la carta utilizada, se señalan la dirección de las líneas de Proa-Popa y Babor-Estribor, y se marcan los azimutes de cada una de las estrellas con su nombre para obtener la posición relativa de las mismas con respecto al buque.

Con este procedimiento se localizarán con facilidad las 7 estrellas seleccionadas.

Ahora se realizará un ejemplo de su uso.

Ejemplo. El día 27 de Julio de 2013 nos encontramos en posición estimada $le=28^{\circ}28,5'N$ y $Le=16^{\circ}15' W$.

Lo primero que hacemos es calcular el crepúsculo mediante el almanaque náutico en el día que nos encontramos (27/07/2013).

Puesta de Sol

$$le = 30^\circ \text{ ——— } 18:57$$

$$\mathbf{hcL = TU-L (+W; -E)}$$

$$18:57 = TU - (+16^\circ 15'/15)$$

$$18:57 = TU - 1^\circ 05'$$

$$\boxed{TU=20:02}$$

Fin del Crepúsculo

$$le = 30^\circ \text{ ——— } 19:23$$

$$\mathbf{hcL = TU-L (+W; -E)}$$

$$19:23 = TU - (+16^\circ 15'/15)$$

$$19:23 = TU - 1^\circ 05'$$

$$\boxed{TU=20:28}$$

Le restamos la hora de Fin del crepúsculo a la Puesta de Sol, para obtener la ventana de tiempo que tenemos para observar.

$$20:28 - 20:02 = \underline{00:26}$$

Este es el tiempo que tenemos para observar a partir de la puesta de Sol, por lo tanto ahora se elige la hora de la observación. **TU= 20:15**

Necesitamos el Horario de Aries en el lugar ($h\gamma L$), con la hora elegida obtenemos del almanaque náutico el Horario de Aries en Greenwich ($h\gamma G$) y al aplicarle la longitud el resultado nos da el dato deseado, $h\gamma G = h\gamma L + L (+W, -E)$.

$$h\gamma G_p = 245^\circ 39,7'$$

$$cxmxs = 3^\circ 45,6'$$

$$h\gamma G = 249^\circ 25,3'$$

$$L = 16^\circ 15' + (-)$$

$$\boxed{h\gamma L = 233^\circ 10,3'}$$

Ahora tendremos que buscar la página de las tablas Americanas la latitud estimada al grado próximo, es decir $28^\circ N$ y subrayamos en esta página la línea correspondiente al Horario de Aries al grado próximo, es decir 233° .

Como se ve en la siguiente imagen ya tenemos la altura y el azimut de las siete estrellas.

LAT 28°N

LHA ☉	Hc	Zn	Hc	Zn	Hc	Zn	Hc	Zn	Hc	Zn	Hc	Zn	Hc	Zn
	VEGA		★ALTAIR		Nunki		ANTARES		★SPICA		Denebola		★Alkaid	
225	44 04	062	19 17	090	11 33	128	31 25	156	44 38	213	43 57	263	64 39	332
226	44 51	062	20 10	091	12 14	129	31 45	157	44 08	215	43 04	264	64 13	331
227	45 38	062	21 03	091	12 55	130	32 06	158	43 38	216	42 11	264	63 47	330
228	46 24	062	21 56	091	13 36	130	32 25	159	43 06	217	41 19	265	63 20	329
229	47 11	062	22 49	092	14 16	131	32 43	160	42 34	218	40 26	265	62 52	328
230	47 58	062	23 42	092	14 56	131	33 00	161	42 01	219	39 33	266	62 23	327
231	48 45	062	24 35	093	15 36	132	33 17	162	41 27	220	38 40	266	61 53	326
232	49 31	062	25 28	093	16 15	133	33 33	163	40 53	221	37 47	267	61 23	325
233	50 18	062	26 21	094	16 54	133	33 47	164	40 17	222	36 54	267	60 52	324
234	51 05	062	27 14	094	17 32	134	34 01	165	39 41	223	36 01	268	60 21	323
235	51 52	062	28 06	095	18 10	135	34 14	166	39 05	224	35 08	268	59 49	322
236	52 38	062	28 59	095	18 48	135	34 26	167	38 27	225	34 15	269	59 16	322
237	53 25	062	29 52	096	19 25	136	34 37	169	37 49	226	33 22	269	58 43	321
238	54 12	062	30 44	096	20 01	137	34 47	170	37 11	227	32 30	270	58 10	320
239	54 58	061	31 37	097	20 37	137	34 56	171	36 32	228	31 37	270	57 36	320

Figura 5.13. Tablas Americanas [5]

Ahora suponemos que tenemos un rumbo de 225 ° y lo plasmamos en una imagen con los azimut de las estrellas para saber por donde aparecerán.

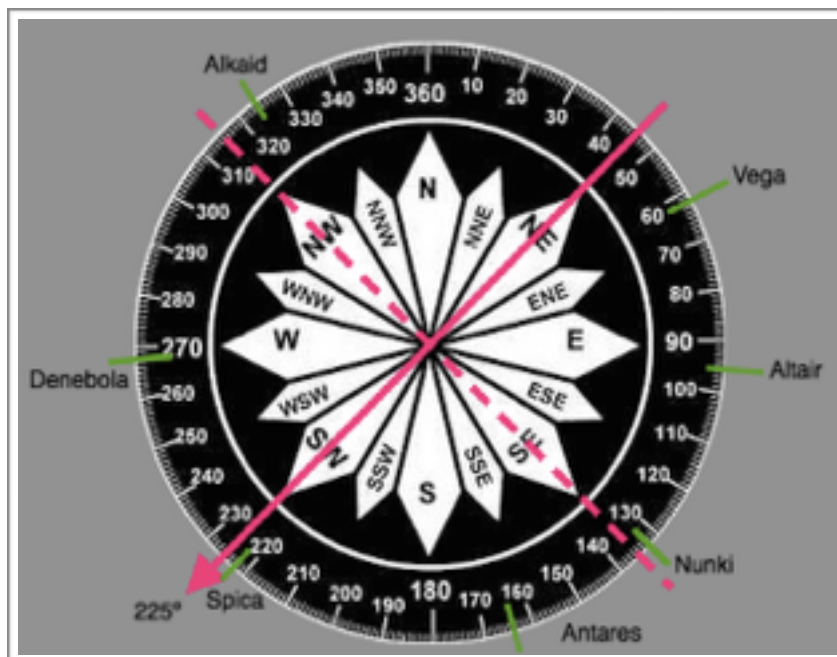


Figura 5.14. Planificación [6]

5.5 RECONOCIMIENTO CON LAS TABLAS NÁUTICAS (XVI).

Las tablas XVI (Anexo I) de la Colección de Tablas Náuticas, construidas para calcular el Azimut de los astros, sirven también para el reconocimiento de astros. En estas tablas calculamos el Angulo en el Polo (P) y la Declinación (d) próximas; con “P” obtenemos el Angulo Sidéreo del astro (AS) y en el catálogo de estrellas del Almanaque Náutico, con el “AS” y la “d”, buscamos el Astro a que corresponden.

Para conocer el horario obtenemos el ángulo en el polo (P), trabajando con la expresión:

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

de donde:

$$\cotan P = (\tan a \cos l - \sin l \cos Z) / \sin Z$$

Sacando factor común a $\cos l$, resulta:

$$\cotan P = \cos l ((\tan a / \sin Z) - (\tan l / \tan Z))$$

Para trabajar con las tablas XVI, se considera lo siguiente:

$$q' = \tan a / \sin Z \quad q'' = \tan l / \tan Z \quad q = q' + q''$$

con lo que resulta:

$$\cotan P = \cos l q$$

Los datos de este problema serán la latitud (l) la de estima; la altura (a) medida con el sextante y el azimut, obtenido mediante los instrumentos adecuados.

Los pasos a seguir para obtener el Ángulo en el polo y la Declinación sin realizar las operaciones de las fórmulas son los siguientes:

1. Con la hora de la observación obtenemos $h\gamma G$, y con la Longitud el $h\gamma L$.

2. Se entra en la 1ª parte (hoja de la izquierda) con la altura (como declinación) y Azimut por cuadrantes (como ángulo en el polo) tomando el valor de q' . Este valor (q') es siempre positivo, por ser la altura menor de 90° y Z menor de 180° (con lo que $\sin Z$ es positivo).

3. Se entra en la 2ª parte (hojas de la derecha) con la latitud (en su argumento) y con el Azimut (como ángulo en el polo) tomando el valor de q'' . Si el Azimut se cuenta desde el mismo nombre que la latitud (Z menor de 90°) q'' es negativo y si se cuenta desde distinto nombre que la latitud (Z mayor de 90°) q'' es positivo.

4. Se suma algebraicamente q' y q'' obteniendo el valor de q .

Se entra en la 3ª parte con la latitud buscando en esa línea el valor de q . en la parte superior o inferior tomamos el valor del ángulo en el polo (P).

Si “ q ” es positivo, “P” es menor de 90° ; se toma en la parte superior de las tablas.

Si “ q ” es negativo, “P” es mayor de 90° ; se toma en la parte inferior de las tablas.

El ángulo en el polo es Este u Oeste según sea el Azimut.

5. El ángulo en el polo (P) se pasa a horario del lugar, recordando:

$$hL = PW$$

$$hL = 360^\circ - PE$$

Para reconocer el Astro Utilizando el Almanaque náutico para uso de los navegantes hay que conocer el Ángulo Sidéreo (AS). Para ello se utiliza la siguiente formula con los datos obtenidos al principio:

$$hL = h\gamma L + AS \qquad AS = hL - h\gamma L$$

Si el astro es un planeta no necesitamos el Ángulo Sidéreo sino el horario en Greenwich y, entonces:

$$hG = hL + L$$

Para hallar la declinación próxima, también nos valemos de las Tablas XVI, empleando como datos la latitud, el Azimut y el Ángulo en el polo acabado de obtener, operando de la siguiente forma:

1. Entramos en la 3ª parte de las Tablas con el Azimut y la Latitud y obtenemos el valor “p”. El signo de “p” lo indica la Tabla: positivo cuando el Azimut se cuenta desde el mismo punto cardinal que la Latitud y negativo si se cuenta desde distinto punto.

2. Entramos en la 2ª parte de las Tablas (hoja de la derecha) con el Ángulo en el Polo y con la Latitud y obtenemos el valor “p’””, con el signo dado en las Tablas: positivo si P es mayor de 90° y negativo si P es menor de 90°.

3. Restamos algebraicamente $p - p''$ y obtenemos p' . Se entra en la 1ª parte de las Tablas (hoja de la izquierda) con el Ángulo en el Polo y en su columna se busca el valor de p' o el más próximo; en el argumento vertical tomamos el valor de la declinación (d). Si p' es positivo, la Declinación tiene el mismo nombre que la Latitud y si es negativo tiene nombre diferente.

4. Con el Ángulo Sidéreo y la declinación obtenidas, buscamos en el Catálogo de estrellas del Almanaque Náutico cual es la que tiene estas coordenadas o próximas a ellas.

Puede ser que no aparezca en el Almanaque Náutico ninguna estrella que tenga esas coordenadas, lo cual indica que el astro que queremos identificar es un planeta. Para reconocerlo; pasamos el horario del lugar a horario de Greenwich y entramos en la página de la fecha en la columna de los 4 planetas, buscando a la Hora Civil de Greenwich correspondiente el planeta que tiene por coordenadas: hG y d.

Es muy importante tener en cuenta que estas coordenadas obtenidas en las tablas son próximas y, por tanto, solo sirven para reconocer astros.

Realizaremos el mismo ejemplo hecho en el apartado anterior pero usando las tablas XVI.

Ejemplo. El día 27 de Julio de 2013 nos encontramos en posición estimada $le=28^{\circ}28,5'N$ y $Le=16^{\circ}15' W$.

Lo primero que hacemos es calcular el crepúsculo mediante el almanaque náutico en el día que nos encontramos (27/07/2013) para saber cuando podemos observar.

Puesta de Sol

$$le = 30^{\circ} \text{ ——— } 18: 57$$

$$hcL = TU - L (+W; -E)$$

$$18:57 = TU - (+16^{\circ} 15'/15)$$

$$18:57 = TU - 1^{\circ} 05'$$

$$TU = 20:02$$

Fin del Crepúsculo

$$le = 30^{\circ} \text{ ——— } 19:23$$

$$hcL = TU - L (+W; -E)$$

$$19:23 = TU - (+16^{\circ} 15'/15)$$

$$19:23 = TU - 1^{\circ} 05'$$

$$TU = 20:28$$

Le restamos la hora de Fin del crepúsculo a la Puesta de Sol, para obtener la ventana de tiempo que tenemos para observar.

$$20:28 - 20:02 = \underline{00:26}$$

Este es el tiempo que tenemos para observar a partir de la puesta de Sol, por lo tanto ahora se elige la hora de la observación. **TU= 20:15**

A las TU=20:15, observamos un astro con una altura verdadera aproximada a $av=38^{\circ}16'$ y un azimut aproximado de $Z= 162^{\circ}$. Con estos datos identificar el astro mediante las tablas náuticas XVI (ANEXO I).

DATOS

$$av= 38^{\circ} 16' N$$

$$Z= 162^{\circ} \quad Z= S 18 E$$

$$l= 28^{\circ} 28' 5" N$$

Necesitamos el Horario de Aries en el lugar ($h\gamma L$), con la hora elegida obtenemos del almanaque náutico el Horario de Aries en Greenwich ($h\gamma G$) y al aplicarle la longitud el resultado nos da el dato deseado, $h\gamma G = h\gamma L + L (+W, -E)$.

$$h\gamma G = 245^{\circ} 39,7'$$

$$cxmxs = 3^{\circ} 45,6'$$

$$h\gamma G = 249^{\circ} 25,3'$$

$$L = 16^{\circ} 15' + (-)$$

$$h\gamma L = 233^{\circ} 10,3'$$

Una vez calculado el $h\gamma L$ nos vamos a las tablas XVI (Anexo I).

Entramos en la 1ª parte de las tablas con la altura como declinación y azimut (cuadrantal) como ángulo en el polo y obtenemos q' .

$$q' = 2,53 (+); \text{ siempre será positivo.}$$

En la 2ª parte de las tablas, con la latitud y el azimut como ángulo en el polo tomamos el valor de q'' .

$$q'' = 1,64 (+); \text{ porque el azimut se cuenta de distinto nombre que la latitud.}$$

Sumamos q' y q'' y obtenemos q .

$$q = 4,17$$

Vamos a la 3ª parte de las tablas con la latitud y buscamos en esa línea el valor de “ q ”. En la parte superior, por ser “ q ” positivo, tomamos el valor del ángulo en el polo.

$$P = 15^\circ \text{ E}$$

Pasamos el ángulo en el polo a horario del lugar, recordando $h^*L = 360^\circ - PE$.

$$h^*L = 345^\circ$$

Ahora nos interesa el ángulo sidéreo del astro para poder reconocerlo, sabiendo que $AS = h^*L - h\gamma L$

$$AS = 111^\circ 49,$$

Ya calculado el ángulo sidéreo pasamos a calcular la declinación mediante las mismas tablas.

Entramos en la 3ª parte de las tablas con el azimut y la latitud y obtenemos p .

$p = 3,49$ (-); porque el azimut tiene distinto nombre que la latitud.

Ahora en la 2ª parte de las tablas, con el ángulo en el polo y con la latitud obtenemos p'' .

$p'' = 1,98$ (-); porque $P < 90^\circ$.

Restamos $p - p''$ y obtenemos p'

$p' = -1,51$

En la 1ª parte de las tablas en tramos con el ángulo en el polo y en esa columna buscamos p' y tomamos el valor de la declinación.

$d = 22^\circ$ S; es al Sur porque p' es negativo.

Ya tenemos los datos necesarios, con el catálogo de estrellas del almanaque náutico buscamos la estrella cuyo ángulo sidéreo y declinación se aproxime a nuestros resultados.

Se trata de ANTARES, la cual tiene una declinación de $26^\circ 27,6'S$ y un ángulo sidéreo de $112^\circ 25,9'$.

5.6 RECONOCIMIENTO MEDIANTE SOFTWARE.

Hoy en día existen programas de fácil manejo, rápidos y muy útiles para resolver y facilitarnos datos a la hora de navegar. Estos programas son capaces de preparar la derrota, ya sea ortodrómica o loxodrómica, nos da la posición por rectas de altura o por la meridiana del sol, podemos identificar las estrellas o planetas...

A nosotros lo que nos interesa es reconocer los astros mediante los datos que obtenemos a bordo, es decir, el azimut y la altura del astro y la situación aproximada del buque.

Se realizará un ejemplo para tres software diferentes.

5.6.1 PC NAVIGATOR. Copyright Pacific Marine Corporation 1984, 1986, 1987.

Este es el programa más antiguo de los tres que vamos a nombrar.

Al abrir este programa lo que obtendremos en la pantalla es el menú con las diferentes opciones que podemos realizar. Tiene un aspecto como la figura 5.15.

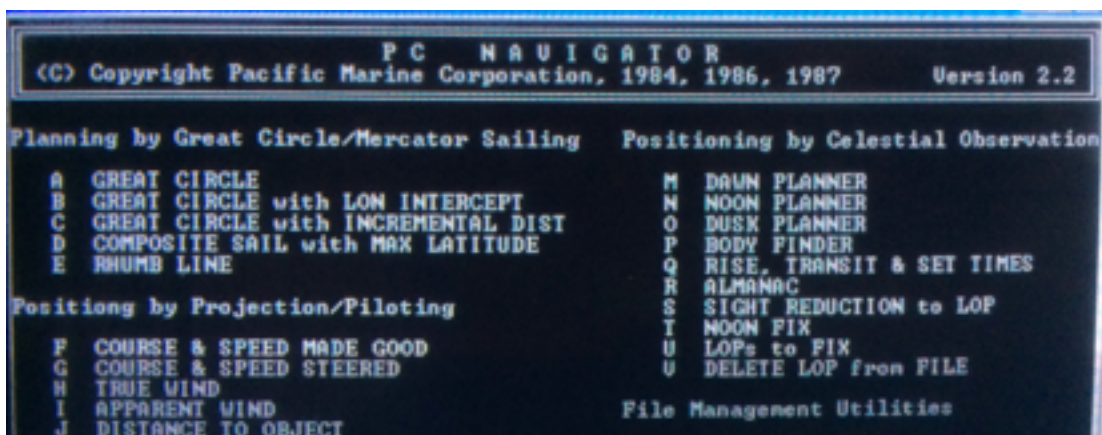


Figura 5.15. Menú principal [7]

A nosotros lo que nos interesa es la parte de “Positioning by Celestial Observation”, concretamente el “Dawn Planner” (Crepúsculo matutino), “Dusk Planner” (Crepúsculo vespertino) y “Body Finder” (cuerpos que obtendremos).

Lo primero que realizaremos es obtener cuando va a suceder el crepúsculo matutino y el vespertino y los cuerpos celestes que veremos. Para ello realizaremos lo siguiente:

Pulsamos la tecla “M” (Crepúsculo matutino), en pantalla no aparecerá lo siguiente:



```
DAWN PLANNER
DATE mm/dd/yyyy 06/4/2014
SORT OPTION 3 (1-5)

1-NAME 2-BODY NO. 3-MAGNITUDE 4-ALTITUDE 5-AZIMUTH

--KEYS:
F1: MONITOR F2: END INPUT F3: EXIT TO MENU F10: EXIT TO DOS
```

Figura 5.16. Cálculo del crepúsculo matutino [7]

Rellenamos el día en el que nos encontramos (4 de Junio de 2014) y elegimos como queremos que se organicen los astros que podremos ver en el cielo ese día a la hora del crepúsculo matutino, pueden ser por nombre, por número, magnitud, altitud o azimut. Nosotros elegimos la opción 3 (magnitud), de esta manera los astros se nos ordenarán de las más brillante a la que menos brillo tendrá. Pulsamos F2 (End input) y obtenemos la siguiente imagen:

DAWN PLANNER - sorted by MAGNITUDE
DATE Wednesday 06/4/2014

NAUTICAL TWILIGHT GMT +5:08:33
DR LAT 28 28.9 N LONG 016 14.4 U

Body Name	No	Mag	Altitude	Az'th	Body Name	No	Mag	Altitude	Az'th
VEGA	49	0.1	60 09.6	299.1	MARKAB	57	2.6	57 02.8	106.4
ALTAIR	51	0.9	65 42.0	219.9					
DENEK	53	1.3	73 08.5	352.0					
FOMALHAUT	56	1.3	24 59.0	150.3					
MIRFAK	9	1.9	16 54.4	41.8					
KAUS AUSTRALIS	48	2.0	18 11.4	211.6					
RASALHAGUE	46	2.1	41 28.9	261.5					
POLARIS	0	2.1	28 40.7	0.0					
NUNKI	50	2.1	28 34.1	210.0					
KOCHAB	40	2.2	27 16.2	342.1					
NAMAL	6	2.2	20 43.6	73.6					
ALPHERATZ	1	2.2	47 42.7	76.8					
DIPHDA	4	2.2	17 45.0	122.6					
ALPHECCA	41	2.3	21 08.5	289.9					
ELTANIN	47	2.4	50 06.2	317.6					
SCHEDAR	3	2.5	41 48.0	38.0					
JENIF	54	2.5	60 05.3	144.6					
SABIK	44	2.6	20 33.3	238.0					

Press **Z** to Continue
F1: MONITOR **F3: EXIT TO MENU** **F10: EXIT TO DOS**

Figura 5.17. Datos de los astros [7]

En la figura 5.17 lo que podemos observar es las estrellas que veremos a la hora del crepúsculo matutino (GMT= +5:08:33) ordenadas por magnitud.

Para obtener los astros en el crepúsculo vespertino, tendremos que realizar lo mismo, solo que en la pantalla del menú (Figura 5.15) principal en vez de pulsar “M” tendremos que pulsar “O” (Dusk planner). Obtendremos lo siguiente:

DUSK PLANNER

DATE mm/dd/yyyy 05/4/2014

SORT OPTION 5 (1-5)

1-NAME 2-BODY NO. 3-MAGNITUDE 4-ALTITUDE 5-AZIMUTH

f-KEYS: Origin, Destination, deadReckoned, File values, Current date/time

F1: MONITOR **F2: END INPUT** **F3: EXIT TO MENU** **F10: EXIT TO DOS**

Figura 5.18. Cálculo del crepúsculo vespertino [7]

Rellenamos el día en el que nos encontramos (4 de Junio de 2014) y elegimos como queremos que se organicen los astros que podremos ver en el cielo ese día a la hora del crepúsculo vespertino, pueden ser por nombre, por número, magnitud, altitud o azimut. Nosotros elegimos la opción 3 (magnitud), de esta manera los astros se nos ordenarán de las más brillante a la que menos brillo tendrá. Pulsamos F2 (End input) y obtenemos la siguiente imagen:

DUSK PLANNER - sorted by MAGNITUDE
DATE Wednesday 06/4/2014
SUNSET GMT +19:59:41
DR LAT 28 28.9 N LONG 016 14.4 W

Body Name	No	Mag	Altitude	Az'th	Body Name	No	Mag	Altitude	Az'th		
MOON	2	-9.9	58	23.8	230.0	ALPHECCA	41	2.3	48	87.5	77.8
JUPITER	5	-1.4	32	38.9	279.3	ELTANIN	47	2.4	28	42.5	41.6
MARS	4	-0.4	55	25.3	157.0	GIEMAH	29	2.8	43	31.7	170.4
CAPELLA	12	0.2	15	31.9	314.4	ZUBENELGENUBI	39	2.9	27	89.9	129.1
ARCTURUS	37	0.2	54	59.6	97.1						
SATURN	6	0.4	25	30.5	125.5						
PROCYON	20	0.5	27	19.2	260.6						
POLLUX	21	1.2	37	37.9	284.9						
SPICA	33	1.2	43	51.4	145.6						
REGULUS	26	1.3	61	51.6	239.1						
ALIOTH	32	1.7	60	14.5	19.0						
ALKAID	34	1.9	59	10.7	39.6						
DUBHE	27	2.0	56	12.9	350.9						
POLARIS	0	2.1	28	11.2	359.5						
ALPHARD	25	2.2	40	03.1	227.3						
DENEbola	28	2.2	76	09.2	177.6						
KOCHAB	40	2.2	38	57.7	14.6						
MENKENT	36	2.3	17	24.4	151.1						

Press F to Continue
F1: MONITOR F2: EXIT TO MENU F10: EXIT TO DOS

Figura 5.19. Datos de los astros [7]

En esta imagen lo que podemos observar es los astros que veremos a la hora del crepúsculo vespertino (GMT= +19:59:41) ordenadas por magnitud.

Estos dos casos nos sirven para hallar los crepúsculos, que es cuando podemos coger la altura y el azimut de cualquier astro. Con estos dos datos y con la tabla obtenida del software, deduciremos el cuerpo celeste observado. Hay que tener en cuenta que la hora de los crepúsculos nos la dan en tiempo universal, por lo tanto habrá que pasarlo a la hora civil (Hz) ($TU=Hz + z$; $z=L/15$).

Ya hemos explicado la opción “Dawn Planner” y “Dusk Planner”, por lo que nos queda “Body Finder”.

En el menú principal (Figura 5.15) pulsamos la tecla “P” (Body Finder). Lo que nos aparece en pantalla es la siguiente imagen:

BODY FINDER - sorted by AZIMUTH
 DATE Wednesday 06/4/2014
 GMT hh:mm:ss 01:00:00

DR LAT 28 28.9 N LONG 016 14.4 W

Body Name	No	Mag	Altitude	Az'th	Body Name	No	Mag	Altitude	Az'th
POLARIS	0	2.1	20	04.3	ALPHECCA	41	2.3	74	42.1
ELTANIN	47	2.4	63	28.0	DENEbola	28	2.2	21	10.5
DENEb	53	1.3	41	02.6	ALMAID	34	1.9	50	47.9
VEGA	49	0.1	64	38.9	ALIOIH	32	1.7	41	27.0
ENIF	54	2.5	17	59.3	DUBHE	27	2.0	27	19.0
ALTAIR	51	0.9	42	10.6	KOCHAB	40	2.2	42	15.6
RASALHAGUE	46	2.1	70	17.1					
MUNKI	50	2.1	26	50.7					
KAUS AUSTRALIS	48	2.0	22	59.7					
SHAULA	45	1.7	23	33.5					
SABIK	44	2.6	45	28.9					
ANTIARES	42	1.2	35	07.5					
MENKENT	36	2.3	15	31.7					
SATURN	6	0.4	40	39.3					
ZUBENELGENUBI	39	2.9	37	53.4					
SPICA	33	1.2	27	53.9					
MARS	4	-0.4	22	53.4					
ARCTURUS	37	0.2	55	07.4					

Press F to Continue
 F1: MONITOR F3: EXIT TO MENU F10: EXIT TO DOS

Figura 5.20. Opción Body Finder [7]

Esta imagen se obtiene después de rellenar los campos con la situación estimada en la que nos encontramos, la fecha y la hora en tiempo universal que observamos la estrella.

Esto es muy útil porque sabiendo el azimut y la altura de un astro en una determinada situación y hora obtenemos el cuerpo celeste del que se trata sin la necesidad de realizar cálculos ni mirar tablas.

5.6.2 WinNav Navegante 2.0 for Windows.

Al abrir este programa lo que obtendremos en la pantalla son las diferentes opciones que nos permite realizar. Tiene un aspecto como el de la siguiente imagen.

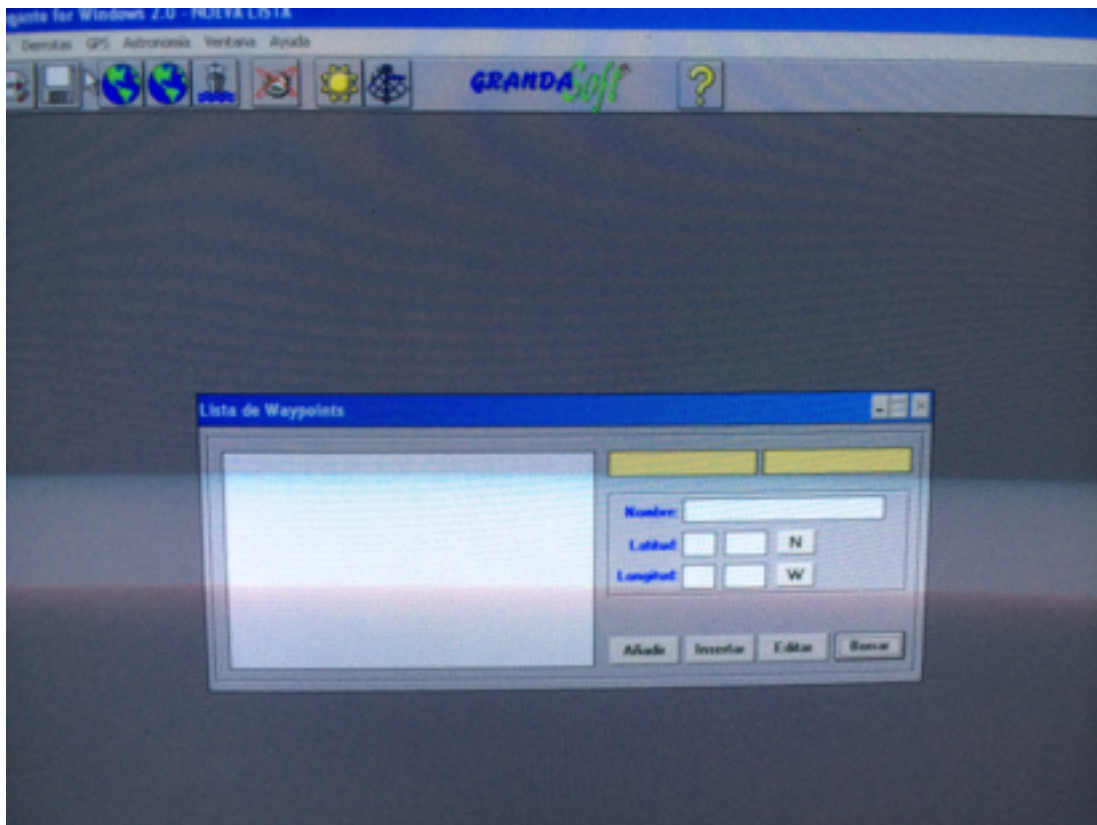


Figura 5.21 Menú principal WinNav [8]

A nosotros lo que nos interesa es las observaciones astronómicas, y esta opción nos la da el icono del sextante, el que se encuentra al lado del sol, por lo tanto pulsamos el icono y obtenemos la siguiente imagen:



Figura 5.22 Menú observaciones astronómicas [8]

Como vemos en las Observaciones Astronómicas, podemos elegir una de las tres opciones que tenemos “Situación por Meridiana de Sol”, “Situación por dos Rectas de Alturas” o “Reconocimiento de Astros”. La que nos interesa es el Reconocimiento de Astros, por lo que pinchamos esa opción y nos aparece lo siguiente:

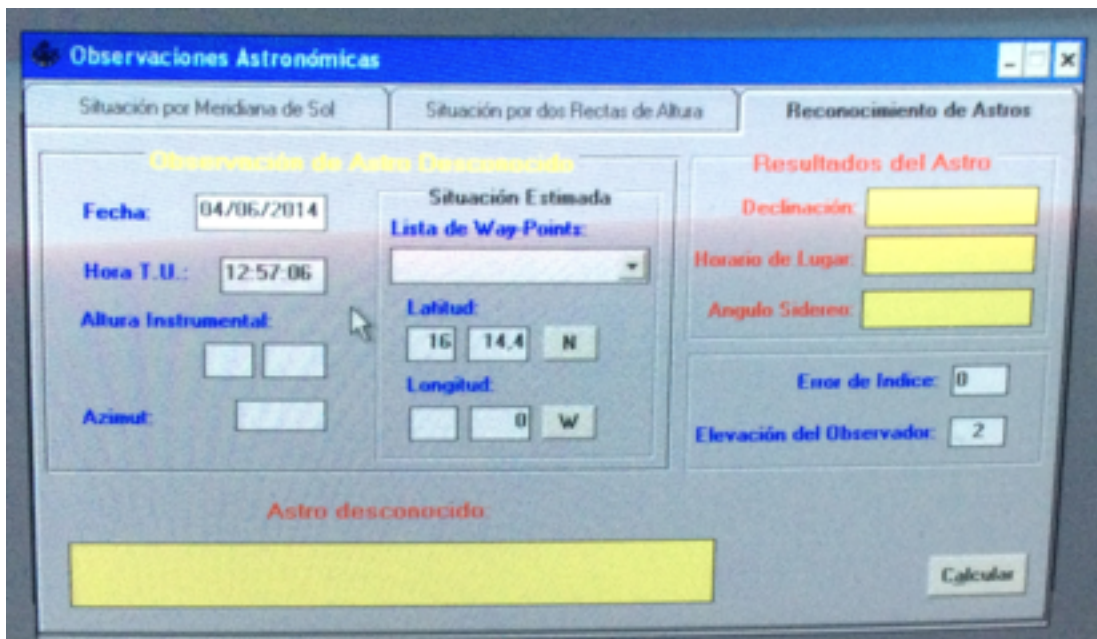


Figura 5.23. Reconocimiento de Astros [8]

Ahora tendremos que rellenar los datos que nos piden y para eso suponemos que el día 4 de Junio de 2014, en posición $l = 28^{\circ} 28,9' N$ y $L = 16^{\circ} 14,4' W$, a la hora aproximada del crepúsculo vespertino $TU = 19:59$, observamos un astro en el cielo con un Azimut de 279° y una Altura Instrumental de $38^{\circ}32,9'$.



Figura 5.24. Datos [8]

Una vez insertados los datos en el programa, pulsamos calcular y obtendremos los resultados.



Figura 5.25. Resultado [8]

En esta última imagen vemos que se trata de JUPITER y nos dan los datos del mismo.

5.6.3 Marine Navigator. Version 1.0.29.

Este es el programa más moderno de los nombrados. La siguiente imagen es la pantalla principal del programa, con las diferentes opciones que podemos realizar. Nosotros lo que queremos es identificar un astro a una hora determinada de observación al medir la altura y el azimut. Por lo tanto, la opción que a nosotros nos interesa en “Identify”.

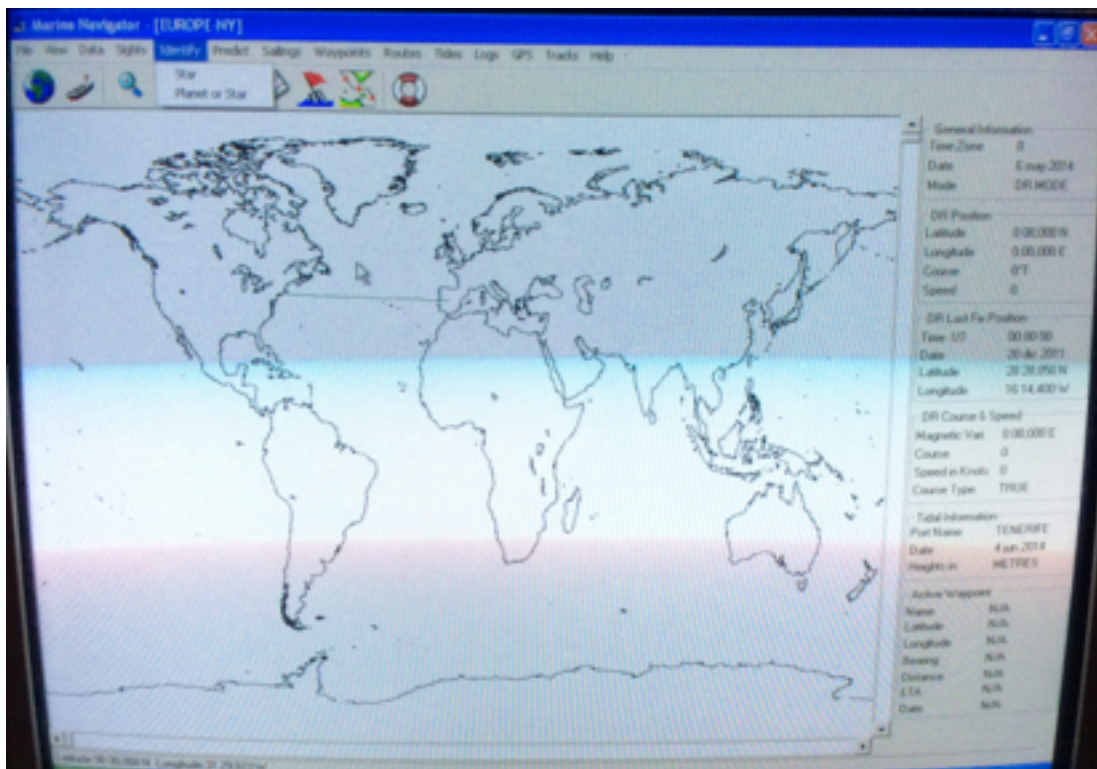


Figura 5.26. Menú principal Marine Navigator [9]

Al pulsar “Identify”, nos dan dos opciones a elegir, “Star” o “Planet o “Planet or Star”, podemos saber si se trata de un planeta o estrella mirando los destellos del

astro, pero como nos podemos confundir, elegimos la opción “Planet or Star”. Nos aparece en la pantalla lo que debemos rellenar con los datos obtenidos.

Suponemos que el día 4 de Junio a las 19:59 (tiempo universal), hora aproximada del crepúsculo vespertino, en posición $l = 28^{\circ} 28,9' N$ y $L = 16^{\circ} 14,4' W$ observamos un astro con una altura $32^{\circ} 38'$ y con un valor de azimut de 279° . Estos datos los insertamos en el programa, quedando lo siguiente en el monitor:

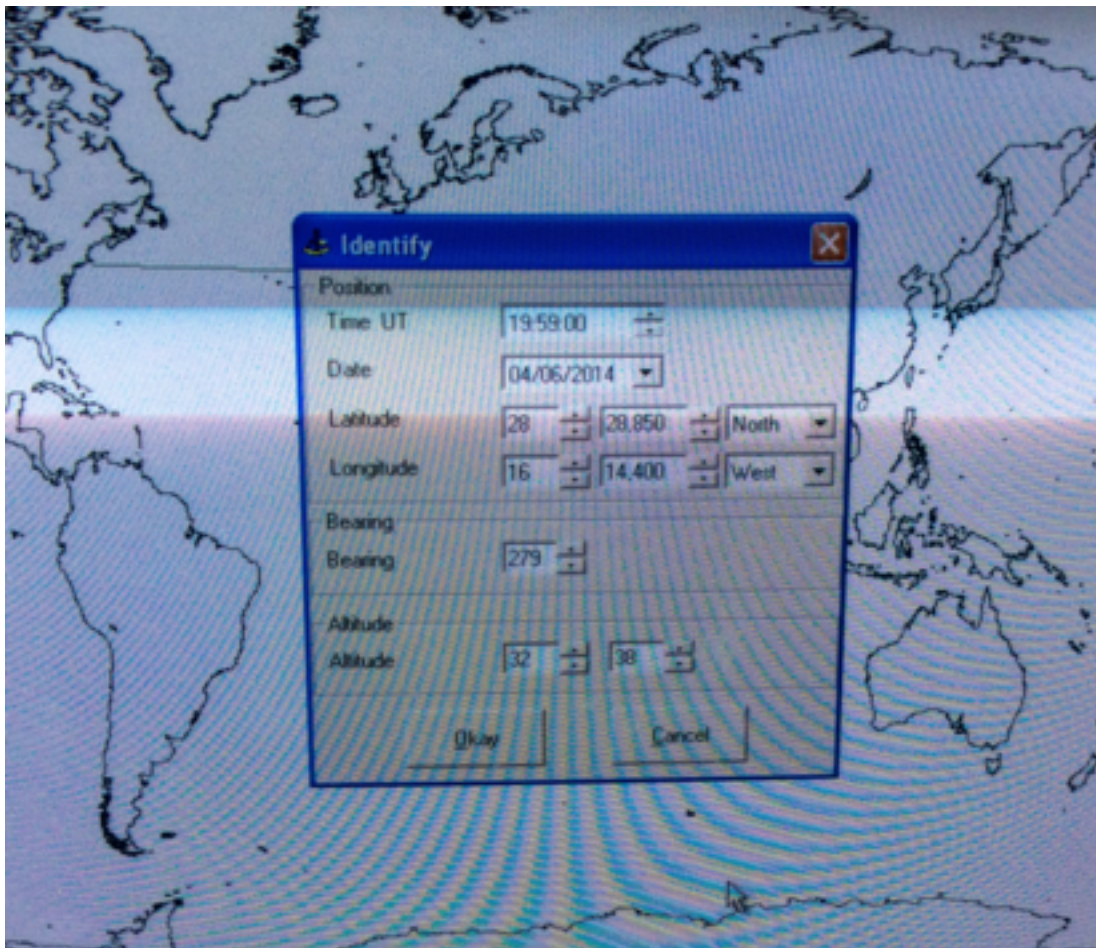


Figura 5.27. Datos a rellenar [9]

Una vez insertados los datos le damos a “Okay” y nos aparece lo siguiente:

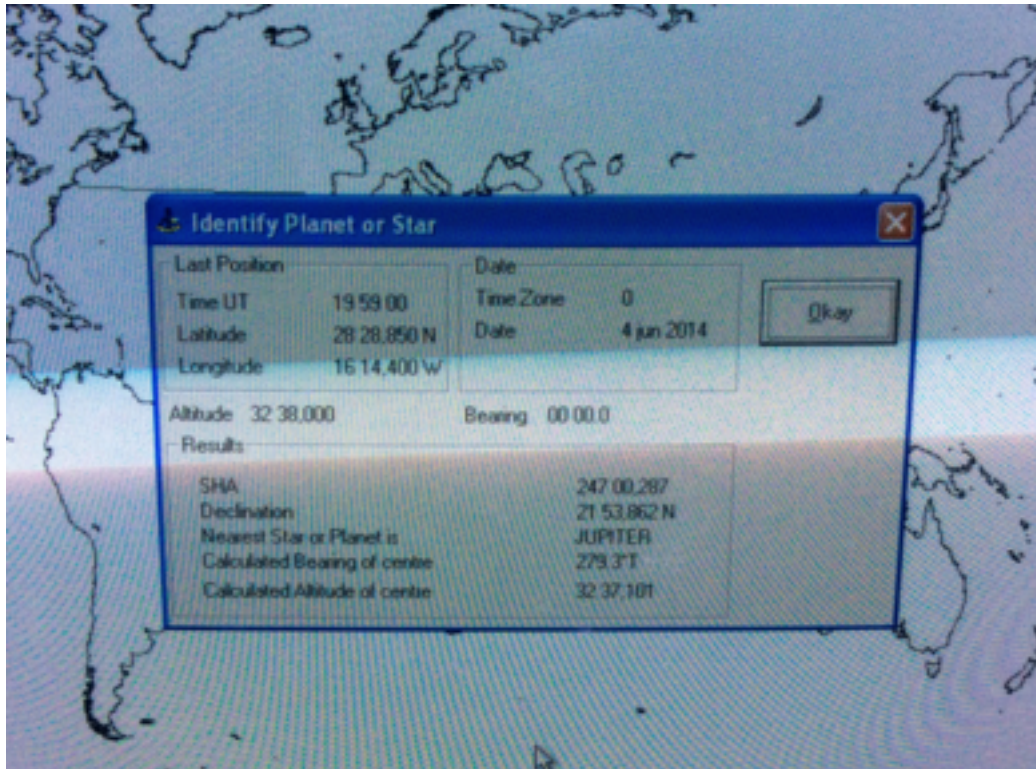


Figura 5.28. Resultados [9]

Ahí podemos ver los resultados, el astro observado se trata de un planeta el cuál es JUPITER.

6. CONCLUSIONES.

El reconocimiento de astros es una categoría multidisciplinar, el cual requiere una serie de conocimientos en los campos de las matemáticas, física, trigonometría esférica así como un poquito de maña a la hora de utilizar el sextante.

Todos ellos tienen en común que para saber que astro es el que estamos observando tenemos que tener los mismos datos, que son: el Azimut, la latitud y la altura del astro. Esto se consigue mediante los instrumentos que tenemos a bordo. La latitud por el GPS o cualquier aparato electrónico que este conectado a este, el azimut mediante las agujas giroscópicas y la altura del astro con el sextante que debemos de llevar a bordo.

Hay que tener en cuenta que los resultados obtenidos a la finalización del problema, es decir, del ángulo sidéreo y de la declinación no serán exactos a los que nos encontramos en el almanaque náutico, esto responde a que la medición del azimut y la altura del astro está sujeta a la pericia del navegante.

7. BIBLIOGRAFÍA .

-LUIS MEDEROS, *Navegación Astronómica*. 2ª ed., Barcelona: Noray, 2008, ISBN 978-84-7486-192-1. [1]

-Elaboración propia. [2]

-MINISTERIO DE DEFENSA, *Almanaque Náutico 2012 con Suplemento para la Navegación Aérea*. Imprenta del Ministerio de Defensa, 2011.

MINISTERIO DE DEFENSA, *Almanaque Náutico 2013 con Suplemento para la Navegación Aérea*. Imprenta del Ministerio de Defensa, 2012.

-Star-Finder 2102-D. Weems & Plath, Annapolis, MD. U.S.A [3]

-<http://es.scribd.com/doc/60154181/Rude-Star-Finder-Para-Navegantes>, en línea, 2014.

-<http://nauticajonkepa.wordpress.com/2012/08/27/2102-d-star-finder-identificador-de-estrellas/>, en línea, 2014.

-RICARDO GAZTELU-ITURRI LEICEA, ITSASO IBAÑEZ FERNÁNDEZ, RAMÓN FISURE LANZA, *Capitán de Yate*. Colección ITSASO Nº 20. [4]

-MOREU CURBERA, MARTINEZ JIMENEZ, *Astronomía y Navegación*. Vol. 2 y 3, 3º ed., Galicia: A.G. Galicia, S.A.

-MARTINEZ JIMENEZ, *Manual de Navegación*. 6º ed., Madrid: Hijos de E. Minuesa, 1978, ISBN 84-400-5327-4.

-ANTONIO C. BERMEJO DÍAZ, *Las Chuletas de Bermejo*. Islas Canarias: Fotocopiadora Rank Xerox 3.600, 2011, ISBN 978-84-95847-59-1.

-http://www.waypointamsterdam.com/Handy_stuf/Pub249Vol1.pdf, en línea, 2014. [5]

-COTTER, *The Elements of Navigation and Nautical Astronomy*, Gran Bretaña: Brown, Son & Ferguson, 1977, ISBN 0- 85174-270-X.

-FRANCISCO GRAIÑO et al, *Colección de Tablas Náuticas*, 10º ed.,

-OWShips-ForumMatWind2.png, en línea, 2014 [6]

-PC NAVIGATOR. Copyright Pacific Marine Corporation 1984, 1986, 1987. (Programa Software) [7]

-WinNav Navegante 2.0 for Windows. (Programa Software) [8]

-Marine Navigator. Version 1.0.29. (Programa Software) [9]

Table 1: Values of the function $P = \frac{1}{2} \log \frac{1 + \sqrt{1 - 4x^2}}{1 - \sqrt{1 - 4x^2}}$ for $x = 0.0001, 0.0002, \dots, 0.0010$.

x	P	x	P	x	P	x	P	x	P
0.0001	0.0000	0.0005	0.0000	0.0009	0.0000	0.0010	0.0000	0.0001	0.0000
0.0002	0.0000	0.0006	0.0000	0.0010	0.0000	0.0001	0.0000	0.0002	0.0000
0.0003	0.0000	0.0007	0.0000	0.0011	0.0000	0.0002	0.0000	0.0003	0.0000
0.0004	0.0000	0.0008	0.0000	0.0012	0.0000	0.0003	0.0000	0.0004	0.0000
0.0005	0.0000	0.0009	0.0000	0.0013	0.0000	0.0004	0.0000	0.0005	0.0000
0.0006	0.0000	0.0010	0.0000	0.0014	0.0000	0.0005	0.0000	0.0006	0.0000
0.0007	0.0000	0.0011	0.0000	0.0015	0.0000	0.0006	0.0000	0.0007	0.0000
0.0008	0.0000	0.0012	0.0000	0.0016	0.0000	0.0007	0.0000	0.0008	0.0000
0.0009	0.0000	0.0013	0.0000	0.0017	0.0000	0.0008	0.0000	0.0009	0.0000
0.0010	0.0000	0.0014	0.0000	0.0018	0.0000	0.0009	0.0000	0.0010	0.0000

Table 2: Values of the function $P = \frac{1}{2} \log \frac{1 + \sqrt{1 - 4x^2}}{1 - \sqrt{1 - 4x^2}}$ for $x = 0.0011, 0.0012, \dots, 0.0020$.

x	P	x	P	x	P	x	P	x	P
0.0011	0.0000	0.0016	0.0000	0.0019	0.0000	0.0020	0.0000	0.0011	0.0000
0.0012	0.0000	0.0017	0.0000	0.0020	0.0000	0.0011	0.0000	0.0012	0.0000
0.0013	0.0000	0.0018	0.0000	0.0021	0.0000	0.0012	0.0000	0.0013	0.0000
0.0014	0.0000	0.0019	0.0000	0.0022	0.0000	0.0013	0.0000	0.0014	0.0000
0.0015	0.0000	0.0020	0.0000	0.0023	0.0000	0.0014	0.0000	0.0015	0.0000
0.0016	0.0000	0.0021	0.0000	0.0024	0.0000	0.0015	0.0000	0.0016	0.0000
0.0017	0.0000	0.0022	0.0000	0.0025	0.0000	0.0016	0.0000	0.0017	0.0000
0.0018	0.0000	0.0023	0.0000	0.0026	0.0000	0.0017	0.0000	0.0018	0.0000
0.0019	0.0000	0.0024	0.0000	0.0027	0.0000	0.0018	0.0000	0.0019	0.0000
0.0020	0.0000	0.0025	0.0000	0.0028	0.0000	0.0019	0.0000	0.0020	0.0000



207

Regressi. parte. Atmosf. s.

$f = \frac{m \cdot \sin \alpha}{\cos \alpha}$ Angolo in gradi α

Angolo in gradi α

Gradi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
1	0.0175	0.0350	0.0525	0.0700	0.0875	0.1050	0.1225	0.1400	0.1575	0.1750	0.1925	0.2100	0.2275	0.2450	0.2625	0.2800	0.2975	0.3150	0.3325	0.3500	0.3675	0.3850	0.4025	0.4200	0.4375	0.4550	0.4725	0.4900	0.5075	0.5250	0.5425	0.5600	0.5775	0.5950	0.6125	0.6300	0.6475	0.6650	0.6825	0.7000	0.7175	0.7350	0.7525	0.7700	0.7875	0.8050	0.8225	0.8400	0.8575	0.8750	0.8925	0.9100	0.9275	0.9450	0.9625	0.9800	0.9975			

208

Regressi. parte. Atmosf. s.

$f = \frac{m \cdot \sin \alpha}{\cos \alpha}$ Angolo in gradi α

Angolo in gradi α

Gradi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
1	0.0175	0.0350	0.0525	0.0700	0.0875	0.1050	0.1225	0.1400	0.1575	0.1750	0.1925	0.2100	0.2275	0.2450	0.2625	0.2800	0.2975	0.3150	0.3325	0.3500	0.3675	0.3850	0.4025	0.4200	0.4375	0.4550	0.4725	0.4900	0.5075	0.5250	0.5425	0.5600	0.5775	0.5950	0.6125	0.6300	0.6475	0.6650	0.6825	0.7000	0.7175	0.7350	0.7525	0.7700	0.7875	0.8050	0.8225	0.8400	0.8575	0.8750	0.8925	0.9100	0.9275	0.9450	0.9625	0.9800	0.9975			

SVE		Primeras partes.		Afirmaciones.		Segundas partes.		Afirmaciones.		SVE	
		$P = \frac{m \cdot v}{c}$		Diferencia y $\frac{1}{c^2}$ de esta denominación...		$P = \frac{m \cdot v}{c}$		Diferencia y $\frac{1}{c^2}$ de esta denominación...		$P = \frac{m \cdot v}{c}$	
		Angulo en 10^6 segundos.		Angulo en 10^6 segundos.		Angulo en 10^6 segundos.		Angulo en 10^6 segundos.		Angulo en 10^6 segundos.	
		Arco en 10^6 segundos.		Arco en 10^6 segundos.		Arco en 10^6 segundos.		Arco en 10^6 segundos.		Arco en 10^6 segundos.	
θ	ϕ	θ	ϕ	θ	ϕ	θ	ϕ	θ	ϕ	θ	ϕ
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Admittance

$p = p' + j p''$
 $o = \frac{p}{\sqrt{p'^2 + p''^2}} \angle \theta$

L' (ohms)	Admittance										L (ohms)	
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°		
1	1.000	0.966	0.914	0.845	0.760	0.661	0.552	0.436	0.316	0.194	0.073	0
2	2.000	1.932	1.845	1.741	1.621	1.487	1.341	1.186	1.024	0.858	0.690	0.523
3	3.000	2.898	2.790	2.674	2.544	2.402	2.251	2.094	1.933	1.770	1.607	1.446
4	4.000	3.965	3.853	3.732	3.596	3.457	3.317	3.177	3.038	2.899	2.761	2.624
5	5.000	4.970	4.855	4.731	4.590	4.453	4.316	4.181	4.047	3.914	3.782	3.651
6	6.000	5.969	5.852	5.725	5.581	5.445	5.310	5.177	5.045	4.914	4.784	4.655
7	7.000	6.970	6.851	6.721	6.574	6.440	6.307	6.176	6.046	5.917	5.789	5.662
8	8.000	7.970	7.849	7.717	7.568	7.435	7.304	7.175	7.047	6.920	6.794	6.669
9	9.000	8.970	8.848	8.715	8.564	8.432	8.302	8.174	8.047	7.921	7.796	7.672
10	10.000	9.970	9.847	9.713	9.561	9.430	9.301	9.174	9.048	8.923	8.798	8.674
11	11.000	10.970	10.846	10.711	10.558	10.428	10.300	10.174	10.049	9.924	9.799	9.675
12	12.000	11.970	11.845	11.710	11.556	11.427	11.300	11.174	11.049	10.924	10.799	10.675
13	13.000	12.970	12.844	12.709	12.555	12.426	12.300	12.174	12.049	11.924	11.799	11.675
14	14.000	13.970	13.843	13.708	13.554	13.425	13.300	13.174	13.049	12.924	12.799	12.675
15	15.000	14.970	14.842	14.707	14.553	14.424	14.300	14.174	14.049	13.924	13.799	13.675
16	16.000	15.970	15.841	15.706	15.552	15.423	15.300	15.174	15.049	14.924	14.799	14.675
17	17.000	16.970	16.840	16.705	16.551	16.422	16.300	16.174	16.049	15.924	15.799	15.675
18	18.000	17.970	17.839	17.704	17.550	17.421	17.300	17.174	17.049	16.924	16.799	16.675
19	19.000	18.970	18.838	18.703	18.549	18.420	18.300	18.174	18.049	17.924	17.799	17.675
20	20.000	19.970	19.837	19.702	19.548	19.419	19.300	19.174	19.049	18.924	18.799	18.675
21	21.000	20.970	20.836	20.701	20.547	20.418	20.300	20.174	20.049	19.924	19.799	19.675
22	22.000	21.970	21.835	21.700	21.546	21.417	21.300	21.174	21.049	20.924	20.799	20.675
23	23.000	22.970	22.834	22.699	22.545	22.416	22.300	22.174	22.049	21.924	21.799	21.675
24	24.000	23.970	23.833	23.698	23.544	23.415	23.300	23.174	23.049	22.924	22.799	22.675
25	25.000	24.970	24.832	24.697	24.543	24.414	24.300	24.174	24.049	23.924	23.799	23.675
26	26.000	25.970	25.831	25.696	25.542	25.413	25.300	25.174	25.049	24.924	24.799	24.675
27	27.000	26.970	26.830	26.695	26.541	26.412	26.300	26.174	26.049	25.924	25.799	25.675
28	28.000	27.970	27.829	27.694	27.540	27.411	27.300	27.174	27.049	26.924	26.799	26.675
29	29.000	28.970	28.828	28.693	28.539	28.410	28.300	28.174	28.049	27.924	27.799	27.675
30	30.000	29.970	29.827	29.692	29.538	29.409	29.300	29.174	29.049	28.924	28.799	28.675
31	31.000	30.970	30.826	30.691	30.537	30.408	30.300	30.174	30.049	29.924	29.799	29.675
32	32.000	31.970	31.825	31.690	31.536	31.407	31.300	31.174	31.049	30.924	30.799	30.675
33	33.000	32.970	32.824	32.689	32.535	32.406	32.300	32.174	32.049	31.924	31.799	31.675
34	34.000	33.970	33.823	33.688	33.534	33.405	33.300	33.174	33.049	32.924	32.799	32.675
35	35.000	34.970	34.822	34.687	34.533	34.404	34.300	34.174	34.049	33.924	33.799	33.675
36	36.000	35.970	35.821	35.686	35.532	35.403	35.300	35.174	35.049	34.924	34.799	34.675
37	37.000	36.970	36.820	36.685	36.531	36.402	36.300	36.174	36.049	35.924	35.799	35.675
38	38.000	37.970	37.819	37.684	37.530	37.401	37.300	37.174	37.049	36.924	36.799	36.675
39	39.000	38.970	38.818	38.683	38.529	38.400	38.300	38.174	38.049	37.924	37.799	37.675
40	40.000	39.970	39.817	39.682	39.528	39.399	39.300	39.174	39.049	38.924	38.799	38.675
41	41.000	40.970	40.816	40.681	40.527	40.398	40.300	40.174	40.049	39.924	39.799	39.675
42	42.000	41.970	41.815	41.680	41.526	41.397	41.300	41.174	41.049	40.924	40.799	40.675
43	43.000	42.970	42.814	42.679	42.525	42.396	42.300	42.174	42.049	41.924	41.799	41.675
44	44.000	43.970	43.813	43.678	43.524	43.395	43.300	43.174	43.049	42.924	42.799	42.675
45	45.000	44.970	44.812	44.677	44.523	44.394	44.300	44.174	44.049	43.924	43.799	43.675
46	46.000	45.970	45.811	45.676	45.522	45.393	45.300	45.174	45.049	44.924	44.799	44.675
47	47.000	46.970	46.809	46.674	46.520	46.391	46.300	46.174	46.049	45.924	45.799	45.675
48	48.000	47.970	47.808	47.673	47.519	47.390	47.300	47.174	47.049	46.924	46.799	46.675
49	49.000	48.970	48.807	48.672	48.518	48.389	48.300	48.174	48.049	47.924	47.799	47.675
50	50.000	49.970	49.806	49.671	49.517	49.388	49.300	49.174	49.049	48.924	48.799	48.675
51	51.000	50.970	50.805	50.670	50.516	50.387	50.300	50.174	50.049	49.924	49.799	49.675
52	52.000	51.970	51.804	51.669	51.515	51.386	51.300	51.174	51.049	50.924	50.799	50.675
53	53.000	52.970	52.803	52.668	52.514	52.385	52.300	52.174	52.049	51.924	51.799	51.675
54	54.000	53.970	53.802	53.667	53.513	53.384	53.300	53.174	53.049	52.924	52.799	52.675
55	55.000	54.970	54.801	54.666	54.512	54.383	54.300	54.174	54.049	53.924	53.799	53.675
56	56.000	55.970	55.799	55.664	55.510	55.381	55.300	55.174	55.049	54.924	54.799	54.675
57	57.000	56.970	56.798	56.663	56.509	56.380	56.300	56.174	56.049	55.924	55.799	55.675
58	58.000	57.970	57.797	57.662	57.508	57.379	57.300	57.174	57.049	56.924	56.799	56.675
59	59.000	58.970	58.796	58.661	58.507	58.378	58.300	58.174	58.049	57.924	57.799	57.675
60	60.000	59.970	59.795	59.660	59.506	59.377	59.300	59.174	59.049	58.924	58.799	58.675
61	61.000	60.970	60.794	60.659	60.505	60.376	60.300	60.174	60.049	59.924	59.799	59.675
62	62.000	61.970	61.793	61.658	61.504	61.375	61.300	61.174	61.049	60.924	60.799	60.675
63	63.000	62.970	62.792	62.657	62.503	62.374	62.300	62.174	62.049	61.924	61.799	61.675
64	64.000	63.970	63.791	63.656	63.502	63.373	63.300	63.174	63.049	62.924	62.799	62.675
65	65.000	64.970	64.790	64.655	64.501	64.372	64.300	64.174	64.049	63.924	63.799	63.675
66	66.000	65.970	65.789	65.654	65.500	65.371	65.300	65.174	65.049	64.924	64.799	64.675
67	67.000	66.970	66.788	66.653	66.499	66.370	66.300	66.174	66.049	65.924	65.799	65.675
68	68.000	67.970	67.787	67.652	67.498	67.369	67.300	67.174	67.049	66.924	66.799	66.675
69	69.000	68.970	68.786	68.651	68.497	68.368	68.300	68.174	68.049	67.924	67.799	67.675
70	70.000	69.970	69.785	69.650	69.496	69.367	69.300	69.174	69.049	68.924	68.799	68.675
71	71.000	70.970	70.784	70.649	70.495	70.366	70.300	70.174	70.049	69.924	69.799	69.675
72	72.000	71.970	71.783	71.648	71.494	71.365	71.300	71.174	71.049	70.924	70.799	70.675
73	73.000	72.970	72.782	72.647	72.493	72.364	72.300	72.174	72.049	71.924	71.799	71.675
74	74.000	73.970	73.781	73.646	73.492	73.363	73.300	73.174	73.049	72.924	72.799	72.675
75	75.000	74.970	74.780	74.645	74.491	74.362	74.300	74.174	74.049	73.924	73.799	73.675
76	76.000	75.970	75.779	75.644	75.490	75.361	75.300	75.174	75.049	74.924	74.799	74.675
77	77.000	76.970	76.778	76.643	76.489	76.360	76.300	76.174	76.049	75.924	75.799	75.675
78	78.000	77.970	77.777	77.642	77.488	77.359	77.300	77.174	77.049	76.924	76.799	76.675
79	79.000	78.970	78.776	78.641	78.487	78.358	78.300	78.174	78.049	77.924	77.799	77.675
80	80.000	79.970	79.775	79.640	79.486	79.357	79.300	79.174	79.049	78.924	78.799	78.675
81	81.000	80.970	80.774	80.639	80.485	80.356	80.300	80.174	80.049	79.924	79.799	79.675
82	82.000	81.970	81.773	81.638	81.484	81.355	81.300	81.174	81.049	80.924	80.799	80.675
83	83.000	82.970	82.772	82.637	82.483	82.354	82.300	82.174	82.049	81.924	81.799	81.675
84	84.000	83.970	83.771	83.636	83.482	83.353	83.300	83.174	83.049	82.924	82.799	82.675
85	85.000	84.970	84.770	84.635	84.481	84.352	84.300	84.174	84.049	83.924	83.799	83.675
86	86.000	85.97										