

# **Apuntes de Navegación Astronómica**

## Esfera Celeste

**Astronomía Náutica** es la parte de la Astronomía que permite al navegante determinar la situación del barco y la derrota a seguir mediante la observación de los astros

**Navegación Náutica.** Es el arte de determinar la situación del barco en cualquier momento y conducirlo con seguridad de un lugar a otro

Si se basa en medios terrestres : **Geonavegación** y si en celeste **Astronavegación.**

La Navegación náutica puede ser de **superficie y submarina.**

**Astros:** Cuerpos celestes que pueblan el firmamento. Estrellas, planetas, satélites y cometas. Los hay de diversas clases

**Estrellas** : Luz propia y sin movimiento aparente por la gran distancia a la que se encuentran. Respecto a la Tierra dan la apariencia de rotación, si bien lo cierto es que es la Tierra la que gira y da la sensación de giro de las estrellas. El Sol es la estrella de mayor influencia sobre la Tierra.

**Planetas**, astros que carecen de luz propia, y reflejan la de las estrellas. En el sistema solar reflejan la luz del Sol. Tienen movimiento propio. Se distinguen de las estrellas porque la luz que emiten es fija, mientras que las estrellas son centelleantes. Por orden de distancia al Sol son : Mercurio, Venus, la Tierra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano , Neptuno y Plutón.

**Satélites**, astros sin luz propia y se mueven alrededor de los planetas. La Tierra tiene de satélite a la Luna.

**Cometas.** Son astros de órbitas muy excéntricas y que sólo se pueden ver en la parte de su trayectoria cercana a la tierra.

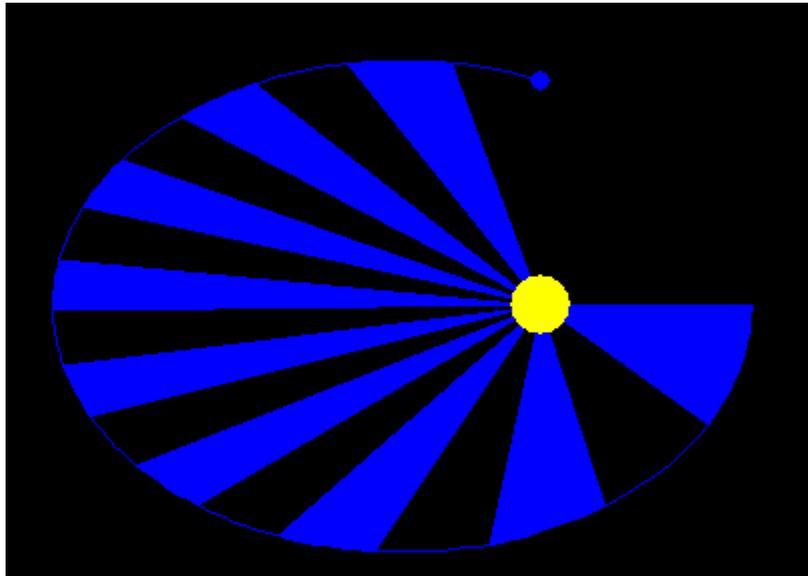
La Tierra tiene un movimiento de giro alrededor de su eje que hace que de la sensación de que todo el Universo gire alrededor de ella cada 24 horas. Los cuerpos celestes describirán una trayectoria aparente de giro manteniendo una misma altura y recorriendo un paralelo de declinación.

## Sistema Solar.

Es un conjunto de astros cuyo centro es la estrella Sol, que describe una órbita de 280 millas de diámetro (sin importancia a efectos prácticos) alrededor de la cual giran los 9 planetas mencionados anteriormente, 32 satélites (Tierra uno : La Luna, Marte dos, Júpiter 12, Saturno 10, Urano 5 y Saturno 2), miles de planetas menores o asteroides y multitud de cometas.

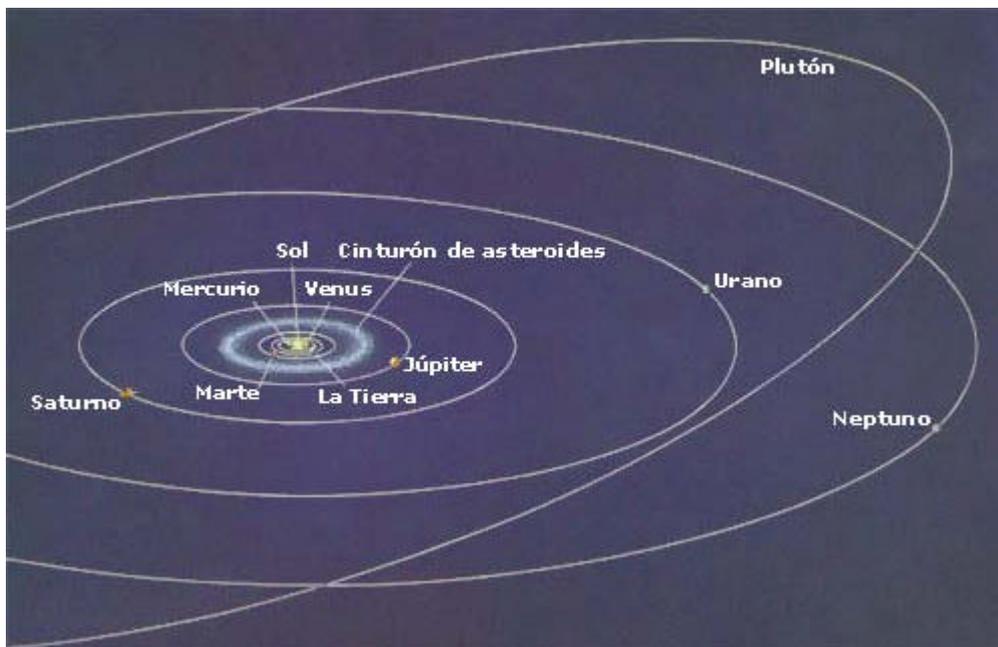
Los planetas siguen **las leyes de Kepler** en su movimiento:

- 1.- La órbita de cada planeta es una elipse en uno de cuyos focos está el Sol.
- 2.- Los radios vectores que unen cada planeta con el Sol barren espacios iguales en tiempos iguales. Luego su velocidad es menor cuando más alejados están (afelio) y mayor cuando están más próximos del Sol (perihelio)
- 3.- Los cuadrados de los tiempos empleados por los planetas en cumplir una revolución alrededor del Sol son proporcionales a los cubos de los ejes mayores de sus órbitas.



Para la navegación se utilizan cuatro planetas : Venus, Marte, Júpiter y Saturno

Todos los astros tienen dos movimientos principales : El de rotación sobre su eje y el de translación describiendo una órbita, en sentido Oeste a Este, si bien, debido a que la Tierra también tiene ese movimiento la sensación óptica es que los Planetas giran en sentido Este a Oeste. En el caso de los Planetas la órbita es una elipse, en uno de cuyos focos se encuentra el Sol.



Si imaginamos una esfera Celeste, que llamaremos **esfera paralela**, en la que el Observador se encuentra situado en el Polo Norte, y le coincide el horizonte verdadero con el Ecuador Celeste, este vería todos los Astros situados en el hemisferio Norte y ninguno de los situados en el hemisferio sur, recorriendo aparentemente un círculo alrededor de la Tierra, paralelo de declinación, de pequeño diámetro en el caso de la Polar y de diámetro máximo en el caso de los Astros cercanos al Ecuador Celeste. No tendríamos azimutes por no existir puntos cardinales de referencia

Llamaremos **esfera recta** en la que el observador se encuentra sobre el Ecuador y por consiguiente el plano del horizonte engloba el eje del mundo, formando el Ecuador y el Horizonte un ángulo de  $90^\circ$ . El Observador vería la totalidad de los Astros del Universo, que describirían circunferencias perpendiculares al horizonte, siendo el día igual a la noche (arco diurno igual a arco nocturno)

**Esfera oblicua** es aquella en la que el observador no se encuentra ni en el Ecuador ni en el Polo, formando el Horizonte verdadero y el Ecuador un ángulo  $x$  tal que  $90^\circ > x > 0^\circ$ . Dependiendo de la latitud del observador y de la declinación del Astro se darán varios casos

- a) Latitud y Declinación de la misma especie. Día más largo que la noche:
  - Declinación superior a la Colatitud. Astro circumpolar o visible las 24 horas.
  - Declinación inferior a la Colatitud. Astro parcialmente visible.
- b) Declinación  $0^\circ$ . El Astro recorre el ecuador. Sale por el Este verdadero y se pone por el Oeste
- c) Latitud y declinación de distinto signo. Día más corto que la noche.
  - Declinación inferior en valor absoluto a la Colatitud. Astro parcialmente visible
  - Declinación superior en valor absoluto a la Colatitud. Astro no visible nunca o anticircumpolar.

El momento en que el Astro pasa sobre el meridiano del lugar es cuando alcanza la máxima altura sobre el horizonte para el observador, momento al que se llama su **culminación superior**. Esta altura es la que se conoce por **altura meridiana**. El paso por el meridiano inferior correspondería a su culminación **inferior**.

Por definición su azimut es  $0^\circ$  aunque a veces se dice que es  $180^\circ$  si se observa de cara al polo depreso.

Se observará hacia el polo depreso o hacia el polo elevado en función de que su declinación sea inferior a su latitud o superior

Los movimientos descritos son exactamente así para los Astros lejanos. Los Astros que forman nuestro sistema solar resultan más complejo porque dada la cercanía nos influyen sus propios movimientos de rotación y translación

El movimiento de todos los Planetas es de Oeste a Este, trasladándose el conjunto del sistema solar hacia la estrella Vega a una velocidad de 22 Km. por segundo.

### **Orto y ocaso.**

**Orto** es el momento en que el Astro aparece sobre el horizonte, por el Este, y **ocaso** es el momento en el que desaparece por el Oeste. En ese momento su altura es  $0^\circ$ . Los astros de declinación norte nace por el primer cuadrante y se ponen por el cuarto. Los de declinación sur por el segundo y tercero.

Esto no es totalmente cierto para Astros como el Sol, más grande. Para el Sol definimos el orto y el ocaso por la aparición o desaparición de su *limbo superior*, si bien las observaciones del sol se realizan preferentemente tangenteando su limbo inferior con el horizonte para mayor precisión de la observación.

Todo ello es aparente, pues en realidad, y debido a los fenómenos de refracción y otros el Astro está realmente más bajo de lo que parece. Así tanto en el orto aparente como en el ocaso aparente la altura real del Sol es de menos  $50'$  aproximadamente.

Prácticamente el Sol está en su orto y ocaso verdadero cuando su limbo inferior está elevado sobre el horizonte  $2/3$  de su diámetro.

## La Tierra

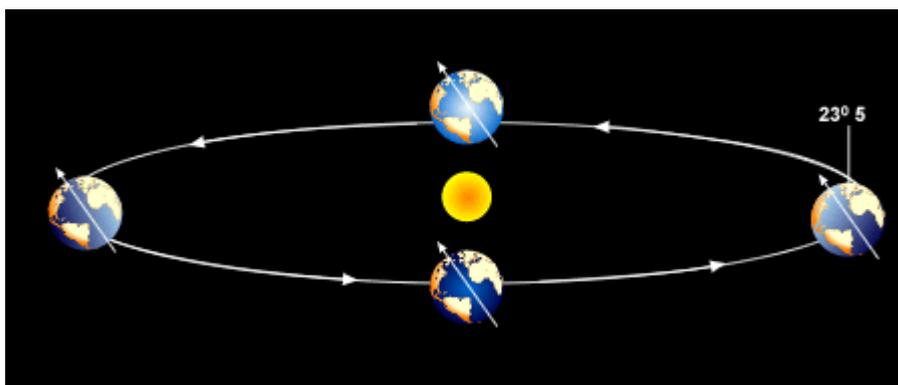
Tiene varios movimientos :

**Rotación** alrededor de su eje, en sentido de Occidente a Oriente, llamado **sentido directo**, que completa en 24 horas solares. Se llama movimiento **diurno**, pues es el que origina el día y la noche

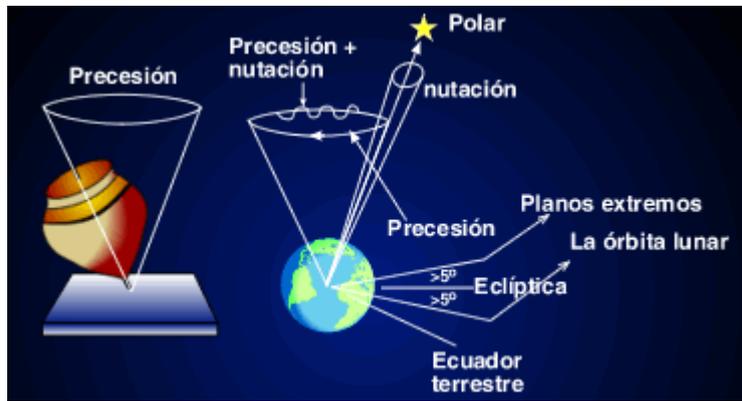
**Movimiento aparente diurno** es el movimiento relativo resultante, en el que los astros parecen girar en sentido opuesto al real, de Oriente a Occidente, sentido al que se le da el nombre de **sentido Astronómico**.

Los puntos en el Ecuador tienen una elevada velocidad tangencial (465 metros por segundo) que es nula en los Polos. El movimiento de rotación genera el sentido Este – Oeste de los vientos alisios.

**Translación** alrededor del Sol, describiendo una elipse llamada **eclíptica** en sentido contrario a las agujas del reloj. El punto en que el Sol está más **próximo** se llama **Perigeo** y **Apogeo** es el que está más **alejado**. La distancia media es de 149,5 millones de Km. **Línea de ápsides** es la que une el Perigeo y el Apogeo y forma el eje mayor de la eclíptica. La duración de este movimiento es de 365 días y  $\frac{1}{4}$ , lo que es causa de las estaciones. La excentricidad de la órbita es de  $\frac{1}{60}$  y forma un ángulo de  $23^{\circ} 27'$  con el Ecuador.



**Precesión de equinoccios** , movimiento de giro del eje de la Tierra alrededor del eje de la eclíptica formando un cono invertido. La línea de los equinoccios gira en sentido de las agujas de un reloj a razón de  $50,26''$  por año. Por ello la Polar no está siempre en la misma posición respecto al Polo Norte, y en unos 13.000 años el mismo estará en la dirección de Vega.



Este movimiento se debe a la fuerza gravitatoria de los demás planetas sobre la Tierra. El giro completo durará 26.000 años.

La línea de ápsides se desplaza 11,7" en sentido directo (Occidente a Oriente) cada año. Cuando en el año 1.250 coincidían la línea de ápsides y la de solsticios, Primavera y Verano eran de igual duración, así como Otoño e Invierno, siendo más largos aquellos. Ahora el orden de duración para el hemisferio Norte es Verano, Primavera, Otoño e Invierno.

Sobre el eje de eje de rotación actúa también otro mecanismo perturbador. El plano de la órbita de la Luna no coincide con la eclíptica de manera que su atracción gravitacional tiene direcciones diferentes a la ejercida por el Sol. Este efecto, conocido como **nutación**, obliga al eje terrestre a describir un pequeño movimiento elíptico.

## El Sol

Estrella que da nombre al Sistema solar, se encuentra a **150** Millones de kilómetros de la Tierra. Es una esfera de radio unas **100** veces mayor que el de la Tierra. Es de color amarillo y su superficie está a  $5.800^{\circ}$  de temperatura.

Consta de una esfera, rodeada de varias capas, que de interior a exterior son : Fotosfera, que es la parte visible, Atmósfera solar, compuesta de cromosfera y la corona. En la cromosfera se encuentran las protuberancias, enormes masas de gases que se elevan a miles de kilómetros.

El Sol describe aparentemente una órbita o eclíptica alrededor de la Tierra (en realidad es al revés) inclinada  $23^{\circ} 27'$  (**oblicuidad de la eclíptica**) respecto al plano del Ecuador, tardando un año trópico en recorrerla. También tiene una rotación sobre su eje de unos **25** días aproximadamente.

La eclíptica corta al Ecuador en dos puntos, el punto **vernal** o de **Aries, primer punto de Aries, nodo ascendente o punto equinoccial de primavera** y el punto de **Libra o nodo descendente**. Lo hace el 21 de Marzo y el 23 de Septiembre respectivamente, fechas que se denominan **equinoccios** (equinos = igual noche = igual día. Alcanza su punto de máxima altura aparente o declinación el 21 de Junio, solsticio de verano, en el punto de **Cáncer** y llega al punto más bajo en el punto de **Capricornio** el 21 de Diciembre, que se produce el solsticio de invierno. Este movimiento es el que determina las estaciones en ambos hemisferios.

Basado en lo anterior primavera y verano debieran tener la misma temperatura, así como otoño e invierno. Sin embargo no es así porque en primavera la Tierra está fría, con lo cual es preciso calentarla. Al llegar el verano, la misma cantidad de calor se aplica sobre una Tierra ya calentada por lo que suben aún más las temperaturas. El fenómeno inverso se da en Otoño e Invierno.

El eje normal a la eclíptica corta la esfera celeste en los Polos de la eclíptica. Los Círculos máximos que pasan por los Polos Celestes y los puntos equinociales se llama **coluro de los equinoccios**, y el que pasa por los puntos solsticiales se llama **coluro de los solsticios**.

La líneas de los equinoccios está separada unos  $16^{\circ}$  de la línea de los ápsides

Debido a la precesión de los equinoccios, el punto de Aries se ha trasladado unos  $30^{\circ}$  sobre la eclíptica, ocupando ahora su posición Piscis.

Cuando el Sol tiene una declinación igual a la latitud del lugar sus rayos caen perpendicularmente sobre el mismo. Esto se produce dos veces al año para cada punto situado entre los trópicos de Cáncer y Capricornio (paralelos a  $23^{\circ} 27'$  Norte y Sur respectivamente). En el Ecuador esto se produce en los equinoccios y en esa fecha el día es igual a la noche para toda la Tierra. El resto del año el día es mayor que la noche en el hemisferio Norte cuando la declinación del Sol es positiva. En el solsticio de verano, o punto de Cáncer, se llega a la mayor duración del día para el hemisferio Norte. En las cercanías de los Polos el día dura seis meses y la noche otro tanto.

## La Luna

Satélite de la Tierra, es una esfera sin luz propia y de un volumen del 1/50 de la Tierra. Su distancia a la Tierra es del orden de 375.000 kilómetros o 60 radios terrestres.

Se usa poco para la navegación actual debido a que por su cercanía da lugar a grandes errores de paralaje. Se llama **paralaje** al ángulo que forman dos visuales dirigidas desde el Astro hacia la Tierra, una al centro y otra tangente a la misma. En el caso de la Luna este paralaje es del orden de 57", siete veces mayor que el del Sol y el doble que el de Venus. El paralaje no es siempre el mismo, dependiendo de la posición relativa de los Astros y sus respectivos radios.

Tiene dos movimientos

**Rotación sobre su eje**. Este tiempo es de 27 días 7 horas y 43 y se llama **revolución sidérea**.

**Traslación** describiendo una eclíptica que tiene a la Tierra en uno de sus ejes. El plano de su eclíptica forma un ángulo de 5° 08' 47" con el de la eclíptica Solar. El tiempo que tarda en recorrerla es de 27 días 7 horas y 43 minutos y se llama **revolución sidérea**. Como es el mismo tiempo que tarda en dar una rotación alrededor de su eje el resultado es que siempre vemos la misma cara de la Luna

Dado que el Sol se va desplazando al mismo tiempo que la Luna el tiempo en que tardamos en volver a ver los dos Astros en la misma posición relativa es superior a la revolución sidérea, siendo de 29 días 12 horas y 44 minutos. A este intervalo se le llama **revolución sinódica, lunación o mes lunar**.

**Ciclo lunar o de Mentón** es la duración de un período de 19 años durante el cual se producen 235 lunaciones

**Número de oro** es el número de orden de un año en el ciclo de Mentón. El año anterior a Cristo el número de oro fue 1.

### Fases de la Luna

Luna nueva o novilunio

Luna creciente

Luna llena o plenilunio

Cuarto menguante

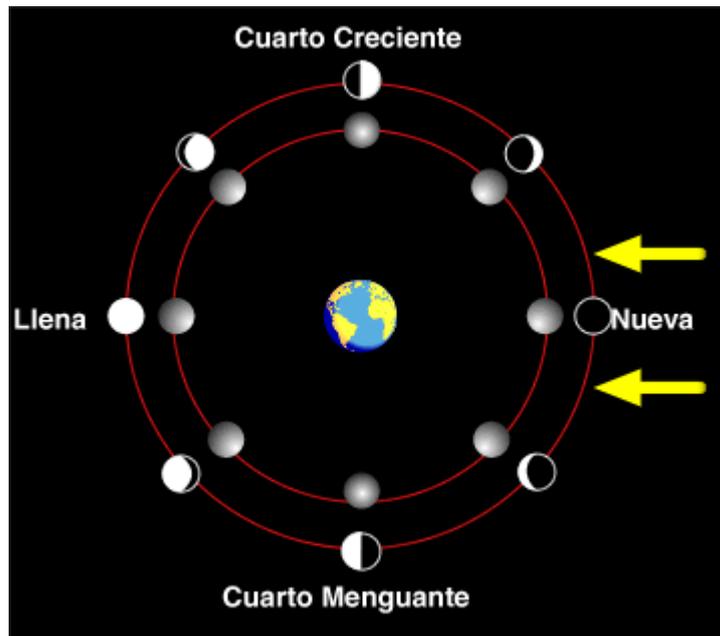
Cuando la Luna es nueva o llena está alineada con el Sol y la Tierra, llamándose esta situación **conjunción** si está del lado del Sol, y **oposición** si la Tierra está en medio. A ambas situaciones se les llama **sigigias**. Cuando esta en mitad de los períodos de creciente y menguante forma un ángulo de 90° y se dice que está en **cuadratura**.

**Edad de la Luna** es el número de días desde que fue luna *nueva*

**Epacta de la Luna** es la edad que tiene el 1 de Enero

Se dice que la Luna es mentirosa porque parece una C cuando Decrece y una D cuando Crece.

El proceso total dura un mes aproximadamente (29,5 días) , por lo que entre cada fase hay una semana.



## Las Estrellas

Son Astros similares al Sol, o sea con luz propia. Por la lejanía se ven como puntos *centelleantes*, a diferencia de los Planetas, que tienen una luz fija. Por la misma razón aparecen como inmóviles, si bien no lo están.

Existen en número indeterminado, si bien un observador puede llegar a ver teóricamente del orden de 6.000 a simple vista, en función de la calidad de la atmósfera y de la elevación a la que se encuentre. En realidad, y por la posición cercana o inferior al horizonte el número máximo real que se puede ver a simple vista es de unas 2.500.

Están formadas por enormes masas de gases o masas sólidas incandescentes. En función de su temperatura tienen un color que puede ser azulado, blanco, amarillo, anaranjado o rojo.

Por tamaño se distinguen en **enanas, gigantes y súper gigantes** El Sol se cuenta entre las enanas.

Se clasifican normalmente por su **magnitud estelar aparente**, que es una forma de medir el brillo relativo de una respecto a otra. Este valor tiene en cuenta la intensidad de la luz que nos llega, que se ve afectada no sólo por la emitida por la estrella sino también por la distancia a la que se encuentra. La Polar tiene un índice de 2,12, el Sol lo tiene negativo de -26,6.

Se consideran de primera magnitud las que tienen un brillo superior a 1,5. Los modernos instrumentos permiten observar estrellas hasta de magnitud 30. Para la navegación astronómica se observan estrellas como máximo de 3ª magnitud.

**Las estrellas** se agrupan en el cielo en constelaciones, clasificándose por su brillo, que puede ser fijo y variable, siendo esta variación regular o irregular.. Muchas de ellas son de grandes dimensiones, como Antares que es unas 450 veces mayor que el Sol. Si bien tienen movimiento a efectos del observador se encuentran fijas debido a la gran distancia a la que están. En cualquier caso su movimiento es siempre siguiendo un paralelo de declinación, que es un círculo máximo paralelo al Ecuador Celeste

El Almanaque Náutico facilita los datos de Angulo sidéreo y declinación para 99 de las estrellas.

Constelaciones son agrupaciones de estrellas a las que se conoce por un nombre mitológico o de objetos, si bien guardan poco parecido muchas veces con el mismo. Vienen limitadas por paralelos de declinación y círculos horarios, reconociéndose oficialmente 88 de ellas.

Las constelaciones más usadas son : Osa Mayor, Osa Menor, Casiopea, Pegaso, Orión, Escorpión y Cruz del Sur.

**Zodiaco** o zona de la eclíptica es una franja de 17° de anchura alrededor de la eclíptica. En ella están comprendidas las órbitas de todos los Planetas excepto Plutón. Se divide en 12 zonas, con nombres de animales en su mayoría, que coinciden con los de las constelaciones que en cada zona se encontraban hace 2.100 años, cuando el Sol pasó frente al punto vernal de la constelación Aries. Desde entonces se ha producido un decalaje de 30° para todas las constelaciones, estando Piscis donde estaba Aries, que volverán al punto original al cabo de 26.000 años de haber iniciado el movimiento. La primera constelación está entre 0° y 30° y así sucesivamente. La explicación del movimiento consiste en que la fuerza gravitatoria de los

Planetas influye sobre la Tierra, y debido al fenómeno de la **precesión**, esto se traduce en un movimiento circular del eje de la Tierra alrededor del eje de la eclíptica, de una duración estimada de dichos 26.000 años.

El nombre de las zonas del Zodíaco es : Aries, Tauro, Géminis, Cáncer, Leo, Virgo, Libra, Escorpión, Sagitario, Capricornio, Acuario y Piscis.

**La Polar.** Es una estrella de segunda magnitud 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.

Dada su proximidad al Polo Norte da la sensación de que describe un pequeño círculo alrededor del Eje del Mundo.

Se reconoce a partir de la Osa Mayor o carro, prolongando 5 veces la distancia entre Dubhe y Merkar, que son las estrellas que cierran el mismo y en dirección a la parte de arriba

Cuando la Osa Mayor está por debajo del horizonte se reconoce a partir de Casiopea, que forma una W con sus 5 principales estrellas, estando situada la Polar en el lado de las aberturas de la W.

**Osa Mayor o Carro.** Situada a unos 35° del Polo, es circumpolar para España. Son siete estrellas, cuatro formando el carro (Dubhe, Merak, Delta o Phecda y Megrez o Gamma), y tres (Alioth, Mizark y Alkaid) la lanza del mismo, que se ve hacia la izquierda. Mediante prolongaciones de trozos del carro encontramos otras estrellas.

Prolongando 5 veces Merak y Dubhe encontramos la Polar, que a su vez es parte de la Osa Menor.

Prolongando Mizar y Alioth encontramos Castor y Pólux., de Orión

Prolongando Gamma y Delta encontramos Vega y Altair

**Orión.** Formada por Castor, Pólux, Sirius, Canis Majoris, Aldebarán, Rigel , Beltegeuse, las Tres Marías.

Prolongando las Tres Marías hacia el Norte : Aldebarán

**Escorpión.** Prolongando Scorpio y Antares está Arcturus.

### **Pegaso y Andrómeda**

**Casiopea.** Forma una W. Prolongando las bisectrices de los ángulos llegamos a la Polar

### **Publicaciones sobre estrellas:**

**Catálogos** como el Almanaque Náutico. Dan las estrellas en listas ordenadas con sus principales características, como declinación y ángulo sidéreo.

**Planisferios o mapas de estrellas.** Hay de dos tipos.

**Estereográficos**, obtenidos mediante proyección sobre el Ecuador y como foco el Polo opuesto al hemisferio que se proyecta. Es buena para latitudes altas y medias

**Cilíndrica**, proyectando la zona más cercana al Ecuador sobre un cilindro que luego se desenrolla. Es buena para latitudes bajas.

## **Zonas climáticas.**

La posición relativa de cada punto de la Tierra en relación al Sol determina su clima. Distinguimos varias zonas

Zonas frías o Glaciares. Ártico : Entre el Polo Norte y  $66^{\circ} 33' N$  (Círculo Polar Ártico).  
Antártico : Entre  $66^{\circ} 33' S$  (Círculo Polar Antártico) y el Polo Sur. El Sol nunca incide directamente. Temperaturas muy bajas. Día y noche de seis meses de duración

Templada. Entre el Círculo Polar Ártico y el Paralelo de Cáncer ( $23^{\circ}27'N$ ) o entre el Trópico de Capricornio ( $23^{\circ} 27' S$ ) y el Círculo Polar Antártico( $66^{\circ} 33' S$ ) . El Sol nunca incide directamente. Más cálidas

Tórrida, Trópico o zona ecuatorial o caliente. Entre Trópico de Cáncer y el de Capricornio ( $23^{\circ} 27' S$ ). Cada punto de esta zona recibe el Sol perpendicularmente dos veces al año. Muy caliente.

## El Tiempo

**Tiempo** : momento en que sucede un acontecimiento o intervalo transcurrido entre dos acontecimientos

Se mide en función de un astro de referencia

**Aries : Tiempo sidéreo**

**Sol : Tiempo solar**

**TAI o Tiempo Atómico Internacional**, basado en relojes atómicos

**Tiempo sidéreo** : contado a partir del paso del meridiano superior del lugar frente a Aries.

**Día sidéreo.** Tiempo transcurrido entre dos pasos sucesivos de un mismo meridiano superior frente a Aries. Es unos 4 minutos más corto que el día solar medio

**Hora sidérea** es el tiempo transcurrido desde el último paso del meridiano superior del lugar frente a Aries.

**Intervalo sidéreo** es la diferencia entre dos horas sidéreas.

### Tiempo Solar

**Tiempo verdadero.** Es el tiempo que tarda la Tierra en ver al Sol en la misma posición relativa. Debido a que la Tierra se desplaza alrededor del Sol, además de girar sobre su eje, tiene que girar aprox.  $361^\circ$  antes de volver a tenerlo en la misma posición relativa, lo cual son unos cuatro minutos más que lo que tarda la Tierra en girar sobre su eje, que es el día sidéreo. Ello hace que las estrellas aparezcan en su orto cada día 4 minutos aprox. antes que el día anterior. Los días no tienen una misma duración debido a los cambios de velocidades en recorrer la eclíptica.

**Sol ficticio.** Es un Sol imaginario que recorre una órbita circular de radio la media geométrica de los semiejes de la órbita aparente del Sol. Tampoco sirve para obtener un día regular por tener que hacerle correcciones con la Ecuación del Centro

**Sol medio.** Es un segundo Sol imaginario que recorre el Ecuador con movimiento uniforme. Parte de Aries junto con el Sol ficticio y vuelve a encontrarse allí con él. Su velocidad es de  $15^\circ$  por hora o cuatro minutos por grado.

**Día medio** es el intervalo entre dos pasos consecutivos del Sol medio frente al meridiano superior del lugar.

El **día medio de tiempo civil** se empieza a contar desde el paso del Sol medio frente al meridiano *inferior* del observador.

El **día medio astronómico** empieza a contar desde el paso del Sol por el meridiano *superior* del observador

### Año

Es el tiempo transcurrido entre dos pasos sucesivos del Sol por un punto de referencia.

Cuando elegimos el **punto Aries**, se denomina **año trópico**. Su duración es 365.24220 días verdaderos (365 días 5h 48m 45.77s). Expresado en días sidéreos sería un día más. Como ? retrocede 50".3 cada año, el año trópico es más corto que el año sidéreo.

Cuando elegimos un punto del cielo, resulta el **año sidéreo**. Corresponde al verdadero periodo de revolución de la tierra y es igual a 365.25636 días solares medios ( 365 días 6 h 48m 9.55s ).

El **año civil** tiene 365 días. Luego cada cuatro años se ajusta el año civil con un día más originándose el año bisiesto.

El año Anomalístico es el tiempo que tarda el Sol en pasar dos veces consecutivas por el Perigeo. Son 365,259 días civiles

**Ecuación del tiempo.** Diferencia entre las ascensiones rectas del Sol verdadero y el Sol medio. Tiene un máximo de **16,4 minutos** que se produce 4 veces al año.

### **Tiempo Universal u hora civil en Greenwich.**

Es el que corresponde al meridiano de Greenwich y se toma como punto de referencia para todos los fenómenos astronómicos. Se llama **hora reducida** a la hora de un lugar convertida a su valor en Greenwich. Son horas basadas en el Sol medio. Por ello ocurre que el paso del Sol verdadero (que es el observable) por el meridiano Superior de Greenwich no suele coincidir exactamente con las 12 horas, que es a la hora a la que pasa el Sol medio. Las 0 horas coinciden con el paso del Sol medio frente al meridiano inferior de Greenwich

**Hora civil de lugar** es la hora civil de Greenwich ajustada por la diferencia de longitud, considerando que 15° de longitud equivalen a una hora de tiempo medio.

$H_{cl} = H_{cG} \pm L$  (con Longitud W negativa y E positiva).

La diferencia de hora entre dos lugares es la diferencia de Longitud expresada en tiempo. Cada punto de la Tierra tiene una hora civil distinta, en función de la longitud que tiene. Esta es la hora que rige los fenómenos astronómicos.

**Hora legal.** Se ha dividido la Tierra en 24 sectores de 15° denominados **husos horarios**. El primero de ellos tiene como eje central el meridiano de Greenwich, o sea va desde 7,5° E a 7,5° W. A todos los puntos de dicho sector se les da una hora legal que coincide con la de Greenwich. Los sectores sucesivos ven su hora legal incrementada en 1 en sentido Este y reducida en 1 en sentido Oeste.

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

Por conveniencias prácticas se suele alterar la hora legal de determinadas zonas periféricas para mejor integrarlas en la vida económica de la zona central (Galicia que tiene la misma hora que Madrid, cuando le correspondería una hora menos)

La manera de hallar el huso horario de un lugar es dividir su longitud por  $15^\circ$ . Su huso horario será el cociente entero incrementado en una unidad si el resto es superior a  $7,5^\circ$

Al pasar el meridiano de  $180^\circ$  o antimeridiano de Greenwich hay que adelantar el reloj 24 horas si se va en sentido hacia el Oeste y retrasarlo 24 horas si se navega hacia el Este. De hecho no se modifica el reloj sino el calendario, porque cambia la fecha.

Por conveniencias internacionales, **la línea internacional de cambio de fecha** no coincide exactamente con el meridiano de  $180^\circ$  sino que tiene trozos comunes y desviaciones, formando una línea quebrada.

**Hora oficial.** Es una hora obtenida aplicando un incremento o decremento lineal a la hora legal para un territorio administrativo determinado. Normalmente se hace por motivos de ahorro de energía como es el adelanto o atraso de la hora en España. Hay países, como USA, que debido a su enorme extensión tienen varias horas oficiales correspondientes a los distintos husos horarios.

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

**Hora del cronómetro, estado absoluto y movimiento diario.** Son temas que no van a examen.

### **Cálculo de la hora de paso del Sol por el meridiano del lugar**

El Almanaque nos da la hora de paso del Sol por el meridiano de Greenwich. Se puede considerar a efectos prácticos que el Sol es el Sol medio, que gira alrededor de la Tierra a  $15^\circ$  por hora. Luego si conocemos el horario del lugar, pasándolo a tiempo tendremos lo que hay que sumar a la hora de paso por Greenwich para tener la hora *civil* del paso por el meridiano superior del lugar. La hora de paso por el meridiano inferior será la misma más 12 horas.

### **Cálculo de la hora de paso de una estrella por el meridiano del lugar**

El almanaque náutico nos da la hora civil de paso por Greenwich para cada día primero de mes. Dado que el día sidéreo es unos cuatro minutos más corto que el día solar medio, se produce un adelanto de cuatro minutos diariamente en el paso por Greenwich, a lo que se llama **aceleración de las fijas**. Para obtener el dato para cualquier día intermedio del mes hay una tablilla en la página 381 del Almanaque, que nos da una corrección a aplicar. Si el resultado fuera negativo, se incrementa en 23 horas 56 minutos antes de aplicarla. Hay que tener en cuenta que en la parte del recorrido entre Greenwich y el meridiano superior del observador situado al Oeste ya ha contraído la estrella parte de dicha aceleración (dividiendo los 4 minutos en los 360 grados) a fin de restárselo al tiempo que nos sale. Lo mismo en sentido inverso hay que contar para un observador situado al Este

La Luna tiene un movimiento más complejo, pues tiene retardo en lugar de aceleración, que puede llegar a ser de una hora. Se trata de manera similar a una

estrella para Longitudes W y para las longitudes E se parte del retardo correspondiente al día anterior.

Los planetas tiene retardo o adelanto según la fecha, por lo que hay que comprobarlo en el almanaque. Si tienen adelanto se tratan como una estrella y si retraso como la Luna..

Puede ocurrir que un Astro que tiene retardo tarde más de 24 horas civiles en pasar por el meridiano, así como que uno que tiene aceleración pase dos veces.

## El Almanaque Náutico.

Libro editado anualmente por el Instituto Hidrográfico de la Marina, que proporciona las efemérides náuticas del año en curso a los navegantes.

Las principales efemérides son : Horario y declinación del Sol, la Luna, Aries, Marte y Venus para cada día y hora de Greenwich, declinación y arco sidéreo de las estrellas, correcciones varias, azimut y latitud por la Polar, horas de los crepúsculos, hora de paso del sol por el meridiano superior de Greenwich, Semidiámetro del Sol, etc.

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

<b>Civil :</b>	0 a 6°
<b>Náutico:</b>	6 a 12°
<b>Astronómico :</b>	12 a 18°

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

La duración del crepúsculo varía con la latitud y la declinación del Sol. Los más cortos son los de aquellos lugares en que coincide la latitud con la declinación del Sol (en la zona Tropical los crepúsculos son de corta duración) y es mayor en los que la diferencia entre la latitud y la declinación es de 90°.

Los mayores crepúsculos se dan en el solsticio de verano.

Se puede tomar como hora *civil* del crepúsculo para cualquier meridiano las de Greenwich.

## El Sextante

Instrumento utilizado para la medición de la altura de los astros, o el ángulo entre dos puntos (demoras, altura de un faro, etc.).

### Partes del sextante

Armadura o armazón, de forma de sector, con limbo graduado, tornillo sin fin o tambor.

Espejo pequeño o espejo del horizonte

Juego de filtros

Alidada con tambor micrométrico y nonius

Espejo grande

Juego de filtros

Anteojo o telescopio

Mango

### Se basa en los principios de :

Un rayo de luz se refleja en un espejo con un ángulo igual al de incidencia y en el mismo plano. Si se refleja dos veces, en sendos espejos, en el mismo plano, el ángulo del rayo incidente y del reflejado es el doble que el que forman los espejos.

Basándose en este principio, con un limbo de  $60^\circ$  podemos medir ángulos de  $120^\circ$

### Errores en el sextante

#### No subsanables

De fabricación y componentes fijos

#### Subsanables

De alineación de componentes móviles.

**Error de índice** es el que tiene el sextante cuando la alidada marca  $0^\circ$ , en cuyo momento los espejos deben estar paralelos y la imagen reflejada debe superponerse a la real. Error de índice a la izquierda significa que hay que restar el error del ángulo hallado.

El error de índice se halla observando el horizonte o un astro a través de ambos espejos. Si estuviese correcto debería marcar altura 0. La altura que marca es el error de índice

### Correcciones a las alturas observadas

Por error de índice

Por depresión del horizonte, lo que nos da la altura aparente

Por refracción de la luz en la atmósfera, por paralaje (nulo para la estrellas), por semidiámetro del Sol.

## Magnetismo terrestre

**Magnetismo** : Propiedad del imán de atraer o repeler ciertos metales

Polos iguales se repelen y distintos se atraen

La Tierra se comporta como si tuviera un imán corto en un sentido aproximado del eje terrestre.

El Polo Norte de la aguja mira al Norte porque convencionalmente se le denomina este así para coincidencia con los terrestres, pero en realidad es el polo magnético sur de la Tierra

Polos magnéticos terrestres se desplazan con el tiempo, de una forma irregular. En año 1975 , Polo Norte magnético  $71^{\circ}\text{N}$  y  $100^{\circ}\text{W}$ , en Canadá, cerca de la isla del Príncipe de Gales , y el Polo Sur magnético al  $66^{\circ}\text{S}$  y  $140^{\circ}\text{E}$  en Tierra Victoria. De hecho no son unos puntos concretos sino dos zonas de unas 60 millas de diámetro.

Las líneas de fuerza magnética salen del Polo Sur magnético y se dirigen al Polo Norte magnético.

Hay varios elementos a distinguir :

**Inclinación magnética ?** es el ángulo que forman las líneas de fuerza magnética con la horizontal en cada punto de la tierra. En el Ecuador son paralelas al horizonte,  $0^{\circ}$  y perpendiculares al mismo en los Polos. En el Polo norte se inclina el norte de la aguja hacia abajo y se dice que la inclinación magnética es positiva. Lo contrario ocurre en el Polo Sur magnético.

Línea **isoclina** es la que une puntos con la misma inclinación magnética ?. Tienen el aspecto de paralelos irregulares

**Ecuador magnético** es el lugar geométrico de los puntos en los que la inclinación magnética es horizontal o  $0^{\circ}$ . Es una línea sinuosa que corta al Ecuador Terrestre en dos puntos y tiene máximos a  $11^{\circ}\text{N}$  en Centro África y  $14^{\circ}\text{S}$  en América del Sur.

**La fuerza de un campo** magnético se representa por la proximidad de las líneas de fuerza que lo componen. El valor absoluto de la intensidad del campo magnético terrestre es máximo en las cercanías de los **focos magnéticos**, que no coinciden con los polos magnéticos y mínima en el Ecuador.. Cada línea de fuerza se puede descomponer en una **componente horizontal y otra vertical**. La que resulta importante es la horizontal porque es ella la que influye sobre la orientación del compás.

En el Ecuador **la componente horizontal** es máxima y nula la vertical, y lo opuesto sucede en los polos magnéticos.

Línea **isodinámica** es la que une puntos de igual componente horizontal

Hay zonas, como en el Golfo de San Lorenzo, costas de Noruega, etc. Donde la intensidad horizontal es muy baja, lo que hace que las brújulas tengan un comportamiento errático. Esto está advertido en las cartas correspondientes.

**Meridiano magnético** es aquel formado por las componentes horizontales de la línea de fuerza magnética en la superficie del Globo. No tienen un aspecto regular.

**Variación o de clinación magnética** es el ángulo que forman los meridianos magnéticos con los meridianos terrestres. Para cada punto determinado de la tierra recibe el nombre de **variación local**. Si el polo magnético está hacia el NE la variación es positiva, puesto que el rumbo de aguja será mayor que el rumbo verdadero, y si el polo magnético está hacia el NW la variación o declinación magnética será negativa.

**Líneas isogónicas o isógonas** son las que unen los puntos de la Tierra con igual variación o declinación magnética.

La componente vertical Z aumenta con la latitud.

Tanto las líneas isógonas como las isoclinas son más regulares en los océanos, viéndose modificadas por la cercanía a la tierra, y en especial a determinadas zonas. Los volcanes activos produce modificaciones en dichas líneas.

En las cartas se representa la variación local para la misma ( o varios valores para distintas zonas, según sea el caso), para un año determinado, así como las variaciones anuales.

### **Brújula, aguja náutica o compás:**

Ha de ser sensible y estable.

Formado por :

**Bitácora** , ubicada en la línea de crujía y que aloja el compás e imanes auxiliares que permiten su compensación. Su parte superior es el cubichete, que protege el mortero. Tiene una ventana de cristal para observar la rosa. Además suele tener unos soportes para alojar las dos lantías que iluminan la rosa. Tiene además la barra Flinders para la compensación de los campos inducidos verticales y las bolas de hierro dulce para compensar los campos inducidos horizontales.

**Mortero**, caja metálica circular con tapa de cristal y líneas de fe grabadas. Descansa sobre un sistema cardan que permite mantener la aguja horizontal a pesar de los cabeceos

**Estilo**, firme al mortero, es la parte metálica sobre la que pivota la rosa náutica.

**Rosa náutica**. Disco de material flexible sobre el que van varios imanes. Tiene marcados los 360° y en su centro, por la parte inferior se encuentra una parte dura o chapitel que apoya sobre el estilo.

Las agujas náuticas pueden ser **secas o con líquido**. Estas últimas tienen un líquido sobre el que flota la rosa, aligerando su peso y facilitando su rotación, así como amortiguando sus oscilaciones.

En la actualidad se tiende a sustituir las agujas náuticas por el girocompás, que se orienta al Norte verdadero.

En los barcos normalmente hay dos compases : El de **gobierno**, junto al timón y el **magistral**, usado para la navegación y dotado de un dispositivo de lectura azimutal.

### **Desvío de la aguja magnética.**

Los campos magnéticos que influyen sobre el compás son:

**Terrestre**, debido al imán Tierra

**Permanente**, debido a hierros duros con alto contenido de carbono

**Accidental o inducido** debido a los hierros dulces

El largo tiempo que pasaban en astillero, orientados en la misma dirección, los barcos de casco metálico hacían que los hierros de estos adquiriesen una imantación permanente. Esto se ha reducido con los menores tiempos de construcción, con el ensamblado de grandes conjuntos fabricados independientemente y con el uso de materiales no féreos.

El efecto era distinto según el tipo de metal.

**Hierros dulces** son los que contienen menos carbono. Pierden y adquieren con facilidad el magnetismo, en función no sólo de lo que rodea y compone el barco sino del campo magnético de la zona en la que se encuentra. Esto hace que su influencia sobre el compás dependa hasta de la posición geográfica.

**Hierros duros** son los que tienen un mayor porcentaje de carbono y presentan un magnetismo permanente.

**El magnetismo permanente** se puede descomponer en *tres vectores*, uno longitudinal, otro transversal y un tercero perpendicular al casco.

**La componente longitudinal (P)** hará desviarse la aguja magnética ya sea a proa o a popa. En el primer caso es positivo y negativo en el segundo. Origina una curva de desvíos que es una senoide con los máximos en los rumbos E y O. Estos desvíos se denominan **semicirculares**

**La componente transversal (Q)** desviará la aguja hacia Estribor + o Babor -. Si el barco está adrizado tiende a inclinar la aguja del compás. Si el barco cabecea o balancea se generan oscilaciones. Las oscilaciones serán máximas con balanceos con eje longitudinal paralelo al meridiano magnético y con balanceos con eje longitudinal paralelo a los paralelos magnéticos.

El magnetismo permanente tiene la ventaja de que una vez conocido se puede compensar o contrarrestar definitivamente.

**El magnetismo inducido o accidental** varía por la latitud, por el rumbo del barco y por la escora.

Se supone concentrado en 9 varillas imaginarias situadas en varios puntos del barco. Cuando el barco oscila por efecto de la mar las varillas cambian de posición relativa respecto al polo magnético, induciendo oscilaciones del compás que hacen difícil su lectura. A esto se le denomina desvío de escora.

Para amortiguarlo se coloca un **imán “corrector de escora”** debajo del compás.

Para compensar el desajuste causado por el magnetismo inducido en los hierros verticales se usa la barra Flinders, que se coloca en la parte exterior de proa de la bitácora. De hecho son una barra magnética dividida en varios trozos, que se aplican según la necesidad de corrección que se presente.

### **Efecto de la latitud .-**

Debido a que **la brújula se orienta gracias a la componente horizontal del campo magnético** terrestre, que tiende a desaparecer en los polos magnéticos, en las cercanías de estos los desvíos y errores se hacen más evidentes y el compás se hace más inestable.

### **Compensación de la aguja.**

Se hace poniendo en sus inmediaciones imanes y masas de hierro dulce que compense y absorban los errores arriba indicados. Se hace bajo las siguientes normas.

Barco situado lejos de campos magnéticos atípicos, grúas, otras embarcaciones de casco metálico.

Operarios sin objetos metálicos en su personal

No objetos metálicos móviles en la cercanía del compás.

Variación local calculada al día

Compás sin burbujas.

Se va orientando el buque a distintos rumbos y realizando compensaciones específicas en cada uno de ellos mediante imanes y hierros dulces colocados en posiciones predeterminadas, instalando asimismo el corrector de escora y la barra de Flinders.

Levantar certificado de compensación, válido por dos años y tablilla de desvíos residuales. Esto es obligatorio para los barcos de recreo de las clases A y B

### **Determinación de los desvíos**

- a) **Marcación a un objeto lejano.** Para un radio de borneo de 50 metros el objeto ha de estar como mínimo a 6,2 millas para cometer un error máximo de medio grado. Se calcula sobre la carta la demora verdadera y se calcula con la de aguja, deduciendo la

variación local. Esto se hace con el barco a distintos rumbos. Idealmente se debe hacer amarrado al **muerto de agujas** (una boya específica)

- b) **Por medio de enfilaciones.** Se buscan objetos lejanos y separados entre si para reducir los errores y para que nos de más tiempo para tomar la demora de aguja al atravesar la enfilación navegando.
- c) **Marcaciones al Sol u otro astro.** Se hace con el astro a poca altura para cometer menos errores. Se toma el azimut de aguja y se compara con el verdadero obtenido por tablas. Deducimos la variación local y obtenemos el desvío para el rumbo al que navegábamos al tomar la marcación.
- d) **Por la marcación a la Polar** y su azimut verdadero deducido de almanaque.

## Aguja giroscópica

**El giroscopio** es un disco o volante circular simétrico que gira alrededor de un eje a gran velocidad y con la capacidad de adoptar cualquier dirección en el espacio. Este eje está fijo a un anillo que a su vez gira alrededor de otro eje sujeto a un segundo anillo que gira nuevamente sobre un eje sujeto a un semi-anillo fijo. Esto hace que el disco disponga de tres grados de libertad, que le permiten adoptar cualquier posición en el espacio.

Las características del giroscopio son la rigidez y la precesión.

**Rigidez** es la propiedad de permanecer girando siempre en la misma posición espacial independientemente de los movimientos del buque sobre el que va instalado.

**Precesión** es la propiedad de contrarrestar una fuerza que se le aplique en el eje de giro moviéndose en dirección *perpendicular* a dicha fuerza.

Se basa en la ley de la inercia, que dice que ningún cuerpo puede modificar por sí mismo su propio estado, ya sea de movimiento o de reposo.

Movimiento de la línea N/S debido a la rotación de la tierra

Al girar la tierra se producen dos movimientos distintos, uno en cuanto a la línea N/S y otro referido al horizonte. El giroscopio deshace ambos.

Para saber donde está el Norte se hace una serie de modificaciones al giroscopio y se transforma en girocompás. Tiene una inercia de una 4 horas hasta que se estabiliza apuntando al Norte verdadero. Por ello hay que arrancarlo unas horas antes de iniciar la navegación.

### **Piloto automático o auto timonel**

Es un mecanismo acoplado al girocompás que permite mantener un rumbo prefijado. Tiene dos ajustes : el de tiempo y el de timón. El de tiempo permite regular la espera antes de iniciar el giro del timón, pues en caso de mal tiempo las guiñadas suelen corregirse solas en muchos casos. El ajuste de timón regula la amplitud del giro corrector a aplicar en función de la velocidad, la eficacia del timón, etc. Van dotados de una alarma que avisa en casos de malfuncionamiento.

## El Radar

Es una antena giratoria de alta directividad, que emite un impulso de súper alta radiofrecuencia, que al chocar con un objeto vuelve en forma de eco. Está conectada a una pantalla la cual muestra la posición relativa del eco en relación al barco, el cual está situado en el centro de la pantalla. La antena gira en sentido de las agujas del reloj, entre 20 y 30 veces por minuto.

El haz es estrecho en sentido horizontal, que es lo que determina la precisión y ancho en sentido vertical para no perder la señal por efecto del balanceo

Sus componentes son :

Generador o fuente de alimentación

Modulador

Magnetron o generador de ondas de súper alta frecuencia

Unidad ATR (anti Transmisión – Recepción), que permite el paso de la energía

Unidad TR, que desconecta el mezclador al emitir la señal para protegerlo

El mezclador, que recibe la señal rebotada así como la señal de control, generando la frecuencia intermedia

El amplificador

El detector

La pantalla o unidad de presentación visual, graduada en su alrededor de 0 a 360°

Hay dos formas de presentar la información :

**Norte arriba**, o **presentación estabilizada azimutal**, que se obtiene acoplando el sistema a una aguja giroscópica, y que nos facilite demoras verdaderas. Presenta *imágenes estables* porque la posición de los objetos reflejados no cambia en la pantalla aunque cambie el rumbo.

Tiene el inconveniente que *no es siempre fácil localizar visualmente* los objetos a partir de la pantalla. Es especialmente cierto en los rumbos sur

**Proa arriba**, que nos facilita marcaciones verdaderas, que se traducen a demoras verdaderas al conocer el rumbo verdadero. Al cambiar el rumbo cambian de posición todos los ecos con lo que se presta a confusión y se *emborrona la pantalla*. Tiene la ventaja de que es *más intuitiva* porque los ecos se ven en relación con la posición del barco.

Existen equipos sofisticados que presentan el movimiento verdadero del barco, que deja de estar en el centro de la pantalla.

La pantalla viene dotada de una serie de circunferencia concéntricas que permiten medir la distancia de los ecos. También tienen un cursor luminoso que permite calcular con precisión la demora y distancia de un eco determinado.

También viene equipada con una o dos graduaciones exteriores de 0° a 360° para tomar demoras directas en caso de presentación Norte o marcaciones en caso de presentación proa al norte.

**Discriminación en el alcance** es la capacidad del radar de distinguir entre dos ecos situados en una misma demora y próximos entre si, en vez de representarlos por un solo eco. Depende de la longitud de onda del impulso

**Discriminación en demora o marcación.** Es la capacidad de distinguir entre dos ecos situados a la misma distancia y muy próximos entre si. Depende de la amplitud horizontal del haz, pero hay que considerar que si esta es demasiado reducida en sentido horizontal se producen imágenes entrecortadas. De la misma manera, si la amplitud es reducida en sentido vertical la imagen se ve afectada por los cabeceos y balanceos del barco.

### **Tipos de ecos**

Buques

Boyas

Líneas de costa

Acantilada

En Pendiente

Baja o aplacerada

Costa con puerto

Hielos

Mar, lluvia

### **Alcance. Factores que lo condicionan**

Potencia radiada. Proporcional a la raíz cuarta de la potencia radiada

Longitud de onda. Inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la longitud de onda. (a mayor frecuencia mayor alcance)

Elevación de la antena sobre el nivel del mar.

Elevación del objeto detectado

Tamaño y naturaleza del objeto

Condiciones atmosféricas

**Alcance mínimo.** Si el blanco está situado a una distancia inferior a la mitad de la longitud de onda del impulso no se detectará su presencia porque el eco llegará mientras aún se está emitiendo la onda: Tiempo de conmutación es el tiempo que tarda el receptor en estar en disposición de recibir una onda una vez emitida esta.

### **Errores**

Los errores más frecuentes en las demoras se deben a toma de puntos erróneos o a la mala alineación de la línea proa-popa del radar con el rumbo verdadero

Errores en la distancia son debidos básicamente a la presencia de un eco fuerte detrás de un eco débil, que oculta a este. También suelen producirse en casos de mareas, cuando queda desdibujada la línea de la costa

**Las principales perturbaciones son :**

**Sea clutter**, producido por la reflexión en la superficie del mar, especialmente si esta está revuelta. Para reducirlo los radares llevan filtros de atenuación, pero entonces el riesgo es el de no detectar embarcaciones de madera o pequeño calado. Este es el motivo para llevar **reflectores de radar** (triedro formado por tres planos metálicos que se cortan mutuamente en ángulo recto - La combinación de varios triedros produce el reflector octaédrico de mayor eficacia) en dicho tipo de embarcaciones.

Similar al anterior es la perturbación producida por nieve, lluvia, etc., si bien son de menor intensidad y más fáciles de compensar con el filtro.

**Alargamiento de los ecos** debido al propio funcionamiento de la antena giratoria

**Ecos múltiples** producidos por un blanco cercano. La señal reflejada por este es reflejada por nuestro propio barco y nuevamente por el blanco, con lo que se produce un segundo eco en la misma demora y a mayor distancia. Pueden así generarse series de varios ecos.

**Zonas de sombra.** No aparece imagen. Pueden estar causadas por un objeto situado cerca de la antena que obstaculiza su campo

**Falsos ecos.** Son ecos débiles producido por reflejos indirectos en blancos. De fácil supresión mediante el controlador de ganancia.

**Interferencias con otros aparatos.** Se pueden determinar mediante un cambio de rumbo importante.

**Calidad de la situación radar** (simultaneas y no simultaneas, mejor las primeras)

	<b>Distancia</b>	<b>Demora</b>
Optima	Radar	Visual
Segunda	Varias radar	
Tercera	Radar	Radar
Cuarta		Varias radar

O sea que lo mejor para situarse es mediante la obtención simultanea de una distancia radar a un eco y la demora visual del mismo.

**Reflectores radar :**

Los **metálicos** ya mencionados

**Racons** . Reflectores electrónicos que funcionan *al recibir* la onda del radar. Indican distancia, demora e identificación mediante la señal que generan en el radar

**Ramarks.** Balizas radio que transmiten *constantemente* su identificación en la frecuencia de los equipos de radar que deben estar acondicionados para recibirlas.

## Navegación por GPS

Características que lo hacen especialmente útil frente a sistemas anteriores:

Cobertura global en tiempo y espacio

Precisión elevada

Automatismo total

**El sistema está compuesto por :**

**Módulo espacial :** 24 Satélites distribuidos en 6 orbitas circulares que forman un ángulo de  $63^\circ$  con el Ecuador, (21 activo y 3 en reserva). Forman una jaula que gira alrededor de la Tierra hacia Occidente cada 123 horas.

Cada satélite da 13,5 vueltas diarias a la Tierra, a una altura de 20.000 kilómetros y cada punto del globo está dos veces al día bajo una órbita directa de un satélite. Esta distribución asegura 4 satélites visibles en cualquier instante y lugar. La vida media de un satélite es de 7,5 años y llevan cuatro relojes atómicos. Transmiten una única secuencia codificada que permite su identificación, el cálculo de la distancia al satélite y la decodificación de sus datos.

Emiten en dos frecuencias, una de alta precisión destinada a fines militares y otra de menor precisión destinada a uso civil. Tienen un mecanismo que permite correcciones de órbita si fuera preciso.

**Módulo de seguimiento y control :** Red de control y mando. Una estación maestra, en Colorado Spring , 5 estaciones de seguimiento y 3 de transmisión de datos. Las dos primeras reciben la información de los satélites y la master calcula los ajustes que precisan, que les son enviados por las 3 de transmisión de datos 3 veces al día.

**Módulo de Receptor o usuario** Receptores. De múltiples tipos y formas. Permiten : Identificación de los satélites visibles, Cálculo de la distancia a los mismos, decodificación y utilización de sus mensajes y determinación de los elementos de situación. Calculan la distancia al satélite por diferencia entre la hora de emisión de la señal por el satélite (información contenida en la propia señal) y la hora de recepción, corregido de errores.

**Módulo nuclear.** Realiza un seguimiento para la detección de explosiones nucleares

**Métodos de obtención de la situación :**

El valor de varias pseudodistancias del receptor al satélite

La obtención de distancias por valoración de la fase de pulsación entre una frecuencia recibida y otra similar generada por el receptor

La medición del efecto Doppler en las portadoras

Si conozco mi altura y dos satélites : Intersección de la esfera geocéntrica de radio el de la Tierra más la altura del observador y dos esferas construidas con centro en los satélites y radio la distancia a los mismos.

Con 3 satélites visibles se obtiene la posición por la intersección de las tres esferas respectivas.

Con cuatro satélites también calcularíamos la elevación del observador (o mejor dicho de la antena del propio GPS)

En equipos comerciales es habitual la obtención de la situación con una precisión del orden de los 100 metros.

**GPS diferencial.** Consiste en el mismo sistema al cual se le añade una estación fija que, sabiendo su propia posición, es capaz de calcular el error de cada satélite y envía una señal con dicha información. Con el equipo adecuado se pueden obtener precisiones del orden de 2 metros de error, lo cual es de utilidad en trabajos cartográficos, colocación de boyas, etc,

### **Navegación por el GPS**

Puesta en marcha - Primera inicialización - adquisición de los satélites - muestra de la información - Waypoints - Tramos - Rutas

#### **Alarmas :**

- De recalada
- Garreo del ancla
- Hora del reloj
- Parte metereológico. Etc-

### **Hombre al agua - MOB (Man over board)**

## Publicaciones náuticas

**Hay de dos clases : Los publicados y los escritos a bordo:**

**Los publicados son :**

**Catálogo de Cartas Náuticas y Publicaciones Marinas.** Índice publicado por el Instituto que compendia todas las cartas que el mismo publica

**Cartas náuticas** ( o hidrográficas, marinas y de navegación) : Planos o mapas utilizados para la navegación. Normalmente **mercatorianas**

**Relacionadas con el Decca y Loran**

**Gnómicas** (para trazado derrota ortodrómica)

**Cartas en blanco, . Sólo con los paralelos y meridianos**

**Derroteros** . Libros que describen las costas así como los vientos, climas y distintos elementos meteorológicos. Puertos, servicios de los mismos, corrientes, fondeaderos, balizas. Etc.. En España los edita el Instituto Hidrográfico de la Marina (Cádiz). El Almirantazgo inglés edita los de todo el mundo.

**Libro de Faros y Señales de nieblas.** Nombre, posición, descripción del propio faro y de la señal emitida, observaciones. Boyas y balizas. Aerofaros próximos a la costa.

**Libro de radio señales.** Similar para señales electrónicas : radiofaros, radiogoniómetros, estaciones radar, balizas radar, señales horarias, aviso a navegantes, consol, decca, Loran, Omega y servicios médicos.

**Aviso a los Navegantes.** Publicación **semanal** con las novedades de interés y la puesta al día de las publicaciones anteriores. Avisos de ejercicios de tiro, etc. Los más importantes son radiados diariamente.

**Libro de corrientes.** En España no se editan por ser de baja intensidad, excepto en el estrecho de Gibraltar. Las principales son los del Almirantazgo.

**Tabla de distancias entre los puertos españoles**

**Código internacional de Señales**

**Señalización Marítima.** Es un cuadernillo que detalla las distintas marcas y señales empleados en el balizamiento de las costas españolas, incluyendo asimismo el Reglamento Internacional de Balizamiento.

**Signos y abreviaturas usados en las cartas españolas.**

**Anuario de Mareas.**

## **Plotters y cartas electrónicas**

Organización de la derrota

**Pilot charts.** Cartas editadas por el servicio Hidrográfico USA. Mensualmente para Atlántico Norte, América Central, Pacífico Norte y Océano Indico, y trimestralmente para el Atlántico Sur. Contiene información sobre vientos, corrientes, situación meteorológica, derrotas aconsejables, etc.

**Los manuales náuticos redactados a bordo son :**

**Catálogo de cartas a Bordo.** Lista de las que disponemos

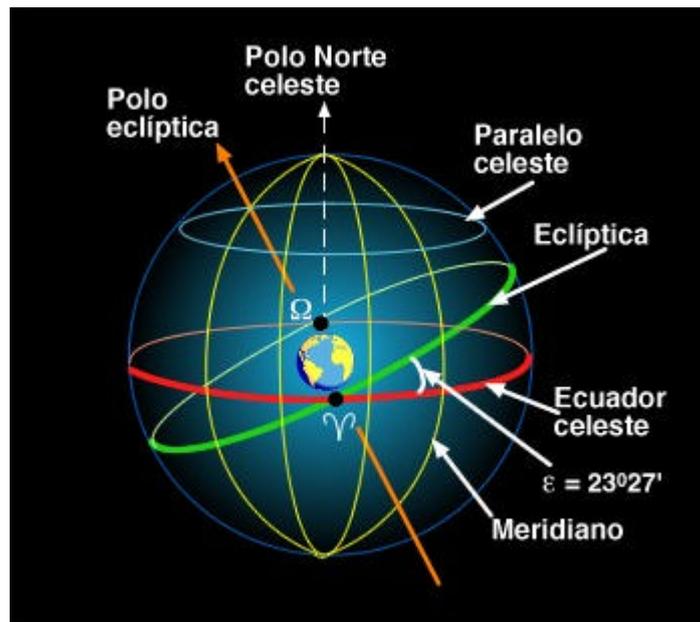
**Cuaderno de bitácora.** Libro de formato establecido, en el que el navegante consigna los acaecimientos náuticos, atmosféricos así como cualquier información importante referida a la carga, dotación, pasaje, etc. El Oficial de guardia firma al fin de la misma las anotaciones efectuadas. Es de utilidad para las autoridades de marina en caso de incidente.

**Diario de navegación.** Es un libro donde se anotan todos los pormenores de los viajes de un barco. De hecho es la versión formal del Cuaderno de Bitácora, que le sirve de borrador y apoyo. Va visado por la Autoridad de Marina o un Cónsul y sus hojas están foliadas, sin enmiendas ni raspaduras

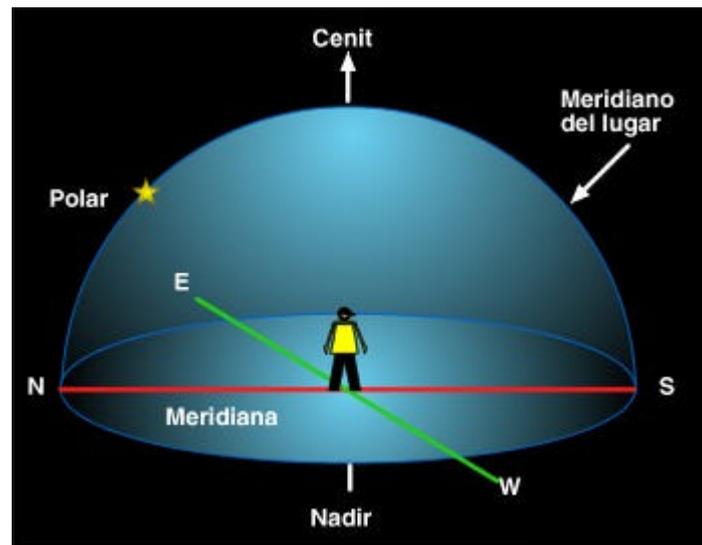
## Sistemas de coordenadas

En la Tierra tenemos el sistema de coordenadas terrestres basado en dos círculos máximos, uno el Meridiano de Greenwich, que pasa por dicho lugar y los polos terráqueos y otro perpendicular al anterior. A partir de ambos se determinan la Longitud o arco de circunferencia en el ecuador comprendido entre el meridiano del lugar y el de Greenwich y la latitud o arco de circunferencia en cualquier meridiano entre el paralelo que pasa por el lugar y el ecuador.

En el cielo se imagina una esfera de centro la Tierra y grandes dimensiones, en la que se proyectan los astros y los puntos de la Tierra. Hay tres principales sistemas de coordenadas celestes.



**Coordenadas Horizontales.** Toman como punto de referencia la situación del observador. Se define un eje formado por la recta imaginaria que pasa por el mismo y el centro de la Tierra. Sus puntos de corte se denominan Cenit y Nadir.



El principal círculo de referencia es el Horizonte **racional, geocéntrico o verdadero** del Observador, que es el círculo máximo perpendicular a la línea Cenit-Nadir.

Hay varios **horizontes** :

**el visible o de la mar** que es el lugar donde se encuentran el firmamento y la mar o la tierra. Es el que se utiliza para la toma de la altura de los astros pues es el que puede valorar el observador.. Es una superficie cónica de vértice los ojos del observador y tangente a la superficie del mar.

**Geoidal** es el que forma un plano tangente a la Tierra situado a los pies del observador.

**Sensible o aparente** es el que forma un plano paralelo al anterior que pasa por los ojos del observador . Se le llama aparente porque realmente no está donde parece, puesto que se ve afectado por la elevación del observador, la refracción de la atmósfera

**Horizonte geométrico** es el cono con vértice en los ojos del observador y generatriz tangente a la Tierra. **Coincide con el visible**



**Coordenadas Horarias.** Toman como referencia los Polos y la recta que pasa por los mismos y se proyecta en los Polos Celestes, llamada **eje de los mundos**.

El principal círculo de referencia es el **Ecuador Celeste**, que es la proyección del Ecuador terrestre sobre la esfera celeste.

**Polo elevado** es el que está en el mismo hemisferio que el observador y **polo depreso** el polo opuesto.

**Semicírculos horarios** son los semicírculos que van de polo a polo y equivaldrían a los meridianos en la Tierra.

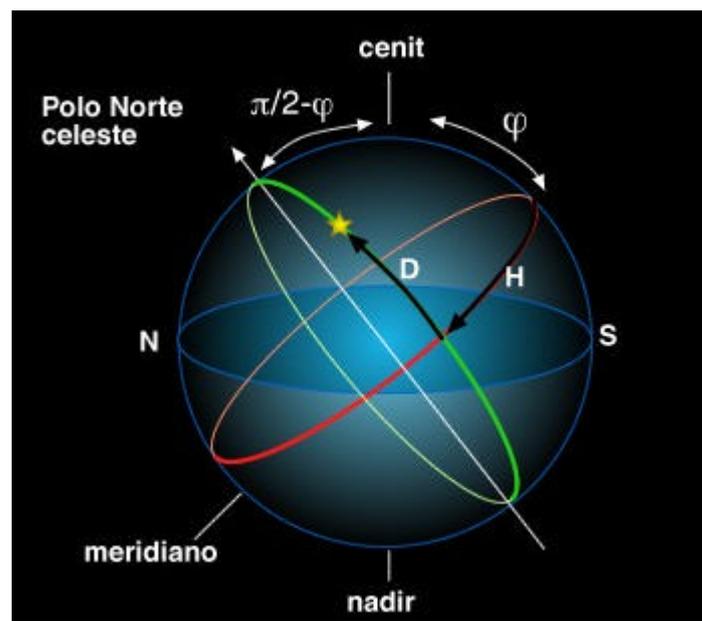
**Meridiano del lugar** es el semicírculo que va de polo a polo pasando por el observador. Meridiano superior es el que contiene el cenit e inferior es el que contiene el nadir.

**Paralelo de declinación** es el paralelo u órbita que aparentemente recorre el astro. Equivale a lo que en la Tierra sería el paralelo de latitud.

**Declinación** es la distancia angular medida desde el Ecuador Celeste hasta el centro del astro. Norte es + y Sur es -

**Distancia polar o codeclinación** es la distancia angular medida desde el astro hasta el Polo Celeste. Es el complemento a  $90^\circ$  de la declinación.

**Angulo o arco de horario.** Es el ángulo en el Polo formado por los semicírculos que pasan por el astro y el punto de referencia que tomemos, ya sea el observador, Greenwich o el punto de Aries. Medido desde Greenwich en **sentido Este es negativo y positivo en sentido Oeste**.



## Coordenadas Uranográficas Ecuatoriales

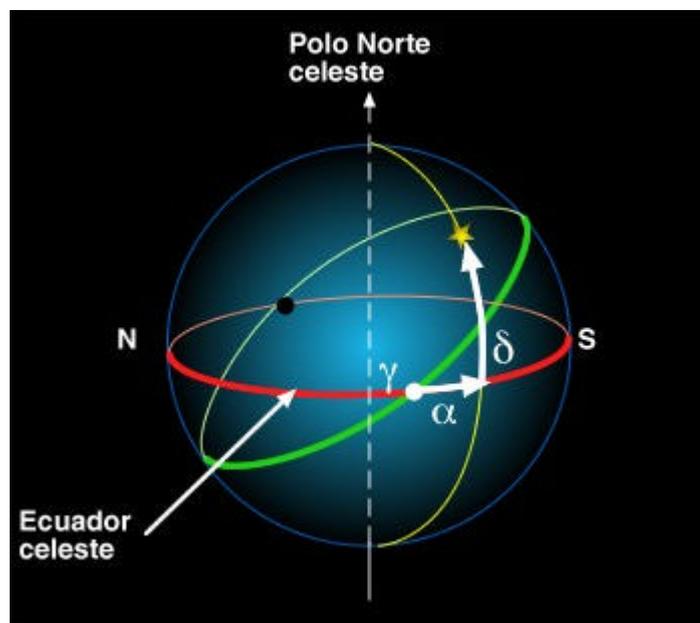
Parten del mismo eje que la anterior, pero tienen su punto de origen de coordenadas en el punto vernal de Aries, lugar donde corta la eclíptica del sol con el ecuador en el equinoccio de primavera, 21 de Marzo. Dado que no depende del observador permite un sistema de coordenadas absolutas de los astros.

### Uranográficas eclípticas.

No son de uso náutico. Tienen como círculo fundamental el plano de la eclíptica y se miden en longitud y latitud

### Uranográficas galácticas

Tampoco son de interés para la navegación.



Sistemas de coordenadas	Terrestres	Horarias o referidas al Ecuador Celeste	Uranográficas ecuatoriales	Horizontales
Depende del observador	No	Si	No	Si
Polo fundamental	Polo Norte y Sur	Polo elevado : el situado en el mismo hemisferio que el observador Polo depreso	Polo Norte Celeste	Cenit
Eje de referencia	Eje de los polos	Eje de los mundos	Eje de los mundos	Cenit – Nadir
Círculo fundamental	Ecuador Terrestre	Ecuador Celeste	Ecuador Celeste	Horizonte verdadero o racional
Semicírculo secundario	Meridianos	Semicírculo horario	Máximo de ascensión : Círculo que pasa por los Polos y por el astro	Verticales
Semicírculo de referencia	Meridiano de Greenwich, meridiano cero o primer meridiano	Meridiano superior del lugar (es el que contiene el cenit) Meridiano inferior del lugar es que contiene el nadir	Primer máximo de ascensión (Aries) Es el Círculo que pasa por Aries y los Polos	Vertical Norte : El que pasa por el Cenit y el Polo Norte  Vertical Principal (ZPZ'P') Pasa por el cenit, nadir y los Polos.  Vertical Primario es perpendicular al anterior pasando por los puntos E y W.  Vertical del Astro es el lugar geométrico de todos los puntos de igual azimut
Paralelo secundario	Paralelos de latitud	Paralelos de declinación: Círculo menor paralelo al Ecuador que pasa por el Astro. Es el lugar geométrico de los puntos de la Esfera de igual declinación.  La órbita de un astro es un paralelo de declinación	Paralelos de declinación: Iguales a los de las horarias	Almicantarats o círculo de alturas iguales. Círculos menores paralelos al Horizonte, que pasan por el centro del astro. O lugar geométrico de todos los puntos de igual altura

<p><b>Coordenadas</b></p>	<p><b>Latitud</b> : Arco de Meridiano comprendido entre el Ecuador y el paralelo del observador</p>	<p><b>Declinación recta</b> . Arco de horario entre el Ecuador y el paralelo de declinación que pasa por el Astro. (0° a 90°)Positiva hacia el Norte y negativa hacia el Sur</p> <p>Su complemento es la <b>distancia polar o codeclinación</b></p>	<p><b>Declinación recta</b> Igual que las horarias</p>	<p><b>Altura verdadera</b> : Arco de vertical primario entre el horizonte y el astro o su almicanarat – Su complemento es la <b>distancia cenital</b></p> <p><b>Depresión</b> es la altura cuando el Astro está por debajo del horizonte</p>
	<p><b>Longitud</b> : Arco de Ecuador comprendido entre el Meridiano de Greenwich y el meridiano del observador</p>	<p><b>Horario astronómico</b>: Arco de ecuador Celeste comprendido entre el meridiano superior del lugar y el del Astro. Hasta 360ª en dirección Oeste.</p> <p>Reducido a &lt;180ª es el <b>ángulo en el Polo</b>. Si horario &lt;180ª = ^pe</p> <p>Si horario &gt; 180ª, 360ª-horario = ^pw</p> <p><b>Diferencia ascensional</b> es el arco de Ecuador contado desde el E u W hasta el pie del semicírculo horario del astro</p>	<p><b>Ascensión recta</b>. Arco de Ecuador contado desde primer máximo de ascensión (Aries) hasta el máximo de ascensión del astro en sentido Este o directo.(contado en el sentido contrario a las agujas de un reloj)</p> <p><b>Angulo sidéreo</b>. Lo mismo en sentido Oeste. Igual a 360ª menos el anterior</p>	<p><b>Azimut</b> (ángulo entre el vertical norte y el vertical del astro).</p> <p><b>Azimut náutico o circular</b> va de 0° a 360ª hacia el Este, sentido de las agujas del reloj, partiendo desde el Polo Norte.</p> <p><b>Azimut cenital o astronómico</b> va desde el punto cardinal del polo elevado hasta el pie del vertical del astro, por la distancia más corta Coincide con el sentido en el que vemos el astro, por lo que tiene el mismo sentido que el ángulo en el polo. Este es el que nos da el triángulo de posición</p> <p><b>Azimut Cuadrantal</b>. Contado desde Norte o Sur hacia E o W. Máximo 90°</p> <p><b>Amplitud</b>. Arco de horizonte desde la vertical del astro hasta el punto cardinal Este u Oeste. Complemento a 90° del azimut cuadrantal</p> <p><b>Amplitud ortiva y occidua</b> (orto y ocaso)</p>
	<p><b>Línea verdadera N-S</b> es la intersección del plano del meridiano del lugar con el horizonte verdadero (<b>Puntos cardinales norte y sur</b>)</p> <p><b>Línea verdadera Este-Oeste</b> es la intersección del ecuador con el horizonte verdadero,</p>			

	Puntos Cardinales Este – Oeste			
--	-----------------------------------	--	--	--

### Relación entre las coordenadas que se miden en el ecuador

Horario local del Astro = Horario en Greenwich - Longitud W del observador

Horario de la estrella – Horario de Aries = Ángulo Sidéreo ( no depende de Longitud)

Horario local del Astro = Horario local de Aries + Ángulo Sidéreo

### Paso de los astros por el Meridiano Superior e Inferior del lugar.

#### Observación de cara al Polo elevado

Si la declinación es mayor a la latitud se observa el astro de cara al polo elevado.  $d > l$

El Astro puede estar tanto en el meridiano superior como en el inferior

#### Superior

Latitud y declinación del mismo nombre

Declinación menor que distancia cenital  $d < 90 - a$

Tiene en ese momento su máxima altura o altura meridiana, alcanzando su culminación superior.

Los astros no circumpolares tendrán su mínima altura en los momentos del orto y del ocaso

#### Inferior

Latitud y declinación del mismo nombre

Declinación mayor que distancia cenital ( $d > 90 - a$ )

Sólo se podrán apreciar los astros circumpolares. Tienen en dicho momento la mínima altura posible

#### Observación de cara al Polo depresado – Siempre Superior

El Astro sólo puede estar en el meridiano Superior, pues si no sería circumpolar y no se vería

#### .Azimut del Astro

Desde el Orto hasta el paso por el Meridiano Superior del lugar los astros tienen azimut oriental (Este) y desde el paso por el MSL hasta el ocaso lo tienen occidental (Oeste)

## Triángulo de posición

Es un triángulo formado sobre la esfera Celeste y que tiene los siguientes vértices : **Polo Elevado, Cenit y Astro**. Sus lados son :

**Colatitud** =  $90^\circ$  - latitud. Une el Cenit con el Polo elevado. Es un sector del meridiano superior del lugar

**Codeclinación** o Distancia Polar =  $90^\circ$  -/+ declinación. Une el astro con el Polo elevado. El signo es negativo si el Astro es del mismo signo que la latitud y positivo si está en hemisferio opuesto. Es un segmento de círculo horario y es el único que puede valer más de  $90^\circ$ .

**Distancia cenital** =  $90^\circ$  - altura verdadera. Une el Astro con el Cenit. Es un segmento de la vertical del astro. Podría llegar a ser superior a  $90^\circ$  si se considerase una altura negativa, pero esto no es habitual por no poderse observar un astro que cumpla esa condición.

Los ángulos correspondientes son :

**Paraláctico o de Posición**. Corresponde al vértice del Astro. No se usa en Navegación

**Ángulo en el Polo**, que es el horario local del Astro reducido a  $< 180^\circ$ . Se cuenta hacia el Este o el Oeste siendo siempre inferior a  $180^\circ$ . Coincide con el horario local cuando este es menor que  $180^\circ$  y es igual a  $360^\circ$ -horario local cuando el horario local es superior a  $180^\circ$ . En el primer caso se dice que el horario es occidental (hacia el W) y en el segundo oriental (hacia el Este). También se puede dar astronómico, o sea con signo negativo y contando hacia el W hasta  $360^\circ$ .

**Azimut del Astro**. Se cuenta en el horizonte entre la proyección del Polo elevado o vertical Principal y el vertical del astro. Es el **azimut cenital o astronómico**. *Tal y como aplicamos las fórmulas obtenemos, si el ángulo es positivo, el azimut cuadrantal desde el polo elevado hacia el horario, y si el ángulo obtenido es negativo lo damos como un ángulo cuadrantal positivo desde el polo depreso y también en el sentido del horario*

Los azimuts astronómicos van de  $0^\circ$  a  $180^\circ$  en sentido E (+) u W (-)

En la Esfera Terrestre hay un triángulo semejante al de posición, formado por el Polo elevado, la posición del Observador y el punto astral polo de iluminación del Astro

## Las fórmulas generales a aplicar para obtener la situación de un astro son:

En todas las igualdades hay que tener que como estamos poniendo senos en lugar de cos (90-x), de hecho si la declinación o la altura tiene distinto signo al de la latitud hemos de poner su seno con signo menos. En el caso de los ángulos P y Z habría que hacerlo si són superiores a 90°, pero la propia calculadora se lo pone.

### Conocido latitud, horario y declinación (Astro conocido) hallar altura y azimut

$$\begin{aligned}\text{Sen } a &= \text{sen } l \text{ sen } d + \text{cos } l \text{ cos } d \text{ cos } P \\ \text{Cotg } Z &= (\text{tg } d \text{ cos } l - \text{sen } l \text{ cos } P) / \text{sen } P\end{aligned}$$

Si la cotangente nos sale con signo negativo significa, en el caso del azimut, que se cuenta desde el polo opuesto. El azimut siempre será de mismo sentido longitudinal que el ángulo en el Polo y viceversa.

### Conocido latitud, altura y azimut, hallar horario o ángulo en el Polo y declinación (reconocimiento de astros)

$$\begin{aligned}\text{Sen } d &= \text{sen } a \text{ sen } l + \text{cos } a \text{ cos } l \text{ cos } Z \\ \text{Cotg } P &= (\text{tg } a \text{ cos } l - \text{sen } l \text{ cos } Z) / \text{sen } Z\end{aligned}$$

En el caso del ángulo en el Polo significa que el ángulo es mayor que 90° y hay que tomar 180° - resultado de la ecuación

A partir de aquí se halla el Ángulo Sidéreo y se reconoce el Astro. Una vez reconocido se vuelve a calcular la altura estimada, para usarla en la recta de altura

### Conocido declinación, altura y horario, hallar

#### Sin latitud estimada (conozco tiempo universal y longitud)

Por la semejanza de ángulos y lados en el triángulo esférico :

$$\text{Cos } d / \text{sen } Z = \text{cos } a / \text{sen } P, \text{ luego}$$

$$\text{sen } Z = \text{cos } d \text{ sen } P / \text{cos } a$$

Puede presentar ambigüedades pues el seno de Z siempre es positivo y por consiguiente no se sabe si es < o > de 90°. Por consiguiente sólo es recomendable usar esta fórmula para astros cercanos al polo o al meridiano. Se utiliza cuando tenemos un error en la latitud

#### Con latitud estimada

Despejo el azimut en la fórmula de la declinación

$$\cos Z = (\sin d - \sin l \sin a) / \cos l \cos a$$

### **Cálculo del azimut en el orto o el ocaso de los astros**

Como la altura es 0,  $\sin a = 0$ ,  $\cos a = 1$  y por consiguiente la fórmula

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

$$\cos Z = \sin d / \cos l$$

Los ortos y los ocasos de las estrellas no son visibles debido a la refracción, luego el único que nos interesa es el del Sol, que en ese momento se encontrará elevado sobre el horizonte  $2/3$  de su diámetro. Nos sirve para hallar la corrección total de la aguja

### **Cálculo de la amplitud de un astro**

Amplitud es el complemento del azimut cuadrantal. Nos interesa únicamente en el momento del orto o del ocaso, llamándose **amplitud oriental u ortiva** y **amplitud occidental u occidua**.

Es una variación del caso anterior, pues una vez calculado el azimut cuadrantal, se resta de 90 y se tiene la amplitud.

$$\sin AP = \sin d / \cos l$$

Fórmula igual a la anterior, en la que el  $\sin Z = \cos AP$

### **NO ME PARECE QUE APORTE ESTO NADA**

Los arcos de declinación 0 no tienen amplitud (o sea se salen y se ponen ese día por el Este / Oeste) tal y como el Sol en los puntos de Aries y Libra.

### **Cálculo del azimut de la Polar**

Se trataría como un astro ordinario, pero debido a su importancia y cercanía al Polo el Almanaque da unas tablas que permiten hallar directamente su azimut, conocidos el horario local de Aries y la altura verdadera con la que se observa la Polar. Si el azimut es positivo se observa cara al Este, y cara al Oeste si es negativo

El Almanaque también da unas correcciones que sumadas a la altura observada de la Polar dan directamente la latitud del observador. Los datos para entrar en dichas tablas son nuevamente el horario local de Aries y la altura verdadera de la Polar

### **Astro en el meridiano superior o inferior**

Se considera que un Astro se encuentra en el meridiano superior cuando su azimut sea de  $5^\circ$  o menor.

El triángulo de posición pasa a ser una recta donde se encuentran el Polo, el Astro y el Observador. El ángulo en el Polo es  $0^\circ$ . El horario del astro coincide con la longitud. Se halla directamente el ángulo sidéreo restando la longitud del horario local de Aries y buscando el complemento a  $360^\circ$ .

El Astro estará en el meridiano inferior del lugar si lo observamos de cara al Polo elevado y su altura es inferior a la latitud del observador. Entonces

$$l = a + \text{Codeclinación}$$

El Astro estará cara al polo elevado si su declinación es mayor que la latitud del observador y viceversa.

El Astro estará en el meridiano **superior** del lugar si

Se observa de cara al polo elevado y su altura es mayor que la latitud

$$l = d - z$$

siendo  $z = 90^\circ - \text{altura}$ , o sea la altura cenital

Se observa cara al polo depresso.

$$l = d + z$$

<b>Polo</b>	<b>Meridiano</b>	<b>Latitud</b>
<b>Elevado</b> $d > l$	<b>Inferior</b> $a < l$ $d > 90 - l$ y especie igual	<b><math>l = a + \text{Codeclinación}</math></b>
	<b>Superior</b> $a > l$	<b><math>l = d - z</math></b>
<b>Depreso</b> $d < l$	<b>Superior</b> visible	<b><math>l = d + z</math></b>

	<b>Inferior</b> <b>(no visible)</b> <b>d &lt; 90 – 1 y</b> <b>diferente</b> <b>especie</b>	
--	--	--

## Casos raros

Astro en el Vertical Primario ( Este u Oeste)

Es un triángulo rectángulo, luego se calcula la latitud por la misma fórmula que en la meridiana

El horario se calcula con la fórmula

$$\cos h = \operatorname{tg} d / \operatorname{tg} l$$

Que viene de

## Reconocimiento de los astros

Normalmente se trata de identificar una estrella. Para lo que necesitamos el Angulo Sidéreo y la declinación:

Tomamos azimut y altura.

Ajustamos la altura a altura verdadera

Hallamos la HTU

Calculamos el horario en Greenwich de Aries

Calculamos el horario local de Aries con el anterior más / menos la Longitud (más si es hacia el Este y menos si es hacia el Oeste). Lo ponemos siempre en horario hacia el Oeste.

Calculamos la altura estimada y el ángulo en el Polo por fórmulas

$$\text{sen } d = \text{sen } a_v \text{ sen } l_e + \text{cos } a_v \text{ cos } l_e \text{ cos } Z_v$$

$\text{cos } Z_v$  tendrá signo negativo si  $Z_v$  es mayor que 90 y positivo si es menor.

Si  $d$  es positivo es del mismo tipo que la latitud y contraria si es negativo

$$\text{cotg } P = (\text{tg } a_v \text{ cos } l_e - \text{sen } l_e \text{ cos } Z_v) / \text{sen } Z_v$$

$\text{cos } Z_v$  tendrá signo negativo si  $Z_v$  es mayor que 90 y positivo si es menor. No necesito tenerlo en cuenta si meto el valor absoluto del Azimut

Si  $\text{cotg } h$  es positivo,  $h < 90^\circ$ ; si es negativo  $h > 90^\circ$

El horario será oriental u occidental según lo sea el azimut. Lo pasaremos siempre a horario occidental y lo pasaremos a Greenwich con la longitud.

Buscamos si es algún planeta con la declinación, el horario en Greenwich y la hora. Si no lo es buscamos si es una estrella :

Hallamos el Angulo Sidéreo por diferencia entre el horario local del Astro y el horario local de Aries.

Ha habido exámenes que se ha puesto como reconocimiento el Sol o la Luna, así que hay que comprobarlo si no se ha encontrado un Astro que cumpla con los datos obtenidos.

### **Caso particular de un astro en el meridiano superior o inferior o sus proximidades.**

Entenderemos que el Astro está en el meridiano superior para azimuts cuadrantales inferiores a  $5^\circ$

Si está en el meridiano superior el horario del astro es igual a la longitud del observador, siendo el Ángulo Sidéreo el complemento a  $360^\circ$  del horario local de Aries.

Con las fórmulas de la latitud en la meridiana obtenemos la declinación:

$l = a + \text{codeclinación}$  en caso de *meridiano inferior* (polo elevado y altura inferior a latitud) (sólo se ve en el meridiano inferior cuando la declinación es superior a la colatitud y declinación y latitud son del mismo signo)

$l = d - z$  en caso de *meridiano superior* (polo elevado con altura superior a latitud)

$l = d + z$  en caso de *meridiano superior mirando al polo depresso*

Con la declinación y el Ángulo Sidéreo podemos proceder como de costumbre

### **Tablas que facilitan el reconocimiento de los Astros**

**Almanaque Náutico**, donde buscaremos por Angulo sidéreo y declinación

#### **Star finder**

Conjunto formado por un disco base, con las estrellas dibujadas para cada hemisferio por cada cara y con el borde graduado de 0 a  $360^\circ$  para poner el horario local de Aries y un conjunto de discos transparentes, para distintas latitudes, con los almicantrats y los semicírculos verticales, separados de 5 en  $5^\circ$  También lleva una cruz que representa el cenit y una línea de fe que representa el meridiano del lugar. Se pone el segundo sobre el primero, haciendo coincidir el horario local de Aries del borde con la línea de fe y se encuentran directamente los astros por lectura de la altura y del azimut.

## Rectas de altura

La intersección de la recta que une imaginariamente un Astro con el centro de la Tierra con la superficie terrestre recibe el nombre de **punto astral o polo de iluminación**.

La latitud de dicho punto es igual a la declinación del astro y la longitud igual a su horario en Greenwich

Todos los puntos de la Tierra que en un momento dado vean dicho Astro con igual altura forman un círculo alrededor de dicho punto astral, llamado **círculo de alturas iguales**.

Un observador que vea dos astros simultáneamente se encontrará situado en la intersección de los círculos de altura de los mismos. Dicha intersección se puede dar en dos puntos, de los que normalmente se puede descartar una de ellas por estar demasiado alejada de la situación de estima. Si se observan tres astros sólo habrá un punto que cumpla la condición de estar sobre el círculo de alturas iguales de los tres astros, obteniéndose así una posición exacta.

El problema es la dificultad de representar dichos círculos sobre una esfera. La solución es representarlos sobre cartas Mercatorianas, que por la superficie que abarcan, proporcionalmente muy pequeña, permiten simplificar la representación de cada uno de los círculos por una recta tangente al mismo, y por consiguiente perpendicular al **azimut** con el que vea el observador el Astro.

Idealmente debemos elegir tres astros para situarnos, con sus azimutes a  $120^\circ$  el uno del otro.

Existen varios procedimientos de aplicación de este concepto, si bien el que se usa generalmente es sólo uno de ellos, la tangente Marcq Saint-Hilaire.

### **Secante Summer.**

Sobre una situación de estima tomamos dos posiciones de latitud distinta, simétricas a la de estima (sumamos y restamos el mismo error a la estimada) y calculamos su posición en función de la altura del astro. Trazamos una recta que une los dos puntos obtenidos. Repetimos el procedimiento con otro astro y la intersección de las dos rectas será la posición del observador

Su determinante son los dos puntos que definen la recta.

### **Secante Borda**

Igual al anterior pero la variación la aplicamos a la longitud

### **Tangente Johnson**

Usa una fórmula para calcular la longitud hallando el horario local del astro con la altura verdadera, la latitud estimada y la declinación. Obtenemos la longitud restando del dato obtenido el horario del astro en Greenwich. La posición vendrá dada por

dicha longitud y la latitud de estima. Es observa mejor con astros de azimut próximo a 90°.

### **Tangente Marcq Saint-Hilaire .**

Esta es el método más ampliamente usado. Consiste en ajustar la situación de estima desplazándose de la misma por la vertical del astro que pasa por dicha situación (azimut) en una distancia que nos ponga en el círculo de alturas del astro. La nueva posición hallada es el **punto aproximado**.

El **determinante** de la tangente Marqu Saint-Hilaire es la situación de estima, el azimut del astro y la diferencia con signo entre la altura verdadera y la estimada.

El procedimiento es :

Tener una posición estimada.

Tomar la altura de uno o más astros.

Calcular la altura estimada con la fórmula :

$$\text{Sen } a = \text{sen } l \text{ sen } d + \text{cos } l \text{ cos } d \text{ cos } P$$

( si l y d son de distinto tipo debemos anteponer un signo -)

Calcular el azimut caso de no haberlo observado

$$\text{Cotg } Z = (\text{tg } d \text{ cos } l - \text{sen } l \text{ cos } P) / \text{sen } P$$

(igualmente, si d y l son de distinto tipo debemos poner delante de tg d un signo menos)

Calcular la diferencia obtenida entre la altura de cada astro correspondiente a la situación estimada y la verdadera obtenida por medición. Dicha diferencia nos dará un dato de diferencia de altura que es el error de distancia entre la recta de altura del astro y la situación estimada

Representar la línea de azimut a partir de la situación estimada y sobre ella obtener un nuevo punto desplazándonos una distancia correspondiente al error de distancia hallado. Trazando una perpendicular al azimut esta será la recta de altura correspondiente al Astro. En el caso de tener una sola altura este punto hallado sería el llamado **punto aproximado**, que debemos utilizar como nuevo punto de partida para el cálculo de las estimas sucesivas

Idealmente se debe obtener la situación mediante las rectas de altura simultáneas a dos o más astros. Admitiremos que son simultáneas, aunque sean sucesivas si el intervalo de tiempo es breve, inferior al minuto y la distancia recorrida por el buque es de no más de 300 metros.

Si tenemos la altura de dos o más astros simultáneos, repetiremos el procedimiento con cada uno de ellos obteniendo así varias rectas de altura que determinarán la

posición observada por su punto de intersección. Si hay tres astros puede ocurrir que las tres rectas no coincidan en un punto, sino que formen un triángulo, lo que se deberá a los errores de toma de altura y cálculo corregidos. Podemos determinar la posición observada por el centro geométrico de dicho triángulo o por la intersección de las bisectrices de sus tres ángulos.

También podemos estimar la situación mediante la construcción gráfica del punto de Grebbe, que es el punto interior de un triángulo que tiene la propiedad de que la suma de los cuadrados de las distancias a los tres lados es la menor posible. Para ello se construye un nuevo triángulo, exterior al inicial y con los lados paralelos al mismo y separados una cuarta parte de la longitud del lado interior. Uniendo los vértices del nuevo triángulo con los homólogos del anterior se halla un punto que será la situación.

Si tenemos una altura inicial y una segunda tomada con un cierto intervalo de tiempo, debemos calcular la estima hasta la segunda observación desde el punto aproximado de la primera y en el punto estimado dibujar, la primera recta de altura pasando por el propio punto, dado que ya hemos absorbido su error de altura en el punto aproximado anterior, y la nueva recta de altura. La intersección de las dos rectas de altura nos darán el nuevo punto observado.

El traslado se hará, preferentemente, gráficamente en distancias cortas y analíticamente en distancias largas.

Caso de haber una tercera observación posterior se trasladarían ambas rectas de altura a la nueva posición de estima y se actuaría de manera similar.

## **Errores en las situaciones por rectas de altura.**

Sistemáticos y accidentales

### **Sistemáticos:**

Error de altura, por corrección de índice, mala visibilidad, error en la altura del observador, condiciones atmosféricas anormales que varíen la corrección por depresión.

Hay un procedimiento que permite eliminar los errores sistemáticos que consiste en la toma de tres observaciones y dibujar sus correspondientes rectas de altura. Las **bisectrices de los ángulos** que forman dan una posición exenta de errores sistemáticos.

### **Accidentales**

Error por mala observación de un astro, por balanceo de la embarcación, translación de rumbo o distancia o por cronómetro.

Cada uno de los errores anteriores tendrá distinto efecto sobre la precisión de la posición hallada.

Errores en la altura. La recta real será paralela a la calculada. Nos llevarían a trazar dos rectas paralelas a la teóricamente cierta y separadas de la misma por el máximo error esperado en cada sentido.

Error en la distancia navegada. Traslado de la recta de altura un distancia igual al error.

Error en el rumbo. Traslado del determinante de la primera observación a un punto erróneo

Errores de cronómetro nos llevan a una translación de la recta de altura en el sentido de los paralelos.

Ello nos lleva a hablar de una **superficie de posición**, que sería el lugar geométrico de las posiciones posibles en función de los posibles errores cometidos. Cuando estamos cerca de la costa trazaremos tangentes a la superficie de posición con la dirección del rumbo para ver la zona de la costa a la que podemos llegar, denominada **zona de recalada**

### **Casos especiales de la recta de altura.**

Observación de la **altura meridiana** del astro, o sea a su paso por el meridiano superior o inferior del lugar.

Nos da directamente la latitud de acuerdo con las siguientes fórmulas

Meridiano superior  $l = d - z$  con  $z = \text{altura cenital} = 90^\circ - \text{altura verdadera}$ ,  $z$  negativo si cara al polo depreso

Meridiano inferior  $l = a + \text{Delta}$  con  $\text{Delta} = \text{Codeclinación} = 90^\circ - \text{declinación}$

El Astro estará en el meridiano superior si : mirando al polo elevado su declinación es mayor que la latitud o si está mirando al polo depreso

**Observación de un astro próximo al meridiano. Altura circunmeridiana.** Teóricamente se podrían tratar como el caso anterior con unos ajustes por tablas, pero en la práctica se tratan como una altura normal no meridiana

### **Altura de la estrella Polar**

Con la altura de la Polar y el horario local de Aries obtenemos la latitud directamente corrigiendo la altura observada con los datos sacados de tres tablas del Almanaque Náutico.

### **Astro en el vertical Primario (Este u Oeste)**

Al estar en dicha posición el astro, el triángulo de posición es un triángulo rectángulo, por lo que equivale a una altura meridiana :  $l = d - z$ .

Una vez hallada la latitud podemos calcular el horario con la fórmula :

$\text{Cos } h = \text{tg } d / \text{tg } l$  y con este horario local del astro hallamos la longitud al restarle el horario del astro en Greenwich

### **Otras utilizaciones de una recta de altura**

Además de obtener una posición exacta, nos permite calcular **otros datos** :

Observando un astro en dirección perpendicular a tierra obtendremos una recta de altura paralela a la costa, con lo que obtenemos la distancia a la misma

Observando un astro en la dirección de un punto concreto, o la opuesta, obtenemos una recta de altura con la distancia a dicho punto, que por intersección con el azimut nos da la posición exacta.

Para comprobar el rumbo de la embarcación observando un astro perpendicular al rumbo de la misma. **Recta de rumbo o recta de dirección.**

Para comprobar la distancia o la velocidad con un astro en la línea de crujía del buque. **Recta de velocidad o recta de distancia.**

## Cálculo abreviado de la longitud en la Meridiana por coeficiente de Pagel

El **coeficiente de Pagel** es el porcentaje de error introducido en la Longitud por un error de un grado en la latitud. Por consiguiente, si sabemos el error absoluto cometido en la latitud podemos calcular el correspondiente error en la Longitud.

Su ventaja es que nos permite calcular la posición observada cuando la segunda observación no simultánea es una meridiana, dado que calculamos numéricamente los deltas de latitud y longitud.

Para ello calculamos el coeficiente de Pagel en una observación *anterior* a la meridiana con la fórmula

$$dP = (\text{tg } d / \text{sen } P) - (\text{tg } l / \text{tg } P)$$

(se usa la longitud de estima de la observación anterior, así como el ángulo en el Polo que se usa en la estima)

En la observación meridiana calculamos la longitud real mediante altura meridiana, y hallamos el error de latitud cometido en la estima

Ese error multiplicado por el coeficiente de Pagel nos dará el ajuste a realizar a la estima de la longitud. Para hallar su signo tomamos el azimut del astro de la observación anterior, y ponemos debajo sus opuestos (por ejemplo, si Z era = N 35 W

N	W
S	E

El signo del error de longitud será el opuesto en diagonal al que hallamos como error de latitud en la meridiana por diferencia entre el valor real y el estimado. Así, si el determinante de altura es hacia el Sur, el signo de la variación de longitud será W y deberemos sumar dicha variación a la estima realizada

## **Plan de observaciones**

Por la mañana, en el crepúsculo matutino, nos situamos mediante dos o tres estrellas

A media mañana se obtiene una recta de altura del Sol, procurando que este cercano al Este y que la altura no sea muy pequeña.

Al mediodía se obtiene la meridiana, y de halla la posición por traslado de la recta de altura de media mañana.

En el crepúsculo vespertino se vuelve a hallar la posición por recta de altura a dos o tres astros.

## **Situación por rectas de alturas**

### **Dos simultáneas.**

#### **Dos Marcq**

Se dibuja directamente, trazando la escala de latitudes y diferencias de altura mediante una recta inclinada la latitud de estima

#### **Marcq y paralelo**

Se dibujan ambas. La latitud es la del paralelo y sólo hay que calcular la variación de longitud

#### **Paralelo y Marcq**

Como la altura meridiana nos da ya una longitud buena, usamos esta dentro de las fórmulas para hallar el determinante de la otra recta de altura

### **No simultáneas. Traslado de recta de altura.**

Cuando se tienen dos rectas de altura no simultáneas hay que trasladar la primera al punto de estima de la segunda. Para ello procederemos como sigue.

Tomaremos la primera altura, calcularemos el determinante y ajustaremos la posición de estima al punto aproximado.

Realizaremos la estima desde ese punto aproximado hasta el momento de la nueva observación. En este segundo punto de estima trazaremos la recta de altura correspondiente a la primera observación sin ajuste por diferencia de alturas, por haber sido ya tenido en cuenta previamente y trazaremos el azimut y la recta de altura del segundo astro, teniendo aquí en cuenta la diferencia de alturas hallada para el mismo. La intersección de ambas rectas nos da la nueva situación, que tomaremos como punto de partida de las posteriores estimas.

Si la segunda observación es una meridiana puedo aplicar Pagel para ahorrarme el dibujo, resolviendo el problema analíticamente.

## **Hora de paso por el meridiano del observador (resultado en HTU)**

### **Sol**

Hora de paso por Greenwich  
+ Longitud en tiempo

### **Luna**

Hora de paso por Greenwich  
Corrección por retardo y Longitud (W+ E -)  
+ Longitud en tiempo

### **Planeta**

Hora de paso por Greenwich  
Corrección por retardo y Longitud (W+ E -)  
+ Longitud en tiempo

### **Estrella**

Hora de paso por Greenwich a primero de mes  
Ajuste de variación para el día del mes  
+ Longitud en tiempo

**Calculo del intervalo de tiempo** desde un momento dado hasta el paso del astro por el meridiano *móvil* del barco.

Si tenemos un horario local del astro, situado al Este, en un momento dado, sabemos que se nos acercará a una velocidad de 15° por hora. Si el barco está navegando, su movimiento tendrá una componente longitudinal cada hora, que podemos calcular por las fórmulas de la loxodrómica. Si este movimiento es hacia el Este incrementa la velocidad relativa en la que el astro recorre el horario local que lo separa de nosotros, y si es hacia el Oeste la reduce.

El tiempo total hasta que el astro se encuentre en el nuestro meridiano *móvil* es el horario local del astro en el momento inicial y expresado en minutos partido por 9000 (velocidad angular del astro expresada en minutos o sea 15° x 60 minutos) más la componente longitudinal de la velocidad del barco si esta es al Este y menos si esta es al Oeste.

De esta manera podemos predecir la hora a la que se producirá el paso por el meridiano *móvil* y prepara la observación.

**Las velocidades angulares de los distintos astros son :**

<b>Luna</b>	<b>859 + dif/10</b>
<b>Sol</b>	<b>900</b>
<b>Planetas</b>	<b>900+dif/10</b>
<b>Estrellas</b>	<b>902,5</b>

## Derrota loxodrómica

La distancia más corta entre dos puntos de la superficie terrestre es un arco de círculo máximo que los uniera o **derrota ortodrómica**. Su inconveniente es que el rumbo a seguir varía continuamente, con lo que resulta poco práctica.

La alternativa, es la **Derrota loxodrómica, que** es aquella en la que el rumbo, que es constante, corta a los meridianos que atraviesa con un ángulo constante. Su representación sobre la carta mercatoriana además es muy sencilla, pues es una línea recta.

Entre dos puntos pasan sólo dos loxodrómicas que conducen directamente de uno a otro, una en sentido oriental y otra en occidental

Podemos pues representar la derrota loxodrómica como un triángulo rectángulo en el cual los lados son el incremento de longitud, el incremento de Latitud medido sobre el paralelo del lugar, o **Apartamiento** y la Distancia navegada. El ángulo formado por la Distancia y el incremento de latitud es el Rumbo verdadero.

Debemos pues antes de resolver cualquier problema de estima convertir el rumbo de aguja en verdadero.

Dado que estamos midiendo sobre la longitud real, el incremento de longitud no necesita corrección. Sin embargo, la representación plana hace que el lado paralelo al Ecuador del triángulo sea menor que el incremento de longitud producida. Este lado menor es el llamado Apartamiento, que deberemos pasar luego a incremento real de Longitud

Debemos considerar que para diferencias de latitud inferiores a los 5° podemos trabajar directamente con dichas latitudes, pero que cuando se superan los 5° debemos usar las **latitudes aumentadas**, que son el valor analítico de la latitud en la carta Mercatoriana y que son las que realmente se dibujan en las cartas Mercatorianas. Dichas latitudes aumentadas se encuentran, bien en una tabla denominada **partes meridionales**, bien por una fórmula que es

$$la = 7915,7 \log \operatorname{tg}(45+l/2) - 2/3 \operatorname{sen} l$$

La ecuación base de la Loxodrómica es :

$$\text{Longitud} = \text{Longitud en Ecuador} + la \operatorname{Tg} R$$

Y restando para dos longitudes distintas :

$$? L = ? la \operatorname{tg} R$$

Las **fórmulas bases** para el triángulo de la loxodrómica son :

**Estima directa :**

Conozco el punto de partida, el rumbo y la distancia y quiero saber la estima del punto de llegada.  $L_s$ ,  $l_s$ ,  $R$  y  $D$

Normal $\angle l < 5^\circ$	Aumentada $\angle l > 5^\circ$
$A = D \operatorname{sen} R$ o $A = \angle l \operatorname{tg} R$ $\angle l = D \operatorname{cos} R$ $l_m = (l_f + l_s) / 2$ $\angle L = A / \operatorname{cos} l_m$	$\angle l = D \operatorname{cos} R$ $l_{\text{final}} = l_s + \angle l$ Por tablas $l_s \rightarrow l_{fa}$ $l_s \rightarrow l_{sa}$ $\angle l_a = l_{fz} - l_{sa}$ $\angle L = \angle l_a \operatorname{tg} R$ $l_f = l_s + \angle L$

**Estima inversa :**

Conozco los puntos de salida y llegada y deseo conocer el rumbo y la distancia

$\angle L = l_f - l_s$        $\angle l = l_f - l_s \rightarrow$  Dos opciones :

Normal $\angle l < 5^\circ$	Aumentada $\angle l > 5^\circ$
$l_m = (l_f + l_s) / 2$ $A = \angle L \operatorname{cos} l_m$ $\operatorname{Tg} R = A / \angle l$ (ojo rumbo cuadrantal) $D = \text{Raíz cuadrada de } A^2 + \angle l^2$ ó $D = \angle l / \operatorname{cos} R$ (con $R$ en circular)	Calculo las latitudes aumentadas por tabla de partes proporcionales $l_s \rightarrow l_{fa}$ $l_s \rightarrow l_{sa}$ $\angle l = D \operatorname{cos} R$ $\angle L = \angle l_a \operatorname{tg} R$

Las ecuaciones anteriores nos permiten resolver tanto la estima directa , (conocidos el punto de partida, el rumbo y la distancia navegada, hallar el punto de llegada) como la inversa ( conocidos el punto de partida y llegada calcular la distancia y el rumbo a seguir ).

En realidad un rumbo loxodrómico indefinido formaría normalmente una curva espiral que conduciría al Polo del hemisferio correspondiente a dicho rumbo expresado de forma cuadrantal.

En caso de que el rumbo sea solo en sentido longitudinal entonces daría vueltas sobre el paralelo sobre el que se encontrara. La distancia navegada correspondería al Apartamiento, y si además el paralelo fuera el Ecuador, este coincidiría con el incremento de Longitud

En caso de que sea un rumbo en sentido de un meridiano sería una recta que conduciría directamente al Polo. No existiría variación de longitud y la distancia navegada coincidiría con la variación de latitud

La situación de estima se puede calcular analítica o gráficamente, si bien en determinadas zonas, como por ejemplo en medio de un océano, careceremos de una carta mercatoriana de la escala adecuada.

La estima analíticamente se puede hacer mediante tablas o mediante calculadora, aplicando las fórmulas anteriores

Hay que considerar que la situación estimada puede contener errores, que se deberán a inconsistencia en el mantenimiento del rumbo, errores de distancia por mal funcionamiento de la corredera, abatimientos y corrientes, etc. Por ello es preciso comprobar sistemáticamente la posición de la embarcación mediante la observación de los astros, lo que dará lugar a posiciones observadas. Sólo cuando de manera indudable estemos en un lugar, normalmente por referencia a un punto de tierra firme, podremos hablar de **situación verdadera**.

Al navegar por aguas peligrosas, como por ejemplo en cercanía de la costa, es preciso incrementar la frecuencia de las observaciones, que nos permitirán analizar los factores externos que están influyendo en nuestro rumbo y prever su compensación

Cuando se sucedan varios rumbos e intervalos de tiempo se hará un cuadro de estimas, que permitirá hallar el incremento de longitud y Apartamiento acumulados, y obtener de ellos la situación estimada.

Los abatimientos causados por el viento se considerarán modificando el rumbo verdadero correspondiente para hallar el **rumbo de superficie**. El abatimiento hacia estribor incrementa el rumbo y hacia babor lo reduce

Las corrientes se considerarán como un rumbo más de sentido e intensidad el de la corriente y duración el tiempo de influencia de la misma.

Rumbo verdadero	Velocidad	Intervalo	Distancia	? 1 Norte	? 1 Sur	A Este	A Oeste
Rumbo verdadero 1							
Rumbo superficie 2							
Corriente 1							
			Total ?				
			Saldo				

## Derrota ortodrómica

**Derrota ortodrómica** entre dos puntos es el arco de círculo máximo que los une. Es la distancia más corta entre dos puntos de una esfera. Se llama **ganancia** a la diferencia entre la distancia por loxodrómica y por ortodrómica

Una derrota ortodrómica cambia de rumbo continuamente. En la práctica se divide la ortodrómica en varios puntos situados sobre ella y se navega de uno a otro por loxodrómica, lo que dará lugar a un rumbo poligonal, que se adaptará tanto más al de la ortodrómica cuantos más puntos se hallan calculado.

Se define pues un **rumbo inicial**, que se halla con las ecuaciones de la ortodrómica y se navega un intervalo de tiempo. Se estima la posición del buque y se recalcula el rumbo inicial volviéndose a la navegación, y así sucesivamente

Las fórmulas de la ortodrómica, se hallan dibujando el correspondiente triángulo de posición, en el cual uno de los vértices es el Polo elevado y los otros dos el punto de partida y el de llegada. El ángulo en el Polo corresponderá al incremento de Longitud entre los dos puntos

Las fórmulas a aplicar son :

$$\cos D = \sin l_s \sin l_{II} + \cos l_s \cos l_{II} \cos P$$

$$\cot Ri = (\operatorname{tg} l_{II} \cos l_s - \sin l_s \cos P) / \sin P$$

Hay que tener en cuenta que cuando el punto de salida y el de llegada están en distintos hemisferios hay que darle el signo menos a uno de los dos senos en la primera fórmula y a la tangente en la segunda

Si el coseno de D es positivo significa que el ángulo es menor que 90° y será mayor si el coseno de D es negativo.

La distancia vendrá expresada en grados y minutos. Los grados se pasan a minutos multiplicándolos por 60 y el resultado de la suma es la distancia en millas.

El rumbo vendrá dado en cuadrantal Si es positivo se contará a partir del polo elevado y desde el depresado si es negativo. Será oriental u occidental en función de en que dirección se encuentre el punto de llegada.

Para calcular el **rumbo de llegada** o **rumbo de recalada** se calcula el rumbo inicial como si se navegara del punto de llegada al de partida y se le suman 180°

La principal ventaja de la derrota ortodrómica es la ganancia que genera, entendiéndose por ganancia la diferencia en menos entre la derrota loxodrómica y la ortodrómica. Esta ganancia será significativa sólo para grandes distancias, por lo que sólo se usará en estos casos. Será aún mayor cuando la navegación sea por latitudes altas.

Un posible inconveniente es que la derrota ortodrómica nos lleve por aguas poco seguras, como por ejemplo si se genera una ruta demasiado al Norte. En ese caso se suele combinar y navegar mediante una **derrota mixta**, parcialmente por un sistema y el resto por el otro.

## Cinemática

**Movimiento absoluto o geográfico**, o el que tiene el buque sobre el fondo. Son sus elementos : Rumbo y velocidad, representados por un vector y la distancia. Da lugar a la **derrota efectiva**

**Movimiento relativo** es el de un barco respecto a otro. Para ello se aplica a ambos un vector de movimiento de igual valor y sentido inverso a uno de ellos, con lo que quedará parado y el otro se desplazará respecto al primero a una velocidad que será el resultado de componer su propio rumbo con el inverso aplicado. La velocidad y rumbo de uno respecto a otro quedará representado por otro vector de **velocidad relativa**. El barco que se desplaza recorrerá una **derrota relativa o indicatriz de movimiento** respecto al parado. Son sus elementos dirección, distancia y velocidad efectiva.

Las posiciones relativas de un barco respecto a otro se determinan por :

**Demora**. Angulo de la visual al barco con el norte verdadero o de aguja

**Marcación**. Angulo de la visual al barco con la proa del propio

**Inclinación o aspecto**: es la marcación realizada desde el otro buque

Angulo que forman la línea que une ambos barcos y la proa del otro.

Distancia. ( 1 milla = 2.000 yardas = 1.852 metros)

Se supone que:

- 1.- Los barcos se mueven uniformemente, sobre derrotas rectas
- 2.- La velocidad es constante. Los cambios de rumbo son instantáneos así como los cambios de velocidad.
- 3.- No se tienen en cuenta los factores externos que afecten a ambos buques por igual , ej. Corrientes,

Los movimientos absolutos y relativos de dos o más buques se suelen representar en una **rosa de maniobras**, mediante el **diagrama vectorial o triángulo de velocidades**, formado por la velocidad absoluta de los dos barcos y la velocidad relativa que es el vector que une el extremo de la velocidad del barco propio con la del barco en movimiento. Se representan la velocidad de los dos buques con origen el centro de la rosa.

Si hay una corriente o similar que afecta a ambos buques no se contempla, pero si sólo afecta a uno de ellos hay que obtener su velocidad absoluta mediante la composición de la del buque con el factor externo.

Si es un viento que afecta a ambos barcos de manera desigual, corregimos el rumbo del otro y resolvemos el problema. Luego ajustamos el vector de A con el abatimiento que le genera. Alternativamente, resolveríamos corrigiendo previamente los dos rumbos con los abatimientos correspondientes y al final desharíamos el abatimiento aplicado a nuestro rumbo para hallar el rumbo que debemos aplicar.

Un punto inmóvil se observa en la pantalla como un eco que se desplaza uniformemente con un vector de velocidad inverso al de nuestro buque

**Triángulo de distancias** es el formado por el recorrido relativo de otro buque, hallado mediante dos o más puntos en la pantalla de radar en un tiempo determinado, al que se le compone el rumbo efectivo propio durante dicho intervalo. La línea que une ambas distancias es la distancia efectiva recorrida por el otro buque en el mismo tiempo. Así el triángulo de velocidades está formado por las velocidades absolutas de ambos buques y la velocidad relativa entre los mismos.

Los triángulos de distancia y velocidades se resuelven sobre la **Rosa de Maniobras**, que es un impreso con distancia y rumbos marcados para posicionar nuestro buque y los ecos observados.

Las observaciones se toman normalmente cada seis minutos porque así multiplicando por 10 la distancia recorrida se obtiene la velocidad del barco.

CPA : Closest Point of Approach. Punto más cercano de las derrotas. Se halla mediante la perpendicular desde el centro de la rosa a la indicatriz del movimiento relativo.

Cambios de rumbo para evitar abordaje o colisión.

Recordar que es más eficaz un cambio de rumbo que uno de velocidad.

Es más prudente pasar por la popa que por la proa

El barco obligado a maniobrar es el que tiene al otro por su estribor. De todas formas, en los problemas teóricos se nos puede indicar lo contrario.

## **Tipos de problemas**

Hallar el rumbo y velocidad de B conociendo su movimiento relativo

Calcular el momento en que A estará a la mínima distancia de B

Calcular el momento en que A estará a una distancia determinada de B

Calcular el momento en que A cortará la proa o la popa de B

Dar alcance a un buque

Sin variar nuestro rumbo

Es necesario que las derrotas sean convergentes. Trazamos el rumbo relativo desde el extremo de  $V_b$  hasta donde corte  $V_a$ , determinándose así la nueva velocidad en nudos

Dar alcance en un tiempo determinado

Trazamos la generatriz de movimiento. Midiéndola y dividiendo por el intervalo de tiempo tenemos la velocidad relativa que debemos conseguir. Ponemos dicha velocidad relativa en el extremo de  $V_b$  y su extremo marca  $V_a$  en rumbo y velocidad.

En el menor tiempo posible

Generatriz de movimiento en la dirección del eco de B. Puede ocurrir que no haya alcance si la velocidad de B es la de superior a la de A y tiene determinado rumbo

Dar rumbo para pasar a una distancia determinada de otro

Trazamos un círculo con centro A (o B) y radio la distancia determinada. Trazamos una tangente desde la posición de b a dicho círculo y esa debe ser la nueva generatriz de movimiento. Hay que considerar que pueden trazarse dos tangentes y esto determinará si lo cruzamos por proa o popa y dejándolo por babor o estribor. Dado que las velocidades relativas y distancias serán distintas hay una de las dos opciones que es más rápida que la otra

Ojo. Se usan yardas a veces : 1 milla = 1.852 metros = 2.000 yardas.

## **Trazado o punteo**

### **Verdadero**

**Relativo.** Se aplica el principio de Galileo, aplicando al conjunto un vector de velocidades igual y de sentido opuesto a nuestro buque. Ello hace que este permanezca inmóvil y se observen las velocidades relativas de los otros

Se recomienda como mínimo una observación cada 3 minutos, lo que daría una recta de 3 puntos cada 6 minutos.

Círculo de seguridad. Distancia mínima a la que debe pasar un buque de otro. Normalmente entre 2 y 3 millas.

Si modificamos rumbo o velocidad quedan alterados instantáneamente todos los rumbos y velocidades relativos.

**Abreviaturas** usadas en cinemática radar :

CPA : Closest Point of Approach

TCPA : Time to Closest Point of Approach

WO : Way Own Ship

WA : Way Another Ship

OA : Origin Apparent motion (Rumbo y velocidad del movimiento relativo)



## FORMULAS

Rumbo aguja + Corrección total = Rumbo verdadero

Rumbo verdadero + Abatimiento = Rumbo superficie

Rumbo superficie + Corriente = Rumbo efectivo

Corrección total = Desvío + declinación

Tanto el desvío como la declinación magnéticas son negativos si son hacia el W, o a la izquierda del Polo. La lectura resultante que nos dará o lectura de aguja se verá incrementada respecto a la lectura real por el ángulo adicional que tiene hacia el W. Por consiguiente hay que restar desvíos y declinaciones magnéticas hacia el W y por lo mismo sumar los que son hacia el Este

Corrección total = Demora verdadera – Demora de aguja = Azimut verdadero – azimut aguja

Rumbo verdadero + marcación = Derrota verdadera

Si me dan un azimut en cuadrantal para usarlo en el triángulo de posiciones tengo que asegurarme de que esté tomado desde el Polo elevado

Si el azimut me sale negativo es que debo contarlos desde el polo opuesto, si lo que es negativo es el ángulo en el Polo P, tengo que hacer algo parecido, restándolo de 180°. El motivo es que la tangente de un ángulo superior a 90° es negativa

## Trigonometría

En el triángulo rectángulo

En triángulos no rectángulos

$$\sin A / a = \sin B / b = \sin C / c$$

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos A$$

En el triángulo esférico :

**Coseno de un Lado**

Cos Lado = producto del coseno de los lados opuestos + producto de sus senos por el coseno del ángulo comprendido

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

cuando aplicamos al triángulo esférico los lados son todos  $90^\circ - x$ ; por lo que sustituimos senos por cosenos y viceversa, si bien hay que tener en cuenta que por poder haber algún lado superior a  $90^\circ$  este debe llevar el signo cambiado

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

**Coseno de un ángulo**

$$\cos A = - \cos B \cos C + \sin B \sin C \cos a$$

**Proporcionalidad de lados y sus ángulos**

$$\sin A / a = \sin B / b = \sin C / c$$

## Ortodrómica

### Directa

$$\text{Sen } l_f = \text{sen } l_i \cdot \text{Cos } D + \text{cos } l_i \cdot \text{Cos } D \cdot \text{cos } R$$

$$\text{Cotg } ? L = (\text{cotg } D \cdot \text{cos } L_i - \text{sen } l_i \cdot \text{cos } R) / \text{sen } R$$

### Inversa

$$\text{Cos } D = (\text{sen } l \cdot \text{sen } l' ) + (\text{cos } l \cdot \text{cos } l' \cdot \text{cos } \Delta L)$$

Hallado D, lo expreso en minutos y lo multiplico por 60 para hallar las millas

$$\text{Cotg } R_i = (\text{tg } l' \cdot \text{cos } l / \text{sen } \Delta L) - (\text{sen } l / \text{tg } \Delta L)$$

En ambas fórmulas, si las latitudes están en el mismo hemisferio el signo del primer componente será positivo, si no, será negativo.

El segundo componente será positivo si el incremento de longitud es inferior a  $90^\circ$  y negativo si es superior

El Rumbo se da en cuadrantal :

Si  $\text{cotg } R_i > 0$  se cuenta desde el polo elevado, si no desde el depresado.

Si  $\Delta L$  es hacia E el rumbo es E, y si es W el rumbo es W.

Para hallar el  $R_f$  aplicamos la misma fórmula, considerando que salimos del punto de llegada y vamos al de partida. El rumbo que nos salga habrá que sumarle  $180^\circ$  para tener el rumbo final correcto. Por consiguiente, se aplica la norma del signo de  $\text{cotg } R_i$  pero teniendo en cuenta que ahora el polo a considerar es el del punto de llegada y que al sumarle  $180^\circ$  se invierte el sentido al que sale en la resolución

## Loxodrómica

**Estima directa** : Conozco origen, rumbo y distancia y quiero hallar el punto de llegada

$$\Delta l = D \cos R \rightarrow D = \Delta l / \cos R$$

$$A = D \sin R$$

$\Delta L = A \cos I_m$  ( si la diferencia de latitudes es superior a  $5^\circ$  se trabaja sobre un triángulo formado por la diferencia de las latitudes aumentadas buscadas en la tabla “Partes meridionales”, el  $\Delta L$  y la distancia )

$$D = \text{Raíz cuadrada de } \Delta L^2 + \Delta l_{\text{aumentada}}^2$$

**Estima inversa** : Conozco origen y fin y quiero hallar el rumbo seguido y la distancia navegada

Calculo  $\Delta l$  y  $\Delta L$

Calculo latitud media

$$A = \Delta L / \cos I_m$$

$$\text{Tg } R = A / \Delta l \text{ (ojo, rumbo cuadrantal)}$$

$$D = \text{Raíz cuadrada de suma de Apartamiento e incremento de latitud al cuadrado}$$

**Latitudes aumentadas** :

$$? l = D \cos R$$

$$? L = ? l \text{ la } \text{tg } R$$

Cuando sigo varios rumbos

	Rumbo	Tiempo	Velocidad	Distancia	Incremento longitud		Apartamiento	
					Norte	Sur	Este	Oeste
Tramo 1								
Tramo 2								
Tramo 3								
Tramo 4								
				Suma				
				Saldo				

La posible corriente la considero como un tramo más

Los rumbos son verdaderos y en caso de que halla viento se les incorpora el abatimiento que produce, con sentido positivo si es a estribor y negativo a babor

## Calculo del horario y la declinación de un astro para un punto de coordenadas conocidas

**Sol :**

### **Horario**

Paso la hora local a TU

Busco el horario del sol en Greenwich a la hora entera en la página correspondiente al día y hora obtenidos

Le sumo la corrección por minutos y segundos que obtengo al final del almanaque

Le resto la longitud del lugar si es W y la sumo si es E

### **Declinación**

Busco en la misma página la declinación a la hora entera de TU

Veó el incremento hasta la hora siguiente. Este valor expresado en décimas de minuto es la diferencia y con ella voy a la página de correcciones por minutos y segundos correspondientes y busco la corrección por diferencia, que tendrá el signo del incremento hallado.

Sumo este valor al anterior y el resultado es la declinación del sol

**Planeta**

### **Horario**

Paso la hora local a TU

Busco el horario del planeta en Greenwich a la hora entera en la página correspondiente al día y hora obtenidos

Le sumo la corrección por minutos y segundos que obtengo al final del almanaque

Le sumo con signo la corrección por diferencia. Se halla con el valor al pie de la columna de horarios en Greenwich y buscando con esa diferencia en la página de correcciones correspondiente a los minutos y segundos. (en el Sol no se calculaba esta diferencia)

Le resto la longitud del lugar si es W y la sumo si es E

### **Declinación**

Busco en la misma página del día la declinación a la hora entera de TU

Le sumo con signo la corrección por diferencia. Se halla con el valor al pie de la columna de declinaciones en Greenwich y buscando con esa diferencia en la página de correcciones correspondiente a los minutos y segundos.

## **Estrella**

### **Horario**

Calculo el horario local de Aries por el sistema del Sol (hora entera + corrección por minutos y segundos + longitud estima)

Le sumo el Angulo sidéreo y este es el horario local de la estrella

Si es inferior a  $180^\circ$  lo deajo y es al W, si es superior lo resto de  $360^\circ$  y es hacia el Este

### **Declinación**

La declinación se encuentra directamente en la tabla de estrellas y no tiene correcciones

## **Paso de altura instrumental a la altura verdadera**

En todos los casos hay que hallar la altura aparente, corrigiendo el error de índice y el de refracción que no dependen del astro observado

Altura instrumental

Error instrumental (izquierda -; derecha +)

### **Altura observada**

Corrección por depresión (Pag 387 Tabla A signo -)

### **Altura aparente**

A esta altura aparente hay que añadirle las correcciones siguientes :

## **SOL**

Corrección P/ R/ SM (Paralaje, refracción, semidiámetro . Pág. 387 Tabla B signo -)

Altura verdadera

Corrección por fecha (al seguir la eclíptica es irregular)

-2 Semidiámetros (si he tomado la altura por limbo superior)

### **Altura verdadera**

## **Planeta (Venus o Marte)**

Corrección Refracción ( Pág. 387 Tabla B signo -)

Corrección paralaje ( Pág. 387 Tabla C signo -)

### **Altura verdadera**

## **Estrellas + Júpiter y Urano (Igual anterior sin paralaje por estar más lejos)**

Corrección Refracción ( Pág. 387 Tabla B signo -)

### **Altura verdadera**

## Triángulo de posición

**Cálculo del azimut y de la altura de un astro conocidas las coordenadas del observador y el horario y la declinación**

$$\text{Sen } a = \text{sen } l \text{ sen } d + \text{cos } l \text{ cos } d \text{ cos } P,$$

de aquí puedo despejar cos P

$$\text{cos } P = (\text{sen } a - \text{sen } l \text{ sen } d) / (\text{cos } l \text{ cos } d)$$

$$\text{Cotg } Z = \text{tg } d \text{ cos } l / \text{sen } P - \text{sen } l \text{ cos } P / \text{sen } P$$

Si l y d son de distinto signo aplico un signo menos al sen d y a tg d

El azimut será cuadrantal, contado desde el polo elevado si cotg Z es positivo y desde el depreso si es negativo.

El azimut será oriental u occidental si lo es el ángulo en el Polo

### Reconocimiento de astros . Conocidos latitud, altura y azimut

Preciso del Angulo Sidereo y de la declinación para poder buscar en las tablas y encontrar el arco.

$$\text{Sen } d = \text{sen } l \text{ sen } a + \text{cos } l \text{ cos } a \text{ cos } ^z$$

$$\text{Cotg } P = (\text{tg } a \text{ cos } l - \text{sen } l \text{ cos } Z) / \text{sen } Z$$

Si d es negativo significa que está en hemisferio distinto a la latitud

El ángulo en el Polo será hacia este u Oeste en función de lo que sea el Azimut.

Que pasa cuando el ángulo en el Polo es negativo ¿??

Como P = Horario Astro ( ajustado segun E o W)

AS = Horario Astro – Horario de Aries

Si el Ángulo Sidéreo es negativo se le suman 360°

(Cálculo del ángulo en el Polo para hallar el horario y de ahí sacar el Angulo Sidéreo)

## Casos especiales :

### Paso por meridiano superior o inferior

Se considera que un Astro se encuentra en el meridiano superior cuando su azimut sea de  $5^\circ$  o menor.

El triángulo de posición pasa a ser una recta donde se encuentran el Polo, el Astro y el Observador.

El Astro estará cara al polo elevado si su declinación es mayor que la latitud del observador y viceversa.

El Astro estará en el **meridiano superior** del lugar si

Se observa cara al **polo depreso**.

$$l = d + z$$

Se observa de cara al polo **elevado** y su altura es mayor que la latitud

$$l = d - z$$

siendo  $z = 90^\circ - \text{altura}$ , o sea la altura cenital

El Astro estará en el **meridiano inferior** del lugar si lo observamos de cara al Polo elevado y su altura es inferior a la latitud del observador. Entonces

$$l = a + 90^\circ - d$$

### Conocido declinación, altura y horario, hallar azimut

$\cos d / \sin Z = \cos a / \sin P$ , luego

$$\sin Z = \cos d \sin P / \cos a$$

Puede presentar ambigüedades pues el seno de Z siempre es positivo y por consiguiente no se sabe si es  $< 0 >$  de  $90^\circ$ . Por consiguiente sólo es recomendable usar esta fórmula para astros cercanos al polo

### Cálculo del azimut en el orto o el ocaso de los astros

Como la altura es 0,  $\sin a = 0$ ,  $\cos a = 1$  y por consiguiente la fórmula

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

$$\cos Z = \sin d / \cos l$$

Los ortos y los ocasos de las estrellas no son visibles debido a la refracción, luego el único que nos interesa es el del Sol, que en ese momento se encontrará elevado sobre el horizonte  $2/3$  de su diámetro. *Nos sirve para hallar la corrección total de la aguja*

### Altura de la estrella Polar

Con la altura de la Polar y el horario local de Aries obtenemos la latitud directamente corrigiendo la altura observada con los datos sacados de tres tablas del Almanaque Náutico.

### **Amplitud de un Astro**

Es el complemento al Azimut cuadrantal, pues se cuenta desde el E u O hasta la vertical del Astro.

Equivale a una altura meridiana, por ser rectángulo el triángulo de posición, ya que sólo se calcula cuando el Astro se encuentra en el horizonte (orto y ocaso)

$$\text{Sen Amplitud} = \text{sen } d / \text{cos } l$$

### **Astro en el vertical Primario (Este u Oeste)**

Al estar en dicha posición el astro, el triángulo de posición es un triángulo rectángulo, por lo que equivale a una altura meridiana :  $l = d - z$ .

Una vez hallada la latitud podemos calcular el horario con la fórmula :

$\text{Cos } h = \text{tg } d / \text{tg } l$  y con este horario local del astro hallamos la longitud al restarle el horario del astro en Greenwich

**Coefficiente de Pagel** para hallar la variación de longitud a aplicar en función de la variación de latitud hallada

$$\text{Pagel} = (\text{tg } d / \text{sen } P - \text{tg } l / \text{tg } P)$$

$$? L = \text{Pagel} ? l$$

La variación de longitud será oriental u occidental calculándolo de la siguiente manera:

Ponemos el Azimut cuadrantal de la observación de la mañana.

Ponemos los signos opuestos debajo

Hallamos el signo del error de latitud.

Entramos con el signo del error de latitud y hallamos el signo de longitud opuesto en diagonal.