



# Capitán de Yate



Ver. 2.0 12/06/20

Vicent Císcar



# **1. TEORÍA DE NAVEGACIÓN**

**1.1 Esfera Celeste. Definiciones de: - Polo Norte y Polo Sur celestes, y eje del mundo. – Polo elevado y Polo depreso. - Ecuador celeste. - Meridiano del lugar, meridiano superior e inferior del lugar. - Zenit y nadir, y eje zenital. - Horizonte racional o verdadero y horizonte visible o de la mar. - Puntos cardinales.**

## **LA ESFERA CELESTE**

La esfera celeste es una esfera imaginaria, concéntrica a la Tierra, sin radio definido, en la cual se mueven aparentemente todos los astros. En ella se proyectan todos los puntos y planos de la esfera terrestre.

## **POLO NORTE CELESTE**

Es la proyección del Polo Norte Terrestre en la esfera celeste.

## **POLO SUR CELESTE**

Es la proyección del Polo Sur Terrestre en la esfera celeste.

## **EJE DEL MUNDO**

Es la línea que une los dos polos de la esfera celeste.

## **POLO ELEVADO**

Es el polo que tiene el mismo signo que la latitud del observador.

## **POLO DEPRESO**

Es el polo que tiene el signo contrario que la latitud del observador.

## **ECUADOR CELESTE**

Es la proyección del ecuador terrestre en la esfera celeste, es por tanto el círculo máximo perpendicular al eje del mundo, o línea de polos.

## **MERIDIANOS CELESTES**

Son semicírculos que van de polo a polo, y que en astronomía se denominan semicírculos horarios.

## **MERIDIANO DEL LUGAR**

Es un semicírculo de la esfera terrestre que va de polo a polo, pasando por el observador.

## **MERIDIANO SUPERIOR e INFERIOR**

El meridiano superior es la proyección del meridiano del lugar sobre la esfera celeste que contiene el cenit, el meridiano inferior es el meridiano celeste que contiene el nadir.

## **PARALELOS**

Son círculos menores paralelos al ecuador. En la esfera terrestre se denominan paralelos de latitud y en la esfera celeste paralelos de declinación.

## **CENIT**

Es la proyección del observador en la esfera celeste (Z).

## **NADIR**

Es el punto diametralmente opuesto al cenit (Z').

## EJE CENTRAL

Es la línea que une el cenit y el nadir (ZZ'), también se llama vertical del observador.

## HORIZONTE RACIONAL o VERDADERO

Es el círculo máximo de la esfera celeste perpendicular a la vertical del observador (HH').

## HORIZONTE SENSIBLE o APARENTE

Es el círculo menor de la esfera celeste con centro en el observador y paralelo al horizonte verdadero (HaHa').

## HORIZONTE VISIBLE o DE LA MAR

Es el círculo menor de la esfera terrestre, que se forma tangenteando desde el observador a la superficie terrestre (HvHv').

## LINEAS VERDADERAS NS y EW

La proyección del polo norte celeste sobre el horizonte verdadero, da lugar al punto cardinal N y la del polo sur al punto cardinal S. La línea NS es la que une el punto cardinal N con S sobre el horizonte verdadero. La línea EW es perpendicular a la línea NS, y une los puntos cardinales E y W .

## 1.2 Coordenadas horarias de los astros.

**Definiciones de: - Paralelo de declinación y semicírculo horario. - Horario del lugar del astro y declinación del astro.**

En las coordenadas horarias el círculo fundamental de referencia es el ecuador celeste, porque sobre él se aplican las dos coordenadas horario y declinación.

Semicírculo horario es el semicírculo máximo de la esfera celeste que va de polo a polo pasando por el astro.

Paralelo de declinación es un círculo menor de la esfera celeste, paralelo al ecuador, que pasa por el astro.

Declinación (d) es el arco de semicírculo horario contado desde el ecuador hasta el astro. Se cuenta de 0° a 90° hacia el N (+) o hacia el Sur (-).

Horario (h) es el arco de ecuador contado desde el meridiano superior hasta el semicírculo horario del astro.

## ANGULO EN EL POLO

El horario se llama también Angulo en el Polo y se cuenta de 0° a 180° hacia el E o el W, con signo + o -, respectivamente.

En el Almanaque Náutico los horarios de los astros vienen referidos al meridiano de Greenwich de 0° a 360° hacia el W, es decir con signo negativo (-).

## DISTANCIA POLAR o CODECLINACION

Es el complemento de la declinación (90-d). Es el arco PA del semicírculo horario.

### 1.3 Coordenadas horizontales o azimutales de los astros.

**Definiciones de: Almicantarat y semicírculo vertical. Definiciones de: Azimut náutico y altura. Distintas formas de contar el azimut.**

En las coordenadas horizontales o azimutales el círculo fundamental de referencia es el horizonte verdadero, porque sobre él se aplican las dos coordenadas altura y azimut.

Almicantarat es un círculo menor de la esfera celeste, paralelo al horizonte verdadero, y que tiene la propiedad de que los astros que se encuentran en él, tienen la misma altura.

Semicírculo vertical o vertical del astro es el semicírculo que une el cenit con el nadir pasando por el astro.

Altura (a) es el arco de la vertical del astro medido desde el horizonte verdadero hasta el astro (de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ ).

Azimut (Z) es el arco de horizonte medido desde el punto cardinal N o S más próximo hasta la vertical del astro.

#### DISTINTAS FORMAS DE CONTAR EL AZIMUT

Azimut cuadrantal se cuenta desde el punto cardinal N o S más próximo de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ .

Azimut astronómico se cuenta  $0^\circ$  a  $180^\circ$  desde el N si el polo elevado es el N y desde el S si el polo elevado es el S.

Azimut circular o náutico se cuenta desde el punto cardinal N de  $0^\circ$  a  $360^\circ$ .

#### DISTANCIA CENITAL (z)

Es el complemento de la altura ( $90^\circ - a$ ).

#### AMPLITUD

Es el complemento del azimut cuadrantal ( $90^\circ - Z$ ), es el arco de horizonte verdadero contado desde el punto cardinal E u W hasta la vertical del astro.

La amplitud medida en el orto se llama ortiva. La amplitud medida en el ocaso se llama occidua.

### 1.4 Triángulo de posición.

**Definición y cálculo del valor de sus lados: - Codeclinación o distancia polar, distancia zenital y colatitud. Definición y cálculo del valor de dos de sus ángulos: – Ángulo en el polo y ángulo en el zenit.**

El triángulo de posición, es un triángulo esférico, determinado por tres semicírculos máximos de la esfera celeste: el semicírculo horario, el meridiano superior del observador y la vertical del astro. Los vértices de este triángulo son el Polo elevado, el Cenit y el Astro.

La Codeclinación o Distancia Polar, es el lado AP del triángulo, que es el lado opuesto al Azimut o Ángulo en el Cenit. Su valor es  $90^\circ - d$ .

La Distancia Cenital es el lado AZ del triángulo, que es el lado opuesto al Ángulo en el Polo u horario. Su valor es  $90^\circ - a$ .

La Colatitud es el lado PZ del triángulo, que es el lado opuesto al ángulo paraláctico. Su valor es  $90^\circ - l$ .

El Ángulo en el Polo está formado por el semicírculo horario y el meridiano superior del observador, por lo tanto es el horario del astro.

El Ángulo en el Cenit está formado por la vertical del astro y el meridiano superior del Observador, por tanto es el azimut del astro.

## 1.5 Eclíptica.

**Definición de: - Definición de Eclíptica. - Punto de Aries y punto de Libra.**

### LA ECLIPTICA

Es la proyección de la órbita aparente del Sol en la esfera celeste, es por tanto un círculo máximo que aparentemente recorre el Sol en su movimiento de traslación alrededor de la Tierra.

Se llama oblicuidad de la eclíptica al ángulo de inclinación de la eclíptica con el ecuador (23° 27')

Puntos equinocciales son los puntos de corte de la eclíptica con el ecuador, Aries ( $\gamma$ ) y Libra ( $\Omega$ ). Cuando el Sol se encuentra en ellos el día es igual a la noche.

### EL PUNTO DE ARIES

El Sol está en Aries el 21 de marzo y pasa de declinación S a N.

### EL PUNTO DE LIBRA

El Sol está en Libra el 23 de Septiembre, donde cambia su declinación de N a S.

Los Solsticios son los puntos en los cuales el Sol tiene su máxima declinación. En la Fig. 8 el punto E o Cáncer se denomina solsticio de verano en el hemisferio Norte. El punto E' o Capricornio se denomina solsticio de invierno en el hemisferio Norte.

## 1.6 Coordenadas Uranográficas Ecuatoriales.

**Definiciones de: - Máximo de ascensión, declinación, ascensión recta y ángulo sidéreo.**

Las coordenadas uranográficas ecuatoriales no dependen del observador y son publicadas en los almanaques astronómicos.

El círculo fundamental de referencia es el ecuador celeste.

El semicírculo secundario es el máximo de ascensión que une los polos P y P' con el astro A. Las coordenadas son la declinación y ascensión recta.

DECLINACION es el arco del máximo de ascensión contado desde el ecuador hasta el astro.

ASCENSION RECTA es el suplemento a 360° del ángulo sidéreo.

ANGULO SIDEREO es el arco de ecuador medido desde Y hasta el máximo de ascensión en sentido astronómico.

El ángulo sidéreo se obtiene en el almanaque náutico y es el dato que se usa para los cálculos.

## 1.7 Coordenadas que se miden en el Ecuador.

**Definición de Meridiano cero o primer meridiano. Definición de horario en Greenwich del astro, horario en Greenwich y horario del lugar de Aries. Relación de las coordenadas que se miden en el ecuador.**

MERIDIANO CERO o PRIMER MERIDIANO es el que pasa por Greenwich, origen de las longitudes, y que proyectado en la esfera celeste es el origen de los horarios de los astros, que se toman del almanaque náutico.

EL HORARIO EN GREENWICH DE UN ASTRO es el arco de ecuador medido desde el meridiano de Greenwich hasta el semicírculo horario del astro.

EL HORARIO EN GREENWICH DE ARIES es el arco de ecuador medido desde el meridiano de Greenwich hasta el punto de Aries.

EL HORARIO EN EL LUGAR DE ARIES es el arco de ecuador medido desde el meridiano del lugar hasta el punto de Aries.

## RELACION DE LAS COORDENADAS QUE SE MIDEN EN EL ECUADOR

Las coordenadas celestes que se miden sobre el ecuador son el horario y el ángulo sidéreo y la longitud como coordenada terrestre. Su relación es importante en los cálculos náuticos de posición.

## RELACIÓN DE LAS COORDENADAS QUE SE MIDEN EN EL ECUADOR.

En general  $hA = h\gamma + As$ , si tenemos en cuenta el Meridiano de Greenwich o meridiano cero :

$$hGA = hG\gamma + As$$

$$hLA = hGA + L$$
 teniendo en cuenta L W -y L E +

### 1.8 Movimiento aparente de los astros.

**Generalidades: - Arcos diurno y nocturno. - Ortos y ocasos. - Paso de los astros por el meridiano superior e inferior del lugar.**

#### GENERALIDADES

El movimiento diurno de la Tierra es el movimiento uniforme de nuestro planeta, de rotación alrededor del eje polar en el sentido que llamamos directo, es decir de occidente a oriente. Es contrario al movimiento de las agujas del reloj visto desde el polo norte.

Sin embargo, un observador en la superficie terrestre no aprecia este movimiento, sino el movimiento de los astros en sentido contrario de oriente a occidente, es el llamado movimiento aparente de los astros. Debido a este movimiento aparente los astros recorren unos paralelos o casi paralelos en el caso del Sol, la Luna y los Planetas por variar su declinación, que se llaman paralelos de declinación.

ARCO DIURNO es la parte del paralelo de declinación que se encuentra sobre el horizonte y durante este recorrido el astro es visible. Si el astro es el Sol, en ese intervalo de tiempo es de día.

ARCO NOCTURNO es la parte del paralelo de declinación que se encuentra por debajo del horizonte, y durante dicho recorrido el astro no es visible. Si el astro es el Sol, en ese intervalo de tiempo es de noche.

Si la declinación (d) del astro es menor que la colatitud (90-l) y de igual signo, el arco diurno es mayor que el nocturno. Si la declinación (d) del astro es menor que la colatitud (90-l) y de distinto signo, el arco diurno es menor que el nocturno.

Si la declinación (d) del astro es igual o mayor que la colatitud (90-l) y de igual signo, el astro es circumpolar, 24 horas sobre el horizonte.

Si la declinación (d) del astro es igual o mayor que la colatitud (90-l) y de distinto signo, el astro es anticircumpolar, 24 horas bajo el horizonte.

Si la declinación (d) del astro es cero el arco diurno es igual al nocturno.

#### ORTOS Y OCASOS

Se llama ORTO de un astro al instante en que su trayectoria corta el horizonte y pasa del arco nocturno al diurno y empieza a ser visible.

Se llama OCASO de un astro al instante en que su trayectoria corta el horizonte y pasa del arco diurno al nocturno y deja de ser visible.

El orto y el ocaso toma también el nombre de salida y puesta respectivamente. Si el astro recorre el ecuador, el orto se produce en el punto cardinal E y el ocaso en el punto cardinal W.

## PASO DE LOS ASTROS POR EL MERIDIANO SUPERIOR E INFERIOR DEL LUGAR

Cuando un astro pasa por el meridiano superior del lugar, el horario en el lugar del astro es cero, su azimut es Norte o Sur y tiene la máxima altura.

Cuando un astro pasa por el meridiano inferior del lugar, el horario en el lugar es 180°, su azimut es Norte o Sur y tiene la mínima altura.

### 1.9 Constelaciones.

**Forma de identificar: Estrella Polar, Cruz del Sur, Osa Mayor, a Casiopea y Orión.**

#### FORMA DE IDENTIFICAR LA ESTRELLA POLAR

La estrella Polar, aunque es de 2ª magnitud, es importante por estar prácticamente en el Polo Norte. Prolongando unas cinco veces la distancia entre las estrellas Merak y Dubhe de la OSA MAYOR la encontramos. También se localiza la estrella Polar en donde se cortan las bisectrices de los ángulos que forman las estrellas de la constelación de CASIOPEA.

#### FORMA DE IDENTIFICAR LA COSTELACION DE LA CRUZ DEL SUR

La Cruz del Sur tiene un asterismo en de cruz de tipo romano, compuesta por dos travesaños cruzados, uno más largo que el otro. El travesaño largo está formado por la línea imaginaria que une las estrellas Gacrux y Acrux. El travesaño corto, o brazo de la cruz, esta formado por la línea imaginaria que une las estrellas de Mimosa y Delta crucis.

La constelación es visible al sur de los 25° de latitud norte y es circumpolar al sur de los 35° de latitud sur.

Es útil para la orientación ya que permite determinar el punto cardinal sur, prolongando cuatro veces y media, en línea recta, el travesaño más largo de la cruz, partiendo de la estrella Acrux, (el "pie" de la Cruz), se llega al polo sur celeste, el punto alrededor del cual gira en forma aparente la bóveda del cielo. Una vez hecha esta prolongación, basta bajar una vertical hacia la línea del horizonte y allí se encuentra con bastante precisión el punto cardinal sur geográfico. La Cruz del Sur, por su proximidad al polo sur celeste, gira alrededor del mismo durante el transcurso de la noche y su travesaño mayor siempre apunta hacia el polo sur celeste.

En el hemisferio Norte, Casiopea es una de las constelaciones circumpolares, es decir, que rodean a la Estrella Polar. Es fácilmente reconocible por sus cinco estrellas brillantes que forman el conocido asterismo en forma de «W»o«M» según la posición en la veamos en el cielo. Los brazos del asterismo de Casiopea señalan al polo norte cesleste (y a la estrella Polar). Al lado opuesto de los brazos del asterismo de esta constelación está el Carro de la Osa Mayor.

Al ser tan fácil de reconocer es muy usada para encontrar el norte cuando no es posible utilizar a la Osa Mayor para este propósito, cuando ésta no es visible en cielos de latitudes menores de 35° N. Debido a su cercanía al polo norte, esta constelación es circumpolar boreal, es decir, siempre visible por encima del horizonte a partir de 45°-50° de latitud norte. Para los observadores desde el hemisferio sur, esta constelación permanecerá siempre invisible, si la latitud de lugar es superior a 35°S.

La Osa Mayor, también conocida como "el Cazo" y como "el Carro", es una constelación visible durante todo el año en el hemisferio norte.

La Osa Mayor es una constelación boreal. El asterismo más destacado de la Osa Mayor es el conjunto de siete estrellas llamado popularmente como el carro grande, con forma de carro o de cazo, cuatro estrellas forman la caja y tres, la cola.

A partir de latitud 40°N, la Osa Mayor es una constelación circumpolar que se ve durante todo el año.

Orión es una constelación importante, quizás la más conocida del cielo. Sus estrellas brillantes y visibles desde ambos hemisferios hacen que esta constelación sea reconocida mundialmente.

La constelación de Orión es fácilmente reconocible por las tres estrellas, conocidas como “Las Tres Marías” o “Los Tres Reyes Magos”. Las tres situadas en el "cinturón de Orión":

Alnitak, Alnilam y Mintaka, situadas dentro del asterismo de la constelación que tiene forma de cuadrilátero irregular que une cuatro estrellas, de ellas dos estrellas muy brillantes: Rigel y Betelgeuse.

La constelación de Orión es visible desde el hemisferio norte a lo largo de toda la noche durante el invierno. También es visible unas pocas horas antes del amanecer desde finales de agosto hasta mediados de noviembre y puede verse en el cielo nocturno hasta mediados de abril.

Si desde el cinturón de Orión trazamos una línea imaginaria recta desde Mintaka hacia Alnitak y la prolongamos, esta nos llevaría a Sirius, la estrella más brillante del cielo. Si desde Sirius trazamos una línea recta hasta Bellatrix la prolongamos nos lleva a la estrella Aldebarán.

### **1.10 Medida del tiempo.**

**Definición de: - Tiempo universal. - Hora civil del lugar. - Hora legal. - Hora oficial. - Fecha del meridiano de 180°. - Línea internacional de cambio de fecha.**

TIEMPO UNIVERSAL es el tiempo referido al meridiano inferior de Greenwich. Atendiendo al movimiento de rotación de la Tierra, podemos definir la hora civil de Greenwich (HCG) como el tiempo que ha transcurrido desde el paso del Sol medio por el meridiano inferior de Greenwich. El Sol Medio es un astro imaginario que recorre el ecuador celeste con un movimiento uniforme, en el mismo tiempo invertido por el Sol verdadero en recorrer su órbita aparente.

La diferencia de hora entre dos lugares es la diferencia de Longitud entre ellos expresada en tiempo. El lugar que se encuentra más al Este siempre tiene más hora debido al movimiento de rotación de la Tierra. El lugar que se encuentra más al Oeste siempre tiene menos hora por la misma razón.

HORA CIVIL DEL LUGAR (HCL) es la hora que corresponde al meridiano del lugar, sería el tiempo transcurrido desde el paso del Sol medio por el meridiano inferior del lugar. Teniendo en cuenta que la diferencia de hora entre dos lugares es la diferencia de Longitud entre ellos expresada en tiempo, obtenemos la siguiente fórmula:

$$\underline{HCL = HCG + Lt}$$

donde Lt es la Longitud expresada en tiempo ( $1h = 15^\circ$ ) y es + si es E y es - si es W

HORA LEGAL (Hz) es la hora civil del meridiano central de cada huso horario. Dado que la hora civil es diferente para cada meridiano, para facilitar las relaciones internacionales se adoptó el Convenio Internacional de los Husos Horarios, que divide a la Tierra en 24 husos horarios, de tal forma que el meridiano de Greenwich es el meridiano central del huso 0 y el meridiano de 180° el meridiano central del huso 12, cada huso horario comprende por tanto  $15^\circ$  de longitud = 1 hora. Los husos se cuentan de 0 a 12 por E o el W.

$$\underline{Hz = HCG + ZH}$$

ZH zona horaria o huso horario ZH + en husos E y ZH - en husos W

HORA OFICIAL (Ho) es la hora adoptada por los Estados. En general coincide con la hora legal.

$$\underline{Ho = TU - DH}$$

DH es la diferencia de hora a tomar en las páginas 393 a 396 del almanaque náutico, para los distintos países.

Pero en algunos países se adelanta la hora (sobre todo en verano) a fin de aprovechar al máximo la

luz solar. En el caso de España nuestra hora oficial en invierno es TU + 1 hora y en verano TU+ 2 horas.

#### FECHA DEL MERIDIANO DE 180°

En el huso 12 tenemos una misma hora con dos fechas distintas. Si cruzamos el meridiano de 180° navegando hacia el E, al pasar al hemisferio Occidental tenemos que retrasar una fecha. Por el contrario si cruzamos el meridiano de 180° navegando hacia el W, al pasar al hemisferio Oriental tenemos que adelantar una fecha.

#### LINEA INTERNACIONAL DE CAMBIO DE FECHA

El cambio de fecha al cruzar el meridiano de 180° no es tan riguroso en tierra (islas y territorios vecinos al meridiano de 180°) Existe una línea internacional de cambio de fecha que no coincide con el meridiano de 180° sino que tiene una serie de inflexiones con respecto al mismo en algunos territorios.

#### TIEMPO UNIVERSAL TU

TU = GMT = UTC = HCG

#### HORA CIVIL DE GREENWICH HCG

HCG = HCL – Lt Lt E + Lt W –

#### HORA CIVIL DEL LUGAR HCL

**HCL = HCG + Lt ; Lt E + Lt W –**

#### HORA LEGAL Hz

**H<sub>z</sub> = HCG + ZH ; ZH E + ZH W –**

#### HORA OFICIAL Ho

**Ho = TU – DH**

#### FECHA DEL MERIDIANO DE 180°

En el huso 12 tenemos la misma hora con dos fechas distintas.

En el hemisferio occidental hay una fecha menos que en el hemisferio oriental.

### **1.11 Publicaciones náuticas.**

#### **Organización de la derrota. Routeing charts.**

La organización de la derrota consiste en planificar una travesía teniendo en cuenta el tipo de navegación a realizar.

#### Navegación de altura

Para planificar la derrota de una navegación de altura o travesía oceánica se tendrán cuenta sobre todo la duración de la misma y los factores ambientales tales como vientos, corrientes, hielos, nieblas, mareas, posibilidad de tormentas tropicales, estación del año etc.

Al seleccionar la ruta deberá también tenerse en cuenta el tipo de barco, su velocidad máxima, su calado, estabilidad, características de gobierno y equipamiento electrónico de ayuda a la navegación.

Finalmente no podemos olvidar contar as posibles restricciones de seguridad, economía en el gasto de combustible, la densidad de tráfico en algunas zonas, la fiabilidad de las situaciones y los datos náuticos, la experiencia de la tripulación, leyes y normas locales, etc.

La planificación de la derrota está sujeta a frecuentes cambios por lo que deberá revisarse y ponerse

al día con frecuencia, a medida que se recibe a bordo información meteorológica o para la seguridad de la navegación.

Cuando el barco se aproxima a la recalada, los factores ambientales ceden prioridad a favor de la exactitud en la situación como dato más importante.

### Navegación costera

En la planificación de la navegación costera debemos cuidar en extremo la exactitud en las situaciones, ya que los requerimientos de precisión son mucho más altos que en la navegación de altura.

Deberán obtenerse situaciones con frecuencia, tanto mayor si estamos navegando cerca de la costa, de peligros, o por pasos o estrechos.

### Recaladas

La recalada es la transición entre la navegación de altura y la navegación costera o la transición entre la navegación costera y la entrada a puerto.

Las costas están llenas de naufragios debido a barcos que han efectuado mal su aproximación a la costa.

Lo más importante en una recalada es elegir el momento y lugar de la misma. Para ello debemos consultar el derrotero, las cartas y el libro de faros.

Deberemos elegir para recalcar un punto destacado de la costa, que sea fácil de reconocer. Si la costa es difícil de reconocer de día pero cuenta con faros, conviene recalcar de noche. Al recalcar debemos tener en funcionamiento el radar, la sonda, el GPS y utilizarlos para comprobar nuestra situación.

### Entrada a Puerto

También debe planificarse la entrada a puerto, estudiando el portulano con antelación, para orientarnos en la navegación por el interior del puerto, especialmente estudiaremos el balizamiento y las luces para el caso de que la entrada sea nocturna.

## ROUTEING CHARTS

Los Routeing Charts, también conocidos como Pilot Charts, son publicados por los Servicios Hidrográficos de los EEUU y por el Admiralty Nautical Products and services de la Oficina Hidrográfica del Reino Unido y proporcionan información sobre datos hidrográficos, marítimos y meteorológicos que puedan ayudar al marino a elegir la derrota más conveniente. En estas cartas se indican los vientos predominantes, corrientes, presión atmosférica, porcentaje de temporales, calmas o nieblas, la presencia de hielos u otros peligros, la declinación magnética para cada grado y su variación anual y están dibujadas las derrotas más convenientes para barcos de propulsión mecánica y veleros.

Se editan para cada mes del Océano Atlántico Norte, mares de América Central, Océano Pacífico Norte y Océano Índico y trimestralmente del Océano Atlántico Sur y del Océano Pacífico Sur.

### **1.12 Sextante.**

**- Funcionamiento básico. – Obtención del error de índice y su posible eliminación. – Como efectuar observaciones. – Cuidados mínimos.**

## FUNCIONAMIENTO BASICO

El sextante se utiliza para medir la altura de los astros, o distancia angular entre el astro y el horizonte. También puede utilizarse para medir ángulos horizontales entre dos objetos de la costa.

El sextante marino consta de una armadura de metal, (generalmente bronce o aluminio) que tiene la forma de un sector circular, sobre la cual se montan el resto de elementos. La parte esencial de este sector circular es el arco del mismo, que se llama limbo, que está graduado de derecha a izquierda

de  $-5^\circ$  a  $125^\circ$ - $150^\circ$ . La alidada es un brazo metálico que gira alrededor de un eje perpendicular al plano del limbo y que pasa por el centro del sector, que tiene grabado una línea de fe o índice en la parte que se desliza sobre el limbo, para efectuar la lectura de la graduación en grados. En la parte baja de la alidada hay un tambor para verificar la lectura de los minutos y décimas de minuto. La alidada tiene un husillo micrométrico que engrana en una cremallera situada en la parte trasera del limbo. El husillo se mantiene engranado a la cremallera del limbo mediante un muelle que fija la alidada al limbo. Para mover la alidada un ángulo grande sobre el limbo, hay una palanca para desengranar el husillo de la cremallera. Para pequeños movimientos de la alidada se usa el tambor unido al husillo micrométrico.

El espejo grande, o espejo índice, está montado perpendicular al plano del limbo, en el extremo superior de la alidada, girando con ella. El soporte del espejo tiene un tornillo para rectificar la perpendicularidad del mismo.

El espejo pequeño, o espejo de horizonte, perpendicular también al plano del limbo y fijo a la izquierda del sector, tiene una parte transparente (cristal) y otra azogada (espejo), siendo paralela al plano del limbo la línea que separa ambas mitades. Cuando el índice de la alidada marca el cero del limbo, ambos espejos deben estar paralelos. El soporte de este espejo lleva dos tornillos, uno para rectificar la perpendicularidad con el limbo y el otro para el ajuste del paralelismo.

A la derecha del sector, frente al espejo pequeño, está montado el antejo, cuyo eje es paralelo al plano del limbo, a través del cual se ve el espejo pequeño (imagen directa y reflejada).

Los dos espejos disponen de filtros de vidrio de color, que son perpendiculares al plano del limbo y pueden girar para interponerse o no al paso de la luz. Los del espejo pequeño se utilizan para reducir el brillo que produce la luz reflejada del Sol sobre el horizonte. Los del espejo grande se utilizan cuando se observa el Sol o la Luna.

La armadura tiene un mango para sostener el sextante, en cuyo interior suele colocarse la pila de la lámpara que permite iluminar la graduación cuando se observa de noche. También tiene unas patas para poder apoyar el sextante sobre una superficie plana.

Cuando damos una vuelta al tambor, que tiene 60 divisiones de  $1'$ , la alidada se desplaza  $1^\circ$  en el limbo. El tambor micrométrico va acompañado de un nonio que permite apreciar las décimas de minuto.

Para efectuar una lectura, el número entero de grados corresponde a la primera división del limbo a la derecha del índice de la alidada, el número de minutos y décimas los leemos en el tambor micrométrico y nonio asociado. En la foto la lectura corresponde a  $29^\circ 11,8'$

#### OBTENCION DEL ERROR DE INDICE Y SU POSIBLE ELIMINACION

Si el 0 de la graduación no coincide con el punto de paralelismo (ambos espejos paralelos), lo que ocurre generalmente, a la separación entre el 0 de la graduación y el punto de paralelismo se le llama error de índice ( $E_i$ ).

La altura del astro obtenida con el sextante recibe el nombre de altura instrumental ( $A_i$ ). La altura observada del astro ( $A_o$ ) se obtiene sumándole el error de índice, teniendo en cuenta que el error de índice a la derecha del 0 es positivo (+) y a la izquierda del 0 es negativo (-). La altura instrumental será igual a la altura observada si el error de índice es 0, es decir que el punto de paralelismo de los espejos coincide con el 0 de la graduación del limbo.

Para calcular el error de índice de un sextante basta con hacer coincidir la imagen directa y la reflejada de un objeto lo suficientemente lejano (el horizonte, una estrella o el Sol), así fijamos el punto de paralelismo y la lectura correspondiente a dicho punto es el error de índice.

En el caso del Sol, al tener un diámetro apreciable, es difícil determinar cuando coincide el centro de la imagen directa con el centro de la imagen reflejada.

Por ello moveremos el tambor micrométrico hasta que la imagen reflejada (R) tangente el limbo superior de la imagen directa (D). En ese momento anotaremos la lectura  $l$ . A continuación moveremos la imagen reflejada (R') para tangente el limbo inferior de la imagen directa (D), anotando la lectura  $l'$  correspondiente.

El valor del error de índice será la menos semisuma algebraica de  $l$  y  $l'$ .

$$E_i = -\frac{l + l'}{2}$$

En la figura central  $l = 0^\circ 33,0'$

En la figura inferior  $l' = -0^\circ 30,6'$

Siendo el SD del Sol  $15,9$  el valor absoluto de  $l + l'$  es  $4 \times 15,9$  es decir,  $63,6'$  y la mitad de este valor es  $31,8'$  por lo que comprobamos que el error de índice  $1,2'$  es negativo y hay que restarlo a  $33,0'$ .

$$E_i = -2,4'/2 = -1,2'$$

#### COMO EFECTUAR OBSERVACIONES

En la mar, las alturas de los astros se toman sobre el horizonte visible.

Para efectuar una observación se procederá de la siguiente manera:

- 1°. Antes de hacer la observación deberá verificarse el error de índice del sextante.
- 2°. Se igualará la luminosidad de la imagen directa (del horizonte) y de la imagen reflejada (del astro), usando los filtros de vidrio de color. Normalmente el horizonte es el menos luminoso.
- 3°. Enfocar el antejo, durante el día con el horizonte y por la noche con una estrella.
- 4°. Si hay mucho viento, tratar de observar a sotavento.
- 5°. Si el horizonte está brumoso, observar en la parte más baja posible.
- 6°. Con mar gruesa y grandes balances, observar en la parte más alta posible.
- 7°. Poniendo la alidada de manera que el índice marque el cero de la graduación del limbo, se mira directamente al astro por el antejo. Después se avanza la alidada al tiempo que se mueve el sextante hacia abajo, de manera que bajamos al horizonte la doble imagen reflejada del astro.
- 8°. Como la altura del astro es un arco de la vertical, siendo esta perpendicular al horizonte, la distancia angular que debemos medir será la más pequeña del astro al horizonte de la mar. Para ello tangentearemos la imagen reflejada del astro sobre el horizonte, girando el sextante a lado y lado del eje del antejo. En el caso del Sol y de la Luna tangentearemos su limbo inferior o superior. Para una mayor precisión en la observación, sabiendo si el astro pasó o no por el meridiano, la altura del mismo aumenta o disminuye, con lo que podemos morder con el astro el horizonte para que en su ascenso llegue al punto de tangenteo, o dejarlo sobre el horizonte para que al disminuir su altura, igualmente llegue al punto de tangenteo, sin que tengamos que maniobrar con el tambor micrométrico.
- 9°. Si se van a observar estrellas lo haremos en el crepúsculo náutico, ya que en ese momento se distingue tanto el horizonte como las estrellas más importantes.

## CUIDADOS MINIMOS

El sextante es un aparato de precisión y por tanto hay que manejarlo y tratarlo con cuidado y delicadeza.

Los mínimos cuidados que deberemos tener con el sextante son:

- 1°. No darle golpes ni dentro ni fuera de la caja, donde debe estar bien estibado y sujeto.
- 2°. No agarrarlo ni sujetarlo de la alidada, del anteojo, de los cristales de filtro, espejos, limbo etc.
- 3°. Desembragar la alidada de la cremallera del limbo antes de tratar de mover la alidada libremente por el limbo.
- 4°. Los cristales de filtro, los espejos y las lentes del anteojo deben limpiarse con papel especial para lentes, y en caso de necesidad con un poco de alcohol.
- 5°. Cuando el sextante va estar una temporada sin utilizar, en el limbo y en los tornillos se debe poner el aceite especial que se facilita al adquirirlo.
- 6°. Es aconsejable que las reparaciones y ajustes sean practicados por personal especializado.

## 2. CÁLCULO DE NAVEGACIÓN

### 2.1 Resolución analítica del triángulo de posición, en los siguientes supuestos.

**Conocidos latitud, declinación y horario del lugar, calcular altura estimada y azimut náutico.**

Datos:  $l$ ,  $d$  y  $h$ ; Cálculo de la  $ae$ ;  $\text{sen } ae = \text{sen } l \cdot \text{sen } d + \text{cos } l \cdot \text{cos } d \cdot \text{cos } h$

$l$  = siempre positiva

$d$  = mismo nombre que  $l$ , +  $h$  = ángulo entre + ( $0^\circ$ - $180^\circ$ ) E Oriental, W Occidental

distinto nombre que  $l$ , -  $\Delta A = A_v - A_e$

$\text{tang } d \cdot \text{cos } l - \text{sen } l \cdot \text{cos } h$

$\text{Cotg } Z = \frac{\text{sen } h}{\text{tang } d \cdot \text{cos } l - \text{sen } l \cdot \text{cos } h}$

$\text{sen } h$

$h$  = ángulo que varía ( $0^\circ$ - $180^\circ$ ) tanto si es E oriental, o W occidental

Zcuadrantal  $\rightarrow$  si  $\text{Cotg } Z$  + medimos desde mismo nombre que  $l$

- medimos desde nombre contrario que  $l$

y E ó W lo que sea el horario que hemos utilizado en el cálculo.

Zastronómico = ángulo en el zenit, ; suelen pedir Zcircular, hacemos dibujo.

#### EJEMPLO 1

**El día 10 de Julio de 2018 nos encontramos en latitud  $30^\circ 20' N$  y longitud  $020^\circ 15' W$  a**

**HcG= 08h 21m 10s, calcula la altura de Sol estimada:**

$\text{sen } ae = \text{sen } l \cdot \text{sen } d + \text{cos } l \cdot \text{cos } d \cdot \text{cos } h$

$hGO(8) = 298^\circ 39,8' + \text{C.ón } 5^\circ 17,5' = 303^\circ 57' 18''$

$hLO = hGO + L = 283^\circ 42' 18'' (-360^\circ) \rightarrow 76^\circ 17' 42'' E$

$dO(8) = +22^\circ 13,2' - \text{Dif. } 3(-0,1) = 22^\circ 13,1'$

$ae = 22,35^\circ = 22^\circ 21' 27,5''$

#### EJEMPLO 2

**Se desea navegar siguiendo una derrota ortodrómica desde la situación  $l = 35^\circ 19' 02''$**

**$N$ ,  $L = 019^\circ 48' 29'' W$ , hasta la situación de llegada en  $l = 49^\circ 22' 58'' N$ ,  $L = 087^\circ 20' 26''$**

**W. Calcule el primer rumbo inicial:**

$\text{Cotg } Ri = \frac{\text{tg } l' \cdot \text{cos } l - \text{sen } l \cdot \text{cos } \Delta L}{\text{sen } \Delta L} \quad \Delta L = 67^\circ 31' 57''$

$Ri = N 51,67^\circ W = N 51,7^\circ W$

### 2.2 Medida del tiempo.

**Relación entre la hora civil de Greenwich, hora civil del lugar, hora legal y hora oficial.**

**Diferencia de hora entre dos lugares.**

**$HCL = HCG + Lt$   $Lt = L/15$  E= signo +, W= signo -**

**$H_z = HCG + ZH$  , ZH si E = signo +, si W = signo -**

**$Ho = UT - DH$  (págs. 393 3 396 A.N.) Recordar - es +**

**$HCLa - HCLb = Lta - Ltb$** , o también igualmente  $HCLb - HCLa = Ltb - Lta$

Lugar más al E es más tarde = + hora (+fecha), al W es -hora (-hora),

Fecha del meridiano de 180°, navegando...hacia W = + fecha, hacia E = - fecha,

Cuidado! Oriental E de Greenwich, Occidental W de Greenwich.

EJEMPLO 1

**Siendo HcG= 15h-47m-00's del día 20 de Noviembre de 2018, hallar la Hcl correspondiente a un punto de I = 39°-20'-00" S y L = 140°-40'-00" E**

$HCL = HCG + Lt$ ;  $Lt = L/15 = 9:22:40$  (E+, W-)

$HCL = 15:47:00 + 9:22:40 = 25:09:40 - 24:00:00$  (Día siguiente) = 1:09:40 (21)

Hcl = 01h-09m-40s del 21 de Noviembre de 2018.

EJEMPLO 2

**Siendo HcG= 11h-45m-00s del día 30 de Noviembre de 2018, hallar la Hz (hora legal) correspondiente a un punto de I = 39°-20'-00" S y L = 111° W.**

$HCG = 11:45:00$  ;  $Hz = HCG + ZH$  ;  $ZH = 111^\circ / 15 = 7:24$  (Zona 7 -)

$Hz = 11:45:00 + (-7) = 4:45$

EJEMPLO 3

**Hallar la Hcl en un punto con las siguientes coordenadas I=30°00,0'N L=040°00,0'E, sabiendo que en el mismo instante en I=40°00,0'N L=050°00,0'W es la Hcl=2000 del 7 de junio de 2018.**

$Lt2 = 3:20$   $Lt1 = 2:40$

$S1, S2, Hcl = HcG + Lt$ ;  $HcG = Hcl - Lt = 20:00 - 3:20 = 16:40$

$Hcl = HcG + Lt = 16:40 + 2:40 = 19:20 - 24 = 19:20$  del día siguiente.

Hcl = 0200 del 8 de junio.

### 2.3 Almanaque náutico:

**Conocida la hora y la fecha de TU, calcular: – El horario del Sol en Greenwich y su declinación. – El horario de las estrellas en Greenwich y su declinación. Conocida la situación de estima y la fecha en el lugar, calcular: – La hora de paso del Sol por el meridiano del lugar. Conocida la hora y la fecha en TU, la situación de estima, la altura instrumental del Sol o de una Estrella, el error de índice del sextante y la elevación del observador sobre el horizonte, calcular: – Correcciones y obtener la altura verdadera del Sol (limbo inferior) o estrella.**

2.3.1 Conocida la hora y la fecha de TU, calcular: – El horario del Sol en Greenwich y su declinación.

En la página correspondiente a fecha y TU +(C.ón min y seg) hallamos hG0. Comprobamos en d0 si hora+1 aumenta o disminuye para la corrección por Diferencia, en la pág. De min correspondiente hallamos d0 (si +N, -S).

## EJEMPLO

**Hallar el hG $\odot$  al ser la HcG= 18h-24m-40s el 30 de noviembre de 2018:**

$$\text{HCG} = 18:24:40 \text{ (30)}$$

$$\text{hG}_0 = (18) = 92^\circ 49,2' + \text{C.ón (m y s)} 6^\circ 10' = 98^\circ 59,2'$$

$$\text{hG}\odot = 98^\circ - 59,2'$$

### 2.3.2 El horario de las estrellas en Greenwich y su declinación.

Aquí en Aries hGY (con C.ón m y s) hallamos hGY, en las págs. del A.N. Vemos AS para mes, de estrella que nos den, así tenemos:

$$\text{hG}^* = \text{hGY} + \text{AS} \text{ (recordar que no puede ser mayor de } 360^\circ \text{, si eso restar)}$$

En pág 377 ó 379 encontramos la d\* para mes en cuestión.

## EJEMPLO

**Calcular el horario y la declinación de Sirius en un lugar de longitud 0° 12' W a las 15:55:30h UT del 8 de abril de 2020.**

De las pág. 376 y 377 del ALMANAQUE se obtiene:

$$\text{AS}^* = 258^\circ 29,7', \text{ declinación} = -16^\circ 44,9'$$

$$\text{hGY a 15h (pág 108)} 62^\circ 19,6'$$

$$\text{C.ón por 55m 30s (pág 452)} 13^\circ 54,8'$$

$$\text{Longitud} - 0^\circ 12'$$

$$\text{hLY } 76^\circ 2' 24''$$

$$\text{AS}^* 258^\circ 29,7'$$

$$\text{hL}^* \text{SIRIUS}^* \rightarrow 334^\circ 32' 6''$$

2.3.3 Conocida la situación de estima y la fecha en el lugar, calcular: – La hora de paso del Sol por el meridiano del lugar.

$$\text{Pág. correspondiente al Sol: PMG}_0 = \text{TU} = \text{HCL PML}_0 - \text{Lt} \text{ (W-, E+)}$$

$$\text{por si nos piden Hz} = \text{HCG PML}_0 + \text{ZH} = \text{HRB}$$

2.3.4 Conocida la hora y la fecha en TU, la situación de estima, la altura instrumental del Sol o de una Estrella, el error de índice del sextante y la elevación del observador sobre el horizonte, calcular: – Correcciones y obtener la altura verdadera del Sol (limbo inferior) o estrella.

Correcciones pág. 387 A.N. Para sol Tabla A y B + C.ón ad.

$$\text{Ai} + \text{Ei (dcha+, izqu-)} - \text{Tabla A} + \text{Tabla B} + \text{C.ón ad} = \text{Av}_0$$

Para las estrellas igual excepto No tabla B, pero sí tabla C, Así hallamos Av\*

**Recta de altura: Sol y Estrellas.**

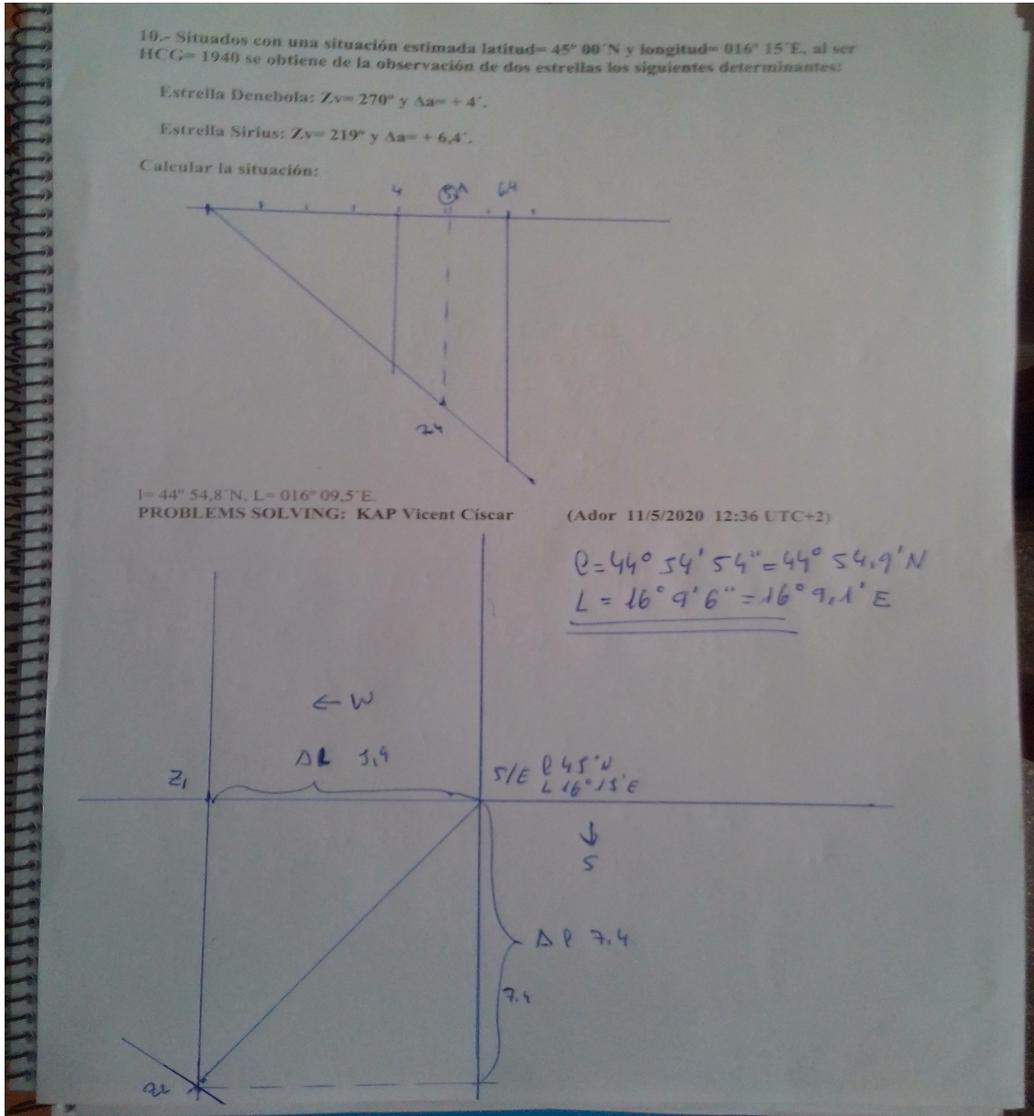
**Sus determinantes. Casos particulares de la recta de altura: – Latitud por altura meridiana de Sol. – Latitud por altura de la estrella Polar.**

La proyección del Astro sobre la esfera terrestre = Polo de iluminación del Astro

Los determinantes son S/E,  $\Delta A = A_v - A_e$  y Zastro.

El Pto. Aproximado es = Corte de Recta de Altura con Z.

**EJEMPLO 1**



**EJEMPLO 2**

El día 19 de Febrero de 2019 en S/E  $l = 35^\circ 20' N$  y  $L = 21^\circ 0' W$  a HCG= 10:21:13, se obtiene  $AiO = 23^\circ 54,5'$ . La elevación del Observador es 10 m. y error de índice  $2'$  derecha. Calcular el determinante del Sol.

$$\text{Cotg } Z = \frac{\text{Tng } d \cdot \cos l - \text{sen } l \cdot \text{cosh}}{\text{senh}}$$

$$\text{sen } A_e = \text{sen } l \cdot \text{send} + \text{cos } l \cdot \text{cosd} \cdot \text{cosh}$$

$$\Delta A = A_v - A_e$$

$$AiO = 23^\circ 54,5'$$

Tabla I = Dep.horiz. (10m.) -5,6'  
 Tabla II = Sem., Refr., y Par. +14'  
 C.ón Aditiva = (19 Febr) +0,1'  
 Err. Índice = (2' derecha) +2'  
 AvO = -----◇ 24° 5'  
 hGO (10) = 326° 32,2' + (C.ón m y s = 8° 3') == 334° 35,2'  
 + L = (- 21° 0 W) = 313° 35' 12'' (360° - ) = 46° 24' 48'' E = hLO (E)  
 dO = -11° 18,5' Dif. 0,3' dism (-) = -11° 18,2' (S)  
 Ae = 26° ΔA=Av-Ae= -2°  
 Z = -52° 180° - 52° = 128°  
**Z = 128° ; ΔA = - 2°**

#### LATITUD POR ALTURA MERIDIANA DEL SOL:

La fórmula general:  **$lo = d^* - z ; z = 90^\circ - Av$** , en los diferentes supuestos...:

+d Norte, -d Sur, igual signo que l, d+, distinto signo que l, d-,

z + si observamos astro cara polo elevado, y z - si observamos astro cara polo depresso.

#### EJEMPLO 1

**El día 19 de Febrero de 2019, en S/E 35° 11' N y 21° 00' W, siendo el medio día verdadero, se tomó la Altura verdadera del Sol (meridiana) = 41° 48'. Calcular la latitud observada meridiana. La elevación del observador es 10 m. y el error de índice 2' derecha.**

$$Lo = dO - z$$

$$z = (90^\circ - Av) = (90^\circ - 41^\circ 48'); dO (13h) = -11^\circ 15,8' + (Dif. ,9' C.ón 0,6')$$

$$PMG = 12:13,8 = 12:13:48$$

$$HLO = HGO = PMG - Lt = 12:13:48 - -1:24:00 = 13:37:48 ( Lt = 01:24:00 )$$

$$Lo = 11^\circ 15,2' - 48^\circ 12' = 36^\circ 56' 48'' = 36^\circ 56,8' N$$

=====

#### EJEMPLO 2

**El 10 de Julio de 2018 estimamos que nuestro buque se encuentra en latitud 36° 50' N y longitud 21° 02' W al mediodía verdadero, tomándole la altura verdadera del Sol meridiana limbo inferior 75° 40'. Calcular la latitud observada:**

$$lo = dO - z; z = 90^\circ - av. ; z = 14^\circ 20' \quad PMGO = 12h 5,4'$$

$$dO = 22^\circ 12' Dif 4 = 0, 1' ; lo = 22^\circ 12' - - 14^\circ 20' (porque observamos hacia polo depresso, S)$$

$$lo = 36^\circ 32' N$$

#### LATITUD POR ALTURA DE LA ESTRELLA POLAR:

AV\* Tabla I (pág. 382, 383) con hLY +- C.ón

Tabla II (pág. 384) siempre positiva!!!

Tabla III “ con hLY y mes, hallamos: lo

## EJEMPLO 1

**El día 11 Abril de 2020 siendo las 2:00 UT en Longitud 0° 13' W obtenemos altura verdadera (av) de la Estrella Polar 38° 15'. Calcular la latitud:**

$$L = 0^{\circ} 13' \text{ W LongTiempo} = /15 = 00:00:52$$

$$UT = 02:00 \text{ hGY} = 229^{\circ} 54.0' \text{ hLY} = \text{hGY} + L$$

$$\text{hLY} = 229^{\circ} 54' + (- 0^{\circ} 13')$$

$$\text{hLY} = 229^{\circ} 41'$$

$$\text{av}^* = 38^{\circ} 15' \text{ Tabla I : C.ón: } +38.9'$$

$$\text{Tabla II: C.ón: } 0.0'$$

$$\text{Tabla III: C.ón: } -0.1'$$

$$\text{Latitud observada (lo)} = 38^{\circ} 53' 48''$$

## EJEMPLO 2

**Cuál será la latitud si de la observación de la Estrella Polar obtenemos Av = 45° 00', hLY = 120° W el 19 de Febrero de 2019?.**

$$\text{Av} = 45^{\circ} 00' \text{ hLY} = 120^{\circ} \text{ W (19 feb 2019)}$$

$$\text{Tabla I: C.ón : } -9.5'$$

$$\text{Tabla II: C.ón : } 0,2' \text{ (siempre positiva)}$$

$$\text{Tabla III: C.ón : } +0,1'$$

$$\text{Latitud : } \text{-----} \diamond 44^{\circ} 50, 8' \text{ N}$$

### 2.5 Situación por rectas de altura: Sol y Estrellas.

**- Situación por dos rectas de alturas simultáneas. – Situación por dos rectas de altura no simultánea, calculando sus determinantes con la situación de estima correspondiente a la hora de cada observación. – Calcular el intervalo hasta el paso del Sol y Estrellas por el meridiano superior del lugar del buque en movimiento.**

Pueden ser simultáneas / No simultáneas

Estima analítica para distancias navegadas < 300 millas

$$\Delta l = DN \cdot \cos R$$

$$HRB_{II} - HRB_s = TN$$

$$A = DN \cdot \text{Sen } R$$

$$V = e/t$$

$$\Delta L = A / \cos l_m \quad l_m = l + l'/2 \quad DN^2 = A^2 + \Delta l^2$$

Estima gráfica = escala partes iguales ( $\Delta L$ ) y escala partes aumentadas (d,  $\Delta l$  y  $\Delta a$ )

#### SITUACION POR DOS RECTAS DE ALTURA NO SIMULTANEAS

A HCG1 = HH:MM:SS con una fecha DD.MM.AAAA y HRB1=Hz1=HCG1+ZH en Situación Estimada 1 le=gg°mm,m'± y Le=ggg°mm,m'± obtenemos la Av de x1 = gg°mm,m'

Calcularemos analíticamente la Ae de x1, el Zx1 y  $\Delta a \ x1 = Avx1 - Aex1$  y de manera gráfica o analítica determinaremos las coordenadas del Punto Aproximado 1 (PA1).

A HCG2 = HH:MM:SS con una fecha DD.MM.AAAA y HRB2=Hz2=HCG2+ZH

obtenemos la Av de x2 = gg°mm,m'

Trasladaremos el Punto aproximado por estima gráfica o analítica a la hora de la segunda observación. Tomando las coordenadas del Punto Aproximado trasladado (PA<sub>t</sub>) como coordenadas de la situación de estima en la segunda observación, calcularemos analíticamente la Ae de x<sub>2</sub>, el Zx<sub>2</sub> y Δax<sub>2</sub>=Avx<sub>2</sub>-Aex<sub>2</sub> y de manera gráfica o analítica trazaremos la recta de altura y azimut de x<sub>2</sub> desde el Punto Aproximado trasladado, y por dicho punto trazaremos también la recta de altura y azimut del x<sub>1</sub>. Donde se cortan las dos rectas de alturas está nuestra Situación Verdadera (SV).

## LA OBSERVACION DE SOL POR LA MAÑANA Y EN LA MERIDIANA

El caso típico de situación por dos rectas de altura no simultáneas es el de la observación del Sol por la mañana con un azimut próximo a 90°, que nos proporciona una recta de altura casi paralela al meridiano. Obtenido el punto aproximado se traslada a una situación estimada a la hora de paso del Sol por el meridiano, momento en que obtendremos la altura máxima del Sol, que a bordo se conoce como observar la meridiana, ya que al obtener la altura verdadera del Sol cuando está en el meridiano, podemos obtener una latitud observada, en otras palabras la recta de altura se confunde con el paralelo.

## CALCULAR EL INTERVALO HASTA EL PASO DEL SOL Y ESTRELLAS POR EL MERIDIANO SUPERIOR DEL LUGAR DEL BUQUE EN MOVIMIENTO

Como lo normal en un barco es que esté en movimiento, siempre que navegue a un rumbo diferente de N o S, varía la Longitud de su posición, por tanto varía constantemente la hora de paso por el meridiano del Sol o astro que queramos observar en ese momento. Este problema requiere hacer dos o tres estimas de tanteo, hasta que el error en Longitud sea lo suficientemente pequeño, como para que no haya una diferencia en tiempo apreciable.

## CALCULO DEL PASO DEL SOL POR EL MERIDIANO DEL BUQUE EN MOVIMIENTO

-L1t = HH:MM,M ± si Lt es E o W (S/E a HRB1 previa al PØML) HCGPØML = HH:MM,M  
HCLPØML = HH:MM,M (PMG del Sol en almanaque náutico)

– HRB1 = HH:MM,M

+ ZH = HH ± si ZH es E o W HRBPØML = HH:MM,M (HRB2 1ª aproximación)

D = V x TN

TN = HH:MM,M = HH,H intervalo o tiempo navegado 1ª aproximación

Δl = D x cos R = mm,m' ± si N o S

A = D x sen R = mm,m' ± si E o W

ΔL = A / cos lm = mm,m' ± si E o W

l1 = gg° mm ,m' ± si N o S l1 = ggg° mm,m' ± si E o W

+ Δl = mm,m' ± si N o S + ΔL = mm,m' ± si E o W

L2t = HH:MM,M ± si E o W HCLPØML = HH:MM,M (PMG del Sol en almanaque náutico) l2 = gg° mm,m' ± si N o S l2 = ggg° mm,m' ± si E o W

-L2t = HH:MM,M ± si Lt es E o W (S/E a HRB2 1ª aprox. al PØML) HCGPØML = HH:MM,M

+ ZH = HH ± si ZH es E o W HRBPØML = HH:MM,M (HRB2 2ª aproximación)

– HRB1 = HH:MM,M

TN' = HH:MM,M = HH,H intervalo o tiempo navegado 2ª aproximación

D' = V x TN' Δl' = D' x cos R = mm,m' ± si N o S A' = D' x sen R = mm,m' ± si E o W

$$\Delta L' = A' / \cos l_m = \text{mm}, m' \pm \text{si E o W}$$

$$L2t' = \text{HH:MM}, M \pm \text{si E o W} \quad l1 = \text{gg}^\circ \text{ mm}, m' \pm \text{si N o S} \quad L1 = \text{ggg}^\circ \text{ mm}, m' \pm \text{si E o W} + \Delta l' = \text{mm}, m' \pm \text{si N o S} + \Delta L' = \text{mm}, m' \pm \text{si E o W}$$

$$l2' = \text{gg}^\circ \text{ mm}, m' \pm \text{si N o S} \quad L2' = \text{ggg}^\circ \text{ mm}, m' \pm \text{si E o W}$$

Con la nueva  $L2't$  se vuelve a calcular la HRB2 3ª aproximación. Si no difiere en más de 30 segundos con la hora obtenida en la HRB 2ª aproximación, nos sirve la anterior situación de estima y tomaremos como hora de la meridiana la tercera hora calculada.

EJEMPLO.

**El día 11 de Septiembre de 2019 a HRB 08:00 estamos en S/Verdadera  $43^\circ 20' N$  y  $118^\circ 47' W$ , navegando al Rumbo  $130^\circ$  verdadero a una velocidad de 20 nudos. Calcular a qué HRB pasará el Sol por nuestro meridiano y qué longitud estimada tendremos, sabiendo que del Almanaque Náutico obtenemos para ese día un PMG del Sol de 11:56,7.**

S/v a HRB 08:00 (11/9/2019)

Lat =  $43^\circ 20' N$  Lon =  $118^\circ 47' W$  R/v  $130^\circ$  Vb 20 knt (HUSO = 8W)

PMG $\odot$  = 11:56,7 = 11:56:42 Lt = 7:55:08

PRIMERA ESTIMACIÓN (HCG=HCL-Lt) (HRB = HZ(Hora legal) = HCG + ZH)

HCL P $\odot$ M = 11:56:42 (11)

-Lt = 07:55:08 W (-- = +)

HCG = 19:51:50 (11)

+ ZH = 08 W(-)

HRB MD = 11:51:50 (11)9'

- HRB 08:00 = 08:00:00 (11)

TN = 3:51:50

DN = Vb x TN = 20 x 3:51:50 = 77,3 millas

$\Delta l$  = DN x cos R = 77,3 x cos  $130^\circ$  = 49,7' S

A = DN x sen R = 77,3 x sen  $130^\circ$  = 59,2' E

( $l_m = l + \Delta l/2$ ) =  $43^\circ 20' + (-) 0^\circ 49,7' = (42^\circ 30' 18'' + 43^\circ 20')/2 = 42^\circ 55' 09''$

$\Delta L$  = A / cos  $l_m$  = 59,2 / cos  $42^\circ 55' 09''$  = 80,8 E =  $1^\circ 20,8' E$

Le =  $118^\circ 47' W + 1^\circ 20,8' E = 117^\circ 26,2' W = 7:49:45 W$

SEGUNDA ESTIMACIÓN

HCL P $\odot$ M = 11:56:42 (11)

-Lt = 07:49:45 W (+)

HCG = 19:46:27 (11)

+ ZH = 08 W

HRB MD = 11:46:27 (11)

- HRB 08:00 = 08:00:00 (11)

TN = 3:46:27

DN = 20 x 3:46:27 = 75,5 M

$\Delta l$  = 75,5 x cos  $130^\circ$  = 48,5' S

A = 75,5 x sen  $130^\circ$  = 57,8' E

$\Delta L$  = 57,8 / cos  $42^\circ 55' 45''$  = 78,9 E =  $1^\circ 18,9' E$

Le =  $118^\circ 47' W + 1^\circ 18,9' E = 117^\circ 28,1' W = 7:49:52 W$

TERCERA ESTIMACIÓN

HCL P $\odot$ M = 11:56:42 (11)

-Lt = 07:49:52 W (+)

HCG = 19:46:34 (11)

+ ZH = 08 W

HRB MD = 11:46:34 (11)

- HRB 08:00 = 08:00:00 (11)

TN = 03:46:34

DN = 20 x 3:46:34 = 75,5 M

POR TANTO NOS VALE LA S/E DE LA SEGUNDA ESTIMACIÓN

Y LA HRB DE LA MERIDIANA ES 11:46:34

## CALCULO DEL PASO DE UNA ESTRELLA POR EL MERIDIANO DEL BUQUE EN MOVIMIENTO

En las paginas 380 y 381 del almanaque náutico podemos obtener la hora de TU o GMT de paso de cada una de las estrellas por el meridiano de Greenwich el día 1 de cada mes.

En la pagina 381 hay una 1ª Corrección que se resta a la hora de paso por el meridiano de Greenwich de la estrella el día 1 del mes para obtener la hora de paso en el día del mes que corresponda. Si esta corrección es mayor que la hora de paso el día 1, hay que sumar 23H 56M a la hora de paso antes de restar. (Y tarda 23H 56M en pasar por el meridiano de Greenwich).

Podemos tomar sin cometer un gran error la HCG de paso por el meridiano de Greenwich como

HCL de paso de la estrella por el meridiano del lugar, pero debemos aplicarle la 2ª Corrección que aparece en la página 381 con su signo + si estamos en una longitud E y - si estamos en una longitud W.

Para pasar la HCL a Hz (hora legal) a que irá arreglado el reloj de bitácora, procederemos aplicando la fórmula :

$$HCG = HCL - Lt ; Lt \pm \text{si es E o W}$$

$$HRB = Hz = HCG + ZH ; ZH \pm \text{si es E o W}$$

Una vez obtenida la HRB de P $\times$ ML, procedemos a calcular la posición de estima del barco, haciendo un par de aproximaciones como en el caso del Sol, visto anteriormente.

## 2.6 Corrección Total.

**Formas de obtener la corrección total:** - Con la relación de declinación magnética y desvío del compás. - Con la relación de azimut náutico y azimut de aguja: > Teniendo como dato el azimut de aguja de la estrella Polar. > Teniendo como dato el azimut de aguja del Sol en el momento del orto u ocaso verdaderos.

CORRECCION TOTAL EN FUNCION DEL AZIMUT VERDADERO Y EL AZIMUT DE AGUJA DE UN ASTRO.

De la fórmula general  $Z_v = Z_a + CT$ , deducimos la fórmula

$$CT = Z_v - Z_a$$

CORRECCION TOTAL CUANDO HEMOS OBTENIDO EL AZIMUT DE AGUJA DE LA ESTRELLA POLAR.

En la página 385 del Almanaque Náutico del IHM, con el horario en el lugar de Aries (h<sub>l</sub>Y) y nuestra latitud (l) obtenemos el azimut verdadero de la estrella Polar. La Diferencia algebraica entre el Azimut verdadero y el de aguja de la estrella Polar es la corrección total.

$$CT = Z_v \text{Polar} - Z_a \text{Polar}$$

CORRECCION TOTAL CUANDO HEMOS OBTENIDO EL AZIMUT DE AGUJA DEL SOL EN EL MOMENTO DEL ORTO O DEL OCASO DEL SOL.

Cuando el Sol está en el orto o en el ocaso tiene altura cero.

Una de las fórmulas para resolver el triángulo de posición es:

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

si  $a = 0$   $\text{sen } a = 0$  y  $\text{cos } a = 1$  y sustituyendo valores queda

$$\text{sen } d$$

$$\text{sen } d = \text{cos } l \text{ cos } Z , \text{ luego } \text{cos } Z = \frac{\text{sen } d}{\text{cos } l}$$

$$\text{cos } l$$

Con la fórmula calculamos el Azimut verdadero del Sol.

Mediremos el azimut de aguja del Sol cuando su limbo inferior esté a una altura sobre el horizonte aparente de 2/3 de su diámetro, momento en el que el Sol tiene altura cero y está por tanto en el orto u ocaso verdadero. Obteniendo la corrección total CT con la fórmula

$$CT = Z_v \ominus - Z_a \ominus$$

## EJEMPLO 1

**El día 21 de Julio de 2020 en S/E 35° 10' N y 30° 45' E en el momento del orto del Sol tomamos Azimut de aguja del Sol 057°. Calcular la corrección total.**

Salida del Sol HcL = 05:02 (21)

$$HcG = 05:02 - 02:03 = 02:59 \quad \text{sen } 20^{\circ}23,6'$$

$$dO = 20^{\circ} 23, 6' N \quad \cos Z = \frac{\text{sen } 20^{\circ}23,6'}{\cos 35^{\circ} 10'} = 0,42626 \quad Z = 64,6 = N 65 E$$

$$CT = 065 - 057 = +8$$

## EJEMPLO 2

**El día 20 de Julio de 2020 en S/E 40° 05' N y 57° 30' W en el momento del ocaso del Sol tomamos azimut de aguja del Sol 303°. Calcular la corrección total.**

Sen d

$$\cos Z = \frac{\text{Sen } d}{\cos l} \quad l = 40^{\circ} 05' N \quad (19:24) = HcG$$

$$HcL = 19:24 + Lt(3:50) =$$

$$Z_v = N63^{\circ}W \quad (360^{\circ} - 63^{\circ} = 297^{\circ})$$

$$Ct = Z_v - Z_a = 297^{\circ} - 303^{\circ} = -6^{\circ}$$

por tanto, **CT = - 6°**

## 2.7 Derrota ortodrómica.

### Cálculo de rumbo inicial y la distancia ortodrómica.

#### CONCEPTO DE DERROTA LOXÓDROMICA Y DERROTA ORTODROMICA

La derrota loxodrómica es aquella que, uniendo dos puntos de la esfera terrestre, corta todos los meridianos que cruza con el mismo ángulo. Sobre la esfera terrestre es una línea curva, que en las cartas náuticas de proyección Mercator se representa por una línea recta. La distancia navegada siguiendo la derrota loxodrómica no es el camino más corto entre dos puntos de la esfera terrestre. Para hacer el camino más corto entre dos puntos de la esfera terrestre debemos seguir la derrota ortodrómica.

La derrota ortodrómica entre dos puntos de la esfera terrestre se identifica con el círculo máximo de la esfera terrestre que une dichos puntos. Cualquiera de los infinitos círculos máximos de la esfera terrestre corta a cada uno de los meridianos que cruza con un ángulo diferente, con la excepción del ecuador, que corta a todos los meridianos con un ángulo de 90° y de los meridianos que no se cortan a si mismos. Por ello si navegamos por el ecuador o por un meridiano la derrota ortodrómica y loxodrómica se confunden. La representación de la derrota ortodrómica en las cartas náuticas de proyección Mercator se representa por una línea curva. En la práctica, la derrota loxodrómica y la derrota ortodrómica se confunden cuando los puntos distan entre si una distancia de 520 millas náuticas. Calculando la distancia navegada de ambas derrotas difieren menos de media milla.

En la teoría de la navegación, se llama derrota, al camino recorrido por un barco para trasladarse de un punto a otro de la Tierra, Siendo la Tierra aproximadamente una esfera, el camino más corto entre dos puntos es el arco de círculo máximo que los une. A la navegación por círculo máximo se le llama derrota ortodrómica.

Para calcular el Rumbo Inicial (Ri)

$$\text{Cotang Ri} = \frac{\text{tang } l' \cos l - \text{sen } l \cos \Delta L}{\text{sen } \Delta L}$$

Criterio de signos:

$l' \Delta L$  será siempre positiva si es del mismo nombre que  $l$  será negativa si es de distinto nombre que les un ángulo positivo que varía de  $0^\circ$  a  $180^\circ$ .

Obtendremos el Incremento de Longitud con la formula  $\Delta L = L' - L$ , teniendo en cuenta que las longitudes E son positivas y las longitudes W son negativas.

(Tomaremos el  $\Delta L$  del camino más corto, es decir, si al restar de  $L'$  la  $L$ , nos da un resultado mayor de  $180^\circ$  lo restaremos de  $360^\circ$ ). Si la cotang Ri es positiva el Ri cuadrantal se mide desde el punto cardinal del mismo nombre que la latitud de salida. Si la cotang Ri es negativa el Ri cuadrantal se mide desde el punto cardinal de distinto nombre que la latitud de salida. Será E u W en función de que el punto de llegada esté al E u W del punto de salida.

Para calcular la Distancia Ortodrómica ( $Do$ ) entre S y S' usaremos la formula:

$$\cos Do = \text{sen } l \text{ sen } l' + \cos l \cos l' \cos \Delta L$$

criterio de signos:

será siempre positiva

$l' \Delta L$  será positiva si es del mismo nombre que  $l$  será negativa si es de distinto nombre que  $l$  es un ángulo positivo que varía de  $0^\circ$  a  $180^\circ$ .

Obtendremos el Incremento de Longitud con la formula  $\Delta L = L' - L$ , teniendo en cuenta que las longitudes E son positivas y longitudes W son negativas. (Tomaremos el  $\Delta L$  del camino más corto, es decir, si al restar de  $L'$  la  $L$ , nos da un resultado mayor de  $180^\circ$  lo restaremos de  $360^\circ$ ).

si el  $\cos Do$  es positivo  $Do < 90^\circ$  si el  $\cos Do$  es negativo  $Do > 90^\circ$  Como la distancia se expresa en millas el resultado se multiplica por 60.

#### EJEMPLO 1

Se desea navegar siguiendo una derrota ortodrómica desde la situación  $l = 35^\circ 19' 02''$

N,  $L = 019^\circ 48' 29''$  W, hasta la situación de llegada en  $l = 49^\circ 22' 58''$  N,  $L = 087^\circ 20' 26''$

W. Calcule el primer rumbo inicial:

$$\text{Cotg Ri} = (\text{tg } l' \cos l - \text{sen } l \cos \Delta L) / \text{sen } \Delta L \quad \Delta L = 67^\circ 31' 57''$$

$$\text{Ri} = \text{N } 51,7^\circ \text{ W}$$

#### EJEMPLO 2

Se desea navegar siguiendo una derrota ortodrómica desde la situación  $l = 45^\circ 30' 14''$

N,  $L = 078^\circ 57' 42''$  W, hasta la situación de llegada en  $l = 36^\circ 53' 32''$  S,  $L = 028^\circ 26' 29''$  E.

Calcule la distancia ortodrómica:

$$\cos Do = \text{sen } l' \text{ sen } l + \cos l' \cos l \cos \Delta L \quad \Delta L = 107^\circ 24' 11''$$

$$Do = 7594,4 \text{ millas}$$