

**NAVEGACIÓN**  
**ASTRONÓMICA**

---

Montevideo, Noviembre 2010.

Piloto Mercante Ignacio Pena Puppo

## NOCIONES DE ASTRONOMÍA NÁUTICA

**Astronomía:** ciencia que estudia los astros y determina las leyes que rigen su movimiento.

Física o Mecánica Celeste: estudia como se mueven los astros.

Esférica o Náutica: estudia cómo aparecen los astros en la bóveda celeste; sus posiciones aparentes.

Astros: todos los cuerpos que podemos observar en el firmamento.

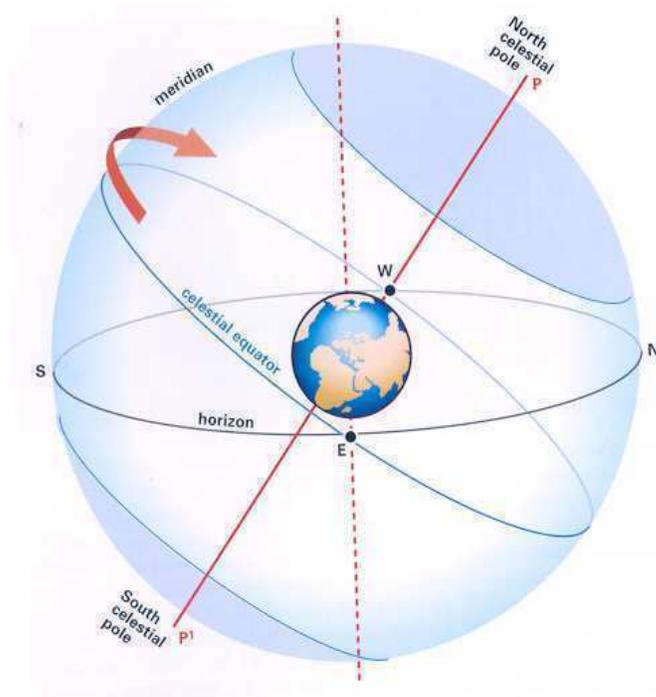
*Estrellas:* son los astros que poseen luz propia y tienen movimiento aparente no acusado.

*Planetas:* no poseen luz propia y tienen movimiento aparente acusado.

*Satélites:* no poseen luz propia; son astros que acompañan a los planetas.

**Esfera Celeste y su movimiento:** es una esfera imaginaria en cuyo centro se encuentra la Tierra; es un mapa de astros.

La tierra se mueve entorno a su eje de W a E (movimiento directo); por lo tanto nosotros vemos a los astros salir por el E y ponerse por el W y éste movimiento de la bóveda celeste es llamado movimiento retrógrado.



## Puntos, Líneas y Planos:

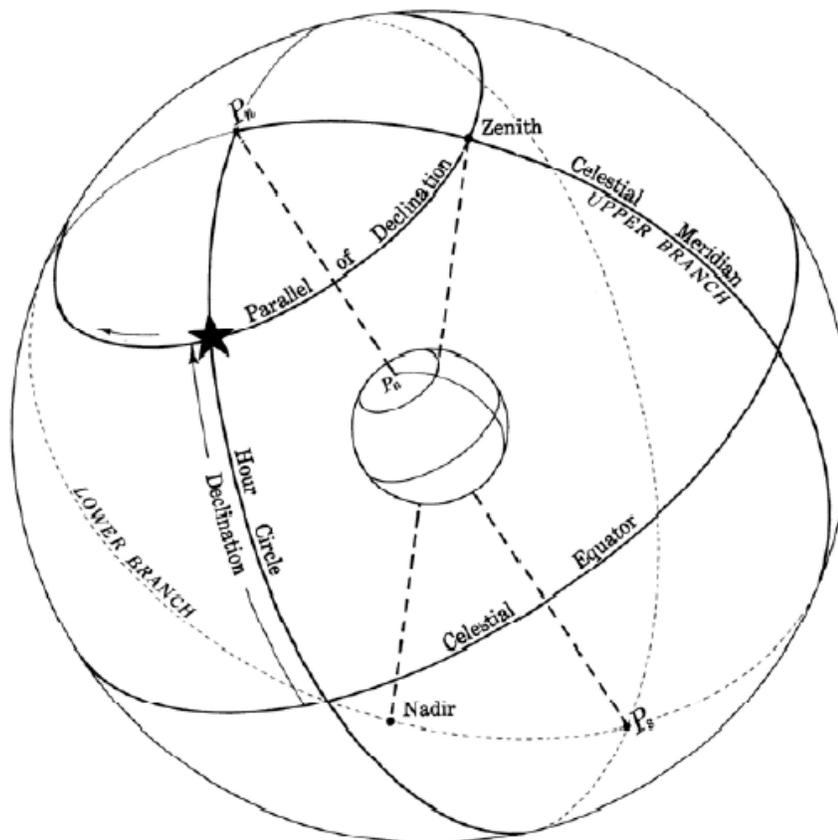
Ecuador Celeste  $QQ'$ : intersección de la esfera celeste y el plano que pasa por el Ecuador terrestre.

Meridiano Celeste: intersección de la esfera celeste con los planos que pasan por los meridianos celestes. Hay dos importantes, el meridiano de Grennwich y el meridiano del observador. Al moverse la esfera celeste (tierra quieta) los meridianos permanecen quietos.

Zenit  $Z$ : punto que está directamente encima del observador. Punto que resulta de la intersección de la esfera celeste con un radio terrestre que pasa por el observador. El meridiano que lo contiene es el superior.

Nadir  $Z'$ : intersección de la esfera celeste con la continuación en sentido opuesto del radio que determina el zenit. El meridiano que lo contiene es el inferior.

## NAVIGATIONAL ASTRONOMY



Círculo horario: círculo máximo que pasa por el astro y se mueve con éste.

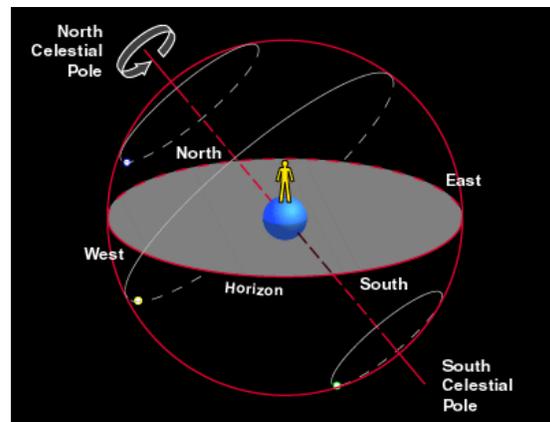
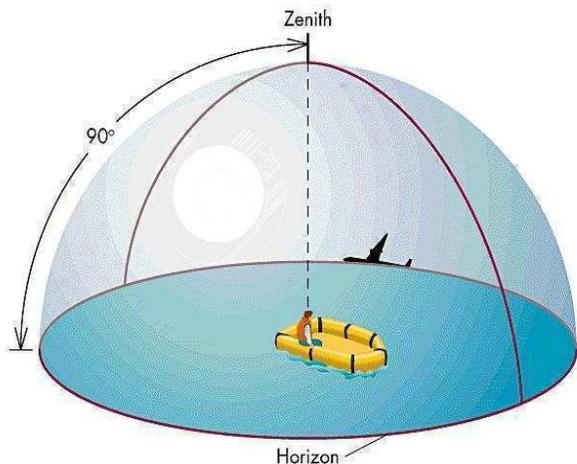
Paralelos de Declinación: intersección de la esfera celeste con los planos que pasan por los paralelos terrestres. Son círculos menores paralelos al ecuador.

Horizonte verdadero o geocéntrico: intersección del plano perpendicular a  $ZZ'$  que pasa por el centro de la tierra y la esfera celeste. Es un círculo máximo.

Horizonte sensible o aparente: intersección del plano perpendicular a  $ZZ'$  que pasa por el ojo del observador. No es un círculo máximo.

Horizonte visible: es perpendicular a  $ZZ'$  y depende de la altura del observador y se ve afectado por la refracción. Es sobre el cual se miden las alturas de los astros.

HH': la esfera celeste es tan grande en comparación con la tierra y la tierra, a su vez, es tan grande en comparación con el observador que los tres horizontes se confunden en uno solo.



Polo elevado: es el que está en el mismo hemisferio que el zenit. Es visible por el observador sobre la bóveda celeste.

Polo depresso: es el que está en el hemisferio del nadir. Es invisible para el observador.

Almicantarats: son círculos menores paralelos al horizonte ( $HH'$ ) en el hemisferio visible.

Paralelos de depresión: son círculos menores paralelos al horizonte en el hemisferio invisible.

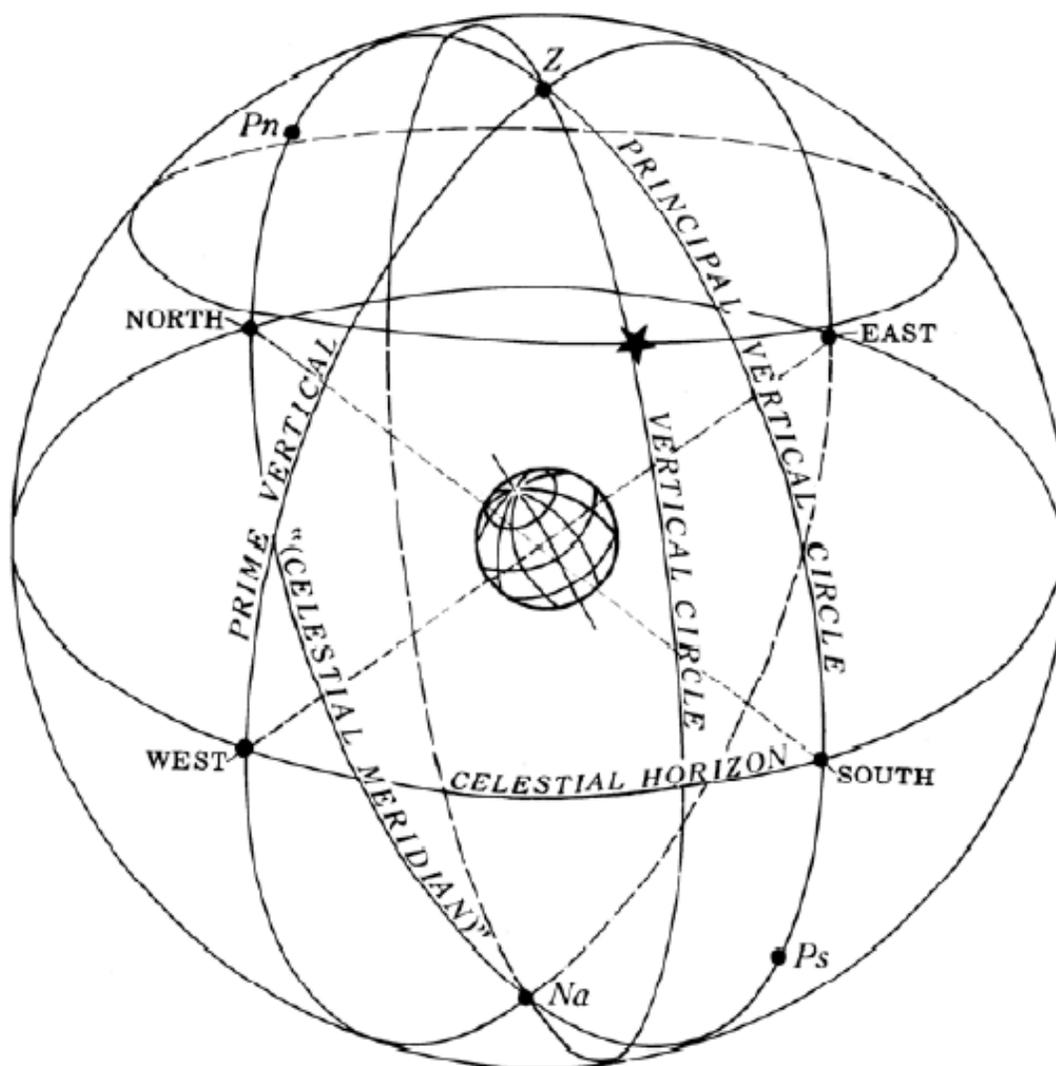
Verticales: son círculos máximos que pasan por el zenit y el nadir; son perpendiculares al horizonte.

## Puntos cardinales en el horizonte:

- ★ Al N y al S los determina la intersección del meridiano del observador con el horizonte.
- ★ En la intersección entre el ecuador y el horizonte encuentro los puntos E y W.

Vertical principal: vertical que coincide con el meridiano del observador, contiene a los polos.

Vertical primario: vertical perpendicular al vertical principal; pasa por el E y el W en el horizonte.



## Coordenadas geográficas:

Signos:

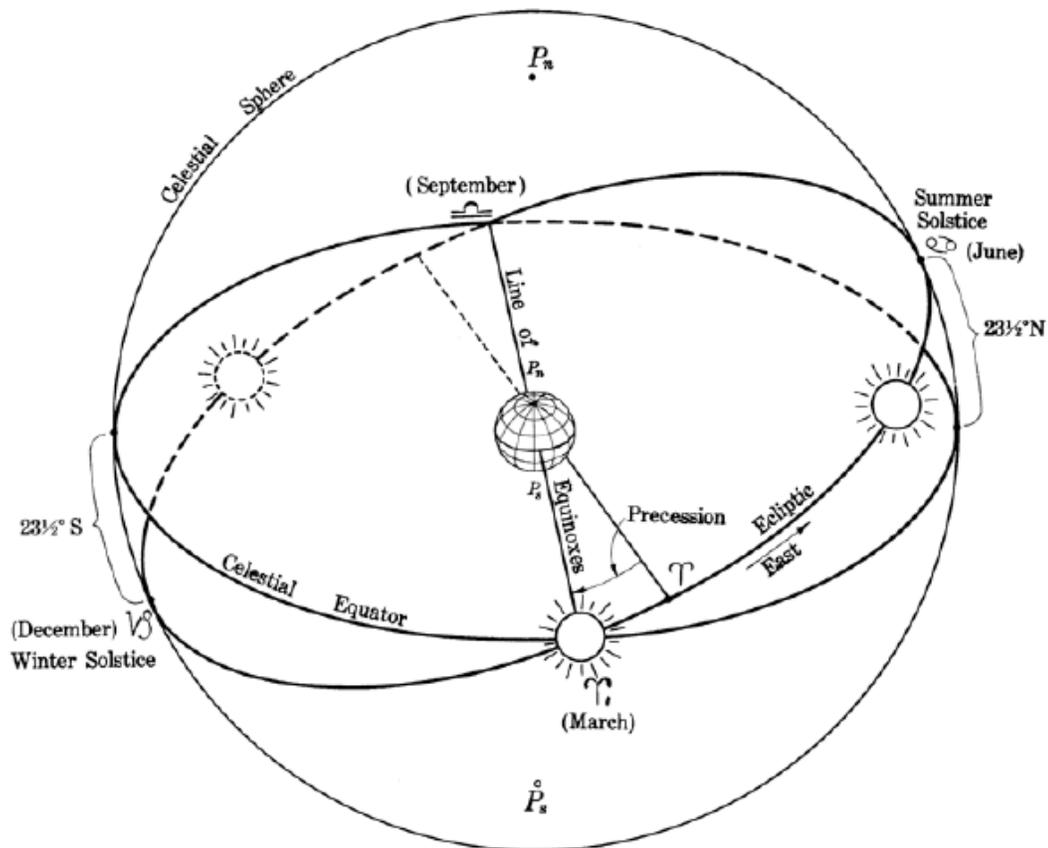
$\varphi$  N: +

$\varphi$  S: -

Colatitud: arco de meridiano desde el polo hasta el observador, sobre el meridiano del observador.  $Co\varphi = 90 - \varphi$

**Eclíptica:** Es el círculo máximo formado por la proyección de las posiciones aparentes del sol, descritas durante un año sobre la esfera celeste.

La órbita de la Tierra es elíptica y tiene al sol en uno de sus focos. Nosotros vemos como si el sol describiera una órbita igual a la de la Tierra, con la tierra en uno de los focos de ésta órbita aparente, y esto es conocido como el movimiento aparente del sol.

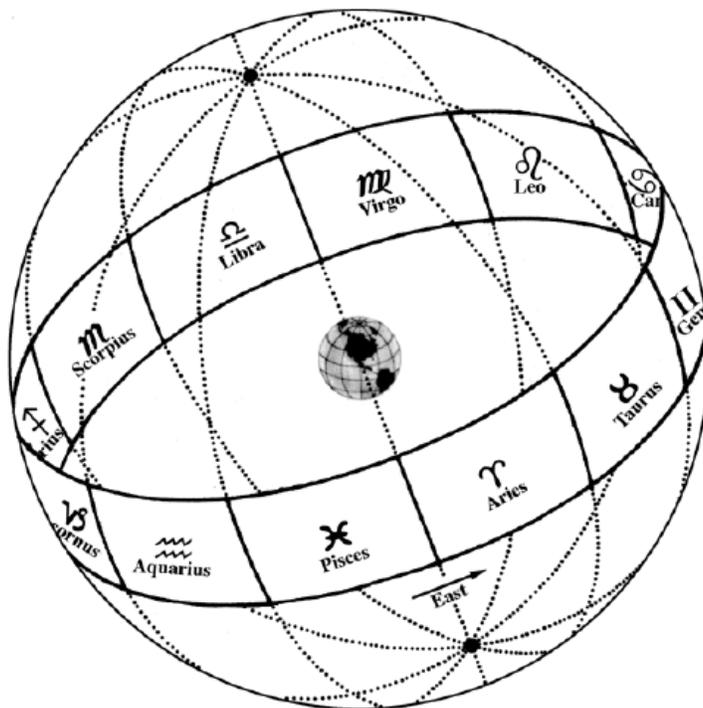


Oblicuidad de la eclíptica: el eje de la eclíptica está inclinado  $23^{\circ}27'$  con respecto al eje de los polos.

Equinoccio: intersección de la eclíptica con el ecuador celeste. Son dos, el de Aries ( $\Upsilon$ ) cerca del 21/3 y el de Libra ( $\Omega$ ) cerca del 21/7.

Solsticio: es el momento en que el sol se encuentra más lejos del ecuador. Son dos; el de Cáncer o verano, está en el hemisferio norte y es cerca del 21/6; y el otro es el de Capricornio o invierno y está en el hemisferio sur y es cerca del 21/12.

Zodiaco: faja que se extiende  $8^{\circ}$  al norte y  $8^{\circ}$  al sur de la eclíptica. En esa faja se encuentran las constelaciones que le dan nombre a los signos zodiacales. También se encuentran las órbitas de todos los planetas menos Plutón. Son 12 signos de  $30^{\circ}$  cada uno.





**Coordenadas Locales Horizontales:** dependen de la hora y la posición del observador; el eje principal es  $ZZ'$ .

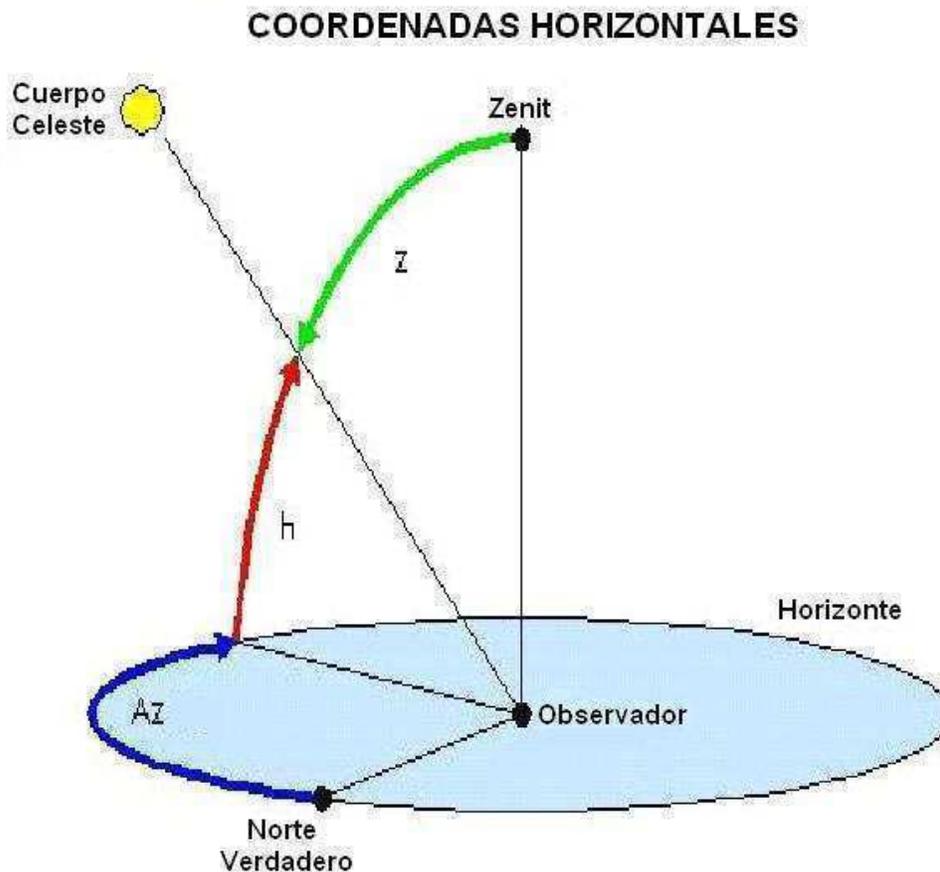
Azimut Verdadero  $A_v$ : se mide sobre el horizonte verdadero, desde el punto cardinal N y en sentido N E S W hasta el pie del vertical que pasa por el astro. Se mide de  $0^\circ$  a  $360^\circ$ .

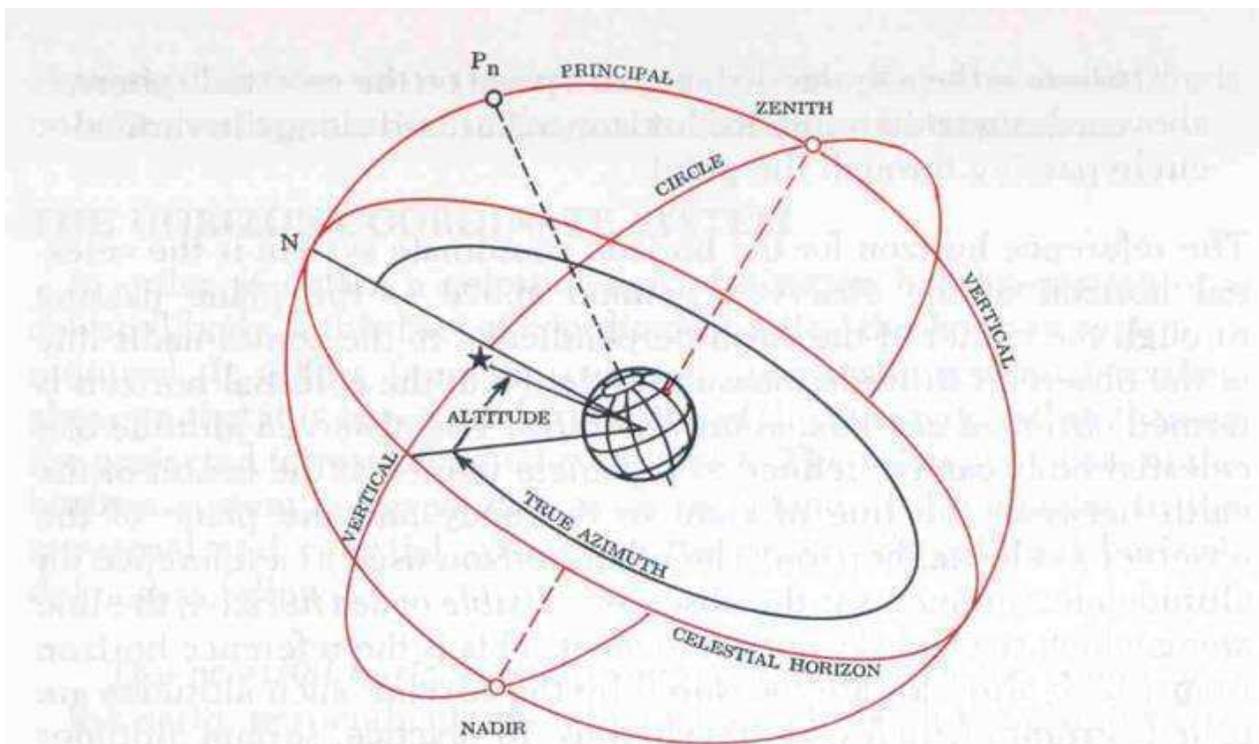
Altura  $h$ : se mide sobre el vertical del astro, desde el horizonte, hasta el centro del astro. Se mide de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ ; y hay alturas positivas sobre el horizonte y negativas bajo el horizonte. Las alturas negativas son llamadas depresiones.

Distancia zenital  $z$ : se mide sobre el vertical del astro, desde el zenit hasta el centro del astro. Se mide de  $0^\circ$  a  $180^\circ$ .

Astro visible:  $z = 90^\circ - h$

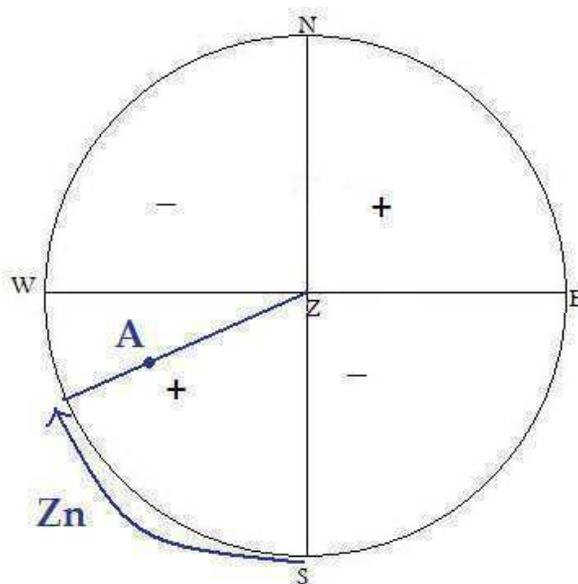
Astro invisible:  $z = 90^\circ + h$





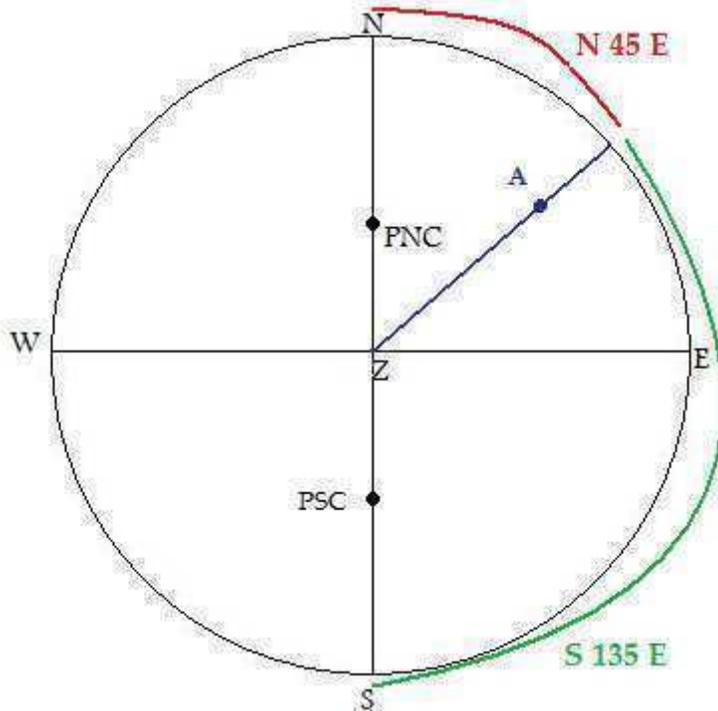
*Figure 16-7. Observed altitude and true azimuth of a star in the horizon coordinate system.*

Azimut por cuadrantes  $Z_n$ : va de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ , se cuenta desde el N o el S, en dirección E o W. a los efectos de los cálculos, si mide en sentido horario el signo es (+) y si mide en sentido antihorario el signo es (-).



Ángulo azimutal o Azimut astronómico Z: es el ángulo esférico con vértice en el zenit, que va desde el vertical principal hasta el vertical que pasa por el astro. Se mide sobre el horizonte verdadero, desde el punto cardinal del mismo nombre que el polo elevado; se mide de  $0^\circ$  a  $180^\circ$ .

Por ejemplo, si el polo elevado fuera el norte  $Z = N 45 E$  y si fuera el sur  $Z = S 135 E$



Amplitud  $A_p$ : se mide desde el punto cardinal E o W, sobre el horizonte, de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ , hacia el N o el S, hasta el pie del vertical del astro.

**Coordenadas ecuatoriales locales u horarias:** dependen de la hora y la posición del observador.

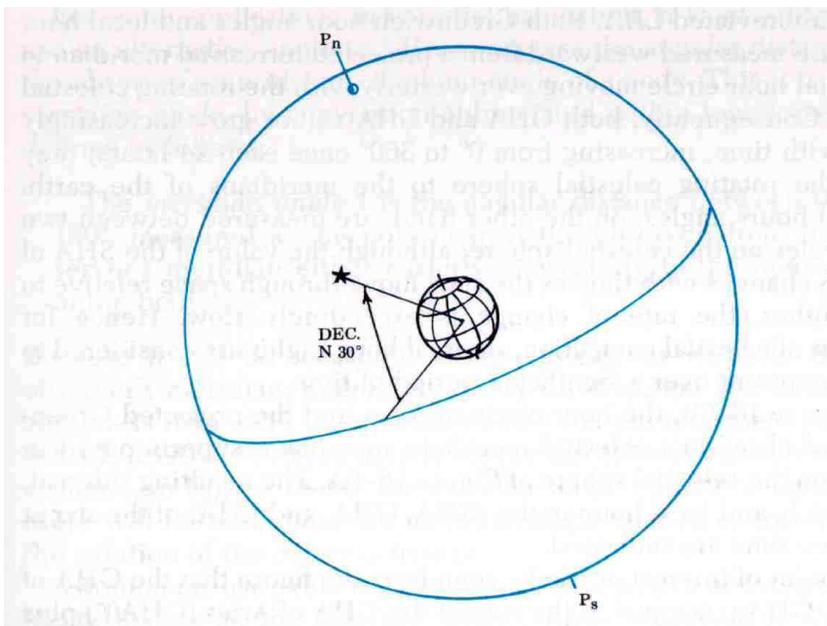
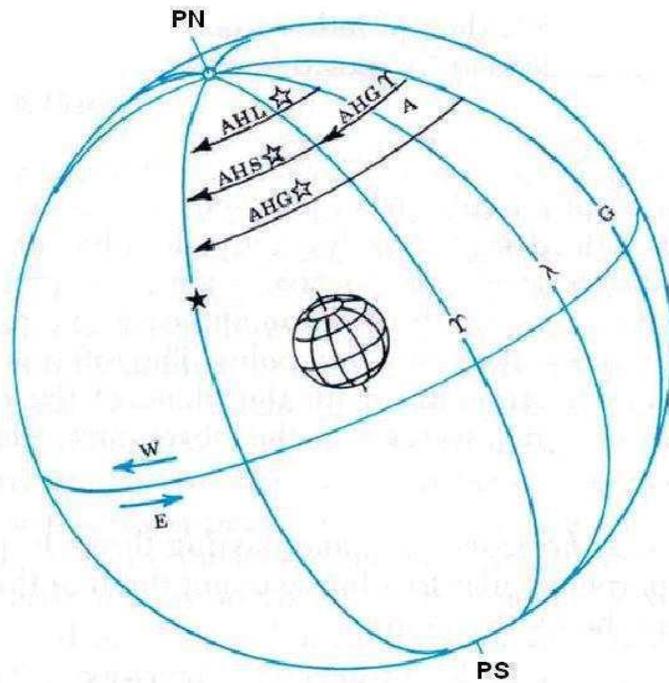
Ángulo horario local AHL: abscisa; se mide desde el meridiano del observador, sobre el ecuador celeste, hasta el pie del círculo horario del astro, siempre hacia el W de  $0^\circ$  a  $360^\circ$ .

Declinación  $\delta$ : ordenada; se mide sobre el círculo horario del astro, desde el ecuador celeste hasta el centro del astro. Se mide de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  y puede ser N (+) o S (-).

Ángulo en el polo t: se mide sobre el ecuador, desde el meridiano del observador hasta el pie del círculo horario del astro, de  $0^\circ$  a  $180^\circ$ , en sentido E o W.

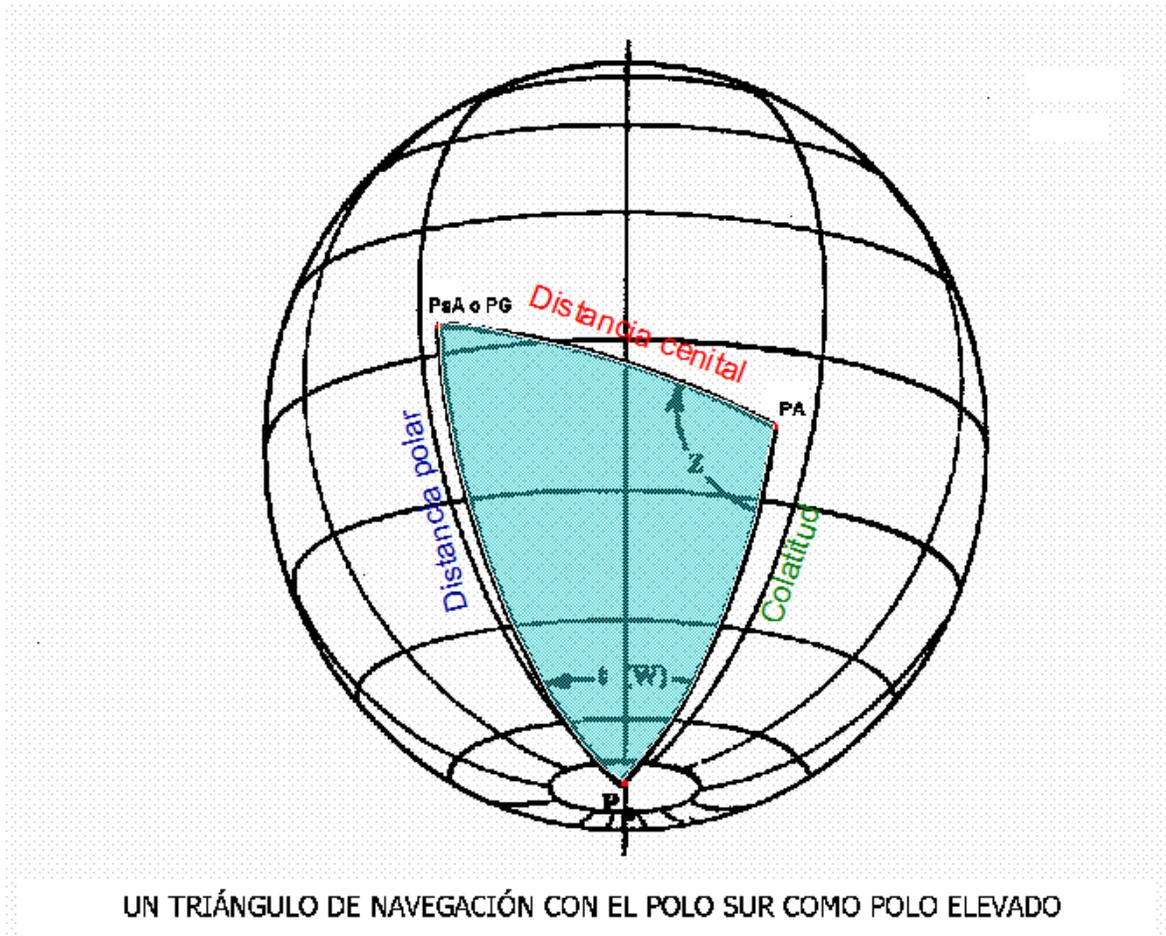
Distancia polar p: se mide sobre el círculo horario del astro, desde el polo elevado hasta el centro del astro, de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ .

AHS, AHG y AHL de una estrella en la Esfera Celeste





## Triángulo de posición



Triángulo esférico de la esfera celeste cuyos vértices son el polo elevado, el zenit del observador y el centro del astro.

Sus lados son:

- $90 - \varphi = \text{Co}\varphi$
- $90 - \delta = \text{Co } \delta$
- $90 - h = \text{Distancia Zenital (z)}$

Sus vértices son:

- Ángulo de posición o parlático.
- Ángulo azimutal (Z)
- Ángulo en el polo (t)

## MOVIMIENTO APARENTE DE LOS ASTROS

**Bóveda Celeste fija del observador:** está compuesta por los elementos que no participan de la esfera celeste (horizonte, zenit, nadir, verticales, etc.).

Por contraposición hay otros elementos (ecuador celeste, eclíptica, punto vernal de aries, círculos horarios, etc.) que giran junto a la esfera y los astros.

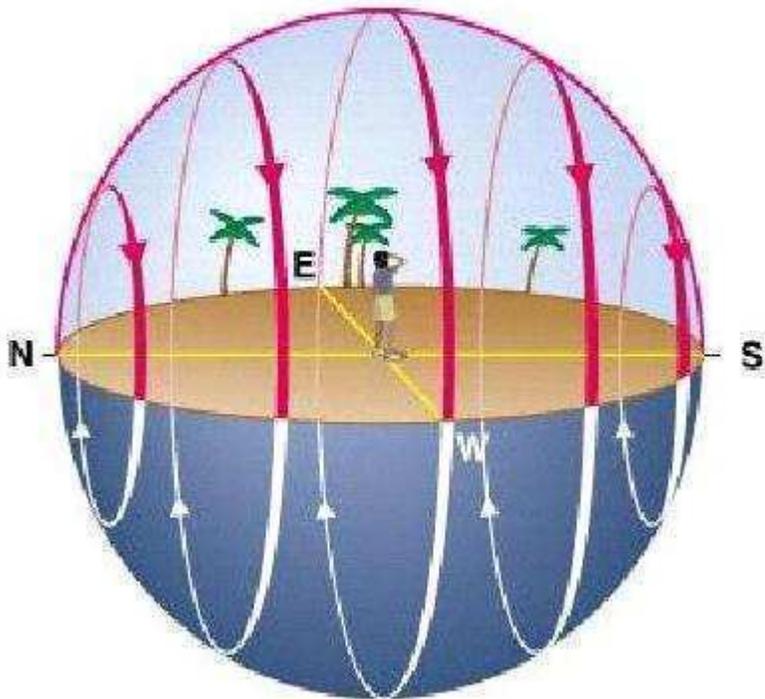
Planteas, sol y luna: al tener movimiento acusado, su declinación irá variando a lo largo del tiempo (1 año).

Estrellas: si el observador permanece quieto en un lugar, siempre las verá salir y ponerse por el mismo punto; siempre giran sobre el mismo paralelo de declinación.

### **Esfera celeste**

Esfera recta: el observador se encuentra sobre el ecuador terrestre, por lo tanto el ecuador celeste pasa por los puntos Z y Z'.

#### **ESFERA RECTA. OBSERVADOR EN EL ECUADOR**

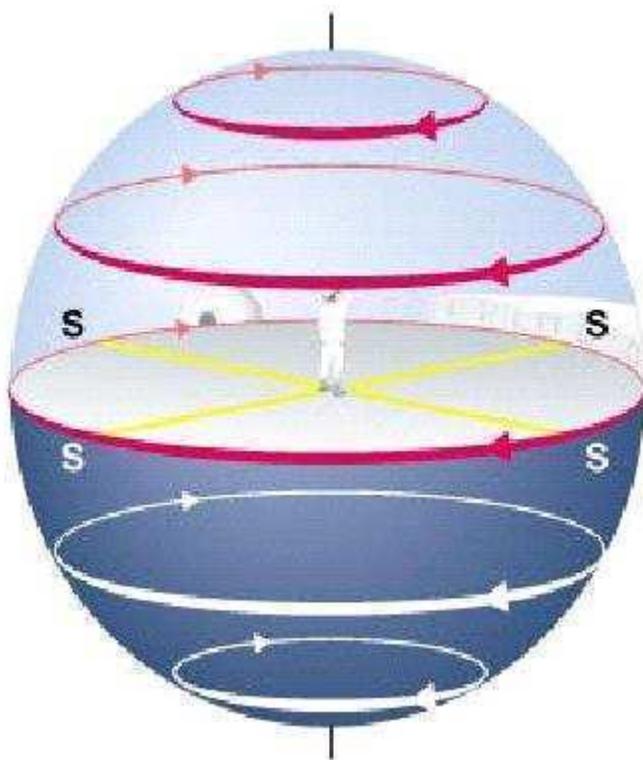


Los astros van a salir y ponerse en forma perpendicular al horizonte; van a estar 12 horas en el hemisferio visible y 12 horas en el hemisferio invisible ya que el horizonte corta al medio a los paralelos de declinación.

Tengo visibilidad de todos los astros.

Esfera paralela: el observador se encuentra situado exactamente en uno de los polos terrestres, por lo tanto  $Z$  y  $Z'$  coinciden con los polos celestes.

## ESFERA PARALELA. OBSERVADOR EN EL POLO NORTE

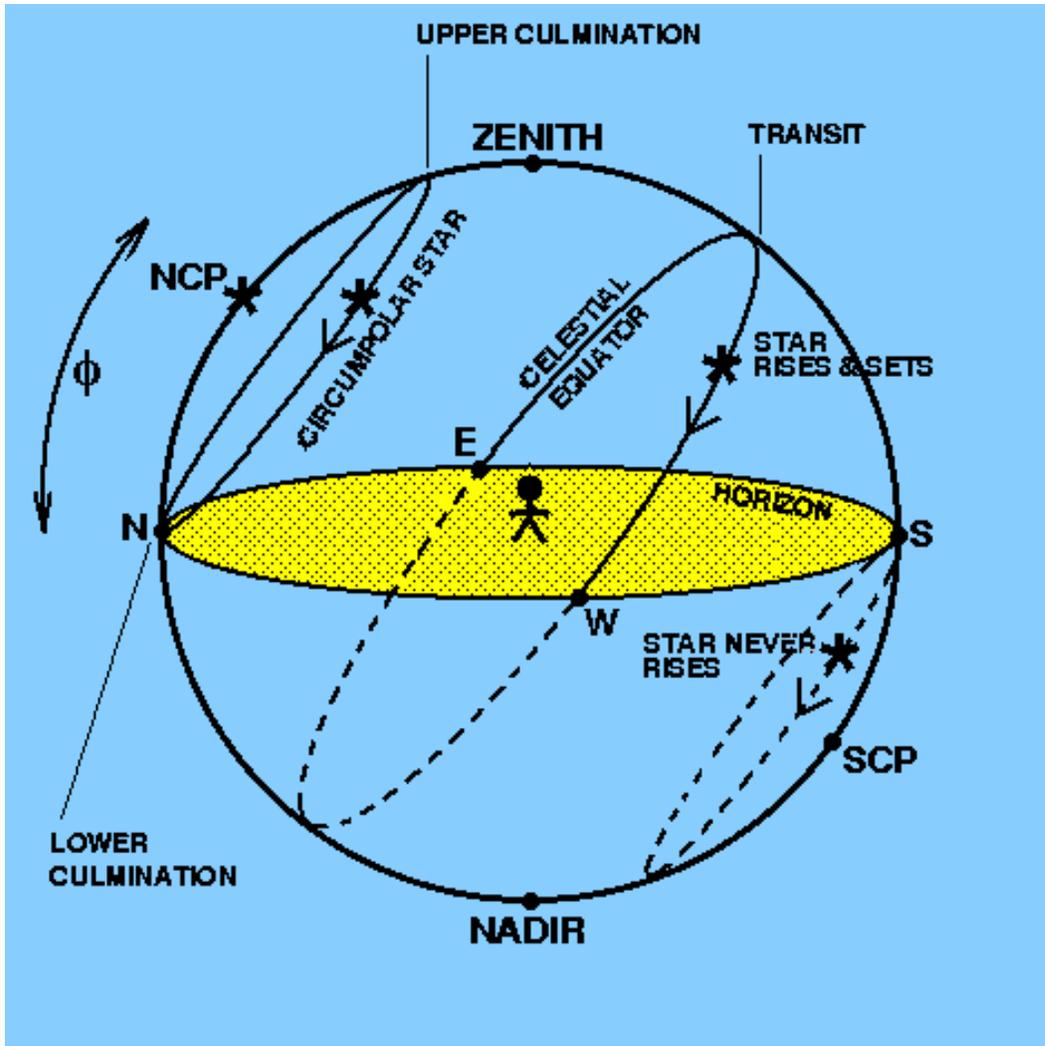


Hay astros que siempre se encuentran a la vista y astros que nunca se ven. Los astros visibles tendrán siempre la misma altura.



## Visibilidad de los astros:

División de la esfera celeste: dependerá de la posición del observador y será en cuatro partes.



*Zona I:* los astros que se encuentren en ésta zona siempre estarán a la vista del observador (astros circumpolares).

Estos astros tendrán una  $\delta \geq Co\phi$  y  $\delta$  de igual signo que  $\phi$ .

*Zona II:* va desde el ecuador hasta el límite de la zona I. Los astros que se encuentran en ésta zona salen y se ponen teniendo orto y ocaso. Tienen mayor arco diurno que nocturno.

$\delta < Co\phi$  y  $\delta$  y  $\phi$  tienen el mismo signo.

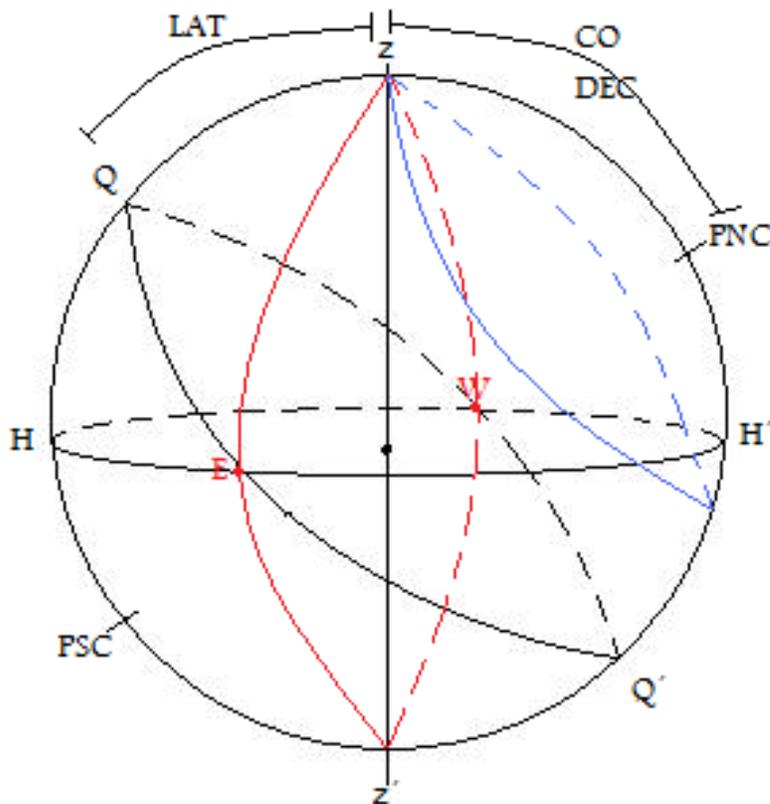
*Zona III:* va desde el ecuador hasta el límite de la zona IV. Los astros que se encuentran en ésta zona salen y se ponen teniendo orto y ocaso; el arco nocturno es mayor que el diurno en éste caso.

$\delta < \text{Co}\varphi$  y signos de  $\delta$  y  $\varphi$  son distintos.

*Zona IV:* los astros que se encuentren en ésta zona nunca estarán a la vista del observador (anticircumpolares).

Tendrán  $\delta \geq \text{Co}\varphi$  y  $\delta$  de distinto signo que  $\varphi$ .

## Pasaje de los astros



### Cortes con el Vertical Primario:

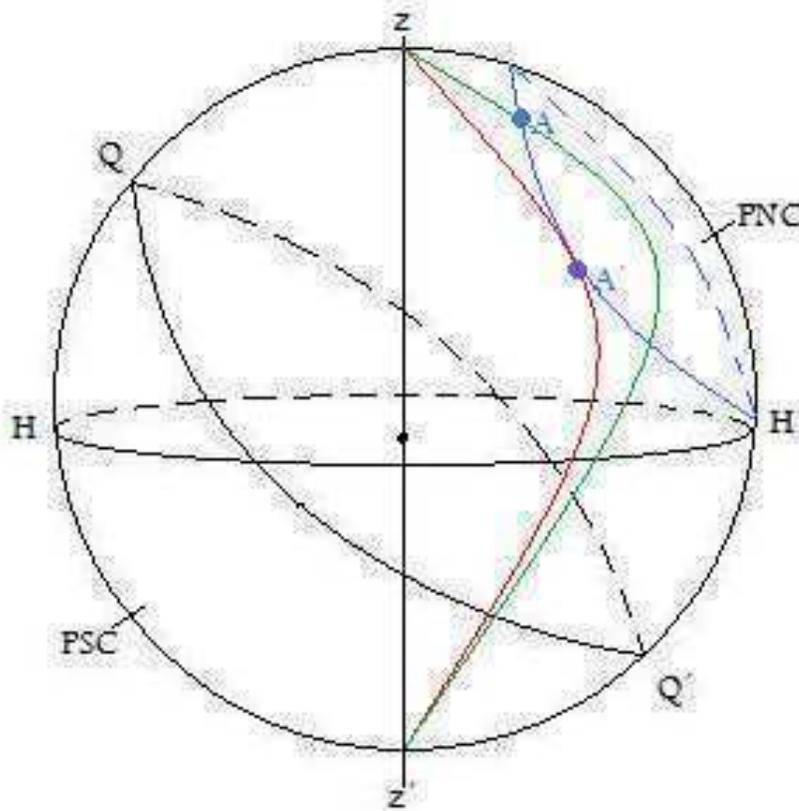
Todos los astros que se encuentren dentro del casquete delimitado por el paralelo azul (centro en polo elevado y radio igual a  $\text{Co}\delta$ ) no cortarán al vertical primario; son los astros cuya  $\delta > \varphi$  del observador.

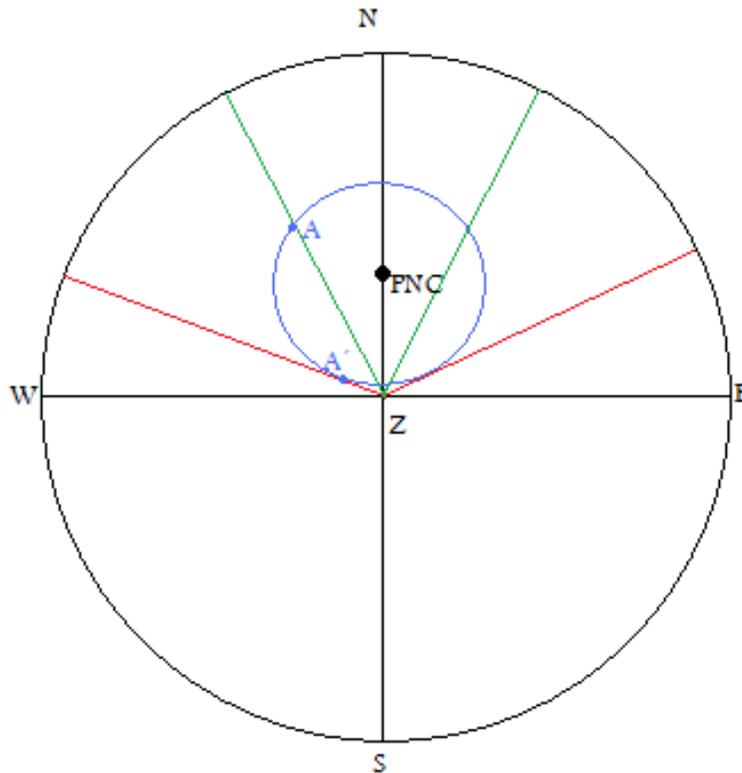
Los astros cuya  $\delta = \varphi$  del observador van a tangente al vertical primario en Z.

Solamente los astros cuya  $\delta$  sea menor que la  $\varphi$  del observador cortarán al vertical primario en su recorrido a través del cielo. Los astros que cumplan con ésta condición y además la  $\delta$  sea del mismo signo que la  $\varphi$  del observador, presentarán estos cortes en el hemisferio visible y serán de particular interés para el observador ya que los azimutes verdaderos ( $A_v$ ) de los mismos serán  $090^\circ$  y  $270^\circ$ .

### Máxima elongación:

Un astro estará en la máxima elongación cuando el vertical del astro sea tangente a su paralelo de declinación. En éste punto el astro alcanzará su mayor azimut astronómico.





En el diagrama se ve en rojo el azimut del astro cuando éste se encuentra en máxima elongación.

En máxima elongación el ángulo parláctico será de  $90^\circ$  y el triángulo de posición será rectángulo.

### Corte del meridiano superior e inferior:

*Astros circumpolares:* cortan a ambos meridianos en el hemisferio visible.

*Astros cuya  $\text{Cod} \delta = \varphi$ :* recorren el paralelo que delimita la zona I. Cortan al meridiano superior en el hemisferio visible y al inferior justo en el horizonte.

*Astros cuya  $\delta = \varphi$  y mismo signo:* cortan al meridiano superior en Z y al meridiano inferior en el hemisferio invisible.

*Astros que tienen orto y ocaso:* cortan siempre al meridiano superior en el hemisferio visible y al inferior en el invisible.

*Culminación:* se da cuando el astro corta al meridiano superior; es cuando alcanza su máxima altura.

*Azimut:* al cortar con el meridiano su azimut será  $000^\circ$  o  $180^\circ$ .



$$ZA < ZP + PA \text{ y } PA = PA''$$

$$ZA < ZP + PA'' \text{ y } ZA'' = ZP + PA''$$

$$ZA < ZA''$$

Esto quiere decir que la distancia zenital es máxima en el corte del meridiano inferior y por lo tanto la  $h$  es mínima.

Ambos teoremas son válidos si la  $\varphi$  y la  $\delta$  son constantes.

## Variación del azimut de los astros

### 1. Arco diurno > nocturno

$\delta < \text{Co}\varphi$  y  $\delta$  igual signo que  $\varphi$ .

A)  $\delta < \varphi$  cortarán el vertical primario en el hemisferio visible. El azimut de culminación será el del polo depresos.

B)  $\delta > \varphi$  no van a cortar al vertical primario. Alcanzarán los máximos valores de azimut en máxima elongación. El azimut de la culminación será el azimut del polo elevado.

### 2. Astros cuyo arco diurno < nocturno

$\delta < \text{Co}\varphi$  y  $\delta$  diferente signo que  $\varphi$ .

Cortan al vertical primario en el hemisferio invisible. La culminación tiene azimut del mismo nombre que el polo depresos.

Existe un caso especial en que  $\delta = 0^\circ$  (astro B); éste astro recorre el ecuador celeste y corta al vertical primario sobre el horizonte. Tiene su orto exactamente en el Este y su ocaso exactamente en el Oeste, y su culminación tiene azimut del mismo nombre que el polo depresos.

### 3. astros cuya $\delta > \varphi$ y de igual nombre

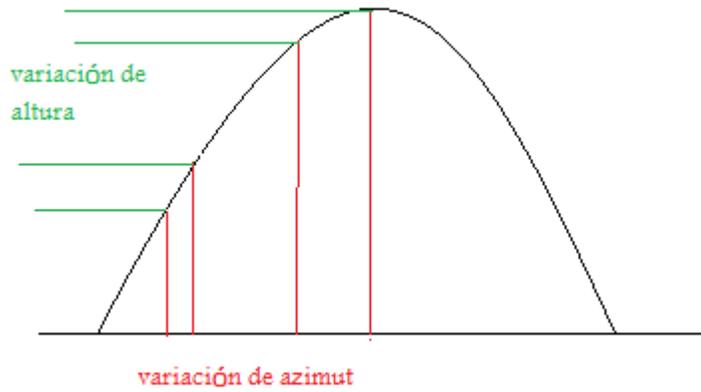
Son astros que no cortan al vertical primario y que alcanzan su máximo valor de azimut en máxima elongación. Dentro de ésta categoría se encuentran los astros circumpolares, los cuales cortan al meridiano superior e inferior en el hemisferio visible y con azimut del mismo nombre que el polo elevado.

### 4. astros cuya $\delta = \varphi$ y de igual nombre

El paralelo de declinación de éstos astros pasará por el zenit, y que sean circumpolares o no dependerá de la  $\varphi$  del observador.

## Relación entre los movimientos de azimut y altura

Cuando la variación en  $h$  es máxima la variación en azimut es mínima y viceversa.



## EL SISTEMA SOLAR

### **El sol**

Es una estrella mediana a pequeña, cuyo diámetro equivale a 109 veces el diámetro de la Tierra y su masa equivale al 99% de la masa del Sistema Solar; por lo que el centro del Sistema se encuentra casi en el Sol. La distancia entre la Tierra y el Sol son 8 minutos luz.

*Fotoesfera:* superficie propiamente dicha del sol.

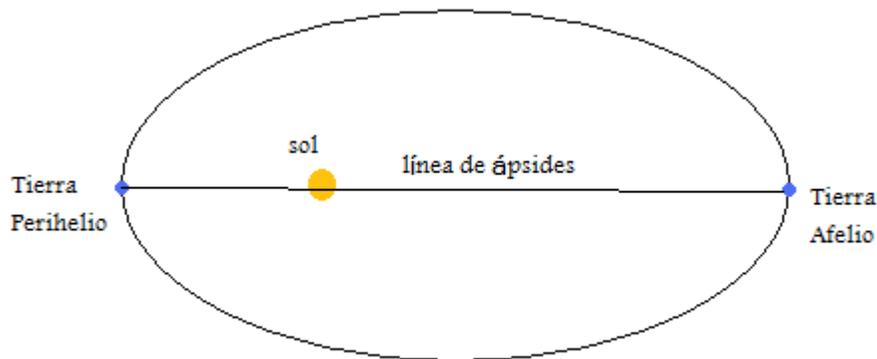
*Cromosfera:* son los gases próximos a la fotosfera.

*Corona solar:* son erupciones y emanaciones de gases más alejados de la superficie.

### **Leyes de Kepler**

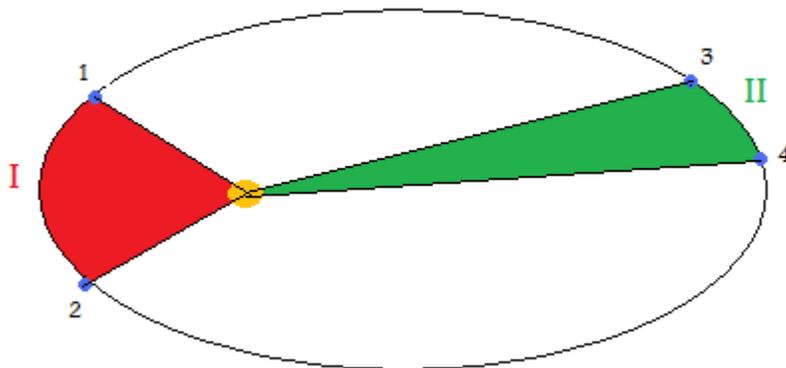
#### 1. Ley de formas:

Todos los planetas giran alrededor del Sol en órbitas elípticas, encontrándose el sol en uno de los focos de dichas elipses.



#### 2. Ley de las áreas:

El área barrida por la línea que une al Sol con el planeta es proporcional al tiempo que emplea el planeta en recorrer ese tramo de su órbita.



Si  $I = II$ , entonces el planeta demorará el mismo tiempo en recorrer el arco 1 2 y el arco 3 4; y por lo tanto la velocidad del movimiento es variable.

### 3. Ley de los períodos:

El cuadrado del tiempo que le toma al planeta recorrer su órbita es proporcional al cubo del semieje mayor de la órbita del planeta. Entonces, cuanto más alejado se encuentre un planeta respecto del Sol, ese planeta va a recorrer su órbita con una menor velocidad.

## **Movimiento de revolución de la tierra o movimiento relativo del sol**

Año sidéreo: tiempo que le toma a la Tierra dar una vuelta sobre su órbita alrededor del Sol. El tiempo entre equinoccios no es igual, ya que la órbita de la Tierra es una elipse. Cuando la Tierra va de equinoccio a equinoccio pasando por el afelio demora en promedio 6 días más que cuando pasa por el perihelio.

Consecuencias: los movimientos secundarios de la Tierra. La **precesión** hace que los puntos equinocciales se despalcen  $50''26$  por año en sentido retrógrado y tiene un período de 26000 años. La **nutación** tiene un período de  $18 \frac{2}{3}$  años aproximadamente.

La inclinación del eje de la Tierra en conjunción con su movimiento de revolución producen las estaciones y los diferentes climas; ya que según explica la **ley de Lambert**, cuanto más oblicuos llegan los rayos del Sol a la superficie terrestre menos calor es absorbido por la misma.

Otra consecuencia del movimiento de revolución de la Tierra es la variación no uniforme de la ascensión recta del sol.

Año trópico: debido a la precesión, la Tierra en su movimiento de revolución encuentra nuevamente a  $\Upsilon$  antes de haber completado un giro de  $360^\circ$ . El intervalo de tiempo empleado en recorrer el arco de  $360^\circ$  más los  $50''26$  de la precesión de los equinoccios se denomina año trópico, y es 20 minutos aproximadamente más corto que el año sideréo.

## La luna

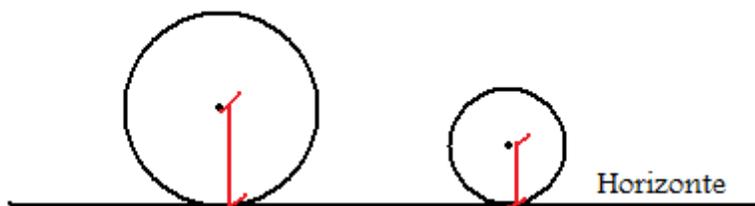
Órbita: es una elipse, con la Tierra en uno de sus focos. El plano de la órbita lunar corta con el de la eclíptica en  $5^\circ 09'$  en promedio, registrando un mínimo de  $5^\circ$  y un máximo de  $5^\circ 18'$ .

Movimientos: de revolución y de rotación; ambos en sentido directo y con una duración de 27.32 días solares.

Radio: 3400 km = la mitad del radio terrestre.

Distancia: aproximadamente 300000 km; pero es variable ya que la órbita es elíptica.

Este hecho me varía el tamaño aparente y por lo tanto la distancia entre el centro del astro y su limbo inferior al tomar la medición de altura (h).



Edad: son los días pasados desde la última Luna nueva.

Epacta: es la edad de la Luna el día 1° de Enero.

Mes Lunar: tiene 29.5 días y depende de las posiciones relativas de la Luna, el Sol y la Tierra.

## Conjunción, oposición cuadratura:

Es la posición relativa entre dos astros.

Conjunción: es cuando ambos astros tienen la misma ascensión recta ( $\alpha$ ).

Oposición: cuando sus respectivas  $\alpha$  difieren en  $180^\circ$ .

Cuadratura: cuando sus  $\alpha$  difieren en  $90^\circ$ .

## **Planetas:**

Son cuerpos celestes que orbitan entorno al Sol, en sentido directo y la excentricidad de sus órbitas es muy pequeña, con excepción de Plutón. Se pueden dividir en interiores y exteriores en función de su posición relativa al Sol y la Tierra; interiores son aquellos que sus órbitas se encuentran entre la de la Tierra y el Sol y exteriores son aquellos que sus órbitas son mayores que la de la Tierra. Todos varían su magnitud y la posición en la bóveda celeste con respecto a las estrellas.

Los planetas de utilidad para el navegante son Venus, Marte, Júpiter y Saturno.

Venus: Es un planeta interior muy brillante ya que refleja mucho la luz del Sol. Presenta fases al igual que la Luna, y su magnitud depende de la fase en que se encuentre.

Marte: es un planeta exterior de muy poca magnitud. Se caracteriza por su color rojizo.

Júpiter: planeta exterior de mucha magnitud.

*Saturno:* planeta exterior; no se ve mucho.

## EL TIEMPO

### **Un día**

Es una rotación de la tierra sobre sí misma. De esta definición se pueden sacar las siguientes relaciones:

360° \_\_\_\_\_ 24h

15° \_\_\_\_\_ 1h

1° \_\_\_\_\_ 4 min

15' \_\_\_\_\_ 1 min

1' \_\_\_\_\_ 4 sec

### **Un día sidéreo**

El intervalo de tiempo transcurrido entre dos pasajes consecutivos de una estrella determinada por un mismo meridiano. El origen de los días sidéreos es el instante en que el primer punto de Aries ( $\gamma$ ) pasa por el meridiano superior de un lugar. Cada día sidéreo se divide en 24h sidéreas; cada hora en 60 min sidéreos; y cada minuto en 60 sec sidéreos.

Los días sidéreos son uniformes.

### **Día solar**

Es el intervalo de tiempo transcurrido entre dos pasajes consecutivos del centro del Sol Verdadero por un mismo meridiano. El día solar comienza cuando el Sol pasa por el antemeridiano del lugar, en la media noche (00:00).

La duración de los días verdaderos no es constante, ya que la variación de ascensión recta ( $\alpha$ ) del Sol no es uniforme debido a la excentricidad de la órbita terrestre y a la inclinación de la eclíptica. El movimiento de  $\alpha$  del Sol se produce en sentido contrario al del movimiento aparente de las estrellas, es decir que se va retardando con respecto a ellas en sus sucesivos pasajes por un meridiano cualquiera; como consecuencia, el día solar es más largo que el día sidéreo.

Año sidéreo: 366.22 días solares

Año solar: 365.22 días solares.

## **Tiempo solar medio**

Como el día verdadero no es constante, pero igual resulta conveniente emplear el Sol para definir las épocas y la duración de acontecimientos cotidianos, se crea una unidad de tiempo constante que pueda ser medida con aparatos y máquinas de relojería: el Tiempo Solar Medio.

Primero se define un Sol Ficticio que recorre la eclíptica con velocidad constante, igual al promedio de las velocidades variables del Sol Verdadero, y ambos Soles se encuentran en el perigeo.

En segundo lugar se define el Sol Medio, que recorre el Ecuador a la misma velocidad que el Sol Ficticio, y ambos Soles se encuentran en  $\Upsilon$  (equinoccio de marzo).

El Día Medio es el intervalo de tiempo entre dos pasajes del Sol Medio por el antemeridiano del lugar. Esta Día Medio tiene 24h medias; cada hora tiene 60 min medios, y cada minuto tiene 60 sec medios respectivamente.

## **Ecuación del Tiempo:**

Ec Tiempo = Tiempo Solar Verdadero – Tiempo Solar Medio

## **Año Trópico:**

Es el tiempo transcurrido entre dos pasajes del Sol por un mismo equinoccio. Un año trópico dura 366.2422 días sidéreos, es decir que  $\Upsilon$  describe, respecto a un meridiano terrestre, 366 circunferencias y 0.2422 fracciones. En ese mismo intervalo de tiempo el Sol cumple una vuelta exacta en sentido contrario, por lo que cumplirá una rotación menos que  $\Upsilon$  respecto a un meridiano dado es decir que:

1 año Trópico = 365.2422 días solares.

## **Hora universal, fecha y husos horarios**

Hora Universal (UTC): La Hora Media Local (HML) en un instante determinado es igual al ángulo horario local del Sol Medio más 12 horas; restándole 24h si la suma excede ésta cantidad.

Entonces, sólo en los lugares situados sobre un mismo meridiano se registrará la misma hora local en un mismo instante. Con el fin de coordinar la definición de instantes de

acontecimientos universales, se emplea la HML del meridiano de Greenwich, definiéndola como el Tiempo Universal Coordinado (UTC por sus siglas en inglés).

Hora Oficial: es impracticable que cada lugar lleve la hora de su meridiano, ya que hay infinitos meridianos, pero tampoco sería conveniente que todo el mundo tuviera la misma hora. Los países usualmente adoptan la hora de un meridiano local, de forma que todo su territorio tenga la misma hora. El meridiano adoptado difiere en  $\lambda$  del de Greenwich un número de horas conveniente. Entonces éste meridiano local se convierte en la Hora Oficial del país o región.

Husos Horarios: la superficie de la Tierra está dividida en 24 Husos Horarios por círculos meridianos equidistantes, dentro de los cuales la hora del huso u Hora Legal es la del tiempo medio del meridiano central del huso.

El Huso cero se extiende  $7^{\circ}5'$  a cada lado del meridiano de Greenwich, y su hora legal coincide con la hora UTC.

Los Husos Este están numerados consecutivamente de -1 hasta -12 a partir del Huso cero, porque sus horas legales están adelantadas con respecto a éste último, por lo que habrá que restarle el nombre del Huso en horas a la hora legal del lugar para obtener la hora UTC.

De forma similar, los husos de  $\lambda$  Oeste están atrasados respecto a Greenwich y se numeran de +1 a +12, sumándose éstos a sus horas legales para obtener la hora UTC.

Fecha: si al realizar la operación mencionada en el párrafo anterior obtengo una cifra mayor a 24h, entonces debo sumar un día a la fecha legal para obtener la fecha UTC.

Si la operación me da menor a 0h (negativa), debo restar un día a la fecha legal para tener la fecha UTC.

## Navegando:

- ✳ Al cruzar el meridiano 180° hacia el W debo agregar un día a la fecha.
- ✳ Al cruzar el meridiano 180° hacia el E debo restar un día a la fecha.
- ✳ Navegando al W, al cambiar de huso atraso.
- ✳ Navegando al E, al cambiar de huso adelanto.

## **Estado absoluto**

Es la diferencia entre la hora universal (UTC) y la hora en el cronómetro del buque.

$Ea = UTC - Hc$  (Hora cronómetro buque)

## **Marcha**

Es la variación del estado absoluto.

Diaria: variación diaria del  $Ea$ .

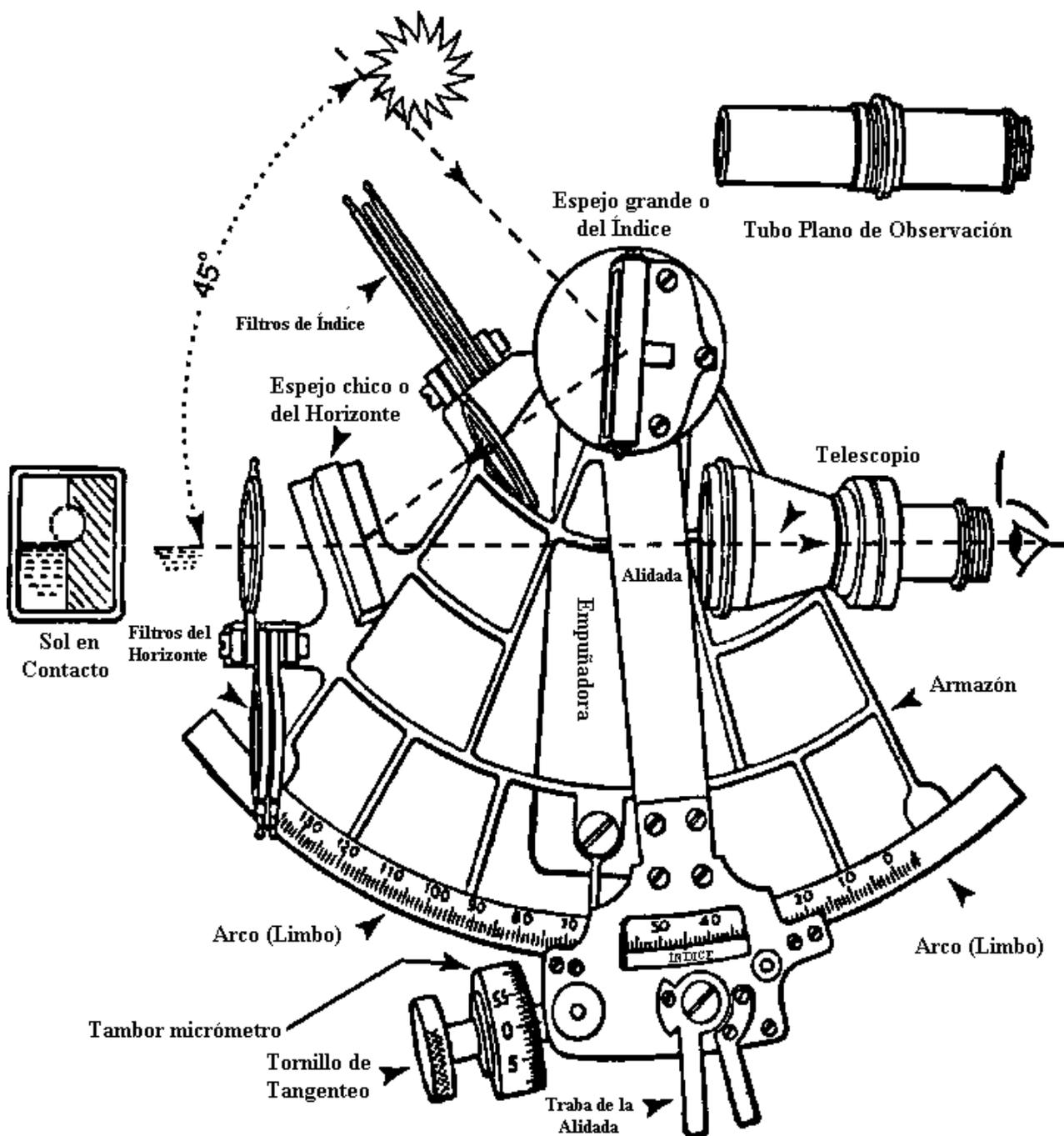
Media: es el promedio de los  $Ea$  en un período de tiempo.

$Mm = \frac{Ea1 - Ea2}{T1 - T2}$

$T1 - T2$  (expresado en días y fracción)

Al realizar la operación obtengo la Marcha Media Diaria; éste método es utilizado para calcular la marcha diaria en el caso de que un día determinado no reciba el reporte de tiempo UTC.

## EL SEXTANTE



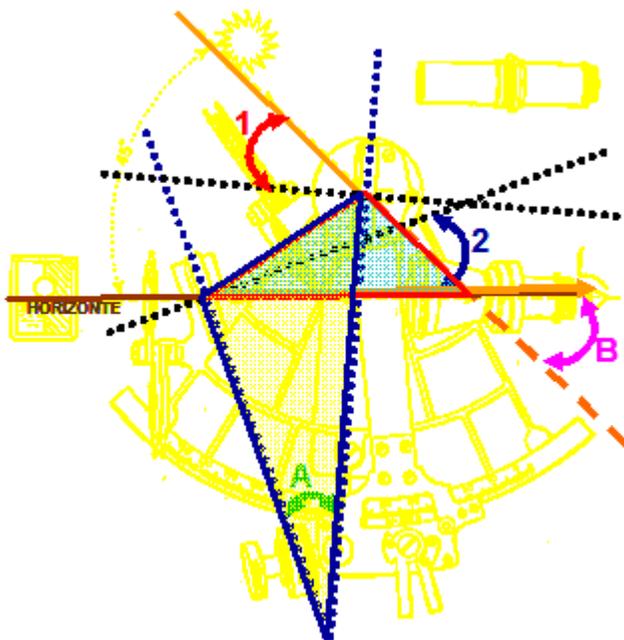
El sextante es un instrumento que se usa para medir ángulos.

**Teoría del sextante:** se basa en las leyes de reflexión de la luz.

1ª Ley: Cuando los rayos de luz se reflejan en una superficie plana, el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.

2ª Ley: el ángulo incidente y el reflejado se encuentran en el mismo plano.

**Principio del sextante:** Si un rayo de luz realiza 2 reflexiones en el mismo plano, el ángulo entre la primera y la última dirección es igual al doble del ángulo que forman entre sí las 2 superficies reflectantes.



En el triángulo azul:  $180 = A + 90 + \hat{2} + 90 - \hat{1}$

$$180 = A + \hat{2} - \hat{1} + 180$$

$$A = \hat{1} - \hat{2}$$

$$(A = \hat{1} - \hat{2}) \cdot 2$$

$$2A = 2(\hat{1} - \hat{2})$$

En el triángulo rojo:  $180 = B + 2(\hat{2}) + 180 - 2(\hat{1})$

$$B = 2(\hat{1} - \hat{2})$$

Entonces:  **$2A = B$**

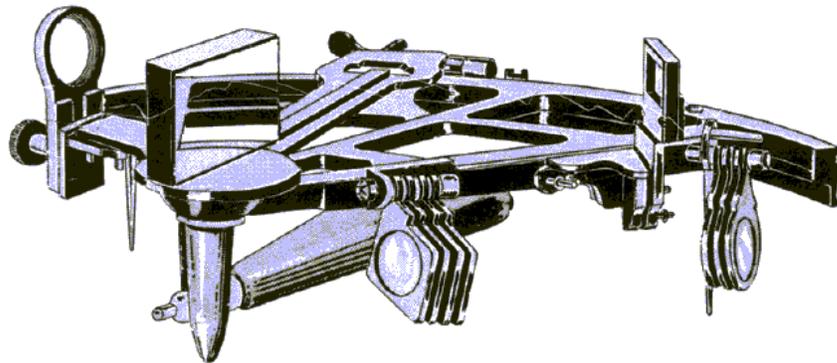
## **Rectificación:**

### Perpendicularidad del espejo grande:

Para probar la perpendicularidad, se coloca la alidada cerca de  $35^\circ$  del arco y se sostiene el sextante con el espejo primario hacia arriba y hacia su ojo. Se observan las vistas directa y reflejada del arco del sextante. Si las dos vistas no están unidas en una línea recta, el espejo primario no es perpendicular.

Si la imagen reflejada está por encima de la visión directa, el espejo está inclinado hacia adelante. Si la imagen reflejada está por debajo de la visión directa, el espejo está inclinado hacia atrás

Se realiza el ajuste utilizando los dos tornillos detrás del espejo primario.



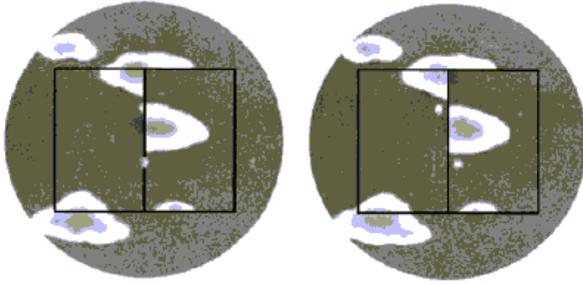
Probando la perpendicularidad del espejo secundario. En este caso, el espejo está perpendicular al armazón

### Perpendicularidad del espejo chico:

Para probarlo, se coloca la alidada en cero y se dirige la visual a una estrella. A continuación, se gira el tornillo de tangencia hacia adelante y hacia atrás de modo que la imagen reflejada pase alternativamente por encima y por debajo de la visión directa.

Si en el cambio de una posición a otra, la imagen reflejada pasa directamente por encima de la imagen no reflejada, no existe Error Lateral o de perpendicularidad del espejo secundario.

Si se pasa a un lado, existe Error Lateral o de perpendicularidad del espejo secundario.



## Rectificación del eje óptico:

Se coloca el sextante sobre una mesa y se mira a lo largo del plano del limbo hacia una línea horizontal lejana que se encuentre exactamente en dicho plano. Luego, sin mover el sextante, se mira por el anteojo a dicha línea. Ésta debe cortar al plano del anteojo por la mitad, coincidiendo con la divisoria entre la parte azogada y la transparente del espejo pequeño.

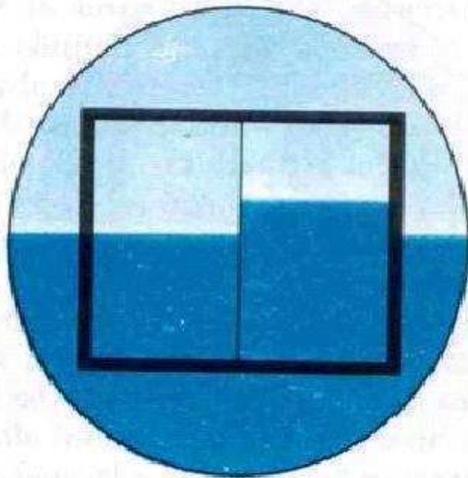
Si el anteojo está desplazado a uno u otro lado y no se da la coincidencia de la línea con el centro, se afloja el tronillo prisionero, luego el tornillo de ajuste (muy suavemente) y se desplaza convenientemente el anteojo hasta lograr que la línea de referencia se encuentre en el medio del campo visual.

## Paralelismo de los espejos:

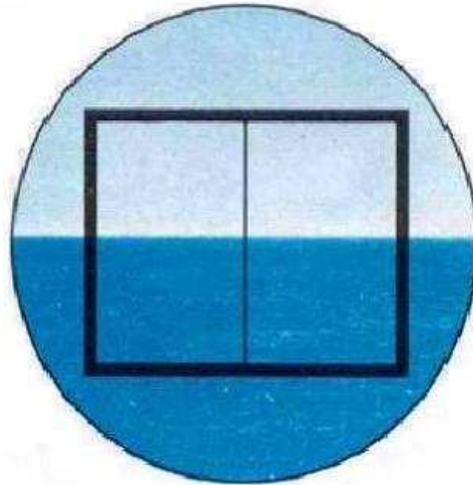
El Error por Paralelismo de los Espejos puede ser eliminado por el navegante al ajustar los espejos para que queden exactamente paralelos cuando las lecturas del Sextante es  $0^{\circ} 00,0'$  o se conserva este error y se lo incluye en los Cálculos como error residual no corregido (**Error de Índice**).

Para probar el paralelismo de los espejos, se coloca el instrumento en cero y se dirige la visión al horizonte. Se ajusta la lectura del sextante tanto como sea necesario hasta lograr que ambas imágenes en el horizonte estén alineadas.

El modo más fácil para medir el EI es observar el horizonte y lograr que las imágenes directa y reflejada coincidan. Esto se logra bajando la imagen reflejada para alinearla con la imagen directa del horizonte.



Sextante colocado en  $0^\circ$ , con Error de Índice (EI)



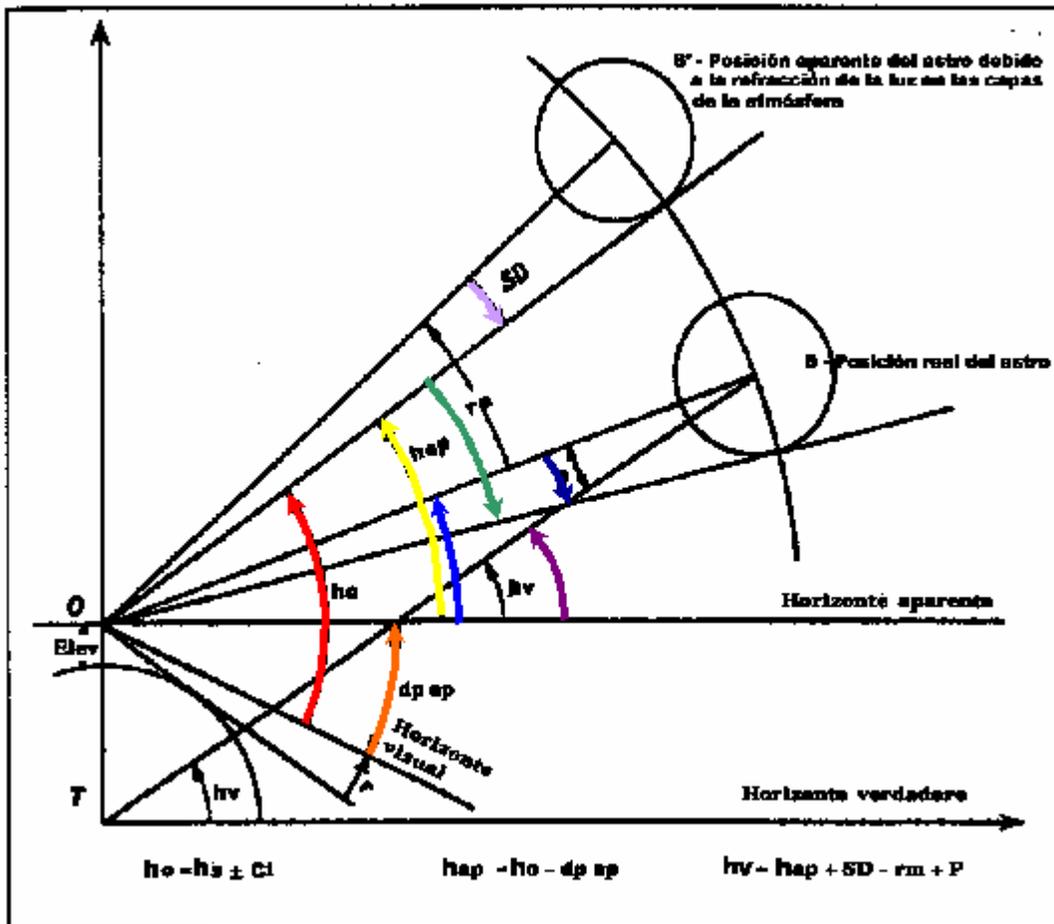
Sextante colocado en  $0^\circ$ , sin Error de Índice (EI = 0)

## Corrección de alturas:

Tras cada observación es necesario corregir la altura medida del astro con el sextante ( $h_s$ ) a bordo con respecto al Horizonte marino, con el fin de obtener la altura verdadera geocéntrica ( $h_v$ ).

Las correcciones fundamentales son:

- corrección por error de índice.
- corrección por altura de la visión del observador o la depresión del horizonte ( $dp$  ap)
- corrección por refracción ( $r$ ).
- corrección por semidiámetro del astro (SD).
- corrección por paralaje ( $p$ ).
- corrección por aumento del diámetro aparente.
- corrección adicional en función de temperatura y presión atmosféricas anormales.



Corrección por error de índice:

Si ambos espejos no se hallan paralelos entre sí y respecto a la lectura del limbo de  $0^\circ 00'$ , existe un error de índice.

Con antelación a toda observación resulta especialmente importante determinar la existencia del error, por lo que el sextante es revisado.

Corrección por depresión del horizonte:

El sextante luego de corregirse por error de índice da la **altura observada (ho)** entre el horizonte marino y el astro.

Este ángulo es siempre mayor que el real, dependiendo su magnitud de la altura de la visión del observador sobre el nivel del mar (elevación).

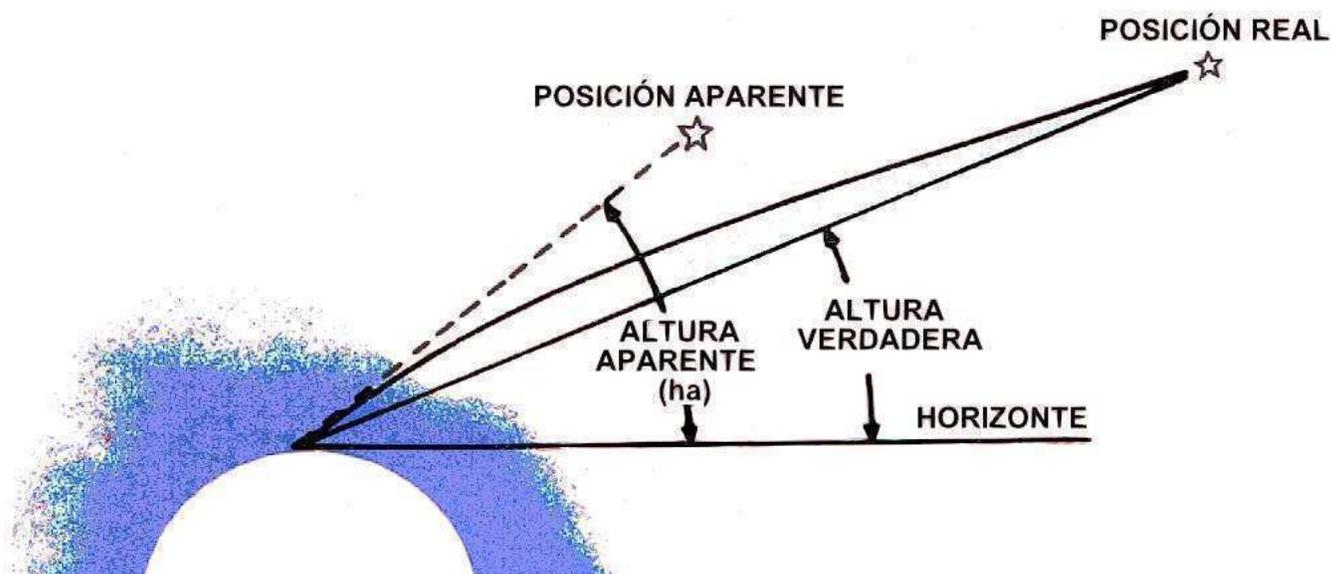


## Corrección por refracción:

Cuando un rayo de luz de un astro llega a la superficie terrestre, sufre un cambio de dirección en las distintas capas de la atmósfera por llegar de un medio menos denso.

La refracción de un rayo causa una *elevación aparente de los astros* observados, de modo que la altura observada es siempre mayor que la verdadera.

El *ángulo de refracción* es la diferencia entre la altura del astro dada por el sextante y la altura verdadera.



La refracción aumenta con la duración del recorrido del rayo de luz a través de la atmósfera. La mayor refracción tiene lugar cuando el astro se halla cerca del horizonte, siendo nula cuando éste se encuentra en el zenit.

La *corrección por refracción* ( $R$ ) es siempre de sentido negativo. Viene dada en el Almanaque Náutico para todos los astros de navegación. Las tablas se aplican a las alturas aparentes, medidas con el sextante, una vez efectuada la corrección de índice y la de depresión aparente debida a la altura de la visión del observador.

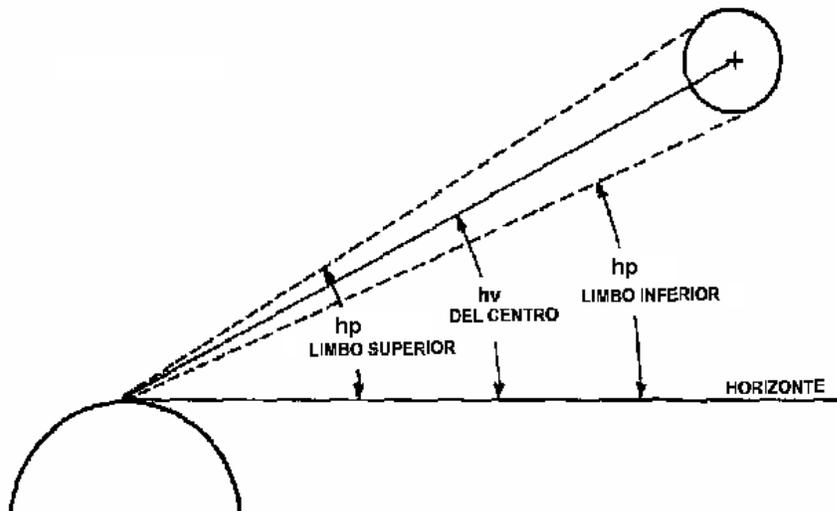
- Estrellas y planetas: Las correcciones vienen dadas para diferentes alturas de estrellas y planetas.

- Sol: Las correcciones por refracción vienen dadas en tablas de corrección combinadas con las correcciones por semidiámetro del Sol y por la paralaje. Las tablas están divididas en dos períodos: *octubre-marzo* y *abril-septiembre*: los datos vienen en columnas separadas para las alturas de los limbos del Sol superior e inferior.
- Luna: El Almanaque Náutico contiene tablas combinadas de corrección de la altura divididas en dos partes:
  - La primera parte proporciona correcciones por refracción y por semidiámetro, y
  - La segunda la corrección por la paralaje.

### Corrección por el semidiámetro del astro:

La corrección por semidiámetro del astro (SD) se efectúa solamente en el caso de observaciones del Sol y de la Luna, los cuales se perciben como grandes astros.

La altura verdadera se determina con respecto al centro del astro. La corrección por semidiámetro se añadirá cuando se haya observado el limbo inferior y se restará cuando se haya observado el limbo superior.

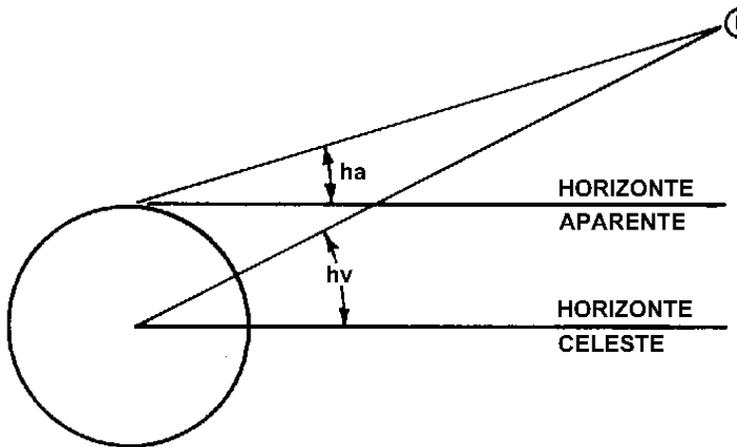


Las correcciones por semidiámetro para el Sol y la Luna vienen dadas en las tablas combinadas de corrección por refracción, por semidiámetro y por la paralaje.

## Corrección por paralaje:

La paralaje es un movimiento angular aparente de un astro que se halla a una distancia en la Esfera Celeste al ser observado desde dos posiciones diferentes sobre la Tierra.

Se puede expresar como el ángulo formado por dos líneas rectas con vértice en el centro del astro y que pasan por las dos posiciones de la Tierra mencionadas.



La paralaje es menor cuanto mayor es la distancia del astro al observador. La mayor paralaje se da en el caso de la Luna, por ser el astro más cercano a la Tierra. Para las estrellas es casi indetectable.

Si el astro se encuentra en el zenit del observador (altura  $90^\circ$ ) no se aprecia paralaje. Según disminuye la altura, la paralaje aumenta, alcanzando su valor máximo cuando el astro se halla en el horizonte (altura  $0^\circ$ ) y que se denomina **paralaje horizontal (PH o HP)**.

En la práctica hay que corregir la altura medida en función del ángulo de la paralaje. Esta corrección es siempre de signo positivo.

*Estrellas:* A efectos prácticos no se efectúan correcciones de la altura en función de la paralaje.

*Planetas:* Las correcciones por paralaje se realizan solamente en el caso de observaciones de Venus y Marte en los momentos en que estos planetas se encuentran más próximos a la Tierra. Estas son pequeñas correcciones estacionales que ya vienen indicadas y recogidas en el Almanaque Náutico en las “Tablas de corrección de la altura para las estrellas y los planetas”.

*Sol:* Las correcciones por paralaje vienen en el Almanaque Náutico en las tablas combinadas de corrección por refracción, semidiámetro y paralaje.

*Luna:* Su corrección por paralaje es determinada indirectamente a partir de paralajes horizontales calculadas que ya vienen en el Almanaque Náutico para cada día y hora del año. Para un instante dado de observación (en Tiempo Universal) debemos encontrar la paralaje horizontal en el Almanaque Náutico y después entrar con ésta en la segunda parte de las tablas de corrección de altura para la Luna. La corrección de la paralaje se obtiene de la columna de altura aparente (Alt. Ap.).

### Corrección por aumento del diámetro aparente:

Cuando un astro se encuentra cerca del horizonte visible del observador, su distancia es prácticamente la misma que si fuera visto desde el centro de la Tierra.

Sin embargo, si el astro se encuentra cerca del zenit, su distancia ha disminuido en el valor del radio de la Tierra, por lo que su diámetro aparente se habrá incrementado.

Para el caso del Sol, su corrección es muy pequeña (como máximo es 0",04) y puede ser ignorada.

La corrección para la Luna se encuentra incluida en la segunda parte de las “Tablas de corrección de altura para la Luna”, junto a la corrección por paralaje debido a la altura aparente de nuestro satélite.

### Corrección adicional por refracción:

Los valores de refracción en las tablas correspondientes están calculadas para condiciones normales de presión y temperaturas atmosféricas (bajas presiones y temperaturas desde -1° C o altas presiones y temperaturas hasta 21°C).

Si los valores difieren mucho o se emplean astros con alturas muy bajas se debe utilizar una “*Tabla con Correcciones Adicionales*” que está contenida en el Almanaque Náutico.

Con los argumentos temperatura y presión del momento de la observación y la altura aparente se obtiene la corrección de la tabla para condiciones anormales de refracción atmosférica.

Esta corrección se aplica a la lectura del sextante además de las correcciones para condiciones normales para el Sol, estrellas y planetas y para la Luna.

## CÁLCULOS DE NAVEGACIÓN

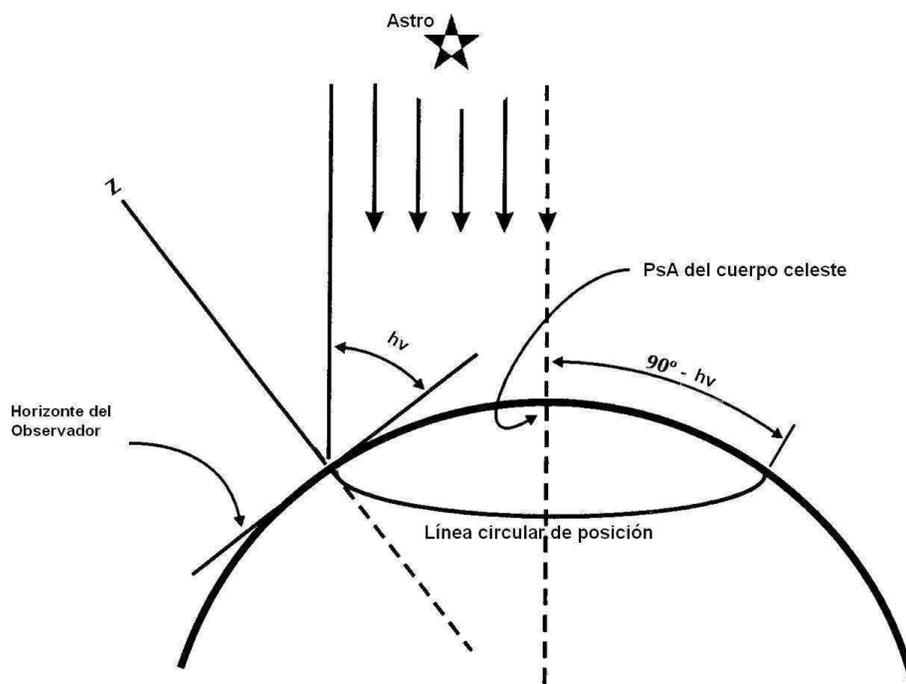
**Punto Astral:** es la proyección central del astro sobre la superficie de la tierra. Tiene coordenadas geográficas que se pueden plotear; éstas coordenadas varían con el tiempo.

Las coordenadas del punto astral para un momento dado son las siguientes:

$$\varphi = \delta$$

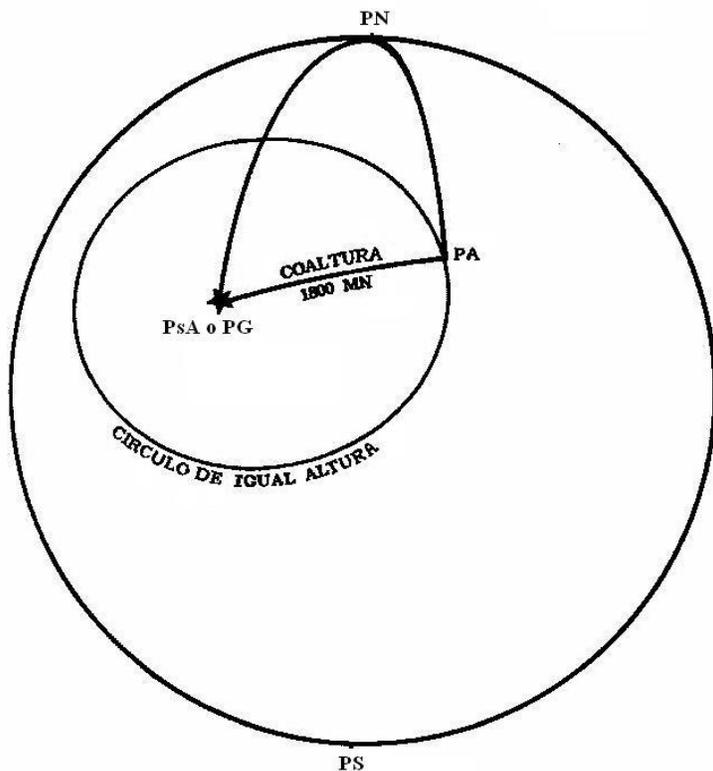
$$\lambda = t \text{ respecto a Greenwich}$$

**Circunferencia de altura:** es el lugar geométrico de las posiciones de los observadores que toman la misma altura del mismo astro en un momento determinado.



La distancia zenital ( $z$ ) del astro es igual al radio de la circunferencia.

De esta forma, al observar un astro con el sextante en un determinado instante, obteniendo, después las correcciones, su altura verdadera ( $h$ ), estamos, en realidad, definiendo una línea de posición (LDP) constituida por una circunferencia de altura, con centro en la posición geográfica del astro (punto astral) y radio igual a la distancia cenital del astro ( $z = 90^\circ - h$ ) en aquel instante.



CÍRCULO DE IGUAL ALTURA PARA  $h_v = 60^\circ$

Como la distancia cenital es igual a la co-altura, entonces, el radio de la circunferencia de altura puede ser expresado en millas náuticas, siendo 1' de arco igual a 1 milla.

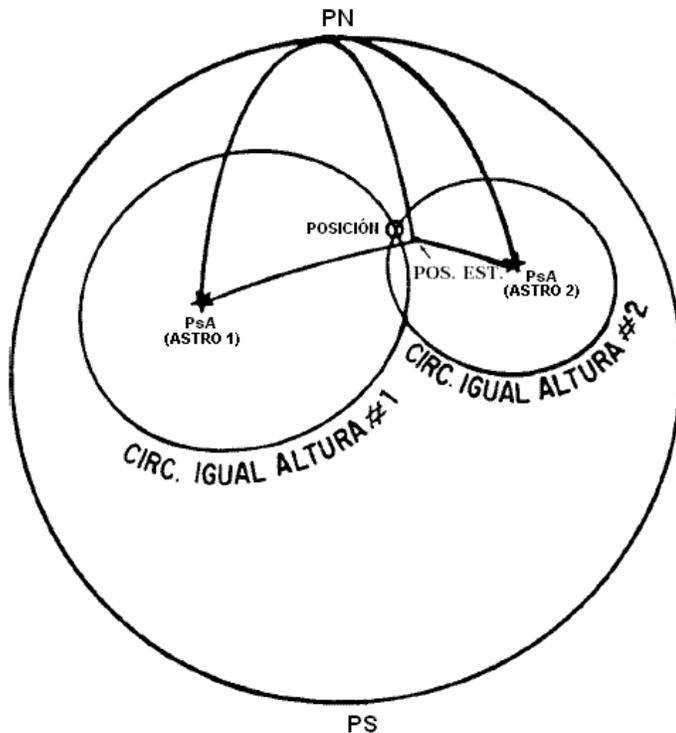
*Propiedad fundamental:* la circunferencia de altura es perpendicular al vertical del astro en el punto de observación.

### **Posición Astronómica:**

Observando dos astros y trazando las circunferencias de alturas en torno dos respectivos puntos astrales, las dos circunferencias, normalmente, se cruzan en dos puntos y la posición del observador estará en una de las intersecciones, probablemente la más próxima de la posición estimada del buque en el instante de la observación.

Este método solo sería práctico para astros con alturas iguales o superiores a  $87^\circ$ , pues, en esta situación,  $h = 87^\circ$  y  $z = 90^\circ - h = 90^\circ - 87^\circ = 3^\circ = 180$  millas, lo que sería una distancia razonable para ser usada como radio de las circunferencias de posición, a ser trazadas en una carta de pequeña escala.

## POSICIÓN ASTRONÓMICA (INTERSECCIÓN DE LAS CIRCUNFERENCIAS DE ALTURAS IGUALES)



### Ecuación de la Circunferencia de Altura:

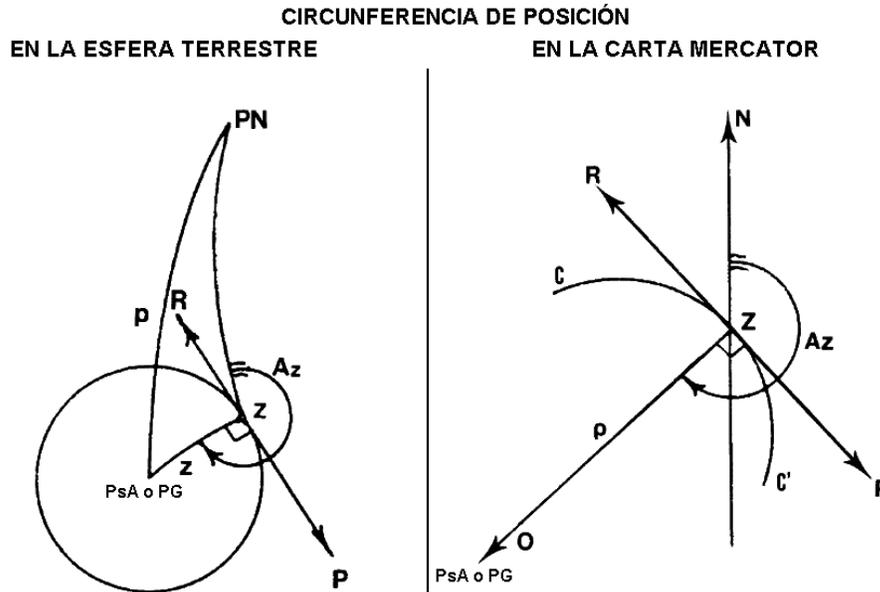
$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos (t \text{ Greenwich} - \lambda)$$

Variando la  $\varphi$  voy obteniendo sucesivos  $\lambda$  y de ésta forma, ploteando los diferentes puntos puedo trazar la circunferencia de altura.

### Curva de Altura:

Es la representación de una porción de la circunferencia de altura en la carta Mercator. Se representa el segmento que se encuentra próximo a la posición estimada del buque.

Una tangente a la curva de altura en un punto dado será perpendicular a la proyección del vertical del astro, y por lo tanto perpendicular al Azimut verdadero del punto astral.



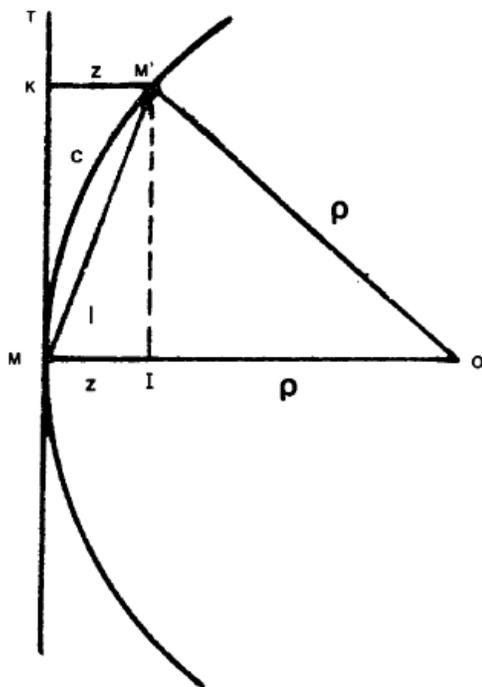
### **Recta de Altura:**

Al navegar siempre puedo saber cual es mi posición estimada ( $P_e$ ); y si armo un círculo de error tomando los márgenes máximos de error que pueden haber afectado mi estima me voy a asegurar que me encuentre dentro de ese círculo.

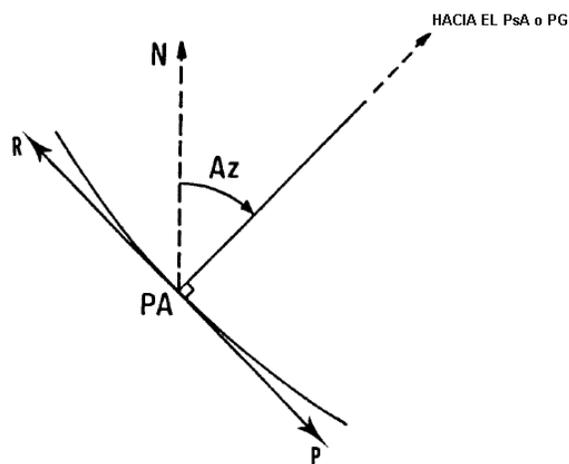
Si a la vez trazo una circunferencia de altura, entonces me encontraré sobre la porción de circunferencia de altura que se encuentra dentro del círculo de error.

Como una herramienta para facilitar el trazado de mi línea de posición, sustituyo el tramo de circunferencia de altura antes mencionado por un arco de loxodromia tangente a la circunferencia en el punto determinante. Éste arco de loxodromia se verá representado en la carta Mercator como una recta. El punto determinante se encuentra en la intersección de la circunferencia de altura y la proyección del vertical del astro, que es el Azimut verdadero. La loxodromia se transformará en una línea de posición. El error de posicionarse sobre la curva de altura o sobre la recta de altura no es apreciable (0.1 nm) para hasta 30 nm de distancia del vertical del astro y sigue siendo pequeño ( $< 1.0$  nm) para hasta 55 nm.

Para mantener éste rango de error la altura de los astro elegidos para éste procedimiento no debe ser mayor de  $65^\circ$ .



TRAZADO DE LA RECTA DE ALTURA



### Método de resolución de Saint-Hilaire:

Desde el punto de vista práctico es necesario resolver el problema del trazado de la recta de altura en la carta Mercator sin emplear el punto astral, ya que éste generalmente se encontrará en zonas alejadas de la situación del buque, y por lo tanto fuera de la carta que se está utilizando.

Éste método consiste en situar el punto determinante, por donde pasará la recta de altura, ayudándose de la altura estimada del astro a ser observado, altura que calculo mediante el Almanaque Náutico y las diferentes tablas; y la altura verdadera de dicho astro, la cual la mido con el sextante y le realizo las correcciones correspondientes.

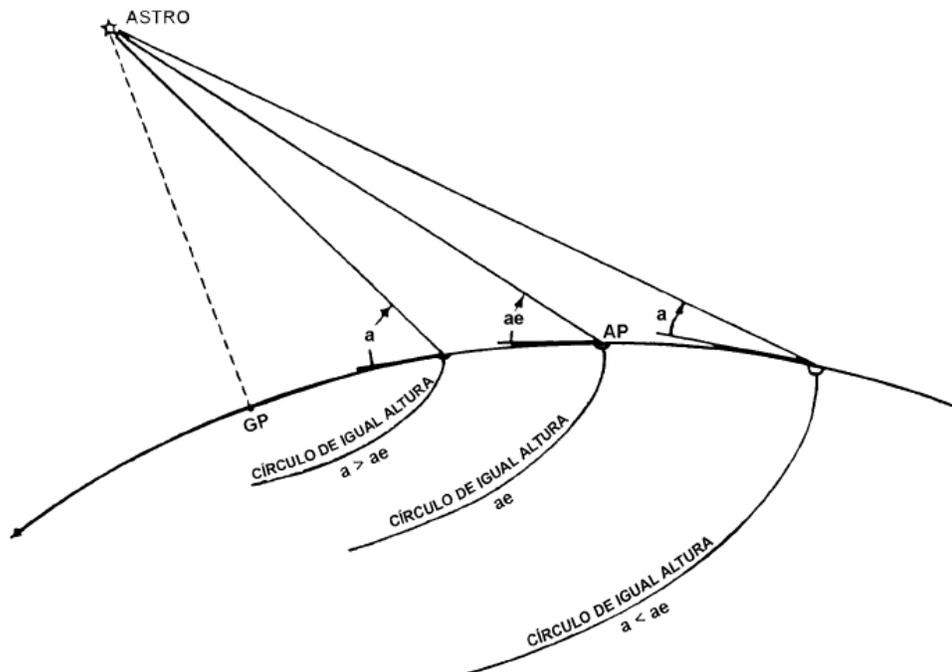
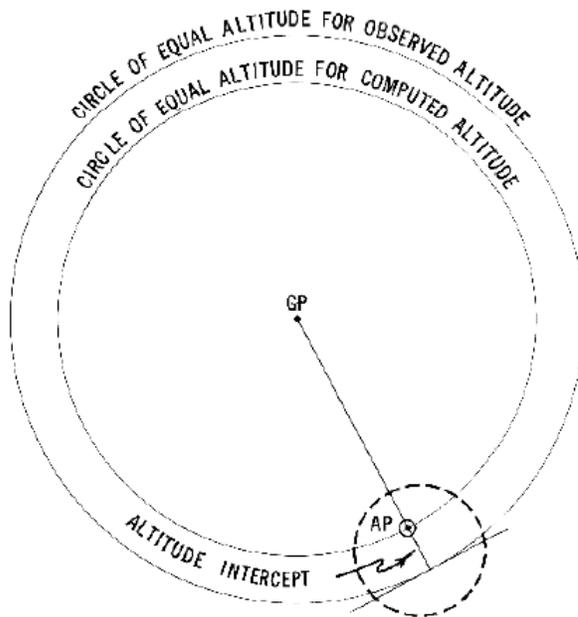
El radio de la circunferencia de altura, ya sea la estimada o la verdadera, es igual a la distancia entre el punto astral y el punto de observación y equivale a la distancia zenital ( $z$ ). Además, sé que la recta de altura pasará por el punto determinante, que se encontrará en la intersección del Azimut del astro y de la circunferencia verdadera. Entonces sabiendo la diferencia entre  $ze$  (distancia entre el punto astral y mi posición estimada) y  $zv$  podré trazar la circunferencia de altura verdadera partiendo del punto estimado.

Por otro lado, si yo estimo que estoy en un determinado punto y calculo la altura con la que vería un astro desde ese punto ( $h_e$ ) y luego mido la altura verdadera de dicho astro ( $h_v$ ) voy a tener seguramente una diferencia entre esas dos alturas ( $\Delta h$ ).

$$z_e = 90 - h_e \quad \text{y} \quad z_v = 90 - h_v$$

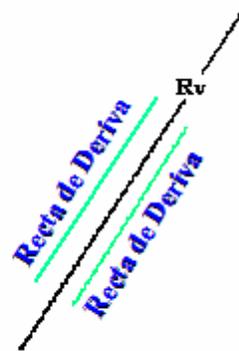
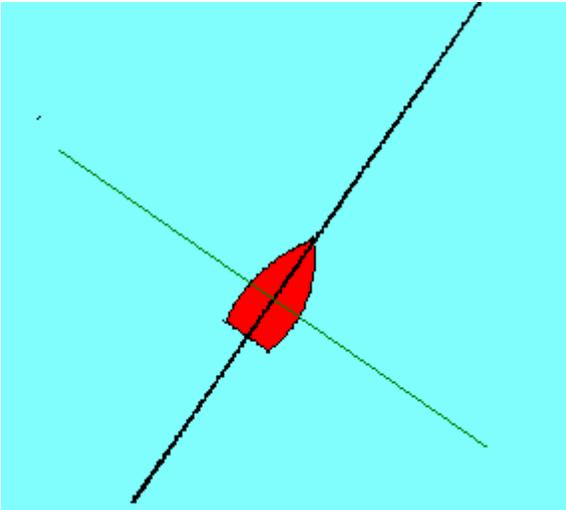
$$z_e - z_v = 90 - h_e - 90 + h_v$$

$$z_e - z_v = h_v - h_e = \Delta h = \Delta z$$



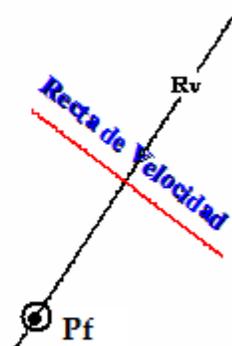
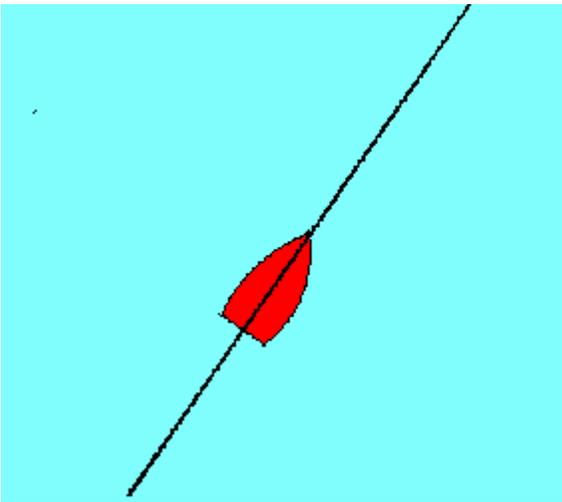
## Recta de deriva:

Si tengo una recta de posición dada por un astro que tiene  $A_v$  perpendicular a mi rumbo, la línea de posición resultante será paralela a mi derrota. Esta situación me dará una idea de la deriva que tiene mi buque al comparar el rumbo estimado con la línea de posición así obtenida.



## Recta de velocidad:

Si la recta de posición me la da un astro que se encuentre a mi proa o mi popa, la línea de posición será perpendicular a mi rumbo y por lo tanto si comparo mi última fija con mi recta de posición podré saber verdaderamente a la velocidad que recorrí dicho tramo.



**Recta de seguridad:**

Es cuando mi línea de posición es paralela a la costa o a una línea de peligro.

**Recta de recalada:**

Si la línea de posición pasa por un punto notable de la costa, sé que poniendo ese rumbo me encontraré con dicho punto al acercarme a la costa.

**Recta de guía:**

Es una recta que me guía y me da pautas a la hora de seguir la derrota planificada; por ejemplo saber la distancia que me queda por navegar antes de realizar una caída y evitar un peligro para la navegación.

**Errores que pueden afectar a la recta:**

Los hay sistemáticos y accidentales.

Sistemáticos: imperfecciones en el sextante y su rectificad; mala determinación del error de índice; en depresión por valores anormales en la atmósfera.

Accidentales: de lectura en el momento particular de tomarla; de colimación, por tangenteo imperfecto, observación del astro fuera del centro del retículo, por imagen del astro poco nítida, por falso horizonte, por mar gruesa, por viento; error en la depresión al tener mucho mar que me varía la elevación del observador a cada instante.

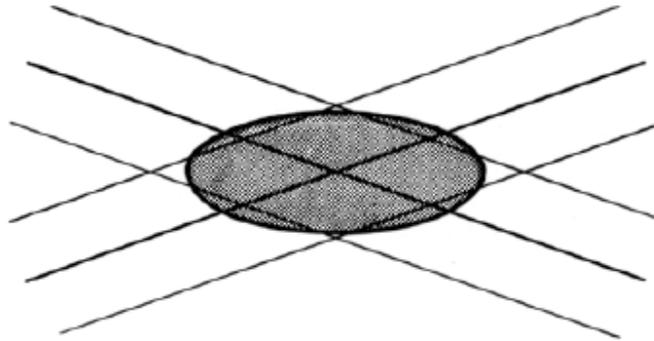
Para reducir los errores accidentales se deben tomar series de alturas (3 a 5) de cada astro, eliminando la o las mediciones que no se corresponden con la proporción de incremento o disminución y luego realizo un promedio con los valores restantes.

**Errores que afectan la recta de altura:**

Variación de  $\Delta h$ : el efecto es un desplazamiento sobre el  $A_v$ , pero con dirección paralela a la recta sin error. Al tomar en cuenta el error me queda una faja y no una recta.

Error en el estado absoluto: al estar implícito en el cronómetro, el error me afectará a todas las líneas de posición que tome hasta que lo corrija. Las rectas se me desplazarán ala E o al W. Para reducir éste error a cero debo tomar la altura del astro cuando éste tenga Av N o S; entonces la recta de posición tendrá dirección EW y por lo tanto el error será nulo.

Si por el contrario, la altura la tomo cuando el astro tiene Av E o W, el error será máximo. Generalmente se estima que el error máximo es de 2 sec. y al trazar las rectas también me quedarán fajas al considerar el error.

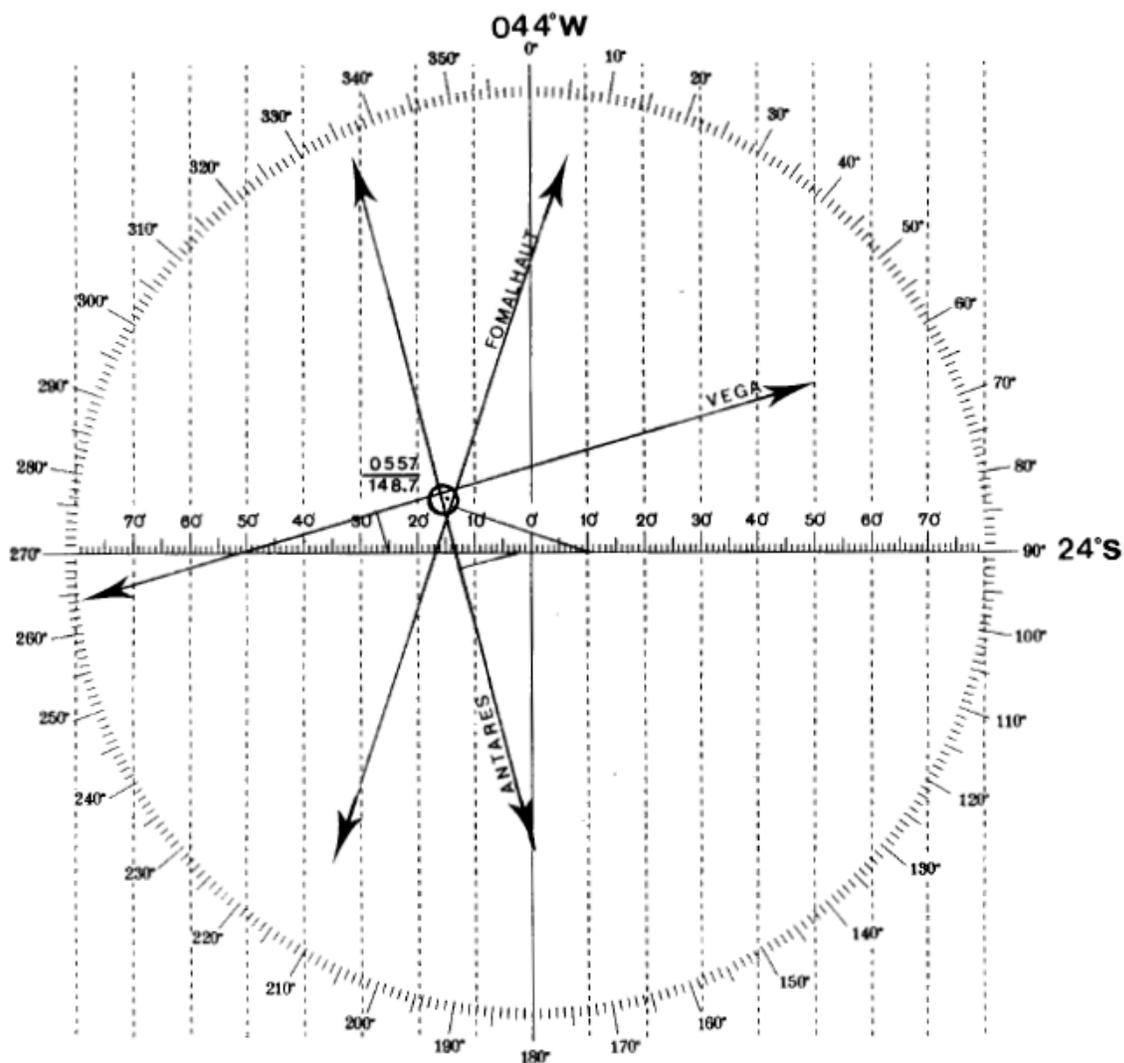


## **Posición por corte de dos o más rectas**

El *punto astronómico* es el punto obtenido por el corte de dos o más rectas. Se puede tomar por el corte de rectas simultáneas (hasta 30 min de diferencia) o se pueden hacer navegar rectas tomadas a diferentes horas.

Po: es el punto observado por rectas simultáneas.

Pt: es el punto por transporte de rectas sucesivas tomadas a diferentes horas.



Para minimizar el error debo buscar dos astros cuyos Av me sean convenientes. Con sus Av perpendiculares es el mejor caso porque me queda la menor zona de incertidumbre.

Regla general: tomar astros cuyos Av se corten con ángulos:

*Máximo aceptable:* 30° a 150°

*Lo más recomendable:* 60° a 120°

*Ideal:* 90°

## Corte de dos circunferencias:

Hay que observar astros cuyas alturas sean próximas a  $90^\circ$  ( $h_o > 87^\circ$ ); en  $\varphi < 25^\circ$  para que la circunferencia no se deforme tanto por la proyección Mercator.

Las coordenadas de los puntos astrales serán:

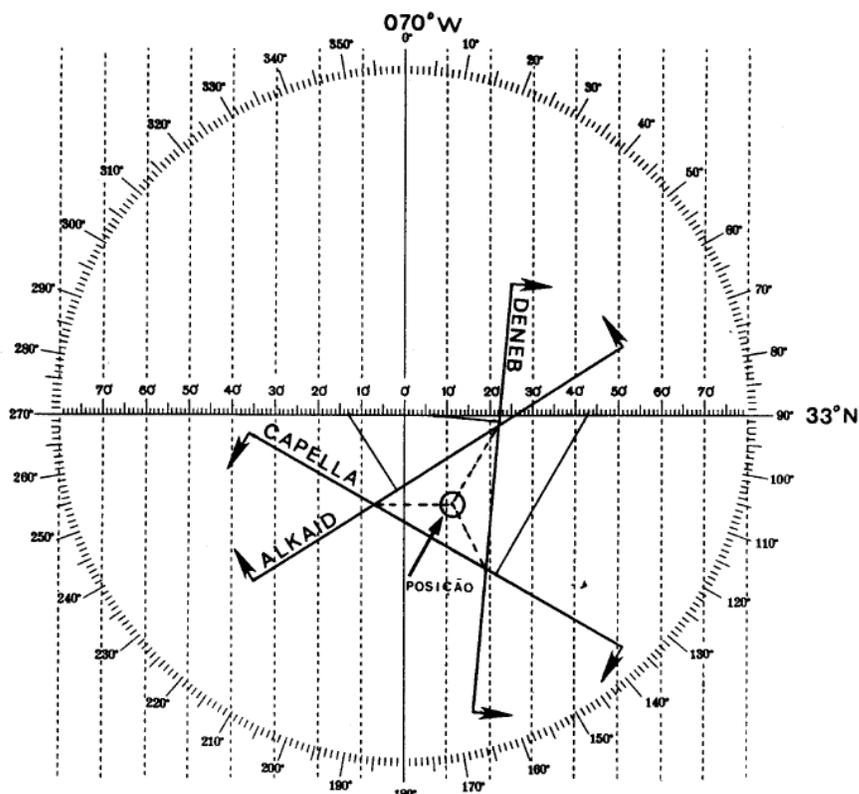
$$\varphi = \delta$$

$$\lambda = t \text{ respecto de Greenwich}$$

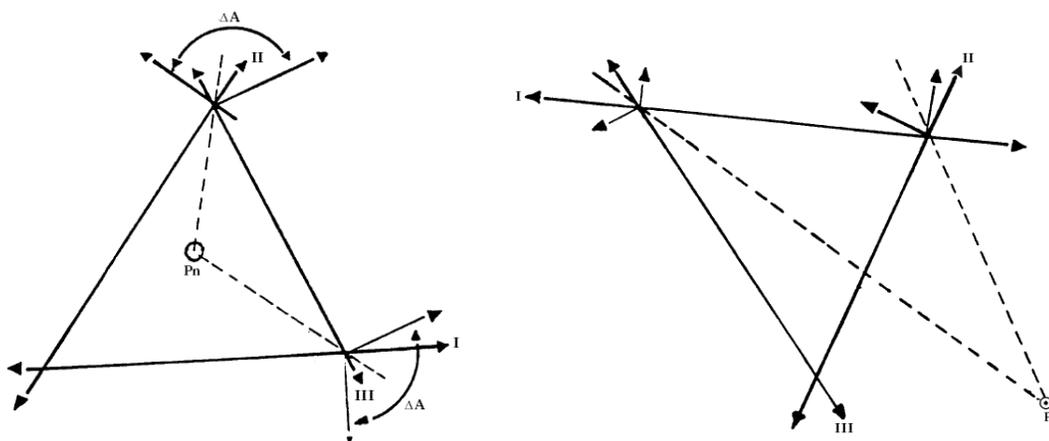
$$\text{El radio de las circunferencias será: } z = 90^\circ - h_v$$

## Obtención de posición por corte de dos o más rectas:

Si puedo tomar la altura de tres astros la mejor condición es que sus Av tengan  $120^\circ$ . El resultado de éste procedimiento será un punto o un triángulo equilátero. En éste último caso la situación queda determinada por el centro del triángulo.



Si las diferencias de los Av no son de  $120^\circ$  el triángulo ya no será equilátero. La obtención de la situación se realiza por las bisectrices del mismo. Si las diferencias de los Av son todas mayores de  $60^\circ$  el método es por bisectrices interiores. Si hay dos diferencias de Av que son de menos de  $60^\circ$  se realiza por bisectrices exteriores al triángulo.



**Bisectriz de altura:**

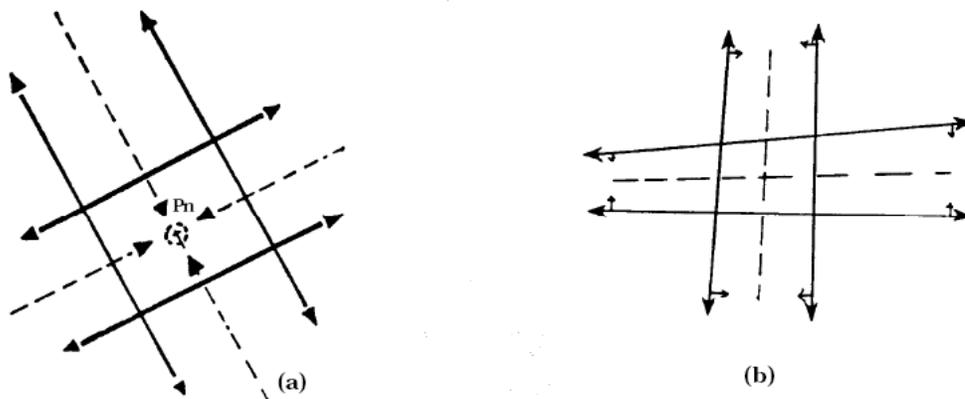
Al tener dos rectas de posición con error sistemático, trazo la bisectriz a ambas y la recta que queda así definida no posee error sistemático ya que éstos se compensan.

**Bisectriz óptima:**

Es cuando los  $\Delta v$  de los astros observados tienen diferencia de  $180^\circ$ . Se traza entonces la mediana a las dos rectas de posición y de éste modo se obtiene la bisectriz óptima.

**Punto óptimo:**

Ésta situación se da cuando los  $\Delta v$  de los astros observados tienen una diferencia de  $90^\circ$  entre sí; trazando entonces dos bisectrices óptimas, el punto óptimo se encuentra en la intersección de éstas dos últimas.



## CÁLCULOS COMPLEMENTARIOS

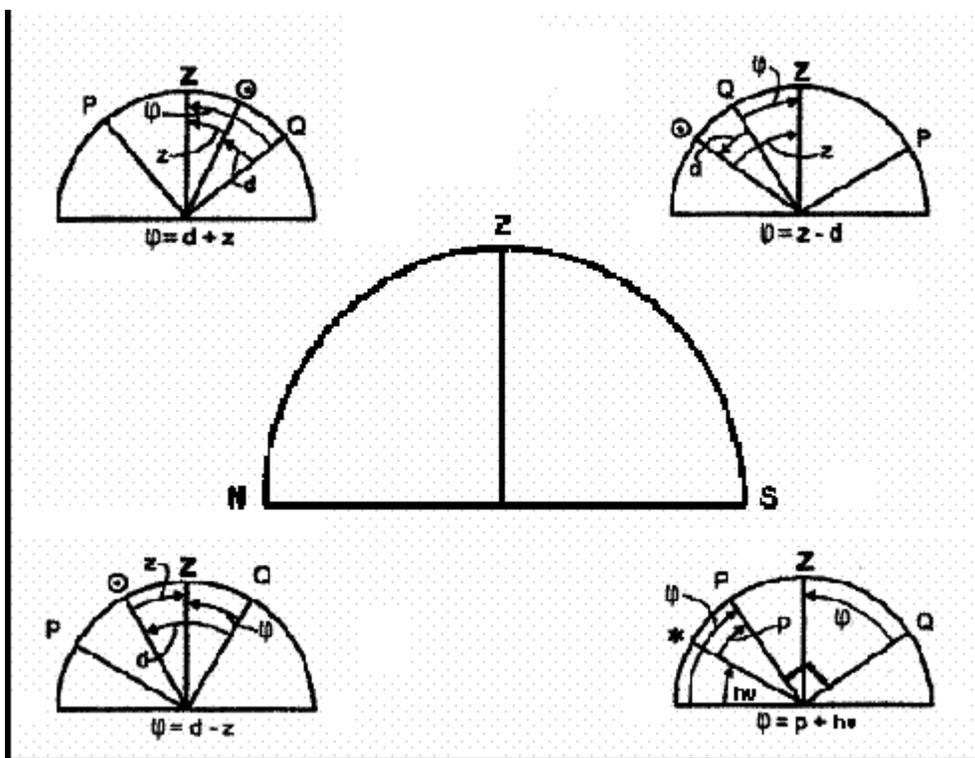
### **Cálculo de la latitud por la altura meridiana:**

Cuando un astro cruza el Meridiano del Observador, es posible calcular la latitud, tomando la altura de culminación del referido astro dado que el Meridiano del lugar es simultáneamente un Círculo Vertical y un Meridiano Celeste.

El Triángulo Astronómico se convierte en una Línea y un sencillo cálculo permite obtener la Latitud Meridiana ( $\phi_m$ ).

En ese instante el Polo Elevado, el Zenit y el Astro se encuentran alineados; el  $AHL = 0^\circ$  y el punto astral del Sol tiene como Longitud la misma del Observador.

- Si la Longitud es al Oeste, el AHG tiene un valor igual ( $AHG = \lambda$ ).
- Si la Longitud es al Este, el AHG tiene un valor igual al suplemento correspondiente ( $AHG = 360^\circ - \lambda$ ).



Si las distancias zenitales ( $z$ ) meridianas de paso superior observadas tienen cara al N se les da signo positivo (+) y el signo negativo (-) a las observadas cara al S la siguiente operación algebraica determinará la  $\phi$  del observador:  $\phi = \delta - z$

## **Cálculo de la hora de paso del sol por el meridiano superior del observador:**

Lo más usual en navegación es tomar la altura del sol al instante de su pasaje por el meridiano; por lo cual el conocimiento de la hora de paso es de gran importancia. Para esto hay cuatro métodos:

- Tablas de paso del sol por el meridiano de Greenwich
- Método del AHG
- Método de la ecuación de tiempo
- Método de las aproximaciones sucesivas

## **Cálculo de la hora de paso de las rectas de velocidad y deriva:**

### Recta de velocidad:

Con los datos de Latitud estimada y declinación del astro y en base al Ángulo Azimutal, se puede establecer el Ángulo en el Polo (t) en el caso de las Tablas de la Publicación HO 214 o el Ángulo Horario Local del astro de las Tablas de la Publicación NIMA 229.

Luego de obtener el Ángulo en el Polo (t) o el Ángulo Horario Local, existen dos métodos para obtener la Hora de Ocurrencia de la Recta de Velocidad:

- *Método Directo* usando los datos del Almanaque Náutico.
- *Método Abreviado o Indirecto*, sin usar el Almanaque Náutico, si se ha determinado con anticipación la Hora de Paso del Astro por el Meridiano del Observador.

### Recta de deriva:

Para el caso de un astro, se puede calcular fácilmente la Hora de la ocurrencia del fenómeno.

A partir del Rumbo conocido, se pueden establecer los dos Azimutes posibles ( $Az_v1 = R_v + 90^\circ$  o  $Az_v2 = R_v - 90^\circ$ ), en base a ellos se pueden determinar los dos Ángulos Azimutales probables, teniendo en cuenta la Latitud del Observador.

Los Ángulos Azimutales obtenidos, ambos tienen como origen el Punto Cardinal de igual signo que la Latitud (N o S) y el sentido en uno de los casos, es al Este (Ángulo en el Polo al E) y en el otro, es al Oeste (Ángulo en el Polo al W).

Con los datos de Latitud estimada y declinación del astro y en base al Ángulo Azimutal, se puede establecer el Ángulo en el Polo ( $t$ ) en el caso de las Tablas de la Publicación HO 214 o el Ángulo Horario Local del astro de las Tablas de la Publicación NIMA 229.

## **Cálculo de paso de la Luna y de los planetas por el meridiano superior del observador:**

Disponiendo de una tabla que proporcione la UTC de paso por el meridiano de Greenwich, se puede determinar la HML de paso por cualquier meridiano, efectuando la correspondiente interpolación.

En longitudes W la interpolación se debe hacer entre la fecha dada y la siguiente; en longitudes E, entre la fecha dada y la anterior.

Estas tablas se encuentran en el Almanaque Náutico para la Luna y los planetas.

## **Orto, ocaso y crepúsculos:**

Orto y ocaso: se denomina orto de un astro al fenómeno de su aparición sobre el horizonte del observador y ocaso al fenómeno de ocultación.

Los ortos y ocasos verdaderos tienen lugar en el instante en que el centro del astro se encuentra sobre el horizonte geocéntrico o verdadero del observador ( $h_v = 0$ ). Los aparentes ocurren en el instante en que el limbo superior se encuentra sobre el horizonte.

Crepúsculos: por efecto de los fenómenos de refracción y difusión de la luz en la atmósfera, la claridad del día comienza antes de la aparición del sol y dura cierto tiempo después de su desaparición bajo el horizonte; éste fenómeno se llama crepúsculo, distinguiéndose como matutino si corresponde a la mañana y vespertino si ocurre por la tarde.

Crepúsculo civil: por la tarde es entre el ocaso aparente del sol y el instante en que su depresión es de  $6^\circ$ ; en éste momento empiezan a verse las estrellas de primera magnitud situadas a poniente. Por la mañana entre los  $6^\circ$  de depresión y el orto aparente del sol; es cuando desaparecen las estrellas de primera magnitud situadas en levante.

Crepúsculo Náutico: comprendido entre el orto y ocaso aparentes del sol y la altura depresiva igual a  $12^\circ$ . Por la mañana es el momento en que empieza a notarse con nitidez el horizonte y por la tarde es el momento en que comienza a dejarse de distinguir con claridad.

Crepúsculo Astronómico: es el tiempo total transcurrido, por la tarde, entre el ocaso aparente del sol y el momento en que tiene una depresión de  $18^\circ$ . Por la mañana, es el período entre el momento en que tiene una altura de  $18^\circ$  y el instante del orto aparente del sol.

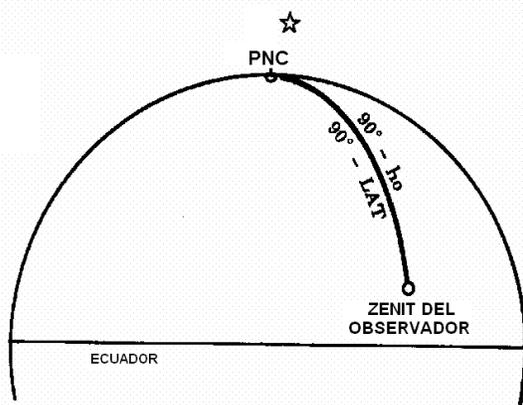
Duración del crepúsculo: la duración del crepúsculo depende de la inclinación del paralelo de declinación respecto al horizonte, que es igual a la  $co\phi$ .

En el Ecuador se tiene la mínima duración del crepúsculo, y al aumentar la  $\phi$  va creciendo la duración. Cuando el paralelo de declinación del sol no desciende más de  $18^\circ$  bajo el horizonte se llega al crepúsculo continuo ( $\phi = 90^\circ - (\delta - 18^\circ)$  con  $\phi$  y  $\delta$  de igual signo.) cuando el paralelo de declinación del sol es tangente al círculo de depresión de  $-55'$  se tiene sol de medianoche; en este caso el sol no se pone y en el momento de la medianoche el astro se halla bajo el horizonte, con el limbo superior tangente a éste.

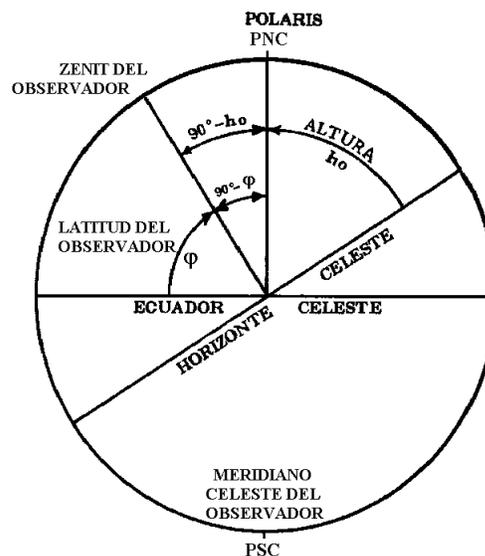
El Almanaque Náutico tiene tabuladas las HML del orto y ocaso del sol y de los crepúsculos civil y náutico para el meridiano de Greenwich para  $\phi$  entre  $72^\circ$  N y  $60^\circ$  S.

## Latitud por la estrella polar (Polaris)

Se llama así porque se encuentra casi directamente sobre el Polo Norte. La co-latitud y la co-altura son iguales y se superponen. Como resultado de ello, cuando en el Hemisferio Norte se puede observar Polaris, la altura de Polaris es equivalente a la latitud del observador.



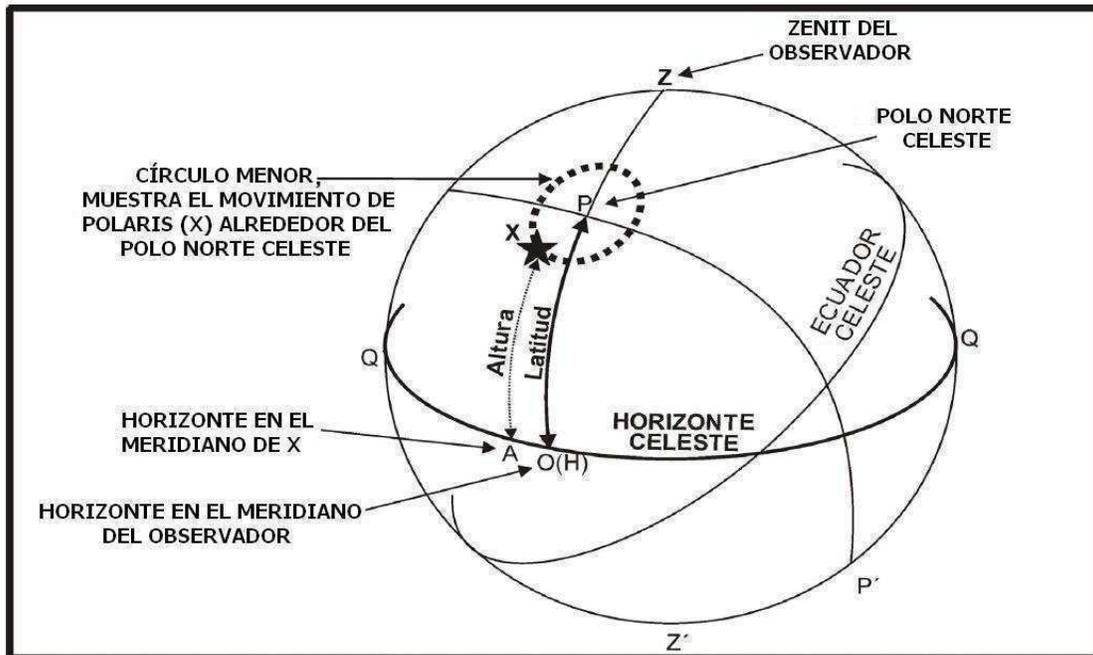
TRIÁNGULO ASTRONÓMICO PARA POLARIS



TRIÁNGULO CELESTE PARA POLARIS (Vista Lateral)

En realidad Polaris y el Polo Norte Celeste no coinciden exactamente; Polaris se desplaza en un círculo menor a menos de  $1^\circ$  con respecto al Polo Norte Celeste.

Para tener en cuenta ello, se proporciona una tabla de corrección en el Almanaque Náutico.



## MOVIMIENTO DIARIO DE POLARIS ALREDEDOR DEL POLO NORTE CELESTE

La altura verdadera de la Estrella Polar se corrige por tres aspectos del movimiento diario que dependen del Ángulo Horario Local, por la fecha de la observación y por la altura de la estrella. Por esta razón se realizan tres correcciones que pueden ser positivas o negativas:  $a_0$ ,  $a_1$  y  $a_2$ .

**$a_0$** : que es función únicamente del Ángulo Horario Local de la estrella polar. En realidad, en tanto, se sabe que, para la estrella polar, como para cualquier otro astro,  $AHL^* = AHL\gamma + AHS^*$ . Así, la corrección está tabulada en función del Ángulo Horario Local del Punto Vernal ( $AHL\gamma$ ), expresando el valor de ambos términos de la ecuación que da la corrección total, calculados para valores medios del AHS y Declinación de la estrella polar y para una Latitud media de  $50^\circ$  N, ajustada por la adición de una constante igual a  $58,8'$ , para eliminar valores negativos. La corrección  **$a_0$**  representa el 96–98% de la corrección total a ser aplicada a la altura de Polaris.

**a1:** que es una función del  $AHL \gamma$  y de la Latitud y representa el exceso del valor del segundo término de la ecuación que da la corrección total, sobre su valor medio para la Latitud de  $50^\circ N$ , aumentada por una constante igual a  $0,6'$ , para volverla siempre positiva. Como se ve, la corrección  $a1$  crece a medida que aumenta la Latitud del observador.

**a2:** que es una función del  $AHL \gamma$  y de la fecha (mes) y representa la corrección al primer término de la ecuación que da la corrección total, relativa al alejamiento de Polaris de su posición media adoptada ( $AHS = 323^\circ 39'$  y  $Dec = 89^\circ 14,2' N$ , en 1993), aumentada de una constante igual a  $0,6'$ , para eliminar valores negativos.

## PROCEDIMIENTOS PARA REALIZAR LOS CÁLCULOS

### **Cálculo del sol en la meridiana:**

#### Tablas de paso del sol por el meridiano de Greenwich:

1. TML: tiempo medio local, es la hora en que el sol verdadero pasará por el meridiano en el que me encuentro. Lo averiguo en el almanaque náutico.
2.  $\lambda(h)$ : paso mi  $\lambda$  a horas, minutos y segundos.
3.  $TMG = TML + \lambda(h)$ : tiempo medio Greenwich. Sumo el TML y la  $\lambda(h)$  para obtener la hora UTC en que el Sol Verdadero pasará por el meridiano superior del lugar donde me encuentro.
4. DZ: distancia zonal. Diferencia de husos horarios entre el punto en que me encuentro y Greenwich.
5.  $TZ = TMG + DZ$ : hora legal del lugar en el que me encuentro a la que el sol pasará por el meridiano superior.

#### Método del AHG:

1. Transformo mi  $\lambda$  en AHG; si  $\lambda$  signo W entonces  $\lambda = AHG$ ;  
si  $\lambda$  E entonces  $AHG = 360^\circ - \lambda$
2. Entro al Almanaque Náutico por el valor inferior más próximo al AHG hallado en el día de la fecha. Anoto la hora entera UTC que me da el almanaque.
3. Transformo la diferencia de grados entre el AHG hallado y el del Almanaque en minutos y segundos y se la sumo a la hora entera UTC anotada en 2.; obteniendo la hora UTC del pasaje del sol por el meridiano.
4. A la hora UTC hallado en 3. le aplico la diferencia horaria correspondiente al HH donde me encuentro y obtengo la HML del pasaje del sol por el meridiano.

## Método de la ecuación de tiempo:

1. Transformo la  $\lambda$  del lugar donde me encuentro en horas, minutos y segundos.
2. A la HVL (Hora Verdadera Local) del paso del sol por el meridiano (1200) le aplico la  $\lambda$  en horas; recordando que si estoy al E debo restar y si estoy al W de Greenwich debo sumar. Obtengo así la HVG (Hora Verdadera de Greenwich) de paso del sol por mi meridiano.
3. A la HVG hallada en 2. le aplico la ecuación de tiempo correspondiente del almanaque náutico, obteniendo la UTC del mediodía verdadero local.
4. A la UTC del mediodía verdadero local le aplico la diferencia de horas correspondiente al HH y obtengo así la HML del mediodía verdadero.

## Método de las aproximaciones sucesivas:

1. Se determina la hora de paso del sol para la Pe de las 1200.
2. Para la hora de paso hallada en 1. se determina una nueva Pe`
3. Se calcula la hora de paso del sol para Pe` y ésta se considera cómo la hora definitiva de paso del sol por el meridiano del observador.

Si la primera aproximación es muy cercana a las 1200 no es necesaria la segunda aproximación.

## **Recta de deriva y recta de velocidad:**

### Recta de deriva:

#### *MÉTODO DIRECTO:*

1. Con el AHL y la Longitud Estimada se calcula el valor del Ángulo Horario de Greenwich (AHG) que debe tener el astro a observar.
2. Con el dato del AHG, se ingresa en forma inversa en el Almanaque Náutico para conocer, a que Hora Media de Greenwich (HMG) se produce: Se determina primero la Hora entera que tenga un AHG menor y obtiene la diferencia de Ángulo Horario de Greenwich. La diferencia de Ángulo Horario de Greenwich es ajustada por las correcciones que correspondan por ( $v$ ) y/o ( $d$ ) y luego se buscan los minutos y segundos en las páginas de incrementos y correcciones que correspondan a dicho valor.

3. Obtenida la Hora Media de Greenwich (HMG) se le vincula al DZ algebraicamente con signo inverso, para obtener la Hora del Huso o Tiempo de Zona (TZ).
4. A la Hora del Huso, se le aplica el Estado Absoluto (EA) con signo inverso para obtener la Hora Media Local (HML o TML) del cronómetro, en que se producirá la Recta de Deriva.

## *MÉTODO ABREVIADO O INDIRECTO*

1. Con el Ángulo Horario Local (AHL) se obtiene el Ángulo en el Polo (t) expresado en grados: Si el AHL es menor de  $180^\circ$ , el Ángulo en el Polo (t) tiene el mismo valor ( $t = \text{AHL}$ ) y su sentido es Oeste (W). Si el AHL es mayor de  $180^\circ$ , el Ángulo en el Polo (t) tiene un valor suplementario ( $t = 360^\circ - \text{AHL}$ ) y su sentido es Este (E).
2. El Ángulo en el Polo (t) expresado en grados de arco, se transforma en tiempo, mediante la tabla de conversión correspondiente.
3. Teniendo previamente, la Hora del Pasaje del Astro (normalmente el Sol) por el Meridiano del Observador, se calcula la Hora la Hora de ocurrencia de la Recta de Deriva:
  - Si el Ángulo en el Polo (t) es W, la Hora de ocurrencia de la Recta de Deriva es igual a la Hora del Pasaje por el Meridiano más el valor del Ángulo en el Polo (t) expresado en horas y minutos.
  - Si el Ángulo en el Polo (t) es E, la Hora de ocurrencia de la Recta de Deriva es igual a la Hora del Pasaje por el Meridiano menos el valor del Ángulo en el Polo (t) expresado en horas y minutos.

## Recta de velocidad:

### *MÉTODO DIRECTO*

1. Con el AHL y la Longitud Estimada se calcula el valor del Ángulo Horario de Greenwich (AHG) que debe tener el astro a observar.
2. Con el dato del AHG, se ingresa en forma inversa en el Almanaque Náutico para conocer, a que Hora Media de Greenwich (HMG) se produce: Se determina primero la Hora entera que tenga un AHG menor y obtiene la diferencia de

Ángulo Horario de Greenwich. La diferencia de Ángulo Horario de Greenwich es ajustada por las correcciones que correspondan por ( $v$ ) y/o ( $d$ ) y luego se buscan los minutos y segundos en las páginas de incrementos y correcciones que correspondan a dicho valor.

3. Obtenida la Hora Media de Greenwich (HMG) se le vincula al DZ algebraicamente con signo inverso, para obtener la Hora del Huso o Tiempo de Zona (TZ).
4. A la Hora del Huso, se le aplica el Estado Absoluto (EA) con signo inverso para obtener la Hora Media Local (HML o TML) del cronómetro, en que se producirá la Recta de Velocidad.

## *MÉTODO ABREVIADO O INDIRECTO*

1. Con el Ángulo Horario Local (AHL) se obtiene el Ángulo en el Polo ( $t$ ) expresado en grados: Si el AHL es menor de  $180^\circ$ , el Ángulo en el Polo ( $t$ ) tiene el mismo valor ( $t = \text{AHL}$ ) y su sentido es Oeste (W). Si el AHL es mayor de  $180^\circ$ , el Ángulo en el Polo ( $t$ ) tiene un valor suplementario ( $t = 360^\circ - \text{AHL}$ ) y su sentido es Este (E).
2. El Ángulo en el Polo ( $t$ ) expresado en grados de arco, se transforma en tiempo, mediante la tabla de conversión correspondiente.
3. Teniendo previamente, la Hora del Pasaje del Astro (normalmente el Sol) por el Meridiano del Observador, se calcula la Hora la Hora de ocurrencia de la Recta de Velocidad:
  - Si el Ángulo en el Polo ( $t$ ) es W, la Hora de ocurrencia de la Recta de Velocidad es igual a la Hora del Pasaje por el Meridiano más el valor del Ángulo en el Polo ( $t$ ) expresado en horas y minutos.
  - Si el Ángulo en el Polo ( $t$ ) es E, la Hora de ocurrencia de la Recta de Velocidad es igual a la Hora del Pasaje por el Meridiano menos el valor del Ángulo en el Polo ( $t$ ) expresado en horas y minutos.

## **Cálculo del paso de la Luna y los planetas por el meridiano superior del observador:**

### Tablas del paso de la Luna:

1. Anoto la hora del paso por el meridiano en la fecha de la observación y en la fecha posterior.
2. Hago la diferencia entre las horas de paso obtenidas en 1.
3. En la tabla II del Almanaque Náutico averiguo el valor correspondiente para la  $\lambda$  más cercana a mi posición y la diferencia en minutos de las horas de paso.
4. A la hora de paso correspondiente al día de la observación le aplico el valor obtenido en 3. Al aplicar éste valor lo sumo si mi  $\lambda$  es W y lo resto si mi  $\lambda$  es E. Obtengo entonces la HML.
5. A la HML le aplico la diferencia de  $\lambda$  entre el meridiano central del HH y mi posición y transformo la HML en HL.

### Tablas de paso de los planetas:

1. Busco en la página diaria del Almanaque Náutico la hora UTC del pasaje por el meridiano de Greenwich.
2. A ésta UTC le aplico mi  $\lambda$  en horas y minutos y obtengo la hora UTC del pasaje por mi posición.
3. A ésta última hora UTC le aplico la corrección por la diferencia de HH y obtengo la HML del pasaje del astro por el meridiano de mi posición.

## **Cálculo de la latitud por la meridiana:**

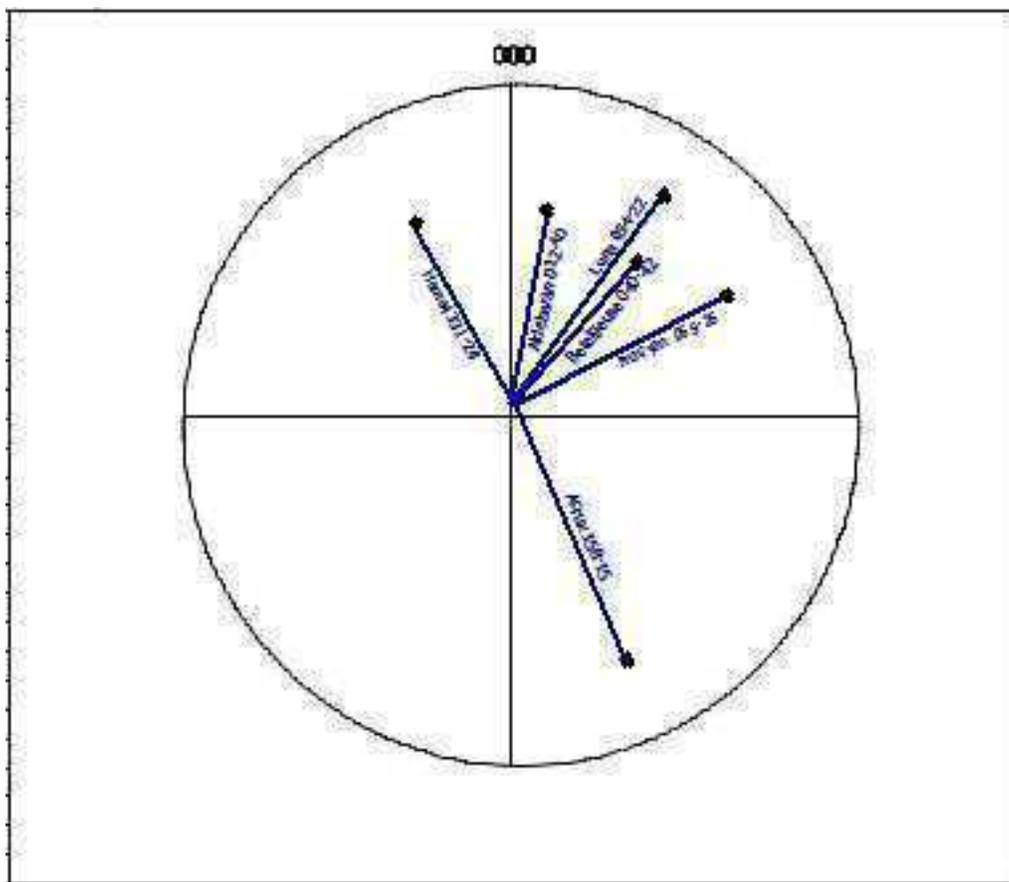
1. Se calcula la hora del pasaje del sol por el meridiano del observador, que será la hora de culminación.
2. Se realiza la observación del astro ( $h_o$ ) y se corrige la altura hasta obtener la altura verdadera ( $h_v$ ).
3. Se calcula la distancia zenital  $z = 90^\circ - h_v$  y se le asigna valor positivo si el astro tiene cara al N y valor negativo si tiene cara al S
4. Se busca la  $\delta$  para el día y la hora de la observación.
5. Se aplica la siguiente fórmula:  $\varphi = \delta - z$

## **Cálculo de las horas del orto y el ocaso aparentes del sol y del principio y fin del crepúsculo:**

1. Busco en el almanaque náutico la hora UTC (HML Greenwich) para el fenómeno que deseo observar.
2. Paso la  $\lambda$  de mi posición a horas, minutos y segundos.
3. Aplico mi  $\lambda$  en horas a la hora UTC del fenómeno y obtendré la hora UTC de dicho fenómeno en mi posición.
4. A la última hora UTC hallada en 3. le aplico la diferencia horaria correspondiente a mi HH y obtendré la HML del fenómeno para mi posición.

## **Plan de observación:**

1. Busco en el Almanaque Náutico el valor del  $AHG\gamma$  para la hora entera UTC del crepúsculo náutico o civil según corresponda y luego corrijo por los minutos y segundos obteniendo el  $AHG\gamma$ .
2. Al  $AHG\gamma$  le aplico mi  $\lambda$  y obtengo el  $AHL\gamma$ .
3. Oriento el Star Finder según el  $AHL\gamma$  obtenido sobre disco de  $\phi$  más cercano a mi actual posición.
4. Dibujo un plan de observación, teniendo en cuenta solo a las estrellas de primera magnitud. Oriento cada astro según su  $Av$ ; con el zenit representado en el centro de la figura, coloco los astros más cerca del centro cuanto mayor sea su altura, según el siguiente esquema:



## Latitud por la polar:

1. Se observa la altura del astro ( $h_s$ ) y se corrige hasta obtener la  $h_v$ .
2. Se calcula el  $AHL\gamma'$  para la hora y la fecha de la observación de la polar.
3. Se ingresa a la primera tabla del almanaque náutico con el  $AHL\gamma'$  y se obtiene el valor  $a_0$ .
4. Se ingresa a la segunda tabla con la  $\phi$  más próxima y se obtiene el valor  $a_1$ .
5. Se ingresa a la tercera tabla con el mes del año en que se realizó la observación obteniendo el valor  $a_2$ .
6. Finalmente  $\phi = h_v + a_0 + a_1 + a_2 - 1^\circ$

## Cálculos previos al trazado de una recta de altura

Fecha: Fecha UTC de la observación del astro. Fecha con la que entro al almanaque.

---

HC: Hora en el cronómetro del buque al momento de la observación.

Ea: Estado absoluto; diferencia en minutos y segundos entre el cronómetro del buque y la hora UTC. Puede ser positivo o negativo.

HH: Diferencia de horas entre el huso horario en que se lleva el cronómetro del buque y la hora UTC.

HMG: Hora media de Greenwich (UTC) de la observación. Hora con la que entro al almanaque.

---

$\delta$ : Declinación del astro para la fecha y hora entera UTC. Se encuentra en el almanaque náutico.

C $\delta$ : Corrección declinación. Se encuentra en las páginas de minutos del almanaque; se ingresa a la tabla correspondiente a los minutos de la observación y se busca el valor correspondiente para el  $d$  indicado en la página de la fecha UTC. Se aplica a Sol, Luna y planetas. Puede ser positivo o negativo, dependiendo de cómo varíe la  $\delta$  en un intervalo cercano a la observación.

$\delta c$ : Declinación corregida; valor definitivo luego de aplicar la C $\delta$ .  
Con ésta  $\delta$  entraré en la tabla HO 219 o análoga.

---

AHS: Ángulo Horario Sidéreo; ángulo respecto a  $\mathcal{V}$ , solo estrellas.

AHG: Ángulo Horario de Greenwich; en el caso de las estrellas figura el de  $\mathcal{V}$  y se le suma al AHS; para Sol, Luna y planetas figura el propio para cada hora UTC entera.

ct: Corrección por tiempo; variación del AHG a medida que pasa el tiempo; se encuentra en las páginas de minutos y se busca el valor correspondiente para los minutos y segundos UTC de la observación; se suma.

cv: Corrección para planetas y Luna; se ingresa a la tabla para los minutos UTC de la observación y se busca el valor correspondiente para el  $v$  indicado en la página de la fecha; el signo de la corrección figura en la página de la fecha.

AHGc: Ángulo Horario de Greenwich corregido.

$\lambda_a$ : Longitud asumida del buque. Si es E se le suma al AHGc y si es W se le resta. Se busca un valor que, al realizar la operación, me de un resultado en grados enteros. Es la  $\lambda$  que usaré al plotear.

AHL: Ángulo Horario Local; resultado de la operación  $AHGc \pm \lambda_a$

t: Ángulo en el polo.  $t = AHL$  y signo W si  $AHL < 180$

$t = 360 - AHL$  y signo E si  $AHL > 180$

Con éste t entraré en la tabla HO 219 o análoga.

---

$\varphi_a$ : Latitud asumida. Se asume la  $\varphi$  de grado entero más próximo a la  $\varphi$  estimada. Con ésta  $\varphi$  se entrará en la tabla HO 219 o análoga. Es la  $\varphi$  que usaré al plotear.

---

Z: Ángulo azimutal. Se corrige solo si la variación entre el valor de entrada y el próximo es muy grande y se interpola para el valor de  $\delta$  obtenido antes. Lleva como polo elevado el del hemisferio en el que me encuentro y por signo el mismo que t.

$\Delta v$ : Azimut verdadero. Es el que usaré para el ploteo.

$\Delta d$ : Variación de la altura por declinación. El signo de la corrección dependerá de cómo varíe la ht entre los dos valores tabulados correspondientes a las  $\delta$  más próximas a la obtenida en el almanaque.

ht: Valor de la altura para la  $\delta$  más próxima a la obtenida en el almanaque.

cd: Corrección por declinación. En la tabla de correcciones de partes proporcionales entro por el valor  $\Delta d$  hallado y por la diferencia en minutos y décimas entre la  $\delta$  obtenida en el almanaque y la  $\delta$  con la que hallé ht.

ha: Altura asumida. Es la que uso para hallar la  $\Delta h$ .

---

- hs: Altura sextante; lectura tomada con el instrumento.
- Ci: Corrección de índice; se resta si  $E_i > 0$  y se suma si  $E_i < 0$
- ho: Altura observada; es la que uso para entrar a la tabla de corrección por depresión.
- CD: Corrección por depresión; aplico el valor que me indica la tabla.
- ha: Altura aparente; es la que uso para entrar a las tablas de corrección por refracción o por limbo y paralaje, según corresponda.
- CR: Corrección por refracción; se aplica para planetas y estrellas.
- CL: Corrección por limbo; se aplica a Luna y Sol y debo entrar con el valor de ha por la columna de LS o LI según corresponda.
- PHE: Paralaje horizontal; se aplica solo a la Luna. Entro a la tabla con el valor de ha obtenido y con el valor *PHE* obtenido en el almanaque.
- hv: Altura verdadera; es la que voy a utilizar para determinar la  $\Delta h$ .
- 

- $\Delta h$ : Diferencia de alturas;  $\Delta h = h_v - h_a$   
Al plotear la tomo en dirección del Av si  $\Delta h > 0$  y en dirección opuesta  
(Av - 180) si  $\Delta h < 0$

## Trazado de la recta de altura:

1. Ploteo mi posición de asumida (Pa), con las coordenadas  $\varphi_a$  y  $\lambda_a$  de los cálculos previos.
2. Trazo el azimut del astro (Av) por la Pa.
3. Sobre el Av mido la  $\Delta h$  pasada a millas y cables. El punto determinante (Pd) se encontrará sobre el Av, a una distancia  $\Delta h$ .
4. Por el Pd trazo una recta perpendicular al Av y esa será mi línea de posición.

## Signa de $\Delta h$ :

$\Delta h > 0$  tomo  $\Delta h$  en la misma dirección que Av

$\Delta h < 0$  tomo  $\Delta h$  en dirección opuesta al Av:  $Av + 180^\circ$

$\Delta h = 0$  mi Pe está sobre la circunferencia de altura y mi  $Pd = Pe$ .

