

# **CAPITÁN DE YATE**

## **APUNTES DE CÁLCULOS DE NAVEGACIÓN**

**Autor:**

**Fernando L. García Nieto**

**Capitán de Yate.**

**Versión 2.4**

**Octubre de 2009**

## RESUMEN DE CÁLCULOS DE NAVEGACIÓN

### 1. Fundamentos:

**Magnetismo y Rumbos:** La Demora ( D ) se mide desde el Norte magnético o Geográfico y, la marcación ( M ) desde la proa. ( Er = +, Br = - ). Así:  $Dv = Rv + Mv$ .

La declinación magnética, dm es (+) si es de nombre E y (-) si es W.  $Dv = Dm + dm$

El desvío ( $\Delta$ ) es (+) si el Na queda a la derecha del Nm y viceversa.  $\Delta = Dm - Da$

Por otro lado,  $Ct = dm + \Delta$

Y,  $Dv = Da + Ct$

Para todo lo de arriba, quien dice Demoras ( D ), dice Demoras astrales ( Z ) o rumbos ( R ).

Respecto al abatimiento (Ab) será (+) si el w/v nos desvía a Er y viceversa. Así para mantener un rumbo de superficie deseado, el Rv a navegar viene expresado por:  $Rv = Rs - Ab$

**Tiempo y cronómetro:** La Hrb se cambia en el reloj de bitácora, normalmente al cambiar de huso, pero por la noche, para no perturbar los servicios de a bordo. Consideramos Hrb = hora legal ( Hz ) (la del huso).

La hora oficial ( Ho ) es la legal ( Hz ) más el adelanto establecido por el estado.

Por otro lado, si llamamos Lt a la longitud convertida en tiempo, la hora civil del lugar ( Hcl ) se halla respecto a la HcG sumando la Lt, si L es E ( Lte ) o restando la Lt si L es W ( Ltw ).

$Lt = L / 15$  (en horas y minutos)       $Hcl = HcG + Lte$        $Hcl = HcG - Ltw$

El huso o zona horaria Z en la que nos encontramos, se obtiene:  $Z = ( L + 7.5 ) \setminus 15$  (en horas) siendo además:  $HcG = Hz + Z$  ( Z = + si L es W y viceversa )

Por tanto,  $Hrb = HcG - Z$  (si L es Oeste ) o bien,  $Hrb = HcG + Z$  ( con L Este )

Para pasar de Hcl a Hrb y viceversa, pasamos primero a HcG y luego, calculamos la hora deseada. Respecto al meridiano de cambio de fecha, si lo atravesamos de E a W se suma un día y viceversa.

El cronómetro marino de a bordo, da la hora de cronómetro ( Hcr ) y es un reloj portátil de 12 horas y de alta precisión que se usa para determinar la HcG y, se pone en hora TU el día de la botadura, no moviéndose más esta hora. Mediante las señales horarias se determina su error, denominado "Estado Absoluto" ( EA ) que, es la diferencia, menor de 12 horas, entre la HcG y la Hcr. Así:

$EA = HcG - Hcr$  o lo que es lo mismo,  $HcG = Hcr + EA$

**Método del cálculo de la HcG partiendo de la Hcr:** Si el EA fuera nulo, Las 04:30 Hcr podrían ser las 04:30 TU o bien las 16:30 TU (reloj de 12 horas) por tanto,  $Hcr + EA = HcG$  ó también,  $HcG + 12$  horas. A cada una de estas dos posibilidades de HcG les aplicaremos la Lt y obtenemos dos Hcl. De los dos resultados, uno será absurdo. La HcG correcta así obtenida, puede ser del mismo día o bien del posterior o del precedente. Por último se afinará la HcG calculada, mediante la parte proporcional del atraso (signo positivo) o adelanto ( signo negativo ) desde que se midió el EA.

Ej: día 13, L=150-14W ( Lt = 10-01 ), por la noche (amanece a las 06-00 Hcl ) la Hcr = 04-21-22, EA determinado @ 12H de TU del día 13 es 00-08-53, m.d.= 4 segundos en atraso ( +4 ).

$Hcr + EA = HcG = 04 -30 -15$ . Investigación:  $04:30 -10-01$  ( Lt - ) = 18-29 ( día 13 ) = Hcl o bien,  $16:30 + Lt$  ( - ) = 06:29 = Hcl. Ambas Hcl son del día 13, que es el día en el que me encuentro.

De estas dos opciones, la correcta será la  $HcG = 04:30:15$  ( 14 ) por corresponder a una Hcl nocturna del día 13 ( las 18:29 ) ya que, la otra opción nos daría una Hcl diurna de ese mismo día. Ahora, si en 24 horas, el atraso es de 4 sec., en 16:30 horas ( desde las 12 TU del día 13 hasta las 04:30 del 14 ), será de X, donde  $X = +/- 3$ secs. (signo +), luego la  $HcG = 16-30-15$  ( 14 ) + 3 segundos y por tanto, la HCG será las 04 -30 - 18

## 2. Almanaque y navegación astronómica:

**Ángulo horario de Aries y del Sol:** En el almanaque viene el hG para las horas enteras; usando las páginas de corrección, para los minutos que nos pasamos de la hora entera y que, encontramos al final del almanaque, hallaremos el hG para cualquier hora y, aplicando la longitud obtendremos el hL  
Nota: Si  $hL > 180$  será hLE, entonces, para usarlo en la fórmula se hará el cálculo,  $hLE = 360 - hL$ .

$$hL = hG + LE \quad hL = hG - LW$$

**Ángulo horario de la Luna y los planetas:** Se calcula exactamente igual que en el caso anterior pero, se hace una corrección adicional usando la “Dif” oportuna en cada caso. En el caso de la Luna, la “Dif” a usar es la que figura entre las filas de la hora completa anterior al instante de la observación y la hora siguiente. La corrección se busca en la columna “Dif” de la hoja de corrección del final del A. N., correspondiente a los minutos que se excede de la hora entera.

**Declinación:** Se usa la tabulada en el almanaque, interpolando por los minutos que nuestra HcG excede de la hora entera tabulada. Para la interpolación, usamos igual que antes, la corrección por “Dif” del final del almanaque. En el caso del Sol podemos, o bien interpolar directamente o bien, hallar nosotros mismos la “Dif”. Para esto, calculamos las décimas de minuto de “Diferencia” entre las declinaciones correspondientes a las dos horas entre las que interpolamos y, esta “Dif” la llevamos a la página de corrección correspondiente, al final del A. N.

**Ortos, Ocasos y Crepúsculos:** Para Sol, el almanaque tabula las HcG para estos fenómenos y, estas horas las podremos considerar como Hcl para cualquier meridiano. Por otro lado, para obtener las horas para una latitud intermedia de las tabuladas en el AN, se interpola el dato entre las tabuladas. Además, en el caso de que en la página correspondiente no figurara el fenómeno buscado, se interpola entre las páginas del día siguiente y del anterior.

Para el caso de la Luna, para hallar la Hcl de la puesta o salida, en un meridiano distinto del de origen, será preciso corregir, además de lo anterior, por retardo y longitud (CRL), esta corrección se halla con la tabla de la pág. 386 y el resultado será “+” para longitudes W y “-” para L=E. El retardo  $R^\circ$  usado se tabula a la derecha de las horas correspondientes y es la diferencia en minutos entre dos fenómenos consecutivos en el meridiano de origen. En el cálculo, para L=W tomamos el  $R^\circ$  del mismo día y para L=E el del día anterior. En este último caso, si no hubiera fenómeno en Greenwich para el día D-1, se usará el  $R^\circ$  del día D-2.

Para el caso particular de que no hubiera fenómeno para ese día en el meridiano de origen, si que podría darse éste en otro meridiano. En este caso, si la longitud es W, usaremos el  $R^\circ$  y la hora del fenómeno del día D-1 que, por cierto, será muy próxima a 24 horas y, si al sumar la corrección CRL obtuviéramos una hora mayor de 24, lo que exceda de 24 será la Hcl del fenómeno para el día deseado. Si la L=E se usa la hora correspondiente al día siguiente y el  $R^\circ$  del día anterior al deseado. Por último, puede ocurrir que habiendo fenómeno ese día en Greenwich, éste no se dé en otro meridiano. En el caso de L=W esto sucederá si la hora tabulada del fenómeno es próxima a las 24 horas y entonces, al sumar la CRL el resultado exceda de 24, la Hcl así obtenida corresponderá al día siguiente. Si la L=E y el HcG del fenómeno en Greenwich es poco después de las 00:00 horas, puede que al restar la CRL el resultado nos dé una Hcl del día anterior.

**Pasos por el meridiano del Sol, la Luna y los planetas:** Navegando, no siempre se puede considerar la altura máxima de un astro como meridiana; para ello, habrá que calcular la hora de paso del astro por el m/s del lugar. Nos interesa conocer por tanto, la Hcl del paso del m/s del lugar, mientras que, lo que proporciona el almanaque es la HcG del paso por el meridiano de origen.

-Para el Sol y los planetas, se puede usar con precisión suficiente la HcG de paso por Greenwich como Hcl de paso por el meridiano del lugar. Y para el paso por el m/i, sumamos o restamos 12 horas a la Hcl del paso por el m/s del lugar.

-Para la Luna, al objeto de hallar la Hcl del paso por el m/s del lugar, se procederá exactamente igual que como se hacía con sus salidas y puestas, usándose en este caso, el  $R^\circ$  tabulado en el encabezamiento de la columna Luna, debajo del PHE. Para el paso por el m/i, sumaremos o restaremos al paso por el m/s, según la fecha que deseemos, 12 horas +  $R^\circ/2$ . Se hace notar que para cada Lunación, habrá un día en el que no hay paso de la Luna por el meridiano de origen.

**Pasos por el meridiano de las estrellas:** En la pág. 381 del almanaque, figura el paso por el meridiano origen para el primer día de cada mes en TU para una selección de estrellas. Así mismo, vemos una tabla que nos da la corrección (se resta), para el cálculo de la HcG del paso de la \* por el m/s de Greenwich para otro día del mes. Por último, aplicando la tablilla de la segunda corrección, obtendremos la Hcl del paso de la \* por el m/s del lugar.

Para obtener la Hcl del paso por el m/i del lugar, sumaremos o restaremos a la hora de paso por el m/s, según la fecha deseada, 11 h. 58m. (12 horas, menos la mitad de la aceleración de las fijas).

### Correcciones a las alturas observadas:

1. La altura instrumental (  $A_i$  ) se corrige por el error de índice para así obtener la altura observada (  $A_o$  ):
  - Si el  $E_i$  queda a la derecha del 0 del limbo:  $A_o = A_i + E_i$
  - Si el  $E_i$  queda a la izquierda del 0 del limbo:  $A_o = A_i - E_i$
  
2. Común también a cualquier observación de todos los astros será la corrección por depresión (  $D_p$  ), Tabla A de la pág. 387 del almanaque. Siempre es sustractiva.
3. Según los astros:
  - **Estrellas:** Además se corrigen por refracción (  $R_a$  ):  $A_v = A_o - D_p - R_a$   
La Refracción (  $R_a$  ) Siempre es sustractiva y se halla con la Tabla C de la pág.387 del A. N.
  - **Planetas:** Igual que para las estrellas, excepto para Venus y Marte donde adicionalmente se corrige por paralaje (  $p$  ). Esta última corrección es positiva y se calcula usando la parte derecha de la Tabla C de la pág. 387 del A. N.  
 $A_v = A_o - D_p - R_a (+ p)$
  - **Sol:**  $A_v = A_o - D_p - R_a +/- SD + p$  En la tabla B de la pág. 387 figura para el limbo inferior del Sol la corrección combinada por Semidiámetro, refracción y paralaje, llamémosle  $C_c$ . Ésta es siempre positiva. Además, se aplicará la corrección adicional por fecha (  $C_a$  ); esta última es relativa a la corrección del SD fijo de 16' que se considera en la parte izquierda de la Tabla B y que, realmente varía a lo largo del año. A las  $A_o$  del limbo superior, corregidas por  $D_p$ , se convertirán en  $A_o$  del limbo inferior, restando el doble del SD del Sol para ese día y entonces, aplicamos la tabla B. En este caso, no se aplicará la corrección adicional por fecha.  
Limbo inferior:  $A_v = A_o - D_p + C_c +/- C_a$   
Limbo superior:  $A_v = A_o - D_p + C_c - 2 SD$
  - **Luna:**  $A_v = A_o - D_p - R_a +/- SD + p$  En la práctica, entramos en las tablas de las págs. 388 y 389 con las  $A_o$  del limbo superior o inferior, en grados, corregidas por  $D_p$  y con el PHE en minutos enteros de la Luna para esa hora y día, para obtener la corrección correspondiente (  $C_c$  ) por  $R_a$ ,  $SD$  y  $p$ .  
Además, se afina la interpolación con la tabla de partes proporcionales (  $C_{pp}$  ) de la parte inferior de la pág. 389, donde se entra, primero, con los minutos de altura que exceden los grados enteros de ésta y con la variación tabular por minuto de paralaje, esta corrección es aditiva (  $C_{pp1}$  ), Luego, con los décimos de minuto del PHE y la variación tabular por grado de altura, obteniendo la (  $C_{pp2}$  ), que es sustractiva.  
Así:  $C_{pp} = C_{pp1} - C_{pp2}$ . Por lo tanto,  $A_v = A_o - D_p +/- C_c +/- C_{pp}$

**Determinación de la Latitud por la Polar:** Si la declinación de la Polar fuera exactamente  $90^\circ N$ , la  $A_v$  de la Polar sería igual a la latitud del observador. Al no ser exactamente así, hay que introducir un ajuste en minutos, a la  $A_v$  de la Polar para determinar nuestra latitud.

Este ajuste se obtiene sumando las correcciones tabuladas en las tablas I, II y III de las págs. 382 a 384. Los argumentos de entrada son hL de Aries, la  $A_v$  de la Polar y la fecha.

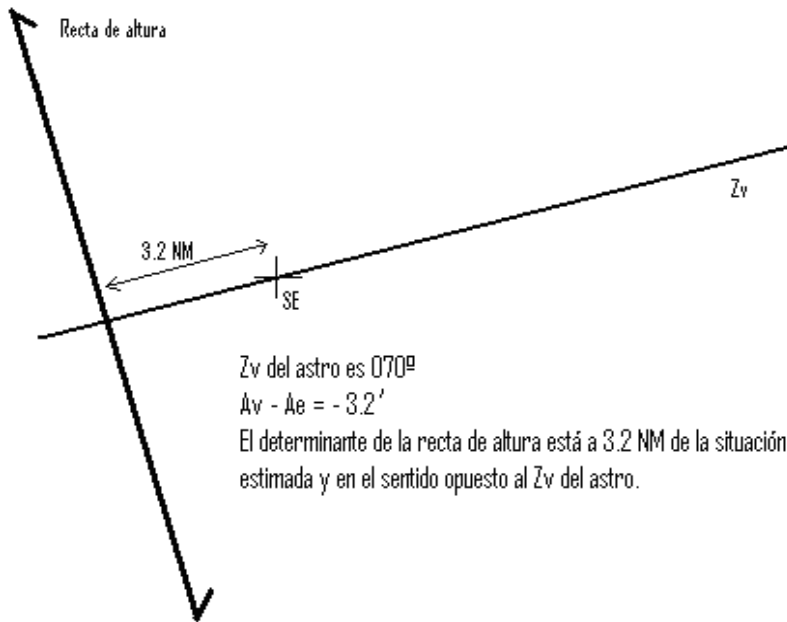
El azimut de la Polar, lo da la tabla de la pág. 385 del A. N, contando desde el N hacia el E o el W, según se expresa. Los argumentos de entrada son el hL de Aries y la latitud.

La latitud así obtenida, se podrá considerar como cualquier línea de posición, y por tanto, si es necesario, susceptible de ser trasladada para poder utilizarla en la determinación de nuestra posición a una hora posterior. El procedimiento de traslado se verá más adelante.

**Cálculo de la Tangente de Marcq:** La Tg. De Marcq será perpendicular al azimut del astro y, el punto determinante por el que se trazará ésta, será una distancia en millas, contada desde nuestra posición estimada, igual a la diferencia en minutos entre la  $A_v$  y la  $A_e$ , o altura estimada. Si  $A_v - A_e > 0$ , la recta de altura se traza en el sentido del azimut. Si  $A_v - A_e < 0$ , en sentido contrario.

Regla (en inglés) del “ famoso navegante japonés ” HOMOTO:

Llamo HO a la altura verdadera (Height Observed). MO es el acrónimo de More (mayor que) y TO el de TOwards (hacia), entonces si **HO** ( $A_v$ ) es “**MO**re” que  $A_e$ , ( $A_v > A_e$ ) entonces se traza el determinante “**TO**wards” el astro. Caso contrario, sería en el sentido opuesto al astro.



Altura estimada:  $\text{Sen } A_e = \text{sen } l * \text{sen } d + \text{cos } l * \text{cos } d * \text{cos } h$

Donde “ $l$ ” es la latitud estimada, “ $d$ ” la declinación del astro y “ $h$ ” es el horario local del astro  $hL$ ; tendremos en cuenta que si  $hL > 180$  será oriental ( $hLE$ ) que, para usarlo en la fórmula se hará:  $h = hLE = 360 - hL$ .

Azimut: 
$$\text{Tg } Z = \frac{\text{Sen } h}{\text{tg } d * \text{cos } l - \text{sen } l * \text{cos } h}$$

Las variables son las mismas que para obtener la  $A_e$ .  $Z$  será el azimut cuadrantal, de tal modo que si  $Z$  es (+),  $Z_v$  será N y si  $Z$  es (-),  $Z_v$  será S. Por otro lado, será E u W según  $hL$  sea oriental, es decir  $hL > 180$  u occidental, cuando  $hL < 180$ .

Además de para obtener el determinante de la recta de altura, el  $Z_v$  se usa para obtener la corrección total de la aguja:  $Ct = Z_v - Z_a$ .

**Reconocimiento de astros:** El objetivo es hallar la declinación y el  $hG$  o bien, el AS del astro. Partiremos de una posición estimada, la altura verdadera del planeta o estrella y su azimut verdadero.

Declinación:  $\text{Sen } d = \text{sen } l * \text{sen } a + \text{cos } l * \text{cos } a * \text{cos } z$

Horario local del astro: 
$$\text{tg } h = \frac{\text{Sen } z}{\text{tg } a * \text{cos } l - \text{sen } l * \text{cos } z}$$

“ $a$ ” es la altitud verdadera y “ $z$ ” el azimut astronómico del astro a descubrir, es decir si  $Z_v > 180$ , entonces,  $z = 360 - Z_v$ , entonces, el  $hL$  será W y, evidentemente, si  $Z_v < 180$ ,  $z = Z_v$  y  $hL$  será E. Si  $h$  nos sale negativo, entonces  $hL = 180 - |h|$ . Ej: si  $h = -47$ ,  $hL = 180 - 47 = 133^\circ$ . Si el  $hL$  obtenido es E, hay que pasarlo a horario náutico ( $0^\circ - 360^\circ$ ). Por último, para calcular el  $hG$  del astro, aplicamos la longitud asumida:  $hL = 360 - hLE$   $hG = hL - LE$   $hG = hL + LW$

Con la declinación y el hG del astro veo, usando la página diaria del A. N, si se corresponde con un planeta; en caso contrario, será una estrella, entonces hallamos el AS y así se determina ésta.

$$AS = hG * - hG \text{ Aries.}$$

**Reconocimiento de astros cerca del meridiano y latitud por meridiana:** Este es un caso particular, cuya resolución es más sencilla:

Lo primero, será determinar si el astro está en el meridiano superior o en el inferior:

MS:

- 1: Si se observa el astro cara al polo depreso
- 2: Si se observa el astro cara al polo elevado y  $Av > 1$

MI:

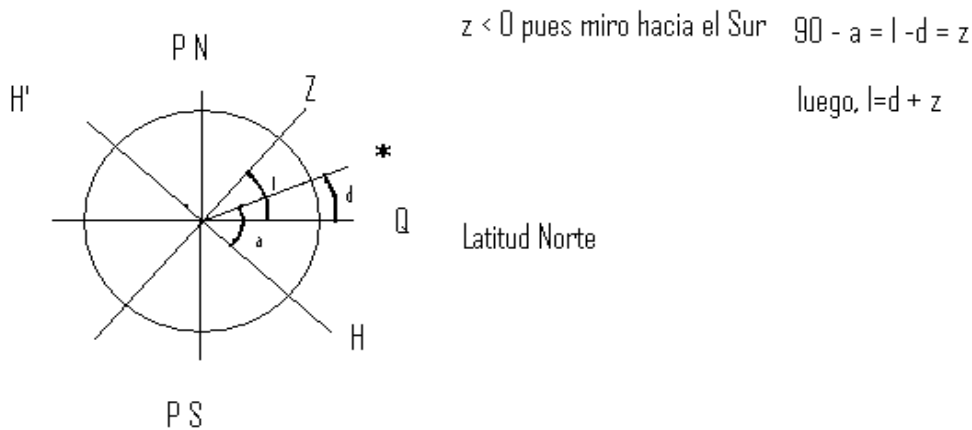
- 1: Si se observa el astro cara al polo elevado y  $Av < 1$   
 En este caso, evidentemente,  $hL = 180$  y, si  $l = N, Zv = N$  y si  $l = S, Zv = S$

Latitud por meridiana:

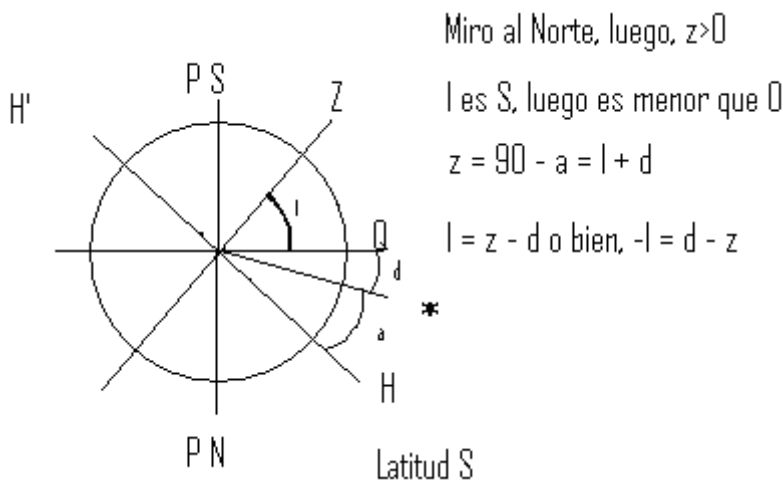
- Meridiano Superior:  $l = d - z$  siendo  $z = 90 - Av$ 
  - Signos:  $l(N) = +$   $d(N) = +$   $l(S) = -$   $d(S) = -$
  - si  $d > l \Rightarrow z = +$  ( miro hacia el Norte ) y si  $d < l \Rightarrow z = -$  ( miro hacia el Sur )
  - Ejemplo 1:  $z < 0$  y  $l = N \Rightarrow l = d - (-z) = d + z$
  - Ejemplo 2:  $d = N$  y  $l = S$ , luego  $z > 0 \Rightarrow l = d - z$  saliendo  $l < 0$

Gráficamente:

Caso de latitud N, z negativo y declinación N



Caso de latitud Sur y declinación Norte:



- Meridiano Inferior:  $l = a + \Delta$ , siendo  $\Delta = 90 - d$ , tomando  $d$  en valor absoluto y además la  $l$  será de igual nombre que  $d$

Reconocimiento de astros cerca del meridiano: En esta situación, conozco  $l$  y  $a$

- Meridiano superior: respetando los signos, como  $l = d - z$ ,  $d = l + z = l + 90 - a$  y además  $hL = 0$  si miro al polo depresso y  $hL = 180$  si miro al elevado.
- Meridiano inferior:  $l = a + \Delta = a + 90 - d$  luego  $d = 90 + a - l$ , siendo la  $d$  resultante del mismo signo que  $l$  y, además,  $hL = 180$ .

**Fórmulas de la Ortodrómica y Loxodrómica:** Con las distancias en NM, los incrementos de latitud ( $\Delta l$ ) y de longitud ( $\Delta L$ ) serán en minutos de arco.

- Loxodrómica: para distancias mayores de 300 NM. Método de las latitudes aumentadas:  
 $D =$  distancia recorrida     $R =$  Rv al que se navega     $la =$  latitud aumentada.  
 La latitud aumentada figura en las tablas náuticas.

$$\Delta l = D * \cos R \quad \Delta L = \Delta la * \operatorname{tg} R$$

- Loxodrómica para distancias menores de 300 NM:  $lm =$  latitud media     $A =$  apartamiento

$$\Delta l = D * \cos R \quad A = \Delta l * \operatorname{tg} R \quad \Delta L = \frac{A}{\cos lm}$$

- Ortodrómica:

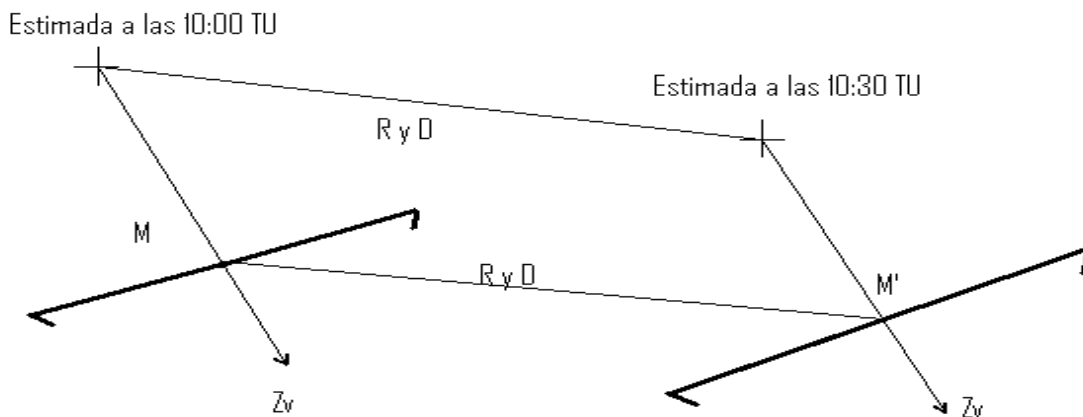
$$\cos Do = \sin l * \sin l' + \cos l * \cos l' * \cos \Delta L$$

Si  $\cos Do$  saliera negativo, sería porque  $Do$  es mayor de  $90^\circ$ . Por otro lado, escogeremos  $\Delta L$  tal que  $Do$  siempre sea menor de  $180^\circ$ . Posteriormente, para obtener la distancia en NM, “Do” se multiplicará por 60, ya que pasamos de grados de arco a NM.

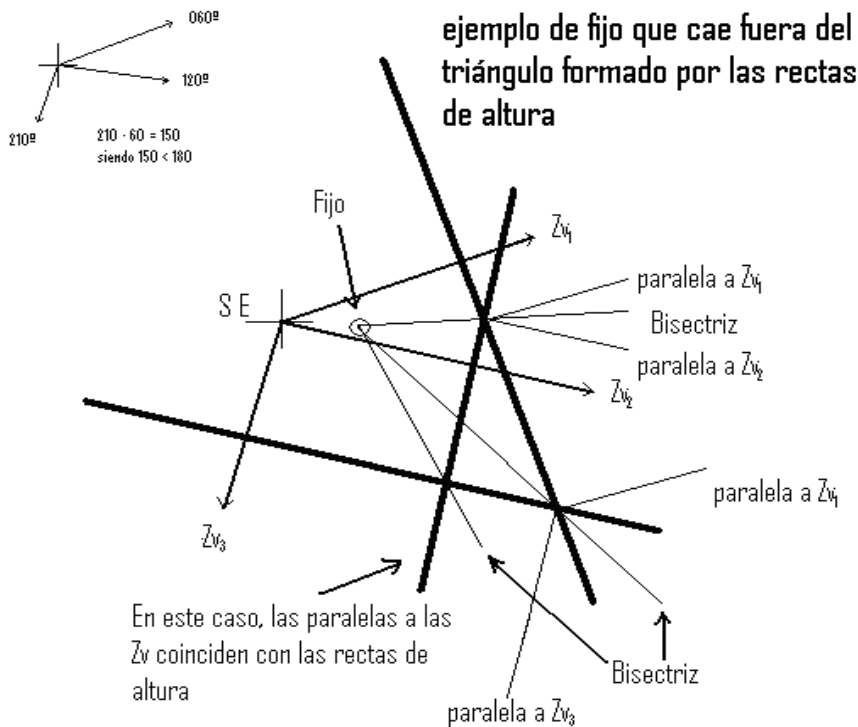
$$\operatorname{Tg} Ri = \frac{\operatorname{Sen} \Delta L}{\operatorname{Tg} l' * \cos l - \sin l * \cos \Delta L}$$

Si  $\operatorname{Tg} Ri$  es positiva,  $Ri$  se contará desde el N y si es negativa, desde el S; hacia el E o el W, según sea el  $\Delta L$ .

**Traslado de una recta de altura:** La recta de altura correspondiente a una observación, como cualquier línea de posición, se puede trasladar a otro momento posterior mediante rumbo y distancia para así, obtener un fijo usando otra(s) línea(s) de posición calculada(s) para ese instante. La recta de altura se trasladará paralela a sí misma. El traslado se puede hacer, bien desde la situación de estima, es decir, dibujando la recta de altura desde la posición estimada a la hora que queremos hallar el fijo, conjuntamente con otras líneas de posición o bien desde el punto determinante, desplazando éste por rumbo y distancia y trazando por el nuevo punto  $M'$  la recta de altura.

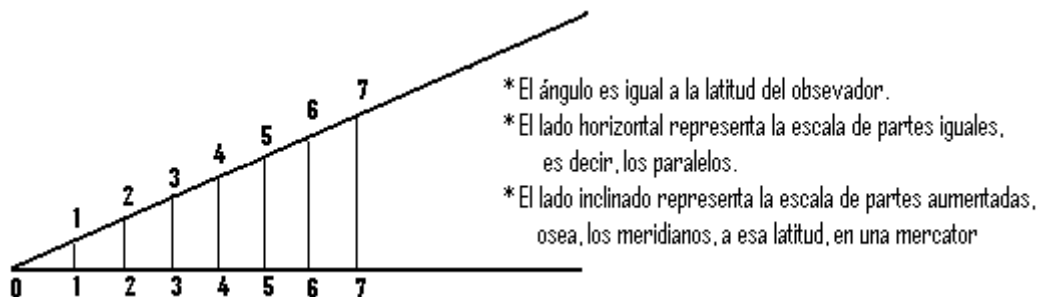


**Situación ( fijo ) por tres rectas de altura:** Un fijo obtenido con tres rectas de altura, se determina mediante el corte de las bisectrices formadas entre las paralelas a las líneas de azimut  $Z_v$ , usadas para trazar las respectivas rectas de altura, trazadas en los cortes de cada dos rectas de altura, es decir, en los vértices del triángulo formado por las líneas de posición. El fijo así hallado podrá estar dentro del triángulo formado por las tres líneas de posición, o bien, fuera de éste si se da la circunstancia de que, la diferencia entre dos azimutes no consecutivos, contados en circular, por lo menos en un caso, sea menor de  $180^\circ$ . Las líneas de posición usadas, podrán ser simultáneas o bien, alguna(s) de ella(s), trasladada(s).



**Trazado o ploteo de las líneas de posición:** Si estamos trabajando con una carta mercator, las posiciones y las distancias se representan fácilmente, usando los paralelos para medir las diferencias de longitud y midiendo el resto de distancias en los meridianos.

Pero si lo que tenemos delante es un folio en blanco, un método sencillo para construir ambas escalas es el que se consigue dibujando un ángulo agudo cuyo valor es el de la latitud del observador. Uno de los lados lo dibujamos horizontalmente y representará la escala de partes iguales, sobre el que mediremos las diferencias de longitud y, el lado inclinado, representa la escala de partes aumentadas, y sobre él mediremos las diferencias de latitud, distancias y alturas, es decir, el resto de las magnitudes a representar.





**Partiendo de una posición determinada, con rumbo y velocidad conocidos, determinar nuestra posición cuando ocurra un fenómeno astronómico determinado, así como la HcG a la que éste ocurrirá en esa posición:** Se entiende por fenómeno un orto, ocaso, crepúsculo o paso por el meridiano de un astro.

Vamos a ver el procedimiento, con un paso por el meridiano del Sol:

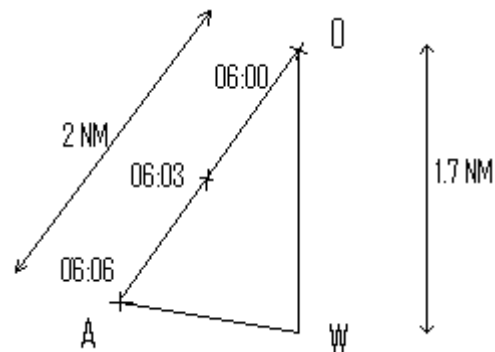
- Hallo la HcG de la meridiana para mi posición actual.
- Con la HcG actual y la calculada en el punto anterior, hallo el intervalo de tiempo que queda hasta la ocurrencia del fenómeno en mi posición actual.
- Con ese intervalo de tiempo y, con mi velocidad y rumbo, hallo mi posición estimada al final de ese intervalo de tiempo ( POS1).
- Hallo la HcG del fenómeno en la POS1 y calculo el tiempo que falta hasta ese fenómeno.
- Con el intervalo de tiempo que transcurre entre la HcG actual y la calculada en el punto anterior, calculo, aplicando rumbo y velocidad, una nueva POS2 y una nueva hora del fenómeno en esta nueva posición.
- Si es necesario, repito el proceso hasta que las variaciones de posición entre POSn y POSn-1 sean mínimas, así como que las diferencias de HcG del fenómeno en esas posiciones sean también pequeñas.

### 3. Cinemática :

**Cinemática radar:** Nuestro objetivo será determinar rumbo, velocidad, distancia mínima de paso, así como el momento en que se pasará a esa distancia mínima de un eco radar dado.

Designaremos con la letra " O " al punto de la primera observación del eco. Representamos las posiciones posteriores y las unimos con una recta, designando como "A" el otro extremo de esta recta. Si la diferencia en tiempo entre las posiciones correspondientes a los extremos de la recta OA es de 6 minutos, entonces la longitud de la recta, en la escala de distancias correspondiente, multiplicada por 10 nos dará la velocidad del movimiento aparente o relativo. Por otro lado, si a partir de " O ", trazamos una línea opuesta a nuestro rumbo y de longitud igual a un décimo de nuestra velocidad, tendremos el vector del movimiento del buque propio, contado éste desde el extremo que denominaremos " W " hasta " O ". W-A representará el vector del movimiento del buque eco.

- OA son 2 NM, luego la velocidad relativa entre ambos buques es de 20 nudos y dirección relativa de  $210^{\circ}$
- WO de 1.7 NM representa nuestra velocidad conocida de 17 Kts. y rumbo Norte.
- WA de longitud 1 NM, representa una velocidad del buque eco de 10 Kts. y rumbo  $285^{\circ}$



Regla:

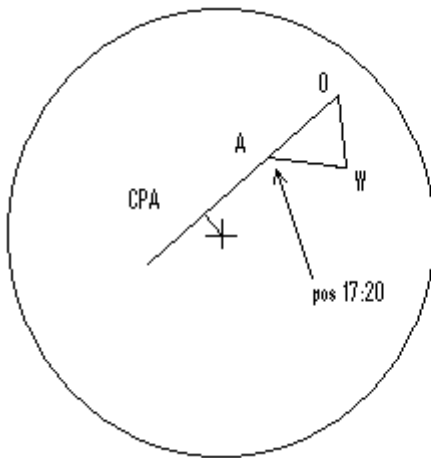
WO ( Way Own ship ) Rumbo y velocidad del buque propio.

WA ( Way Another slip ) Rumbo y velocidad del otro buque.

OA ( Origin Apparent motion ) Rumbo y velocidad del movimiento aparente o relativo.

La distancia mínima a la que pasará el eco ( CPA ), se calcula trazando una paralela al vector del movimiento relativo, desde una posición conocida del eco, hacia el centro de la rosa de maniobras ( o pantalla del Radar ) y, midiendo la longitud de la perpendicular trazada desde nuestra posición, o sea el centro de la rosa, hasta la paralela citada. La hora a la que sucederá el CPA se calcula midiendo la distancia desde la posición del eco que hemos usado para trazar la paralela al vector OA hasta el punto sobre ésta en el que se produce el CPA. Dividiendo esta distancia por la velocidad del movimiento aparente, obtenemos el tiempo que deberá transcurrir desde la hora de la posición utilizada en el cálculo,

hasta el CPA. Este tiempo ( TCPA ), se suma a la hora correspondiente a la del eco utilizado y nos da la hora a la que la distancia entre los buques , será mínima.

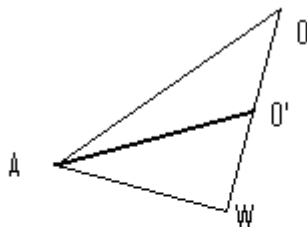


Velocidad relativa 20 Kts.  
 distancia A- CPA 10 NM  
 tiempo hasta el CPA será de 30 minutos  
 Por tanto, el CPA ocurrirá a las 17:50

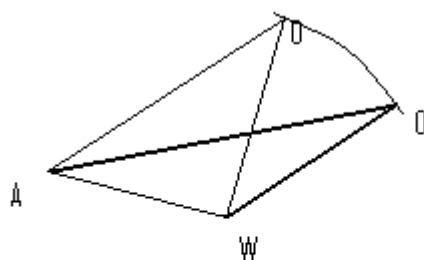
La escala usada para determinar el triángulo de velocidades, puede ser distinta de la usada para las distancias, pero cuidado, no mezclar escalas y magnitudes por error.

Si para prevenir una colisión, reducimos o aumentamos nuestra velocidad, lo que alteraremos será la longitud del vector WO. Para eso, dibujaremos un punto " O' " donde la distancia WO' represente la nueva velocidad. Por tanto, tendremos un nuevo vector O'A, que representará el nuevo movimiento relativo. Lógicamente, el vector WA no variará pues representa el movimiento del otro barco, que supuestamente no ha variado.

Si lo que variamos es el rumbo, manteniendo la velocidad, igualmente variaremos el punto "O" del triángulo de velocidades. Esta vez, la longitud del vector WO' será igual a la de WO pero ahora, la dirección de WO' será paralela a nuestro nuevo rumbo. De nuevo, WA no variará.



Reducción de velocidad a la mitad, nuevo vector del movimiento relativo O'A



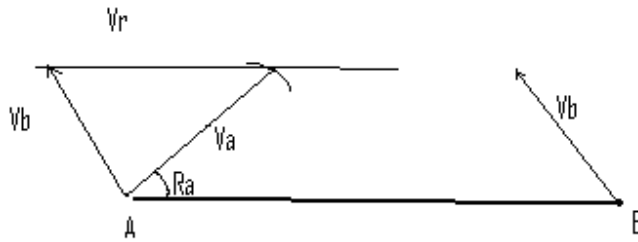
Cambio de rumbo desde 015 a 050. La longitud de WO = WO', ya que la velocidad no la hemos variado. El nuevo vector del movimiento relativo es O'A

**Alcances:** Una vez determinado el triángulo de velocidades, se pueden resolver los problemas anteriores o bien, una vez conocido el rumbo y velocidad del otro buque (Rb y Vb), hallar el rumbo o velocidad que debemos utilizar para darle alcance.

Construiremos un nuevo triángulo de velocidades, en el que la incógnita será el vector del movimiento relativo o bien, el vector de nuestro movimiento. Para ello, desde nuestra posición, que ocupa el centro de la rosa, trazamos un vector paralelo al del movimiento del otro barco ( B ) y por el extremo de este vector, trazamos otra paralela, esta vez a la línea que una nuestra posición con la conocida del barco B. Uniendo ahora el centro de la rosa con un "cierto punto" de esta nueva recta, obtendremos el vector deseado de nuestro movimiento; El cálculo de este cierto punto de corte vendrá determinado en función del tipo de problema a resolver:

Si lo que tenemos que calcular es el tiempo mínimo para alcanzar al otro buque, con una velocidad propia Va dada, Trazaremos una recta desde la representación de nuestra posición, tal como hemos dicho más arriba y de longitud igual al módulo de nuestra velocidad. Así obtendremos el rumbo de interceptación

pedido; lógicamente, medido en el borde de la rosa o desde el punto que utilizamos como origen de rumbos.

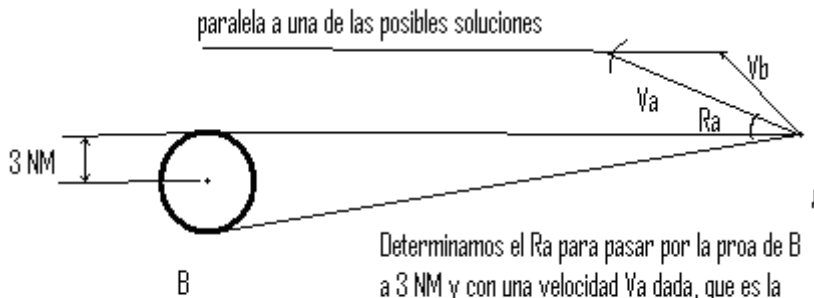


En este caso vemos el rumbo que tendremos que poner para con una  $V_a$  determinada, alcanzar a B en el mínimo tiempo.

$V_r$  así determinada será la velocidad relativa y la distancia BA dividida por la velocidad  $V_r$ , nos dará el tiempo que transcurrirá hasta el alcance.

Si se trata de dar alcance en un tiempo  $t$  determinado, habrá que calcular además del rumbo de interceptación como en el caso anterior, también la velocidad a usar. En este caso, al construir el triángulo, la longitud del vector  $V_r$  será igual a  $AB$  dividido por  $t$  y, la solución al problema se logra, uniendo A con el extremo de  $V_r$ , obteniendo un vector  $V_a$ , que se corresponderá con nuestra velocidad y rumbo deseados.

Si el problema consiste en hallar un rumbo para pasar a una cierta distancia del buque B, lo que haremos será trazar una circunferencia, de radio la distancia de paso pedida, y centrada en B. Las 2 tangentes a ésta desde A, serán los rumbos relativos que podremos usar en el cálculo, según se quiera pasar por una banda u otra de B. La resolución del problema es análoga a las anteriores.



Determinamos el  $R_a$  para pasar por la proa de B a 3 NM y con una velocidad  $V_a$  dada, que es la correspondiente a la longitud entre el corte de la paralela y nuestra posición.

De nuevo, debemos recordar que la escala usada para las velocidades no tiene porqué ser las mismas que para las distancias. Pero eso sí, no habrá que confundirse y usar para cada magnitud siempre su escala, sin mezclarlas.

- FIN -

### **BIBLIOGRAFÍA:**

- **Almanaque Náutico**, editado por el Real Instituto y Observatorio de la Armada en San Fernando.
- **Capitán de Yate, Colección Itxaso nº 20**, por Ricardo Gaztelu-Iturri Leicea, Itxaso Ibáñez Fernández y Ramón Fisure Lanza, editado por el Servicio Central de publicaciones del Gobierno Vasco. Año 2006