

CAPITÁN DE YATE

APUNTES DE CÁLCULOS DE NAVEGACIÓN

Autor:

Fernando L. García Nieto

Capitán de Yate.

Versión 3.3

Mayo de 2013

0.a. Introducción:

El objetivo de estos apuntes es la de proporcionar una ayuda a la hora de preparar el examen de cálculo para la obtención del título de Capitán de Yate. Se supone que el lector tendrá suficiente base teórica en navegación astronómica, necesaria por otro lado, para la superación de la asignatura de navegación. Las definiciones que figuran a continuación son no obstante, una referencia para el lector:

0.b. Definiciones:

Abatimiento (Ab)	Desviación que sufre una embarcación hacia sotavento debido a la acción del viento. Ángulo formado entre la derrota y la línea de crujía, debido a la acción del viento.
Altura de un astro (a)	Distancia angular entre el horizonte aparente y el astro.
Ángulo en el polo (p)	Es el valor del arco de ecuador contado desde el meridiano superior hasta el semicírculo horario del astro.
Ángulo horario	Ver Horario
Ángulo sidéreo (AS)	Distancia angular medida hacia el oeste sobre el ecuador celeste, desde el punto Aries hasta el círculo horario del astro.
Apartamiento (A)	Distancia comprendida entre dos meridianos, a lo largo de un círculo menor de latitud constante.
Azimut	Es el arco de horizonte contado desde el norte o sur hasta el vertical del astro.
Azimut astronómico (Za)	Es el azimut contado desde el polo elevado en sentido este u oeste, es decir, de 0° a 180°
Azimut circular o náutico	Es el contado desde el norte, en el sentido de las agujas del reloj es decir, de 0° a 360°.
Azimut cuadrantal	Es el contado desde el norte o sur más próximo en sentido este u oeste. Su valor va desde de 0° a 90°.
Babor (Br)	Lado izquierdo de la embarcación mirando de popa a proa.
Carta Mercator o Mercatoriana	Carta que representa la superficie de la Tierra mediante una proyección cilíndrica modificada, donde la distancia entre meridianos es constante y la distancia entre paralelos aumenta con el incremento de latitud, según el coeficiente $1/\cos l$ (siendo l la latitud). Se usan entre las latitudes de 80° norte y 80° sur. En ellas la línea loxodrómica se representa por una recta.
Cénit	La proyección del observador en la esfera celeste.
Círculo horario	Círculo máximo de la esfera celeste que pasa por los polos celestes.
Círculo máximo	Círculo sobre la esfera terrestre o celeste, contenido en un plano que pasa por el centro de ambas y que, es el mismo para las dos.
Crepúsculo	Intervalo de tiempo que precede a la salida del sol (matutino) y sigue a la puesta (vespertino). El crepúsculo civil abarca el tiempo desde que, el centro del disco solar está a una altura de -6° hasta que está en el horizonte, el náutico desde -6° hasta -12° y el astronómico desde -12° hasta -18°.
Declinación (d)	Distancia angular desde el ecuador celeste al astro. Se mide sobre un círculo horario.
Declinación magnética (dm)	Diferencia angular, en un punto de la superficie terrestre, entre el norte geográfico (Ng) y el magnético (Nm). Si el Nm queda a la derecha del Ng, la dm será positiva y la llamaremos este. En caso contrario será oeste y su valor será negativo.
Demora (D)	Ángulo que forma la visual a un objeto con el meridiano del lugar. Las demoras se cuentan de 000° a 360° en el sentido de las manecillas del reloj. Si el meridiano que utilizamos pasa por el norte geográfico, será demora geográfica o verdadera (Dv), también podrá ser magnética o de aguja.
Demora astral (Da)	Demora de un astro.
Desvío (Δ)	Es el ángulo de separación entre el norte magnético (Nm) y el norte de aguja (Na). Se representa por (Δ) y se considera positivo cuando el Na queda a la derecha del Nm y negativo cuando queda a la izquierda.

Determinante de una recta de altura	El punto o puntos de contacto que tiene ésta con el círculo de altura siendo éste, el círculo sobre la Tierra, donde todos sus puntos tienen la misma altura respecto de un astro dado.
Eclíptica	Trayectoria aparente del Sol sobre la esfera celeste.
Esfera celeste	La proyección de la esfera terrestre en el universo.
Estribor (Er)	Lado derecho de la embarcación mirando de popa a proa.
Error de índice (Ei)	Error del sextante producido por la falta de paralelismo de los espejos, cuando el error excede de 3', conviene reducir su valor actuando sobre el tornillo de ajuste.
Hora civil de Greenwich (HcG)	El tiempo que ha transcurrido desde el paso del sol medio por el meridiano inferior de Greenwich. El sol medio es el sol imaginario que recorre el ecuador celeste con movimiento uniforme y que invierte el mismo tiempo que el sol real en recorrer su órbita aparente.
Hora civil del lugar (Hcl)	El tiempo que ha transcurrido desde el paso del sol medio por el meridiano inferior del lugar.
Hora de bitácora (Hrb)	A efectos de los cálculos náuticos se considera la Hrb=Hora legal (Hz)
Hora legal (Hz)	El tiempo que ha transcurrido desde el paso del sol medio por el meridiano inferior central del huso horario.
Horario u horario local de un astro (hL)	Es el arco de ecuador contado desde el meridiano superior hasta el semicírculo horario del astro, contado en sentido astronómico. Cuando se cuenta de 0° a 180°, hacia el este u oeste, es lo mismo que el ángulo en el polo.
Horario de Greenwich (hG)	Horario de un astro referido al meridiano superior de Greenwich.
Huso horario (Z)	Cada una de las 24 divisiones de 15° de longitud en que se divide la Tierra, siendo el meridiano de Greenwich el meridiano central del huso cero y el meridiano 180° el del huso 12.
Latitud de un punto (l)	Distancia angular sobre la esfera terrestre, medida desde el Ecuador hasta el paralelo que pasa por el punto. Será latitud Norte o Sur, según el punto esté respectivamente al norte o al sur del Ecuador. Su valor máximo es de 90°.
Latitud aumentada (la)	Distancia de un paralelo al ecuador en una proyección mercatoriana.
Limbo	Borde aparente del Sol, Luna o un planeta con disco apreciable.
Línea de posición	Línea sobre una carta que pasa por la posición del observador; se usa en el cálculo de la posición de éste. Puede ser una demora a un punto de la costa, una línea derivada de una observación astral, etc. Una posición está definida por el corte de dos o más líneas de posición.,
Línea internacional de cambio de fecha	Línea imaginaria, sobre el Océano Pacífico que al cruzarla no se cambia la hora, sino que se cambia la fecha. Si la cruzamos de este a oeste se suma un día y viceversa. Debido a su trazado convencional no es una línea recta y en principio, se debería de corresponder con el meridiano 180°.
Longitud de un punto (L)	Distancia angular sobre la esfera terrestre, medida desde el meridiano de Greenwich hasta el meridiano del punto en sentido este u oeste, su valor máximo es de 180° este u oeste.
Longitud en tiempo (Lt)	Longitud medida en tiempo, se expresa en horas y minutos y es el resultado de dividir la longitud del observador por 15. Se usa para hallar la relación entre la Hcl y la HcG.
Marcación	Es el ángulo que forma la línea proa-popa con la demora o visual del objeto de referencia. Se cuentan de 0° hacia cada banda hasta los 180° (estribor = positivo, babor = negativo), o bien, de 0° a 360° a partir de la proa en el sentido de las manecillas del reloj (en este caso son siempre positivas).
Meridiano celeste	Semicírculo que va de polo a polo celeste y que, en Astronomía se denominan semicírculos horarios.
Meridiano del lugar	Es el semicírculo de la esfera terrestre que va de polo a polo pasando por el observador.
Meridiano inferior del lugar	El meridiano celeste que contiene el nadir

Meridiano superior del lugar	Es el meridiano del lugar proyectado en la esfera celeste, es decir, el meridiano celeste que contiene al cénit.
Nadir	Punto de la esfera celeste diametralmente opuesto al cénit.
Norte geográfico (Ng)	Es el punto del hemisferio norte, donde se cortan los meridianos. Respecto a este punto definimos los rumbos verdaderos (Rv). Su latitud tiene un valor de 90° norte.
Norte magnético (Nm)	Punto en el hemisferio norte terrestre al que apunta la aguja magnética. Respecto a este punto definimos los rumbos magnéticos (Rm).
Ocaso	Instante en el que un astro corta al horizonte pasando del hemisferio visible al invisible.
Orto	Instante en el que un astro corta al horizonte pasando del hemisferio invisible al visible.
Paralaje de un astro	Diferencia entre las posiciones topocéntrica y geocéntrica del astro.
Paralelo	Círculo menor, paralelo al ecuador. En la esfera terrestre son paralelos de latitud y en la celeste, paralelos de declinación.
Polo elevado	El polo que tiene el mismo signo que la latitud del observador.
Polo depresso	El polo que tiene el signo contrario que la latitud del observador.
Punto Aries (γ)	Punto de corte entre la eclíptica y el ecuador, donde el Sol pasa de declinación sur a norte.
Recta de altura	Línea recta, tangente a la curva de altura y que sustituye a ésta en la determinación de nuestra posición. Determina una línea de posición astral. Coincide con la tangente de Marcq.
Refracción	Fenómeno por el que la dirección de los rayos de luz se ve alterada al pasar de un medio de propagación a otro. Por ejemplo, desde el espacio a la atmósfera.
Ruta ortodrómica	Ruta que sigue un círculo máximo y que corta los meridianos con diferentes ángulos. Es la ruta más corta entre dos puntos.
Rumbo	Ángulo comprendido entre el eje de crujía y la dirección Norte-Sur, sea ésta magnética (Rm), geográfica (Rv) o de aguja (Ra).
Ruta loxodrómica	Ruta que corta los meridianos con un ángulo constante.
Semicírculo horario	Es el semicírculo máximo de la esfera celeste que va de polo a polo pasando por el astro.
Tangente de Marcq	La tangente al círculo de altura y que es perpendicular al azimut del astro. Se trazará por el punto determinante.
Tiempo universal (TU)	El referido al meridiano inferior de Greenwich.
Vertical de un astro	Es el semicírculo que va de cénit a nadir pasando por el astro.

1. Fundamentos:

Magnetismo y Rumbos: La Demora (D) se mide desde el Norte magnético (Nm) o Geográfico (Nv) y la marcación (M) desde la proa. (Er = +, Br = -). Siendo Er = Estribor, Br = Babor, Dv = Demora verdadera o geográfica, Dm = Demora magnética y Rv = Rumbo verdadero.

$$\text{Así:} \quad Dv = Rv + Mv$$

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

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

Siendo Na= Norte de aguja, Nm= Norte magnético y Da Demora de aguja.

Por otro lado, la corrección total (Ct) es: $Ct = dm + \Delta$

$$Y, \quad Dv = Da + Ct$$

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

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

Tiempo y cronómetro: La hora oficial (Ho) es la hora legal (Hz), la del huso horario, más el adelanto establecido por el estado.

El huso o zona horaria (Z) en la que nos encontramos, se obtiene: $Z = (L + 7.5) \setminus 15$ (en horas) Siendo (L) la longitud de nuestra posición y “\” el cociente entero de la división.

El (TU) o tiempo Universal es la HcG, siendo: $HcG = Hz + Z$ (Z = + si L es W y viceversa)

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

$$Lt = L / 15 \quad (\text{en horas y minutos}) \quad Hcl = HcG + Lte \quad Hcl = HcG - Ltw$$

La Hora de bitácora (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 igual a la hora legal (Hz). 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. Por último, si atravesamos la línea de cambio de fecha 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. 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:

$$EA = HcG - Hcr \quad \text{o lo que es lo mismo,} \quad HcG = Hcr + EA$$

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) es decir, la Hcr + EA será la HcG ó bien, HcG + 12 horas. Si a cada una de estas dos posibilidades, le aplicamos la Lt, obtenemos dos Hcl. De los dos resultados, uno será absurdo. La HcG correcta así deducida, 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 +) o adelanto (signo -) (m.d.), calculada desde que se midió el EA.

Ej: día 13, L=150-14 W, es 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).

Lt = 10-01, además, Hcr + EA = HcG = 04-30-15. Investigación: primer caso: 04-30 - 10-01 (Ltw) = -18-29 = Hcl o bien, 16:30 - 10-01 (Ltw) = 06:29 = Hcl. Ambas Hcl son del día 13, el día en el que me encuentro. De estas dos opciones, la correcta será la primera, HcG = 04-30-15 (del día 14 en Greenwich) por corresponder a una Hcl nocturna del día 13 (las 18-29) ya que, la otra Hcl (06-29) es posterior al amanecer (06-00) de ese 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 TU del 14), será de X, donde X=3secs. (signo+), luego la HcG= 04-30-15 (14) + 3 segundos, por tanto, la HCG será las 04-30-18 del día 14.

2. Almanaque, navegación astronómica y derrotas ortodrómica y loxodrómica:

Ángulo horario de Aries y del Sol: En el almanaque viene el horario de Greenwich (hG) para las horas enteras; para la interpolación por minutos entre horas, usaremos las páginas de corrección que, encontramos al final del almanaque. Esta corrección es siempre positiva. Así, hallaremos el hG para cualquier hora y aplicando la longitud, obtendremos el horario local (hL).

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

Si hL saliera mayor que 180° será un horario local Este (hLE) y para su uso en los cálculos haremos:

$$hLE = 360 - hL.$$

Ángulo horario de la Luna y de los planetas: Se calcula exactamente igual que en el caso anterior pero, se hace una corrección adicional positiva, usando la “Dif” oportuna en cada caso. En el A.N., para la Luna, la “Dif” es la que figura entre las horas completas anterior y posterior al instante de la observación y para los planetas, la “Dif” se encuentra al pie de la columna correspondiente al planeta. En ambos casos, la corrección se hallará al final del Almanaque, en la hoja de correcciones correspondiente a los minutos que nos excedemos de la hora completa y en la columna “Dif”.

Declinación (excepto estrellas): 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 Almanaque. Esta corrección puede ser positiva o negativa.

Estrellas: Para determinar el hG de una estrella, uso la tabla de “posiciones aparentes de estrellas”, páginas 376 y 378 del A.N. que me dan el Ángulo sidéreo (AS), para el día 15 de cada mes, de una selección de 99 estrellas. El hG de la estrella lo calculamos a partir del hG de Aries: $hG^* = hG\gamma + AS$. Para la declinación, tomo igualmente, la tabulada en dicha tabla, páginas 377 y 379 del A.N.

Ortos, Ocasos y Crepúsculos: Para el 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 entre las tabuladas en el AN, se interpola el dato entre dichas horas tabuladas. Además, en el caso de que en la página correspondiente no figurara la salida o la puesta del Sol, ésta se halla interpolando el dato 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 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° 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° 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° del día D-2.

Para el caso particular de que no hubiera fenómeno para ese día en el meridiano de origen, sí que podría darse éste en otro meridiano. En este caso, si la longitud es W, usaremos el R° 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° 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° 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°/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 (Ai) se corrige por el error de índice para así obtener la altura observada (Ao):

Si el Ei queda a la derecha del 0 del limbo: $Ao = Ai + Ei$

Si el Ei queda a la izquierda del 0 del limbo: $Ao = Ai - Ei$

2. Común también a cualquier observación de todos los astros será la corrección por depresión (Dp), Tabla A de la pág. 387 del almanaque. Siempre es sustractiva.

3. Según los astros:

- **Estrellas:** Además se corrigen por refracción (Ra): $Av = Ao - Dp - Ra$
La Refracción (Ra) Siempre es sustractiva y se halla con la Tabla C de la pág.387 del A. N, entrando con la Ao corregida por Dp.

- **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.

$Av = Ao - Dp - Ra (+ p)$

- **Sol:** $Av = Ao - Dp - Ra +/- SD + p$ En la tabla B de la pág. 387 figura para el limbo inferior del Sol la corrección combinada por Semidiámetro, refracción y paralaje, llamémosle Cc. Ésta es siempre positiva. Además, se aplicará la corrección adicional por fecha (Ca); esta última, es debida 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 Ao del limbo superior corregidas por Dp, se convertirán en Ao 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: $Av = Ao - Dp + Cc +/- Ca$

Limbo superior: $Av = Ao - Dp - 2 SD + Cc$

- **Luna:** $Av = Ao - Dp - Ra +/- SD + p$ En la práctica, entramos en las tablas de las págs. 388 y 389 con las Ao del limbo superior o inferior, en grados, corregidas por Dp y con el PHE en minutos enteros de la Luna para esa hora y día, para obtener la corrección correspondiente (Cc) por RA, SD y p. Puede ser aditiva o sustractiva.

Además, se afina la interpolación con la tabla de partes proporcionales (Cpp) de la parte inferior de la pág. 389, donde se entra, primero, con los minutos de altura que exceden de los grados enteros de ésta y con la variación tabular por minuto de paralaje, esta corrección es aditiva (Cpp1). Luego, con los décimos de minuto del PHE y la variación tabular por grado de altura, obteniendo la (Cpp2), que es sustractiva. Así: $Cpp = Cpp1 - Cpp2$. Por lo tanto, $Av = Ao - Dp +/- Cc +/- Cpp$

Determinación de la Latitud por la Polar: Si la declinación de la Polar fuera exactamente 90° N, la Av de la Polar sería igual a la latitud del observador. Al no ser exactamente así, hay que introducir un ajuste en minutos a la Av 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 Av de la Polar y la fecha.

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

El azimut de la Polar (Z_v), lo proporciona la tabla de la pág. 385 del A. N. El resultado es la diferencia angular desde el N, hacia el E o el W, según se expresa. Los argumentos de entrada son el hL de Aries y la latitud.

Altura estimada de un astro (A_e): $\text{Sen } A_e = \text{sen } l * \text{sen } d + \text{cos } l * \text{cos } d * \text{cos } h$

Donde “ l ” es la latitud estimada, “ d ” la declinación del astro y “ h ” es el horario local del astro hL . Como ya se ha dicho, si $hL > 180$ será oriental (hLE) y en este caso, para su uso en la fórmula se hará:
 $h = hLE = 360 - hL$.

Azimut de un astro (Z_v):
$$\text{Tg } Z = \frac{\text{Sen } h}{\text{tg } d * \text{cos } l - \text{sen } l * \text{cos } h}$$

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. Además, será E u W según hL sea oriental (hLE , si $hL > 180$) u occidental ($hl < 180$), respectivamente.

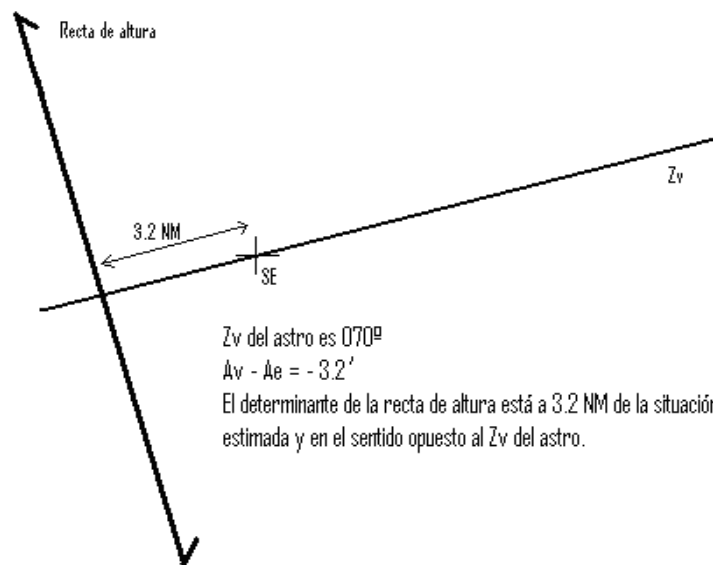
Además de para obtener el determinante de la recta de altura, el Z_v se usa para obtener la corrección total de la aguja: $Ct = Z_v - Z_a$.

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.



Nuestra posición real se encontrará en un punto indeterminado de esta recta de altura. Una recta de altura es lo que genéricamente, se conoce como línea de posición. El corte de dos o más líneas de posición, determina una situación, es decir, fijamos nuestra posición o también, “determinamos un fijo”.

Reconocimiento de astros: El objetivo es identificar un astro, obteniendo su declinación y su hG o AS. Una vez identificado, se extrae su “ d ” y “ hG o AS ” del A.N. y se procede al cálculo de su recta de altura. Partiremos de nuestra posición estimada y de las A_v y Z_v observadas del planeta o estrella desconocido.

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

Horario local del astro:
$$\text{tg } h = \frac{\text{sen } z}{\text{tg } a * \text{cos } l - \text{sen } l * \text{cos } z}$$
 (h en principio, será igual a hL)

En ambas fórmulas, “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, si $Z_v < 180$, $z = Z_v$ y hL será E. Si tras el cálculo, h nos diera negativo, haremos: $hL = 180 - |h|$ Ej: si $h = -47$, $hL = 180 - 47 = 133^\circ$. Por último, si hL es E (por ser $Z_v < 180$) es decir, que $h = hLE$ entonces, tendremos que convertir ese hLE a horario náutico ($0^\circ - 360^\circ$) para ello, lo restaremos de 360: $hL = 360 - hLE$.

Para calcular el hG del astro aplicaremos, como ya sabemos, la longitud asumida:

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

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

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

Latitud por meridiana y Reconocimiento de astros cerca del meridiano: Estos son unos casos particulares, cuya resolución es más sencilla. Además, en la solución de la latitud, no se necesita una gran precisión en la determinación de la hora. Este es el método que se utilizaba para determinar la latitud antes de la invención del reloj mecánico de precisión.

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

MS: a) Si se observa el astro cara al polo depreso.

b) Si se observa el astro cara al polo elevado y $Av > 1$

MI: Si se observa el astro cara al polo elevado y $Av < 1$

En este caso, evidentemente, $hL = 180$ y, si $l = N$, $Z_v = N$ y si $l = S$, $Z_v = S$

Latitud por meridiana:

• Meridiano Superior: $l = d - z$ siendo $z = 90 - Av$

Signos: $l(N) = +$ $d(N) = +$ $l(S) = -$ $d(S) = -$

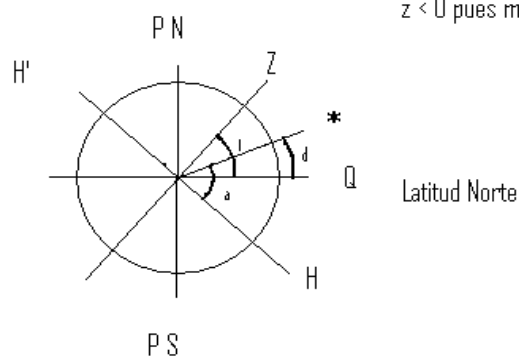
Si $d > l \Rightarrow z = (+)$ (miro hacia el Norte) y si $d < l \Rightarrow z = (-)$ (miro hacia el Sur)

Ejemplo 1: $z < 0$ y l y $d = N \Rightarrow l = d - (-z) = d + z$

Ejemplo 2: $d = N$ y $l = S$, luego $z > 0 \Rightarrow l = d - z$ siendo evidentemente $l < 0$

Gráficamente:

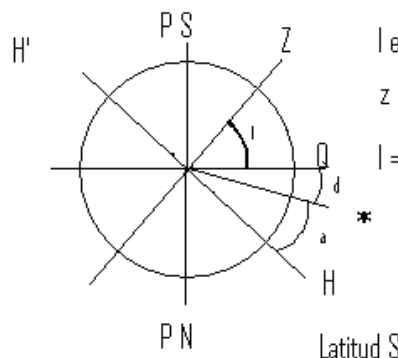
Ejemplo 1: caso de latitud N, z negativo y declinación N



$z < 0$ pues miro hacia el Sur $90 - a = | -d = z$

luego, $l = d + z$

Ejemplo 2: caso de latitud Sur y declinación Norte:



Miro al Norte, luego, $z > 0$

l es S, luego es menor que 0

$z = 90 - a = | +d$

$l = z - d$ o bien, $-l = d - z$

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

Reconocimiento de astros cerca del meridiano: En esta situación, conozco **l** y **a** y busco **d** y **hL**.

- Meridiano superior: respetando los signos, como $l = d - z$, $d = l + z = l + 90 - a$ y además, **hL = 0** si miro al polo depreso y **hL = 180** si miro al elevado.
- Meridiano inferior: $l = a + \Delta = a + 90 - d$ luego $d = 90 + a - l$, tomando *l* en valor absoluto y siendo la “d” resultante, del mismo signo que “l”; además, **hL = 180**.

Fórmulas de la Ortodrómica y Loxodrómica: Con las distancias en NM y los incrementos de latitud (l) y de longitud (L) en minutos de arco.

- Loxodrómica: para distancias mayores de 300 N. 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 300NM: $l_m = \text{latitud media} = (l+l')/2$, A = apartamiento

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

- Ortodrómica:

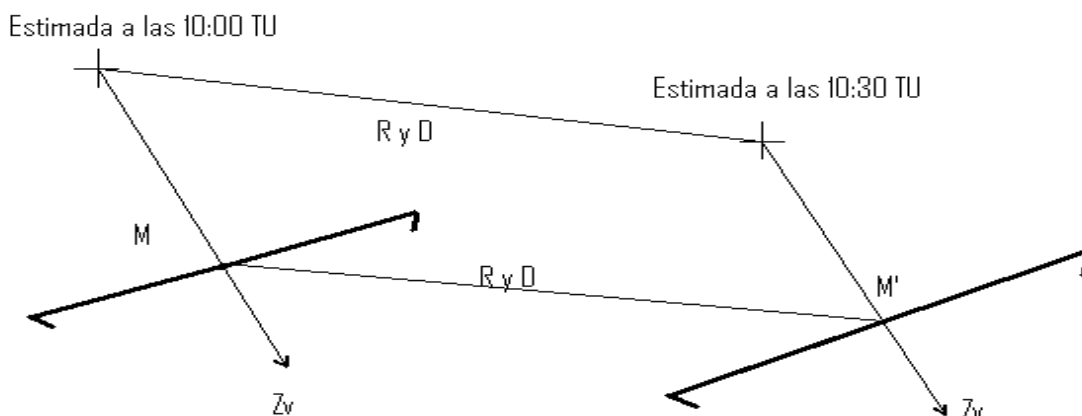
$$\cos D_o = \sin l * \sin l' + \cos l * \cos l' * \cos \Delta L$$

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

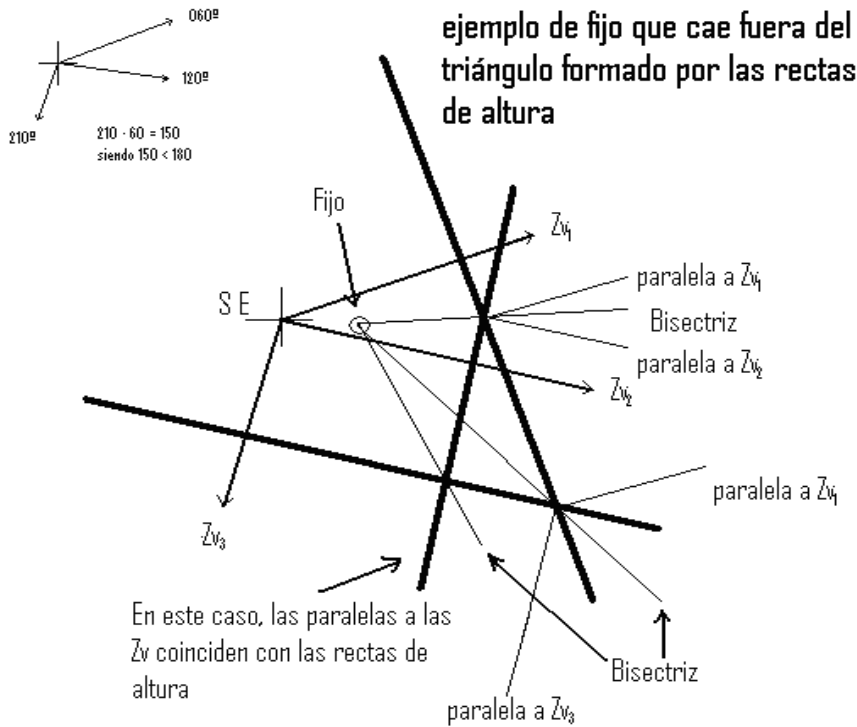
$$\operatorname{tg} R_i = \frac{\sin \Delta L}{\operatorname{tg} l' * \cos l - \sin l * \cos \Delta L}$$

Si $\operatorname{tg} R_i$ es positiva, R_i se contará desde el N y si es negativa, desde el S; hacia el E o el W, según sea el ΔL .

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 posterior. La recta de altura se trasladará paralela a si misma. El traslado se puede hacer, bien desde la situación de estima es decir, dibujando la recta de altura desde la posición estimada de 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 determinante M' la recta de altura.

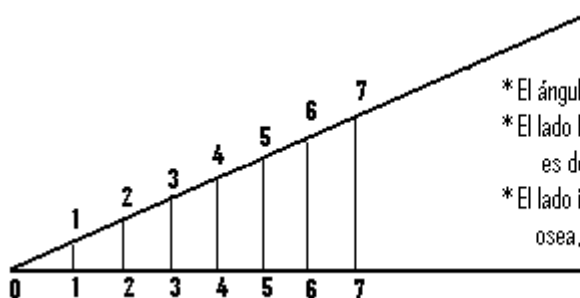


Situación (fijo) por tres rectas de altura: Un fijo obtenido con tres rectas de altura, se determina mediante el corte de las bisectrices formadas entre las paralelas a las líneas de azimut Z_v , usadas para trazar las respectivas rectas de altura, trazadas en los cortes de cada dos rectas de altura, 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° . 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 dibujaremos horizontalmente y representará la escala de partes iguales (equivalente a los meridianos) y sobre él, mediremos las diferencias de latitud, distancias y determinantes. Para medir las diferencias de Longitud, llevaremos el apartamiento, medido sobre la figura con la que determinamos nuestra posición, a la escala de partes aumentadas ya que, no en vano es una distancia y luego, la proyectaremos sobre el eje horizontal, para obtener los minutos de Longitud correspondientes.



- * El ángulo es igual a la latitud del observador.
- * El lado horizontal representa la escala de partes iguales, es decir, los paralelos.
- * El lado inclinado representa la escala de partes aumentadas, o sea, los meridianos, a esa latitud, en una mercator

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:

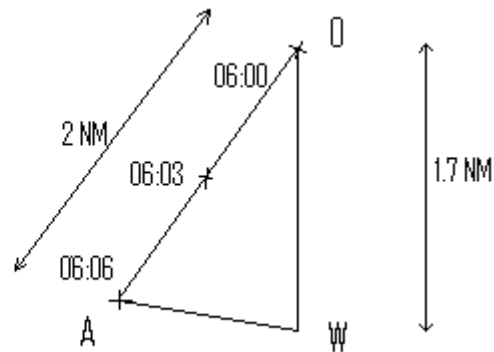
- Hallo la HcG de la meridiana para mi posición actual es decir, partiendo de la HcL del fenómeno.
- Con la HcG actual y la calculada en el punto anterior, hallo el intervalo de tiempo que queda hasta la ocurrencia, en mi posición actual, del fenómeno.
- Con ese intervalo de tiempo y, con mi velocidad 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 que se produzca ese fenómeno en POS1; es decir, el mismo proceso que en los dos primeros puntos.
- 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, llamando "A" al 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-O representará el vector del movimiento del otro buque.

- OA son 2 NM, luego la velocidad relativa entre ambos buques es de 20 nudos y dirección relativa de 210°
- 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°



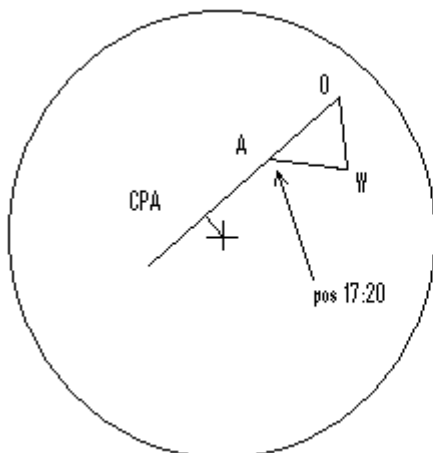
Regla:

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

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

OA (Origin of 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 posteriormente, midiendo la longitud de la perpendicular trazada desde nuestra posición, o sea el centro de la rosa, hasta la citada paralela. 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 intervalo de tiempo que, deberá transcurrir desde la hora de la posición utilizada en el cálculo, hasta el CPA. Este tiempo se suma a la hora correspondiente a la del eco utilizado y nos dará la hora (TCPA), a la que la distancia entre los buques, será mínima.

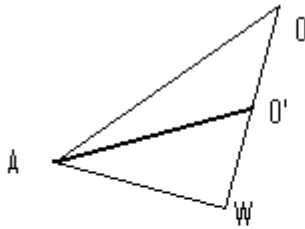


Velocidad relativa 20 Kts.
 distancia A - CPA 10 NM
 tiempo hasta el CPA será de 30 minutos
 Por tanto, el CPA ocurrirá a las 17:50

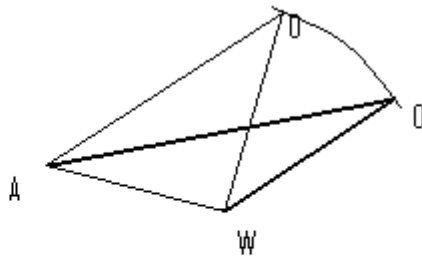
La escala usada para determinar el triángulo de velocidades, puede ser distinta de la usada para las distancias, pero cuidado, no mezclar escalas y magnitudes por error.

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 WO' , será paralela a nuestro nuevo rumbo. De nuevo, WA no variará.



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

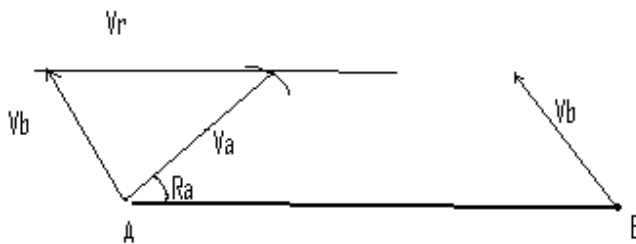


Cambio de rumbo desde 015 a 050 . La longitud de $WO = WO'$, ya que la velocidad no la hemos variado. El nuevo vector del movimiento relativo es $O'A$

Alcances: Una vez determinado el triángulo de velocidades, se pueden resolver los problemas del cálculo del CPA y TCPA o bien, una vez conocido el rumbo y velocidad del otro buque (R_b y V_b), 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 V_a dada, Trazaremos una recta desde el centro de la rosa y de longitud igual al módulo de nuestra velocidad. Así obtendremos el rumbo de interceptación pedido; lógicamente, éste, se medirá en el borde de la rosa o desde el punto que utilizamos como origen de rumbos.

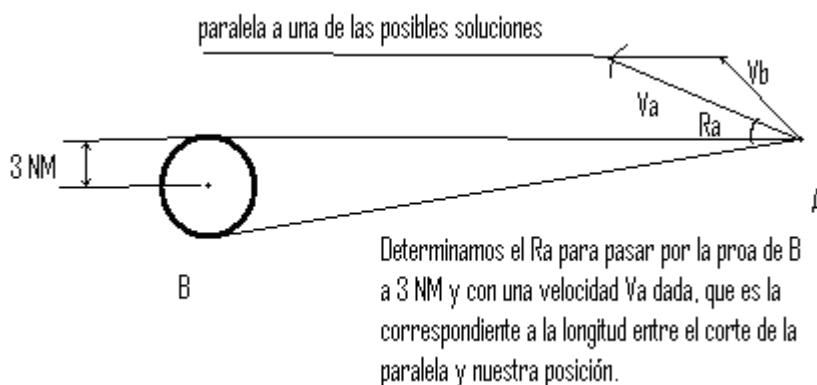


En este caso vemos el rumbo que tendremos que poner para con una V_a determinada, alcanzar a B en el mínimo tiempo.

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 igual a 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.



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

NOTA: Siempre habrá que tener en cuenta lo que dice el RIPA respecto a la conducta de los buques en situación de visibilidad reducida para así, escoger la banda adecuada a la que debemos virar:

d) Todo buque que detecte únicamente por medio del radar la presencia de otro buque, determinará si se está creando una situación de aproximación excesiva y/o un riesgo de abordaje. En caso afirmativo maniobrará con suficiente antelación, teniendo en cuenta que si la maniobra consiste en un cambio de rumbo, en la medida de lo posible se evitará lo siguiente:

- i) un cambio de rumbo a babor para un buque situado a proa del través salvo que el otro buque esté siendo alcanzado;*
- ii) un cambio de rumbo dirigido hacia un buque situado por el través o a popa del través.*

- 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 Fisura Lanza, editado por el Servicio Central de publicaciones del Gobierno Vasco. Año 2006.
- **Astronomía, Navegación y Cálculos Náuticos**, tercera edición, por Fernando Moreno Rodríguez, editado por SEPHA, Edición y Diseño, S.L., año 2006.
- **Day Celestial Navigation**, Junio 1982, editado por la USAF, Mather AFB, California. USA.
- **<http://www.diccionario-nautico.com.ar>**