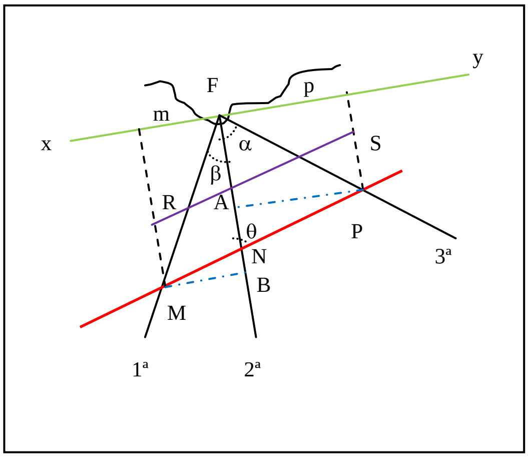
La ciclónica (by Francesc Bou Fort)

1.- Introducción

La ciclónica es un método interesante tanto para hallar el rumbo y situación de un buque por 3 marcaciones a un punto de la costa como, también, para hallar el rumbo de otra embarcación, su velocidad relativa y, conociendo su velocidad, la distancia entre buques en el instante de la tercera marcación, e incluso la trayectoria de un ciclón (y de ahí su nombre).

2.1.- Determinación del rumbo verdadero por tres marcaciones a un punto de la costa



Si se marca el mismo punto de la costa (F) tres veces consecutivas y se anotan las distancias navegadas entre la primera y la segunda marcación y entre la segunda y la tercera, podemos hallar el rumbo verdadero y la situación del buque.

Alternativamente, se pueden medir los intervalos de tiempo entre las marcaciones, supuesto que llevamos una velocidad constante.

Determinación del rumbo

Sea la primera marcación FM, la segunda FN y la tercera FP.
Si la derrota del buque es MNP, MN y NP son las distancias navegadas en los intervalos. Se trata de hallar el rumbo de la recta MNP.

Tracemos por F una recta cualquiera xy (por comodidad la trazaremos perpendicular a la segunda marcación) y proyectemos sobre ella los puntos M y P con paralelas a la segunda marcación para obtener los puntos m y p.

Tenemos así un haz de rectas paralelas, mM, FN y pP, cortadas por dos secantes, xy y MP. Aplicando el teorema de Thales

$$MN/mF = NP/Fp \qquad \text{o también} \qquad MN/NP = mF/Fp$$

Notemos que Fm y Fp están en la relación de las distancias navegadas y que la recta MP nos da el rumbo del buque.

Analíticamente, podemos hallar el rumbo evaluando el ángulo θ que forma la recta MP con la 2ª marcación.
Para evaluar el ángulo θ tracemos MB y PA perpendiculares a la segunda marcación.

Se forman dos triángulos semejantes; NMB y ANP: Se cumple: $NB = MB \cot\theta$
$AN = PA \cot\theta$

Sumando ordenadamente: $NB + AN = (MB + PA)\cot\theta$
Así: $AB = NB + AN = (MB + PA)\cot\theta$
Pero también: $AB = FB - FA = (MB + PA)\cot\theta = MB\cot\beta - PA\cot\alpha$

De los 2 últimos miembros tenemos:

$$\cot\theta = \frac{MB\ \cot\beta - PA\ \cot\alpha}{(MB+PA)} = \frac{\frac{MB}{PA}\cot\beta - \cot\alpha}{\frac{MB}{PA} + 1}$$

Los triángulos MNB y PAN son semejantes, así podemos obtener:

$$\frac{MB}{PA} = \frac{MN}{PN} = \frac{Fm}{Fp} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{t_1}{t_2}$$

que relaciona las distancias navegadas o los intervalos de tiempo, con lo que finalmente:

$$\cot\theta = \frac{\frac{d_1}{d_2}\cot\beta - \cot\alpha}{\frac{d_1}{d_2} + 1}$$

si $d_1 = d_2$ la fórmula anterior se simplifica y queda:

$$\cot\theta = \frac{\cot\beta - \cot\alpha}{2}$$

2.2.- Situación del buque en la tercera marcación

Consideremos el triángulo MFP, el ángulo en M es $\theta - \beta$ y el ángulo en P es $180 - (\theta + \alpha)$
Apliquemos el teorema de los senos:

$$\frac{\sin\alpha+\beta}{MP} = \frac{\sin\theta - \beta}{FP}$$

Si sabemos las distancias recorridas d_1 y d_2 siendo $d_1 + d_2 = RS$, como el triángulo RFS es semejante al MFP y la recta MP tiene por pendiente el rumbo del buque, entonces RS es la derrota real del buque y en consecuencia S es la situación del buque en el instante de la tercera marcación.

Ejemplo:
Navegando en las proximidades del Cabo Trafalgar (l= 36º 10.9'N; L = 006º 02' W) con una velocidad de 10 nudos
a H_{RB} = 03:00 se tomó D_a de la Polar, supuesta en el polo D_a = 005° y simultáneamente Da de C. Trafalgar Da = 070°.
a H_{RB} = 03:30 D_a de C. Trafalgar D_a = 025°.
a H_{RB} = 04:12 D_a de C. Trafalgar D_a = 334°
Se pide: a) Situación a H_{RB} = 04:12
b) R_a entre las 03:00 y las 04:12 horas

Calculamos la C_t a partir de la D_a de la Polar para tener demoras verdaderas. $C_t = D_v - D_a = -5º$

$D_{v1} = D_{a1} + C_t = 070 - 5 = 065º$ y las demoras opuestas $D_{op1} = 245º$
$D_{v2} = D_{a2} + C_t = 025 - 5 = 020º$ $D_{op2} = 200º$
$D_{v3} = D_{a3} + C_t = 334 - 5 = 329º$ $D_{op3} = 149º$

las diferencias entre demoras verdaderas: $D_3 - D_2 = 020 - 329 = 380 - 329 = 51º$
$D_2 - D_1 = 065 - 020 = 045º$
los intervalos de tiempo entre demoras: $t_3 - t_2 = 42$ minutos = 7/10 h
$t_2 - t_1 = 30$ minutos = ½ h = 5/10 h
las distancias navegadas: $d_1^2 = v \cdot (t_2 - t_1) = 5$ millas y la distancia total $d_1^2 + d_2^3 = 12$ millas
$d_2^3 = v \cdot (t_3 - t_2) = 7$ millas
el ángulo θ según hemos visto:

$$\cot\theta = \frac{\frac{5}{7}\cot 45 - \cot 51}{\frac{5}{7} + 1} = -0.0557073$$

$\theta = -86.81º = 273.18º$ pero como es del 2º cuadrante $\theta = 180 - 86.81 = 93.18º$

El rumbo verdadero seria pues $R_v = D_{v2} + \theta = 93.18 + 020 = 113.18º$ y el rumbo de aguja $R_a = R_v - C_t = 113.18 - (-5) = 118.18º$

El rumbo de aguja entre 03:00 y 04:12 es R_a = 118.18º

La situación en el instante de la tercera demora se resuelve simplemente por una estima.
Calculamos: $\alpha + \beta = 45 + 51 = 96º$ y $\theta - \beta = 93.18 - 45 = 48.18º$
Aplicamos el teorema de los senos al triángulo RFS.

$$\frac{\sin 96}{12} = \frac{\sin 48.18}{x} \quad => \quad x = 8.9922$$

Así $\Delta l = 8{,}9922 \cos 149 = -7.7078$ $l_f = l + \Delta l = 36º\ 10.9' - 7.7' = 36º\ 03{,}2'$ $l_m = ½ (l + l_f) = 36º\ 07{,}1'$
$A = 8.9922 \sin 149 = 4.6313$ $\Delta L = A/\cos l_m = 4.63/0.8078042 = 5.73$ $L_f = L + \Delta L = 005º\ 56{,}3'$

La situación a 04:12 es: l = 36º 03,2'N; L = 005º 56,3'W

3.1.- Determinación del rumbo de otro buque conociendo su velocidad y 3 marcaciones al mismo

Se trata ahora de ver el problema anterior desde el punto de vista del farero o del observador en el punto de la costa sobre el que se toman las marcaciones.

Consideremos parado nuestro buque, ello equivale a encontrar la velocidad relativa o la derrota relativa del otro buque, ya que:

$$\mathbf{v_R} = \mathbf{v_B} - \mathbf{v_A}$$

El cálculo del rumbo y velocidad del otro buque, no presenta mayor dificultad, como veremos se trata de un sencillo problema de Cinemática Naval.

Notemos que la resta anterior es una operación vectorial, en el caso que $\mathbf{v_B} \geq \mathbf{v_A}$ el problema tiene una solución única; pero si $\mathbf{v_B} < \mathbf{v_A}$ puede presentar dos soluciones posibles, (pueden existir dos triángulos de velocidades) en cuyo caso necesitamos alguna condición extra para discutir la solución correcta.

Si no hemos de calcular la distancia entre buques en el instante de la tercera marcación, el problema se reduce a un problema de Cinemática.
Si hemos de calcular esta distancia hemos de proceder como en el punto 2.2.-

Ejemplos:
Navegando al R_v = 170º y v = 8 nudos observamos en el radar el eco de un buque B tal que:
A H_{RB} = 12:00 tiene una marcación M = 40º Bbr. y se encuentra a una distancia d = 13 millas
A H_{RB} = 12:12 una marcación M = 38,5º Bbr. y está a una distancia d = 11 millas
A H_{RB} = 12:24 tiene una marcación M = 37º Bbr. y la distancia es d = 9 millas
Se pide calcular el rumbo y la velocidad de B

Sabemos • El vector velocidad de nuestro buque $\mathbf{v_A} = 8_{170º}$ y en cartesianas: $v_{Ax} = 8 \cos 170 = -7.8785$
$V_{Ay} = 8 \sin 170 = 1.3892$

- Las demoras $D_1 = R + M = 170 + (-40) = 130º$ y las demoras inversas $D_{in1} = 310º$
  $D_2 = R + M = 170 + (-38.5) = 131{,}5º$ $D_{in2} = 311.5º$
  $D_3 = R + M = 170 + (-37) = 133º$ $D_{in3} = 313º$
- Las posiciones $B_1 = 13_{310º}$ que en cartesianas es: $B_{1x} = 13 \cos 310 = 8.3562$
  $B_{1y} = 13 \sin 310 = -9.9586$
  $B_3 = 9_{313º}$ que análogamente es: $B_{3x} = 9 \cos 313 = 6.1380$
  $B_{3y} = 9 \sin 313 = -6.5822$

Calculamos la distancia entre estos puntos $(B_3 - B_1)_x = 6.1380 - 8.3562 = -2.2182$
$(B_3 - B_1)_y = -6.5822 - (-9.9586) = 3.3764$
$d_1^3 = [(-2.2182)^2 + (3.3764)^2]^{1/2} = 4.04$ millas
el rumbo relativo $\tan R_R = 3.3764/-2.2182 = -1.5221 \Rightarrow R_R = -56.7º \equiv 303.3º$
la velocidad relativa $v_R = d/t = 4.04/0.4 = 10.09$ nudos que en cartesianas es: $v_{Rx} = 10.09 \cos 303{,}3 = 5.5396$
$v_{Ry} = 10.09 \sin 303.3 = -8.4333$
y finalmente $\mathbf{v_B = v_R + v_A}$ $v_{Bx} = 5.5396 + (-7.8785) = -2.3389$
$v_{By} = -8.4333 + 1.3892 = -7.0441$
y en polares: $\tan R_B = -7.0441/-2.3389 = 3.0117149 \Rightarrow R_B = 71.6º$ como es del 3r cuadrante $R_B = 251.6º$
la celeridad $|v_B| = [(2.3389)^2 + (7.0441)^2]^{1/2} = 7.43$ nudos

El rumbo es $R_B = 251.6º$ y la velocidad v = 7.43 nudos

Navegamos al $R_v = 325º$ y v = 18 nudos. Observamos en el radar el eco del yate "Xaloc" que a H_{RB} =08:30 tiene una demora $D_1 = 315º$, a H_{RB} =08:45 su demora es $D_2 = 345º$ y a H_{RB} = 09:00 su demora es $D_3 = 022º$. Puestos en contacto con él por VHF nos indica que lleva una velocidad de 20 nudos
Se pide: a) el rumbo del yate "Xaloc"
b) la distancia entre buques en el instante de la 3ª demora.

Sabemos: • las demoras $D_1 = 315º$ y las demoras inversas $D_{in1} = 135º$
$D_2 = 345º$ $D_{in2} = 165º$
$D_3 = 022º \equiv 382º$ $D_{in3} = 202º$

- Las diferencias entre D_1 y D_2 $\beta = 30º$ y entre D_2 y D_3 $\alpha = 37º$

Calculamos θ: $\cot\theta = \frac{1}{2}\cot\alpha - \cot\beta = \frac{1}{2}(1.3270448 - 1.7320508) = -0.202503 \Rightarrow \theta = -78.55º \equiv 101.45º$
la distancia entre la primera y la tercera marcación: $d_1^3 = v \cdot t = 20/2 = 10$ millas
la derrota relativa, conocido θ: $R_R = 345 - 78.5 = 266.5º$
el ángulo entre R_A y R_R es: $\gamma = 325 - 266.5 = 58.5º$
este ángulo, en el triángulo de velocidades es el ángulo opuesto a v_B y aplicando el teorema de los senos:

$$\frac{\sin 58.5}{20} = \frac{\sin\omega}{18}$$

$\sin\omega = (18/20)\sin 58.5 = 0.7673762 \Rightarrow \omega = 50.11º$
el tercer ángulo del triángulo será: $\phi = 180 - (58.5 + 50.1) = 71.4º$

El rumbo del yate "Xaloc" $R_B = 325 + 71.4 = 396.4 \equiv 036.4º$

la distancia entre buques en el instante de la tercera demora, se calcula por:
Se calcula $\theta - \beta = 78.5 - 37 = 41{,}5º$ y $\alpha + \beta = 37 + 30 = 67º$
Se aplica el teorema de los senos al triángulo RFS

$$\frac{\sin 67}{10} = \frac{\sin 41.5}{x}$$

Así: x = 7.2 millas

La distancia entre buques en el instante de la 3ª marcación d = 7.2 millas

4.- **Ciclones Tropicales**:

Definición: Son depresiones circulares muy profundes de unos 500 - 1000 km de diámetro, formados en la zona de convergencia intertropical (ITCZ) donde convergen los alisios de los dos hemisferios.

Estructura: Casi circular con presiones muy bajas.
Formados por aire caliente homogéneo sobre la superficie marina.
Vientos muy fuertes en espiral en circulación cerrada alrededor del centro aumentando al acercarse al mismo.
La circulación es antihoraria en el hemisferio norte y horaria en el hemisferio sur.

Signos indicadores: La formación de un ciclón es difícil de prever. Hoy se localizan mediante servicios de vigilancia .
Los cambios de tiempo que pueden hacer sospechar de la formación de un ciclón son:

- formación de cirrus.
- mar de fondo (que no coincide con la dirección del viento).

- barómetro bajando lentamente (desaparición de la marea barométrica).
- alisios aumentando de velocidad 20 o 30 nudos.

A mas de 150 millas del centro - nubes de tipo cumuliforme.
- aumento de la velocidad del viento.
- caída más rápida de la presión.
- mar arbolada (con algún roción).

Situación del buque en el ciclón:

Siguiendo la trayectoria, el ciclón se divide en 2 semicírculos

- el semicírculo peligroso queda del lado del polo elevado
  el viento rola en sentido horario
  la presión disminuye y aumenta la fuerza del viento
- el semicírculo manejable queda del lado del ecuador
  el viento rola en sentido antihorario
  la presión aumenta y disminuye la fuerza del viento

Determinación de la posición del vórtice:

Regla de Buys - Ballot. Con el buque proa al viento real la depresión está entre 8 i 12 cuartas a Ebr (H N) o a Br (H S)
Cerca del vórtice (150')
con descenso del barómetro de 10 a 12 hPa (1006 -1002 hPa) el vórtice está 10 - 12 cuartas de la dirección del viento
con descenso del barómetro de 20 hPa indica el vórtice a 8 - 10 cuartas de la dirección del viento
si el barómetro marca menos de 990 hPa el vórtice está a 6 – 8 cuartas

Ejemplo:
El yate "Neulit" navega por el Atlántico Norte en situación l =15ºN L = 050ºW. El capitán observa mar de fondo del NW, un aumento brusco de la velocidad del viento y una bajada lenta del barómetro. El capitán, sospecha la existencia de un huracán se pone a la "capa preventiva" y realiza la siguiente serie de observaciones.
A H_{RB} = 09:00 p = 990 hPa, dirección del viento 310, fuerza 9 Beaufort
A H_{RB} = 11:00 p = 995 hPa, dirección del viento 257, fuerza 8 Beaufort
A H_{RB} = 14:00 p = 1002 hPa, dirección del viento 224 fuerza 7 Beaufort
Se pide: a) la trayectoria del huracán
b) el cuadrante en que se encuentra el barco

Calculemos las demoras: D_1 como p < 992 hPa la situación del vórtice está a 8 cuartas (310 + 90 = 400 ≡ 40º)
D_2 ahora p = 995 hPa el vórtice se sitúa a 10 cuartas, es decir a 369.5 ≡ 9.5º
D_3 con p = 1002 hPa la situación del vórtice, que está a 10 cuartas, se sitúa en 336.5º
la diferencia D_2 - D_1 = 40 – 9.5 = 30.5º y la diferencia $D_3 – D_2$ = 369.5 – 336.5 = 33º
el rumbo o trayectoria del ciclón como nos dan demoras será θ:

$$\cot\theta = \frac{\frac{2}{3}\cot 30.5 - \cot 33}{\frac{2}{3}+1} = \frac{\frac{2}{3}\,1.6976631 - 1.539865}{\frac{5}{3}} = -0.2448537$$

θ = - 76.24 ≡ 283.75º

Como el viento rola en sentido antihorario estaremos en el semicírculo manejable
la presión aumenta y la fuerza del viento disminuye, estaremos en el cuadrante posterior